

# ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ВИДОБУВНИХ, РОЗКРИВНИХ І ВНУТРІШНЬОКАР'ЄРНИХ ВІДВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ КРУТОСПАДНИХ РОДОВИЩ ІЗ ТИМЧАСОВИМ ВНУТРІШНІМ ВІДВАЛОУТВОРЕННЯМ

*В.В. Перегудов, В.Г. Пшеничний, В.Ф. Плотніков, В.В. Терещенко,  
ДП «ДПП «Кривбаспроект», Україна*

Досліджено режими видобувних, розкривних і внутрішньо-кар'єрних відвальних робіт при відпрацюванні крутоспадних родовищ із тимчасовим внутрішнім відвалоутворенням. Визначено залежність об'єму тимчасового внутрішнього відвалу від глибини початку внутрішнього відвалоутворення. Розраховані значення об'єму тимчасового внутрішнього відвалу у відсотках від загального об'єму розкривних порід у контурах кар'єру при різних значеннях горизонтальної потужності покладу та довжини кар'єру низом. Визначено залежності об'єму внутрішнього відвалу та максимального об'єму переєкскавації від горизонтальної потужності покладу та довжини кар'єру понизу.

**Постановка проблеми та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Гірничо-металургійний комплекс є важливою галуззю економіки України та забезпечує до 40 % валютних надходжень до країни. Важливою складовою гірничо-металургійного комплексу є гірничовидобувна промисловість, що забезпечує його сировиною.

Техніко-економічні показники роботи гірничо-збагачувальних комбінатів постійно погіршуються. Основною причиною цього є значне зростання глибини залізородних кар'єрів, які на сьогодні досягли глибин розробки 350–460 м при проектних 500–600 м і більше. У собівартості видобутку руди на сучасних потужних кар'єрах 30–40 % складають витрати на транспортування гірничої маси.

Технологією, що дозволяє зменшити витрати на відпрацювання крутоспадного родовища за рахунок зниження собівартості переміщення розкривних порід кар'єрним транспортом, є внутрішнє відвалоутворення. Крім того, при внутрішньому відвалоутворенні зменшуються обсяги відчуження земельних площ під зовнішні відвали, а також поліпшується екологічна ситуація в прилеглий території. Формування тимчасового внутрішнього відвалу дозволяє розпочати внутрішнє відвалоутворення до досягнення кар'єром кінцевої глибини, при цьому необхідно враховувати подальше багаторазове переміщення тимчасового внутрішнього відвалу в межах кар'єру до постійного положення внутрішнього відвалу при досягненні кінцевої глибини.

Аналіз технологій внутрішнього відвалоутворення та їх практичного застосування на кар'єрах, які розробляють крутоспадні родовища, показав, що більшість досліджень направлена на розроблення технологій із формуванням постійного внутрішнього відвалу. Однак, на сьогодні більш актуальними є технології тимчасового внутрішнього відвалоутворення, що дозволяють розпочати останнє до досягнення кар'єром кінцевої глибини розробки.

У дослідженнях, що передбачають формування тимчасового внутрішнього відвалу, не достатньо розглянуті питання взаємозв'язку параметрів видобувних, розкривних і внутрішньокар'єрних відвальних робіт, а також раціональної глибини початку внутрішнього відвалоутворення та доцільного об'єму внутрішньокар'єрної переєкскавації розкривних порід.

**Постановка задачі.** Важливим завданням при розгляді можливості здійснення внутрішнього відвалоутворення на кар'єрах, що розробляють крутоспадні родовища, є визначення економічно доцільного об'єму внутрішнього відвалу, що залишиться в кінцевих контурах кар'єру, а також економічно доцільної глибини початку внутрішнього відвалоутворення, що в свою чергу залежать від гранично допустимого об'єму переєкскавації розкривних порід при тимчасовому внутрішньому відвалоутворенні. При

цьому виникає задача дослідження режимів видобувних, розкривних і внутрішньокар'єрних відвальних робіт та обґрунтування параметрів тимчасового внутрішнього відвалоутворення залежно від параметрів кар'єру.

**Викладення матеріалу.** В результаті виконаних досліджень встановлено, що глибина початку внутрішнього відвалоутворення та об'єм тимчасового внутрішнього відвалу залежать від економічно обґрунтованого гранично допустимого об'єму переєкскавації розкривних порід. Чим на меншій глибині буде формуватися тимчасовий внутрішній відвал, тим більша кількість його переєкскавацій буде необхідною, а тому зростає й сумарний об'єм переєкскавації розкривних порід.

В основу методу визначення гранично допустимих об'ємів переєкскавації розкривних порід при внутрішньому відвалоутворенні покладено розрахунковий принцип, відповідно до якого впродовж експлуатаційного періоду роботи кар'єру із внутрішнім відвалоутворенням поточна собівартість виробництва концентрату з руди, яка видобувається в кар'єрі, повинна бути меншою або дорівнювати значенню допустимої собівартості концентрату [1].

Гранично допустимий об'єм переєкскавації розкривних порід  $V_{nep}^{max}$  (м<sup>3</sup>), визначений за умови  $c_{к.дон} \geq c_{к.вн}$ , дорівнює

$$V_{nep}^{max} = \sum_{t=1}^T \frac{c_{к.дон} \cdot \gamma_k \cdot A_{pt} - (a + a_k) \cdot A_{pt} - b_3 \cdot V_t + (b_3 - b_{вн}) \cdot V_{внт}}{b_{nep}} \cdot \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (1)$$

де  $c_{к.дон}$  – допустима собівартість виробництва концентрату, грн/т;

$c_{к.вн}$  – поточна собівартість виробництва концентрату з руди при роботі кар'єру із внутрішнім відвалоутворенням, грн/т;

$A_{pt}$  і  $V_t$  – об'єми руди й розкриву, що виймається в t-му році експлуатації кар'єру, відповідно т і м<sup>3</sup>;

$V_{внт}$  – об'єм складування розкривних порід у внутрішній відвал у t-му році роботи кар'єру, м<sup>3</sup>;

$E$  – ставка дисконтування, частки од.

Глибина етапу внутрішнього відвалоутворення  $H_e$  для розробленої технології внутрішнього відвалоутворення з формуванням тимчасового внутрішнього відвалу з технологічно можливої та економічно доцільної глибини розробки з його подальшим багаторазовим переміщенням транспортним і безтранспортним способами до кінцевої глибини розробки [2-3], визначається за максимальним питомим об'ємом переєкскавації розкривних порід драглайном з розрахунку на одну переєкскавацію  $V_{nep}^{op'}$  (рис. 1). Питомий

об'єм переєкскавації розкривних порід драглайном за одну переєкскавацію  $V_{nep}^{op'}$  (м<sup>3</sup>) з урахуванням об'ємів переєкскавації розкривних порід драглайном та кількості їх переєкскавацій до тимчасового внутрішнього відвалу визначається для різної глибини етапів, яка приймається кратною висоті уступу ( $H_{e1}, H_{e2}, \dots, H_{eN}$ ), за формулою

$$V_{nep}^{op'} = \frac{S_{nep}^{op'} \cdot H_e \cdot (B_0 + 2 \cdot (H_k - H_{вн.відв}^{min}) \cdot \text{ctg } \beta_n)}{H_k - H_{вн.відв}^{min}}, \quad (2)$$

де  $H_k$  – кінцева глибина кар'єру, м;

$H_{вн.відв}^{min}$  – мінімальна глибина початку внутрішнього відвалоутворення, м;

$S_{nep}^{op'}$  – середня площа поперечного перерізу частини тимчасового внутрішнього відвалу, що переєкскавовується драглайном, м<sup>2</sup>;

$B_0$  – ширина дна кар'єру, м;

$\beta_n$  – кут укосу неробочого борту кар'єру, град.

$$S_{неp}^{dp} = \frac{S_1 + S_2}{2}; \quad (3)$$

$$S_1 = (R_q^{max} - (b_1 - c - \frac{D}{2}) - H_{я.вн.в} \cdot ctg \beta_{я.вн.в}) \cdot H_{я.вн.в}; \quad (4)$$

$$S_2 = (R_p^{max} - \frac{D}{2} - c - H_e \cdot ctg \beta_n^y - b_1)^2 \cdot tg \beta_{я.вн.в}, \quad (5)$$

де  $R_q^{max}$  – максимальний радіус черпання драглайна, м;

$R_p^{max}$  – максимальний радіус розвантаження драглайна, м;

$b_1$  – берма між брівками уступу й відвалу, м;

$c$  – берма обвалення, м;

$D$  – діаметр бази драглайна, м;

$\beta_n^y$  – кут укошу неробочої групи уступів, град.;

$\beta_{я.вн.в}$  – кут укошу ярусу відвалу, град.;

$H_{я.вн.в}$  – висота ярусу відвалу, м.

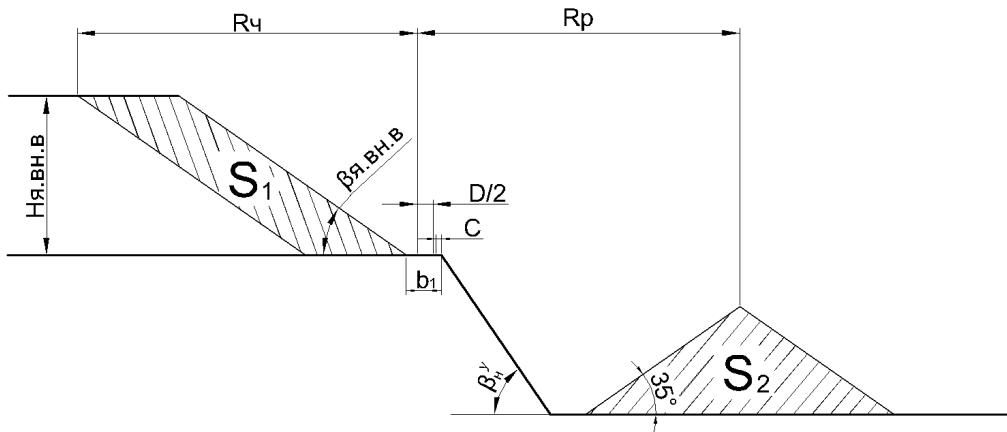


Рис. 1. Схема до визначення глибини етапу внутрішнього відвалуотворення й об'єму переєкспавації розкривних порід драглайном

Максимальна економічно доцільна кількість переєкспавацій тимчасового внутрішнього відвалу визначається за формулою

$$N_{неp}^{max} = \frac{H_k - H_{вн.відв}^{min}}{H_e}. \quad (6)$$

Для визначення об'ємів складування розкривних порід у тимчасовий внутрішній відвал за роками розробки кар'єру з внутрішнім відвалуотворенням було складено економіко-математичну модель. Цільовою функцією економіко-математичної моделі є така, грн

$$F_{цвл} = (\gamma_k \cdot (Ц_k - a_k) - a) \cdot \sum_{t=1}^T (D_t \cdot A_p) - b_3 \cdot \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^R (D_t \cdot V_{nt}) + \quad (7)$$

$$+ (b_3 - b_{вн}) \cdot \sum_{t=L}^T V_{внт} \cdot D_t - b_{неp} \cdot \sum_{t=L}^T (V_{непт} \cdot D_t) - b_0 \cdot V_0 \rightarrow \max,$$

де  $D_t$  – коефіцієнт дисконтування витрат у  $t$ -му році, частки од.;

$V_{nt}$  – продуктивність кар’єру по розкривних породах у n-му періоді роботи з однаковим коефіцієнтом розкриву t-го року, м<sup>3</sup>/рік;

$N$  – кількість періодів роботи кар’єру з однаковим коефіцієнтом розкриву;

$R$  – кількість років експлуатації кар’єру в n-му періоді з однаковим коефіцієнтом розкриву;

$L$  – рік початку розробки кар’єру з внутрішнім відвалоутворенням, років;

$V_{непт}$  – об’єм переєккавації порід тимчасового внутрішнього відвалу в t-му році експлуатації кар’єру, м<sup>3</sup>;

$V_0$  – об’єм гірничо-капітальних робіт, м<sup>3</sup>.

$$D_t = \frac{1}{(1+E)^t}. \quad (8)$$

Цільова функція оптимізується до максимуму, тобто

$$F_{цїл} \rightarrow \max \quad (9)$$

Цільова функція має таку систему обмежень

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{внт} \geq 0, \\ V_{непт} \geq 0, \\ V'_{зт} \geq 0, \\ \sum_{t=1}^M V_{внтк} \leq V_{т.вн.вк}^{\max}, \\ \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^M V_{непт} = \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{t=1}^M (V_{внт} + V'_{зт}), \\ V_{внт} + V'_{зт} = V_{нт}, \\ V_{внт} \leq w \cdot Q_{б}, \\ V_{непт} \leq x \cdot Q_{неп}, \end{array} \right. \quad (10)$$

де  $V'_{зт}$  – об’єм розкривних порід тимчасового внутрішнього відвалу, що не переєккавовується, а вивозиться на зовнішній відвал у t-му році експлуатації кар’єру, м<sup>3</sup>;

$M$  – тривалість k-го етапу експлуатації кар’єру з внутрішнім відвалоутворенням, років;

$V_{внтк}$  – об’єм складування розкривних порід до внутрішнього відвалу в t-му році k-го етапу експлуатації кар’єру з внутрішнім відвалоутворенням, м<sup>3</sup>;

$V_{т.вн.вк}^{\max}$  – максимальний об’єм тимчасового внутрішнього відвалу на k-му етапі експлуатації кар’єру, м<sup>3</sup>;

$K$  – кількість етапів експлуатації кар’єру з внутрішнім відвалоутворенням;

$w$  – кількість бульдозерів у роботі при формуванні внутрішнього відвалу;

$Q_{б}$  – продуктивність бульдозера, м<sup>3</sup>/рік;

$x$  – кількість екскаваторів або драглайнів у роботі при переєккавації порід тимчасового внутрішнього відвалу;

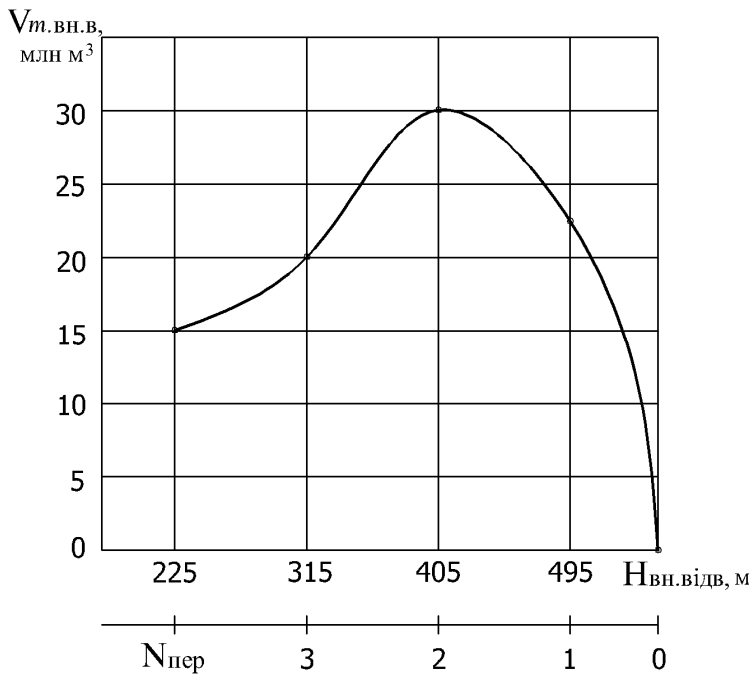
$Q_{неп}$  – продуктивність екскаватора або драглайна при переєккавації порід тимчасового внутрішнього відвалу, м<sup>3</sup>/рік.

Оптимальна глибина початку внутрішнього відвалоутворення  $H_{вн.відв}$  визначається із використанням методики планування режимів видобувних, розкривних і внутрішньокар’єрних

відвальних робіт [4], яка передбачає визначення параметрів режимів видобувних, розкривних і внутрішньокар'єрних відвальних робіт для конкретних параметрів кар'єру.

Об'єм тимчасового внутрішнього відвалу залежить від глибини початку внутрішнього відвалоутворення. Ураховуючи, що кількість переєкспавацій  $N_{пер}$ , шт., залежить від глибини початку внутрішнього відвалоутворення  $H_{вн.відв}$ , м, а об'єм тимчасового внутрішнього відвалу ( $m^3$ ) дорівнює відношенню допустимого об'єму переєкспавації розкривних порід  $V_{пер}^{max}$ ,  $m^3$ , до кількості переєкспавацій тимчасового внутрішнього відвалу  $N_{пер}$ , шт., – об'єм тимчасового внутрішнього відвалу залежить від глибини початку внутрішнього відвалоутворення й визначається за формулою:

$$V_{т.вн.в} = \frac{V_{пер}^{max} \cdot H_e}{H_k - H_{вн.відв}} \quad (11)$$



Визначено, що залежність об'єму тимчасового внутрішнього відвалу від глибини початку внутрішнього відвалоутворення має параболічну форму, й визначає границі тимчасового внутрішнього відвалоутворення за глибиною (рис. 2).

Для умовного кар'єру при різних значеннях потужності покладу (50–150 м) і довжини кар'єру низом (200-2000 м) розраховані значення об'єму тимчасового внутрішнього відвалу у відсотках від загального об'єму розкривних порід у контурах кар'єру, які наведені у таблиці 1.

Рис. 2. Залежність об'єму тимчасового внутрішнього відвалу від глибини початку внутрішнього відвалоутворення

Таблиця 1 – Значення об'єму тимчасового внутрішнього відвалу у відсотках від загального об'єму розкривних порід у контурах кар'єру при різних значеннях горизонтальної потужності покладу та довжини кар'єру низом

Довжина кар'єру понизу L, м	Горизонтальна потужність покладу m, м *										
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
200	<u>0,49</u> 0,30	<u>1,02</u> 0,51	<u>1,3</u> 0,65	<u>1,79</u> 0,9	<u>1,2</u> 0,6	<u>2,1</u> 1,05	<u>1,84</u> 0,92	<u>2,32</u> 1,16	<u>1,83</u> 0,92	<u>2,83</u> 1,42	<u>2,72</u> 1,36
400	<u>1,67</u> 0,84	<u>1,5</u> 0,75	<u>2,37</u> 1,18	<u>3,16</u> 1,58	<u>2,8</u> 1,4	<u>3,62</u> 1,81	<u>3,1</u> 1,55	<u>3,89</u> 1,94	<u>4,63</u> 2,31	<u>3,94</u> 1,97	<u>4,69</u> 2,35
600	<u>2,51</u> 1,26	<u>2,58</u> 1,29	<u>2,55</u> 1,27	<u>3,64</u> 1,82	<u>3,4</u> 1,7	<u>4,47</u> 2,24	<u>5,51</u> 2,75	<u>5,12</u> 2,56	<u>6,14</u> 3,07	<u>5,65</u> 2,83	<u>6,65</u> 3,32
800	<u>2,99</u> 1,49	<u>3,29</u> 1,64	<u>3,45</u> 1,72	<u>4,71</u> 2,36	<u>4,72</u> 2,36	<u>4,65</u> 2,32	<u>5,87</u> 2,94	<u>5,64</u> 2,82	<u>6,82</u> 3,41	<u>7,98</u> 3,99	<u>7,63</u> 3,82

1000	$\frac{3,26}{1,63}$	$\frac{3,7}{1,85}$	$\frac{4,06}{2,03}$	$\frac{4,27}{2,13}$	$\frac{5,66}{2,83}$	$\frac{5,75}{2,88}$	$\frac{5,76}{2,88}$	$\frac{7,08}{3,54}$	$\frac{6,97}{3,49}$	$\frac{8,27}{4,14}$	$\frac{8,05}{4,03}$
1200	$\frac{3,38}{1,69}$	$\frac{3,94}{1,97}$	$\frac{4,43}{2,22}$	$\frac{4,79}{2,4}$	$\frac{6,3}{3,15}$	$\frac{6,54}{3,27}$	$\frac{6,69}{3,34}$	$\frac{8,15}{4,08}$	$\frac{8,19}{4,09}$	$\frac{8,16}{4,08}$	$\frac{9,56}{4,78}$
1400	$\frac{2,8}{1,4}$	$\frac{4,08}{2,04}$	$\frac{4,65}{2,33}$	$\frac{5,13}{2,57}$	$\frac{5,54}{2,77}$	$\frac{7,1}{3,55}$	$\frac{7,39}{3,69}$	$\frac{7,61}{3,8}$	$\frac{9,13}{4,56}$	$\frac{9,23}{4,61}$	$\frac{10,74}{5,37}$
1600	$\frac{2,56}{1,28}$	$\frac{4,09}{2,04}$	$\frac{4,75}{2,38}$	$\frac{5,36}{2,68}$	$\frac{5,86}{2,93}$	$\frac{7,5}{3,75}$	$\frac{7,9}{3,95}$	$\frac{8,21}{4,11}$	$\frac{9,83}{4,91}$	$\frac{10,06}{5,03}$	$\frac{10,2}{5,1}$
1800	$\frac{2,35}{1,18}$	$\frac{3,67}{1,83}$	$\frac{5,25}{2,63}$	$\frac{5,47}{2,73}$	$\frac{7,18}{3,59}$	$\frac{7,76}{3,88}$	$\frac{8,25}{4,13}$	$\frac{8,68}{4,34}$	$\frac{9,02}{4,51}$	$\frac{10,67}{5,34}$	$\frac{10,95}{5,48}$
2000	$\frac{2,18}{1,09}$	$\frac{3,4}{1,7}$	$\frac{4,86}{2,43}$	$\frac{6,55}{3,27}$	$\frac{7,27}{3,64}$	$\frac{7,93}{3,96}$	$\frac{8,5}{4,25}$	$\frac{9,01}{4,51}$	$\frac{9,45}{4,72}$	$\frac{11,16}{5,58}$	$\frac{11,50}{5,76}$

\* – у чисельнику наведене максимальне значення, у знаменнику – мінімальне.

Виконаними дослідженнями встановлено, що об'єм тимчасового внутрішнього відвалу знаходиться в межах 0,3–11,5 % від загального об'єму розкривних порід у контурах кар'єру.

В результаті дослідження параметрів кар'єру і тимчасового внутрішнього відвалу отримані залежності об'єму внутрішнього відвалу від горизонтальної потужності покладу при різних значеннях довжини кар'єру низом (рис. 3) і об'єму переекскавації тимчасового внутрішнього відвалу від горизонтальної потужності покладу при різних значеннях довжини кар'єру низом (рис. 4).

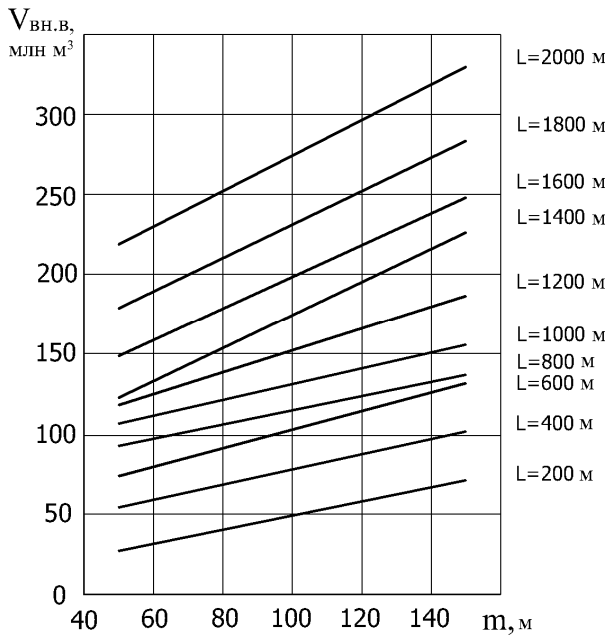


Рис. 3. Залежність об'єму внутрішнього відвалу від горизонтальної потужності покладу при різних значеннях довжини кар'єру низом

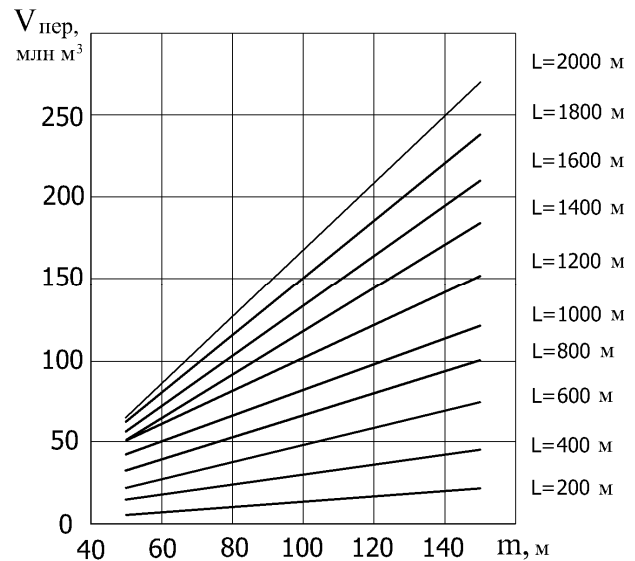


Рис. 4. Залежність об'єму переекскавації тимчасового внутрішнього відвалу від горизонтальної потужності покладу при різних значеннях довжини кар'єру низом

Залежність об'єму внутрішнього відвалу від горизонтальної потужності покладу  $m$  при різних значеннях довжини кар'єру понизу  $L$  являє собою сімейство прямих із різним кутом нахилу. При цьому тангенс кута нахилу прямих дорівнює відношенню об'єму внутрішнього відвалу до потужності покладу. Діапазон зміни кутів нахилу прямих залежності об'єму внутрішнього відвалу  $V_{\text{вн.в.}}$  від потужності покладу  $m$  при різних значеннях довжини кар'єру понизу  $L$  змінюється від 11,5° до 27,1°.

Залежність об'єму переєкспавації від горизонтальної потужності покладу  $m$ , м, при різних значення довжини кар'єру понизу  $L$ , м, являє собою сімейство прямих із різним кутом нахилу. При цьому тангенс кута нахилу прямих дорівнює відношенню об'єму переєкспавації до потужності покладу. Діапазон зміни кутів нахилу прямих залежності об'єму переєкспавації  $V_{пер}$  від потужності покладу  $m$  при різних значеннях довжини кар'єру понизу  $L$  змінюється від  $4,3^\circ$  до  $43,4^\circ$ .

#### **Висновки і рекомендації щодо використання результатів досліджень.**

В результаті виконаних досліджень режимів видобувних, розкривних і внутрішньокар'єрних відвальних робіт визначено, що об'єм тимчасового внутрішнього відвалу прямо пропорційний добутку значень допустимого об'єму переєкспавації розкривних порід і глибини етапу та обернено пропорційний різниці кінцевої глибини кар'єру та глибини початку внутрішнього складування порід розкриву, і в залежності від потужності покладу (50–150 м) і довжини кар'єру низом (200–2000 м) знаходиться в межах 0,3–11,5% від загального об'єму розкривних порід у контурах кар'єру. Дана залежність має параболічну форму та визначає границі тимчасового внутрішнього відвалоутворення за глибиною. Також визначена прямолінійна форма залежності об'єму внутрішнього відвалу й максимального об'єму переєкспавації від горизонтальної потужності покладу та довжини кар'єру понизу.

#### **Список літератури:**

1. Пшеничный В.Г. Расчетный принцип и метод определения предельно допустимых объемов переэкскавации вскрышных пород при внутреннем отвалообразовании / В.Г. Пшеничный // Моніторинг та мінімізація негативного впливу господарської діяльності залізородних підприємств України на навколишнє природне середовище : міжнар. наук.-техн. конф., 8 жовт. 2010 р. : тези доп. – Кривий Ріг, 2010. – С. 95–97.
2. Технология внутреннего отвалообразования с формированием временного внутреннего отвала / В.Г. Пшеничный, Н.Н. Пыжик // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2014. – Вип. 37. – С. 64–68.
3. Пшеничный В.Г. Патент на корисну модель України № 44540. Спосіб відкритої розробки крутоспадних родовищ корисних копалин з внутрішнім відвалоутворенням / Пшеничний В.Г., Пижик М.М. – u200903439; заявл. 10.04.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. №19.
4. Пшеничный В.Г. Методика оптимизации режимов добычных, вскрышных и внутрикарьерных отвальных работ с учетом их взаимосвязи при разработке крутопадающих месторождений с применением технологии внутреннего отвалообразования / В.Г. Пшеничный, Н.Н. Пыжик // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2014. – Вип. 37. – С. 18–22.

УДК [622.271.33+622.023.42].001.57

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ НА ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

*А.С. Ковров, Национальный горный университет, Украина*

*Б.Р. Ракишев, А.У. Кожантов, А.Е. Куттыбаев, Казахский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Республика Казахстан*

В работе представлены результаты экспериментальных исследований, связанных с использованием эквивалентных материалов для оценки устойчивости карьерных откосов. Выявлены закономерности возникновения деформаций в откосе и рекомендованы предельно устойчивые углы наклона откоса.