

УДК 622.271.4

Б.Р. Ракишев, С.К. Молдабаев

**ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ
ВСКРЫШНЫХ ПОРОД МЕЖДУ ВНЕШНИМ
И ВНУТРЕННИМ ОТВАЛАМИ
В ПРЕДЕЛАХ КАРЬЕРНОГО ПОЛЯ**

Приведены результаты исследований по эффективному использованию ресурса выработанного пространства при вовлечении в разработку смежного участка карьерного поля.

Ключевые слова: способ вскрытия, вскрышные породы, отвал, карьерное поле.

Размещение внутренней части первой смешанной траншеи, в виде съезда временно на рабочем борту, путем сопряжения его трассы с рабочим горизонтом первого вскрышного уступа на наклонной кривой, по разработанному способу вскрытия смежного участка карьерного поля значительно сокращает объемы горно-капитальных работ [1, 2, 3]. По мере отработки мехлопатой с нижней погрузкой каждой очередной заходки трассу пути выпрямляют до совпадения его трассы с осью внешней части траншеи и приводят в стационарное положение. После образования выработанного пространства достаточных размеров и сооружения съезда в торце второго вскрышного уступа, недалеко от него укладывается стрелочный перевод, прокладывается путь на третий породный горизонт и после укладки на этом горизонте железнодорожных путей организуется складирование вскрышных пород во внутреннем отвале. Для этого необходимо установить проектные параметры внешнего, за прибортовым, отвала со стороны лежащего бока залежи. Первоначально определяют параметры внешнего и внутреннего отвалов к концу разработки смежного участка карьерного поля во взаимосвязи с обеспечением транспортного доступа к его добычным забоям. На добычных работах рассматривается в основном железнодорожный транспорт, как наиболее эффективный на угольных карьерах средней мощности при значительной длине фронта работ.

В работе исследовано 3 варианта распределения объемов вскрыши смежного участка между внешним, за прибортовым, и внутренним отвалами, в зависимости от их параметров, конфигурации и транспортного обеспечения добычных забоев:

Вариант 1 с оставлением по дну в восточной части 600 метровой площадки для размещения блок-постов;

Вариант 2 — тоже, что и по варианту 1, с переходом на транспортирование добытого угля с глубины 64 м комбинированным автомобильно-железнодорожным транспортом и заполнения выработанного пространства с этой глубины по всей длине участка внутренним отвалом;

Вариант 3 — железнодорожное путевое развитие добычных забоев участка Центрального осуществляется через участок Восточный (рис. 1).

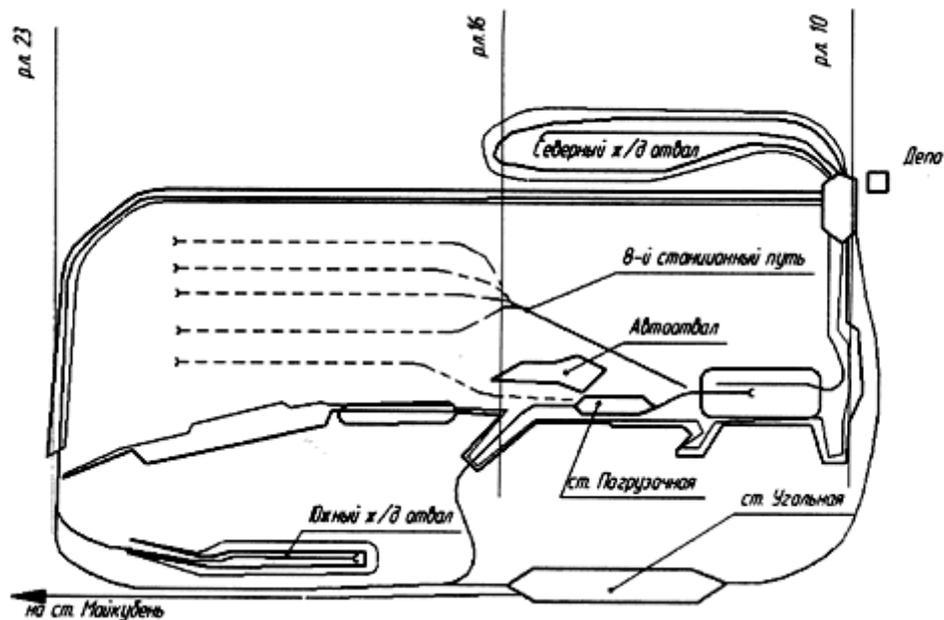


Рис. 1. Обеспечение транспортного доступа к добычным забоям вовлеченного участка (р.л. 16-23) через путевое развитие первоначально разрабатывавшегося участка (р.л. 10-16)

Максимальное использование ресурса выработанного пространства обеспечивается оптимальным распределением всего объема вскрышных пород вовлеченного участка на внешний и внутренний отвалы с учетом сформированного, после проходки разрезной траншеи по наносам, прибортового отвала (рис. 2).

Пусть $\mu_{o,вр}$ — доля вскрышных пород смежного участка карьерного поля, складированных во внутренний отвал, %; $V_{в.у}$ — объем вскрышных пород в конечных контурах участка, m^3 ; V_6 — вместимость прибортового отвала, m^3 ; V_o — вместимость внешнего отвала со стороны лежащего бока залежи, m^3 ; V_n и V_v — вместимость внутреннего отвала соответственно ниже и выше уровня дневной поверхности, m^3 ; $V_{бал.}$ — баланс вместимости отвалов, m^3 ; $V_{в.ф}$ — фактический объем пород, размещаемый во внутренний отвал выше уровня дневной поверхности при отрицательном балансе, m^3 ; $V_{o,вр}$ — объем вскрышных пород участка, складированных во внутренний отвал, m^3 ; V_{01} — объем первого яруса внешнего отвала, m^3 ; $V_{изб}$ — избыток вместимости внешнего отвала, m^3 ; H_o — высота внешнего отвала, м; H_v — превышение внутреннего отвала над дневной поверхностью, м; $H_{o,вр}$ — предельная высота внутреннего отвала, м; H_k — конечная глубина смежного участка, м; H_{01} — высота первого яруса внешнего отвала, м; $H_{o,скр}$ — скорректированная высота внешнего отвала, м.

Математическая модель оптимального распределения объема вскрышных пород вовлеченного участка в конечных контурах на внешний и внутренний отвалы имеет вид:

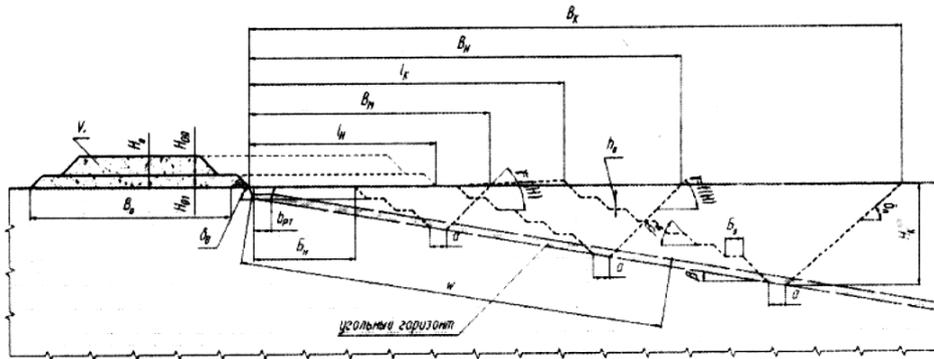


Рис. 2. Схема к определению положения и параметров отвалов во взаимосвязи с контурами карьера

$$H_B := H_B + \Delta H_B; V_{B,y} = V_B + V_o + V_H + V_B \text{ при } H_o \leq H_B, H_B \leq (H_{o,вр} - H_K); \quad (1)$$

$$V_{бал.} = V_{B,y} - V_B - V_o - V_H - V_B; \quad (2)$$

$$\text{если } V_{бал.} \leq 0, \text{ то } V_{B,ф} = V_{B,y} - V_B - V_o - V_H; \quad (3)$$

$$\text{если } V_{бал.} > 0, \text{ то } V_{o,вр} = V_H + V_B; \quad (4)$$

$$\text{если } V_{бал.} \leq 0, \text{ то } V_{o,вр} = V_H + V_B - |V_{бал.}|; \quad (5)$$

$$\mu_{o,вр} = \frac{V_{o,вр}}{V_{B,y}} 100 \rightarrow \max; \quad (6)$$

$$\text{если } V_{изб} = |V_{бал.}|, \text{ то } V_{o,скр} = V_o - V_{изб}; \quad (7)$$

$$\text{если } V_{o,скр} \leq V_{01}, \text{ то } H_{o,скр} \leq H_{01} \Rightarrow H_{o,скр} = H_{01} \frac{V_{o,скр}}{V_0}; \quad (8)$$

$$\text{если } V_{o,скр} > V_{01}, \text{ то } H_{o,скр} = H_{01} + H_{оя,скр}; \quad (9)$$

$$H_{оя,скр} = \left\{ -\frac{r_2}{2} + \left[\left(\frac{r_2}{2} \right)^2 + \left(\frac{r_1}{3} \right)^3 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} + \left\{ -\frac{r_2}{2} - \left[\left(\frac{r_2}{2} \right)^2 + \left(\frac{r_1}{3} \right)^3 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} - R_1 (3 \text{ctg}^2 \beta_o)^{-1}; \quad (10)$$

$$r_1 = -R_1^2 (3 \text{ctg}^4 \beta_o)^{-1} + R_2 (\text{ctg}^2 \beta_o)^{-1};$$

$$r_2 = 2R_1^3 (27 \text{ctg}^6 \beta_o)^{-1} - R_1 R_2 (3 \text{ctg}^4 \beta_o)^{-1} + R_3 (\text{ctg}^2 \beta_o)^{-1};$$

$$\text{если } \frac{r_2^2}{4} + \frac{r_1^3}{27} < 0, \text{ то } H_{\text{оя.ксп}} = 2\rho_1^{\frac{1}{3}} \cos \frac{\varphi}{3} - R_1 (3\text{ctg}^2\beta_o)^{-1}; \quad (11)$$

$$\rho_1 = \left(-\frac{r_1}{3}\right)^{\frac{3}{2}}; \quad \varphi = \text{arcCos}\left(-\frac{r_2}{2\rho_1}\right).$$

При расчете вместимостей отвалов высота отвальных ярусов соответствует их значениям после усадки и остаточного разрыхления. К распределению вскрыши между отвалами приступают после предварительного определения конструктивных параметров отвалов.

Вместимость внешнего отвала определяется по формуле:

$$V_o = \frac{H_o}{2k_{\text{p.o}}} [L_o B_o + (L_o - 2H_o \text{ctg}\beta_{\text{p.o}})(B_o - 2H_o \text{ctg}\beta_{\text{p.o}})], \quad (12)$$

$$\text{где } \beta_{\text{p.o}} = \text{arctg}\left[\frac{H_o}{H_{o1} \text{ctg}\beta_o + \sum_{i=1}^{n-1} H_{o,i} \text{ctg}\beta_o + (n-1)B_o}\right],$$

здесь n — количество ярусов внешнего отвала.

Длина отвального фронта работ внутреннего отвала в различные периоды разработки смежного участка определяется по формулам:

$$\begin{aligned} L_{\text{o.н.н}} &= L_y - L_T - H_{\text{o.н}} \text{ctg}\beta_{\text{р.н.н}}; \\ L_{\text{o.в.н}} &= L_{\text{o.н.н}} - H_{\text{o.н}} \text{ctg}\beta_{\text{р.н.н}} - 2B_o - H_o \text{ctg}\beta_{\text{р.в.н}}; \\ L_{\text{o.н.а}} &= L_y - L_T - H_a \text{ctg}\beta_{\text{р.н.п}}; \\ L_{\text{o.в.а}} &= L_{\text{o.н.а}} - H_a \text{ctg}\beta_{\text{р.н.п}} - 2B_o - H_o \text{ctg}\beta_{\text{р.в.п}}; \\ L_{\text{o.н.аж}} &= L_y - H_a \text{ctg}\beta_{\text{р.н.п}}; \\ L_{\text{o.в.аж}} &= L_{\text{o.н.аж}} - H_a \text{ctg}\beta_{\text{р.н.п}} - 2B_o - H_o \text{ctg}\beta_{\text{р.в.п}}; \\ L_{\text{o.н.к}} &= L_y - L_T - H_k \text{ctg}\beta_{\text{р.н.к}}; \\ L_{\text{o.в.к}} &= L_{\text{o.н.к}} - H_k \text{ctg}\beta_{\text{р.н.к}} - 2B_o - H_o \text{ctg}\beta_{\text{р.в.к}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Результирующий угол наклона внутреннего отвала в работе определяется по формулам:

$$\beta_{\text{р.н.н}} = \beta_o; \quad \beta_{\text{р.н.п}} = \text{arctg}\left[\frac{H_a}{h_{o1} \text{ctg}\beta_o + \sum_{i=1}^{s-1} h_{o,i} \text{ctg}\beta_o + (k-1)B_o}\right]; \quad (14)$$

$$\beta_{\text{р.н.к}} = \text{arctg}\left[\frac{H_k}{h_{o1} \text{ctg}\beta_o + \sum_{i=1}^{m-1} h_{o,i} \text{ctg}\beta_o + (m-1)B_o}\right];$$

$$\beta_{\text{р.в.н}} = \beta_{\text{р.в.п}} = \beta_{\text{р.в.к}} = \beta_{\text{р.о}},$$

где s — количество ярусов внутреннего отвала на границе перехода на комбинированный транспорт; m — количество ярусов внутреннего отвала к концу разработки участка.

Ширина внутреннего отвала по средней линии его высоты ниже уровня дневной поверхности определяется по формулам:

а) общая

$$W = B_k - H_k \operatorname{ctg} \delta_l - a - 0,5 H_k \operatorname{ctg} \beta_{\text{р.н.к}} + 0,5 H_{\text{о.н}} \operatorname{ctg} \delta_b, \quad (15)$$

где a — ширина дна между бортом и отвалом, м; δ_l — угол погашения борта по лежащему боку залежи, град.;

б) до границы перехода на комбинированный транспорт

$$W_a = W - (H_k - H_a) \operatorname{ctg} \beta; \quad (16)$$

в) после перехода на комбинированный транспорт

$$W_{\text{аж}} = W - W_a. \quad (17)$$

Ширина внутреннего отвала по средней линии его высоты выше уровня дневной поверхности определяется по формулам:

а) общая

$$l_k = B_k - H_k \operatorname{ctg} \delta_l - a - H_k \operatorname{ctg} \beta_{\text{р.н.к}} - B_o + Ш_б, \quad (18)$$

где $Ш_б$ — берма безопасности между контуром карьера и прибортового отвала, м;

б) до границы перехода на комбинированный транспорт

$$l_{\text{к.а}} = l_k \frac{W}{W_a}; \quad (19)$$

в) после перехода на комбинированный транспорт

$$l_{\text{к.аж}} = l_k - l_{\text{к.а}}. \quad (20)$$

Вместимость внутреннего отвала ниже уровня дневной поверхности определяется по формулам:

а) без изменения конфигурации в плане (рис. 3).

$$V_n = \frac{W}{4k_{\text{р.о}}} (L_{\text{о.н.н}} + L_{\text{о.н.к}}) (H_{\text{о.н}} + H_k); \quad (21)$$

б) с изменением конфигурации в плане (рис. 4)

$$V_{\text{н.п}} = V_{\text{н.а}} + V_{\text{н.аж}}, \quad (22)$$

где $V_{\text{н.а}}$ — вместимость внутреннего отвала ниже уровня дневной поверхности до границы перехода на комбинированный транспорт

$$V_{\text{н.а}} = \frac{W_a}{4k_{\text{р.о}}} (L_{\text{о.н.н}} + L_{\text{о.н.а}}) (H_{\text{о.н}} + H_a); \quad (23)$$

$V_{\text{н.аж}}$ — вместимость внутреннего отвала ниже уровня дневной поверхности после перехода на комбинированный транспорт

$$V_{\text{н.аж}} = \frac{1}{4k_{\text{р.о}}} [(L_{\text{о.н.аж}} + L_{\text{о.н.к}}) (H_a + H_k) W_{\text{аж}} - 2H_a^2 \operatorname{ctg} \beta_{\text{р.н.п}} L_T (1 + \operatorname{tg} \beta \operatorname{ctg} \beta_{\text{р.н.п}})]. \quad (24)$$

Вместимость внутреннего отвала выше уровня дневной поверхности определяется по формулам:

а) без изменения конфигурации в плане

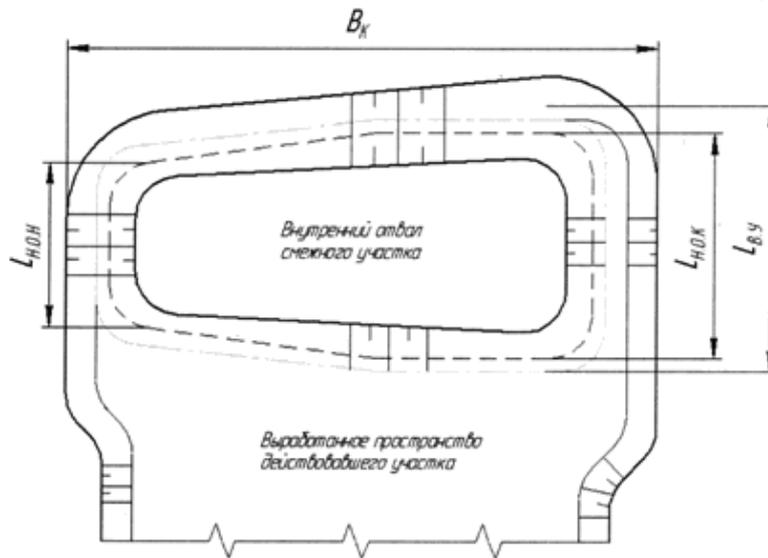


Рис. 3. Схема к определению объема внутреннего отвала ниже уровня дневной поверхности без изменения конфигурации в плане

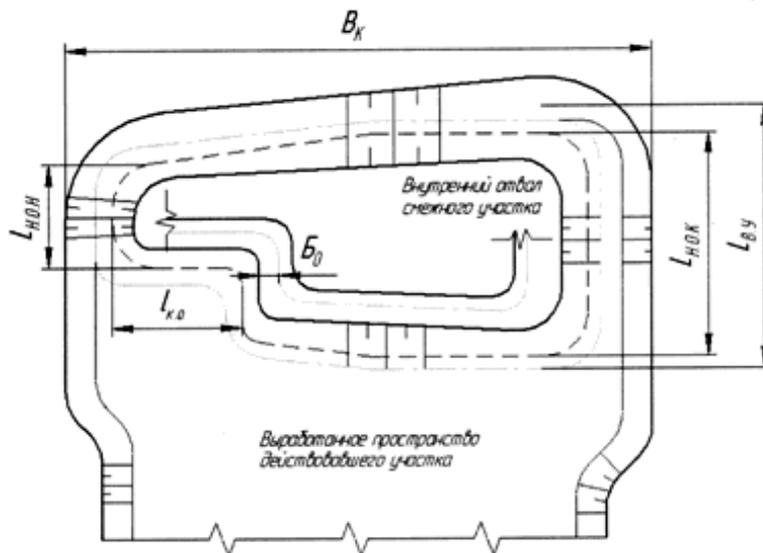


Рис. 4. Схема к определению объема внутреннего отвала ниже уровня дневной поверхности с изменением конфигурации в плане

$$V_B = \frac{l_k H_o}{2k_{p.o}} (L_{o.в.н} + L_{o.в.к}); \quad (25)$$

б) с изменением конфигурации в плане

$$V_{в.п} = V_{в.а} + V_{в.а.ж}, \quad (26)$$

где $V_{в.а}$ — вместимость внутреннего отвала выше уровня дневной поверхности до границы перехода на комбинированный транспорт

$$V_{в.а} = \frac{l_{к.а} H_o}{2k_{р.о}} (L_{о.в.н} + L_{о.в.а}); \quad (27)$$

$V_{в.аж}$ — вместимость внутреннего отвала выше уровня дневной поверхности после перехода на комбинированный транспорт

$$V_{в.аж} = \frac{H_o}{2k_{р.о}} [(L_{о.в.аж} + L_{о.в.к}) l_{к.аж} - L_T (2B_o + H_o \operatorname{ctg} \beta_{р.в.п}) - 2L_T H_a \operatorname{ctg} \beta_{р.н.п}]. \quad (28)$$

Ширина внутреннего отвала на уровне дневной поверхности к концу разработки смежного участка определяется по формулам:

а) без изменения конфигурации в плане

$$l_n = \frac{2V_{в.а} k_{р.о}}{H_o (L_{о.в.н} + L_{о.в.к})}; \quad (29)$$

б) с изменением конфигурации в плане:

если $V_{в.аж} \leq 0$

$$l_n = \frac{2V_{в.а} k_{р.о}}{H_o (L_{о.в.н} + L_{о.в.а})}; \quad (30)$$

если $V_{в.аж} > 0$

$$l_n = \frac{2V_{в.а} k_{р.о}}{H_o (L_{о.в.н} + L_{о.в.а})} + \frac{[2V_{в.аж} + 0,5H_o L_T (2B_o + H_o \operatorname{ctg} \beta_{р.в.п}) + H_o H_a \operatorname{ctg} \beta_{р.н.п}] k_{р.о}}{H_o (L_{о.в.аж} + L_{о.в.к})}. \quad (31)$$

Баланс вместимости отвалов определяется по выражению:

$$V_{бал.} = V_{в.у} - V_б - V_o - V_n - V_v. \quad (32)$$

Если $V_{бал.} \leq 0$, то во внутренний отвал выше уровня дневной поверхности относительно его вместимости необходимо уложить меньший объем вскрышных пород:

$$V_{в.ф} = V_{в.у} - V_б - V_o - V_n. \quad (33)$$

Объем вскрышных пород участка, складированных во внутренний отвал, определяется по выражениям:

при $V_{бал.} > 0$

$$V_{о.вр} = V_n + V_v; \quad (34)$$

при $V_{бал.} \leq 0$

$$V_{о.вр} = V_n + V_v - V_{бал.} / . \quad (35)$$

Если $V_{бал.} \leq 0$, то при определении ширины внутреннего отвала на уровне дневной поверхности к концу разработки участка l_n в формулу (29) вместо вместимости V_v подставляют расчетный объем $V_{в.ф}$, а в формулу (31) вместо $V_{в.аж}$ следует вписать разность $V_{в.ф} - V_{в.а}$.

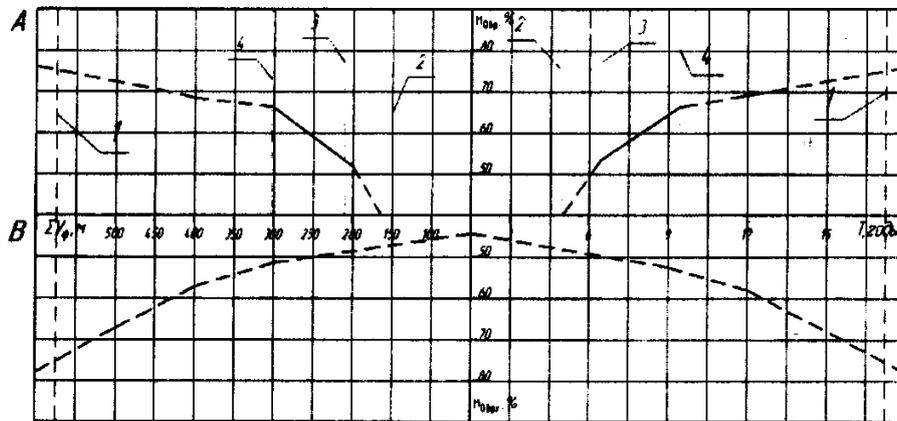


Рис. 5. Номограмма к определению в динамике развития вскрышной зоны объемов складирования вскрышных пород во внутренних валах:

A — на вовлеченном участке; *B* — на совместно разрабатываемых смежных участках карьерного поля; 1 — граница выравнивания текущих коэффициентов вскрыши на участках; 2 — окончание нарезки 2-го вскрышного уступа; 3—3-го; 4—4-го

Установлено влияния угла падения угольного пласта на объем складирования вскрышных пород смежного участка во внутренних отвалах для вышеописанных вариантов. Расчеты показывают, что с уменьшением угла падения до $\beta = 4^{\circ}$ весь объем вскрышных пород участка разместится на отвалах по варианту 1, из них 93,5 % во внутреннем отвале. Наоборот, при увеличении угла его падения до $\beta = 12^{\circ}$ во внутренний отвал возможно разместить только от $\mu_{о.вр} = 52\%$ по варианту 1 до $\mu_{о.вр} = 71\%$ по варианту 3.

Избыток вместимости в объеме $V_{изб} = |V_{бал}|$ снимается с объема складирования во внешний отвал и добавляется к объему складирования во внутренний отвал до полного заполнения. Таким образом, объем размещения вскрышных пород смежного участка в его выработанном пространстве (внутреннем отвале) возрастет до $\mu_{о.вр} = 92\%$. Превышение внутреннего отвала над дневной поверхностью в этом случае останется без изменения, а высота внешнего отвала снизится до $H_{о.скр} = 30$ м.

Установлено влияния совместной разработки смежных участков карьерного поля на объемы складирования вскрышных пород во внутренних отвалах. В динамике формирования вскрышной зоны эти зависимости иллюстрируются на номограмме (рис. 5).

В ней сроки развития вскрышной зоны с окончанием нарезки новых вскрышных уступов увязаны с интенсивностью горных работ и показана граница выравнивания значений текущего коэффициента вскрыши. После окончания нарезки второго вскрышного уступа начинается нарезка третьего вскрышного уступа и т.д. С началом нарезки третьего вскрышного уступа более 50 % вскрыши нового участка размещается в выработанном пространстве, после нарезки четвертого вскрышного уступа — более 65 % (в зависимости от мощности угольного горизонта и угла его падения до 80—85 %) и с этого периода более 50 % вскрыши в

целом по карьеру складывается в выработанном пространстве. После этого, при выравнивании на обоих участках текущего коэффициента вскрыши, более 65 % вскрыши (до 70—75 %) возможно перемешать в выработанное пространство и размещать в границах карьерного поля. При отработке участка Восточного — 50 %, т.е. больше на 25÷35 %.

Для определения начала заполнения выработанного пространства внутренним отвалом необходимо увязать сроки нарезки новых вскрышных уступов через интенсивность их подвигания с параметрами выработанного пространства и объемом внешнего отвала.

Минимизация срока перехода на внутреннее отвалообразование, за счет интенсивной нарезки вскрышных уступов при реализации инновационного способа вскрытия с оптимальными объемами горных работ на участках, увеличивает объемы складирования вскрышных пород во внутренних отвалах на 25—35 %.

При увеличении угла падения угольного пласта наибольший объем складирования вскрышных пород во внутренних отвалах достигается при подводе железнодорожных путей к добычным забоям через участок первоочередной разработки, а при 12 градусах эта доля соответствует 71 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молдабаев С.К. Совершенствование схемы и порядка вскрытия пологопадающих залежей // Горный журнал. — Москва, 2008. — № 6. — С. 56—59.

2. Ракишев Б.Р., Молдабаев С.К. Ресурсосберегающее вскрытие при вовлечении в разработку смежного участка карьерного поля // Горный информационно-аналитический бюллетень. Научный симпозиум

«Неделя горняка — 2009». — М.: МГУ, 2009. — № 9 — С. 196—205.

3. Молдабаев С.К., Иргебаев Г.Е., Шулаева Н.А., Сыздыков А.Х. Способ вскрытия породных горизонтов при открытой разработке пологонаклонных пластов полезных ископаемых. Инновационный патент на изобретение РК № 22058 от 15.12.2009.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ракишев Б.Р. — академик НАН РК, доктор технических наук, профессор, e-mail: b.rakishev@mail.ru, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева,

Молдабаев С.К. — доктор технических наук, профессор, e-mail: moldabaev_s_k@mail.ru, Екибастузский инженерно-технический институт им. акад. К.И. Сатпаева, технический консультант ТОО «Майкубен-Вест».

