

© А.А. Адамчук<sup>1</sup>, О.О. Шустов<sup>1</sup>, А.О. Шустова<sup>1</sup>, В.А. Тертишний<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗВИТКУ РОБОЧОЇ ЗОНИ ПРИ ДОРОБЦІ ГЛИБОКИХ КРУТОСПАДНИХ РОДОВИЩ

© A. Adamchuk<sup>1</sup>, O. Shustov<sup>1</sup>, A. Shustova<sup>1</sup>, V. Tertyshnyi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## RESEARCH OF WORKING AREA DEVELOPMENT PARAMETERS IN CONDITIONS OF DEEP STEEP DEPOSIT FINALIZING

**Мета.** Розробити методику обчислення параметрів розвитку робочої зони та доцільного положення контурів кар'єру при доробці глибоких крутоспадних родовищ відкритим способом.

**Методика.** Встановлення залежностей параметрів відкритої доробки крутоспадних родовищ глибокого залягання, а саме їх об'ємів і площ поперечного перерізу здійснювалось шляхом розкладання складного явища (загальний об'єм доробки запасів родовища) на прості: його приконтурну та глибинну зону. Алгоритм включає в себе методи аналізу, абстрагування, синтезу та узагальнення.

**Результати.** Отримано формули розрахунку об'єму запасів корисних копалин в приконтурній та глибинній зоні. Встановлено характер впливу параметрів доробки глибоких крутоспадних родовищ відкритим способом на доцільне положення поточних та проектних контурів кар'єру. Встановлено, що найменший середній коефіцієнт розкриття досягається при мінімальному значенні суми обсягів корисної копалини приконтурної зони лежачого і висячого боків покладу в проектному положенні. Найменший поточний коефіцієнт розкриття досягається при мінімальному значенні суми обсягів корисної копалини приконтурної зони лежачого і висячого боків покладу, а також робочого борту кар'єру в поточному положенні.

**Наукова новизна.** Для керування робочою зоною введено два нових параметри: відстань від проектного контуру кар'єра в лежачому боці до перетину лінії контуру корисних копалин лежачого боку і поверхні ( $b_x$ ), а також відстань від верхньої брівки борту кар'єру в лежачому боці в проектному положенні до верхньої брівки борту кар'єру в лежачому боці в поточному положенні ( $b$ ).

**Практична значимість.** Розроблена методика розрахунку параметрів приконтурної та глибинної зони родовища, яка дозволяє більш точно розраховувати контурний і поточний коефіцієнти розкриття, а також коригувати їх шляхом управління параметрами транспортних схем і перевантаження, а також введеними новими параметрами.

**Ключові слова:** доробка запасів кар'єру, глибокі крутоспадні родовища, об'єм корисної копалини, коефіцієнт розкриття, параметри робочої зони, математична модель.

**Вступ.** Приконтурна зона являє собою частину покладу корисної копалини, що не підготовлена до виймання, і прошарків пустих порід для розкриття якої необхідно провести рознесення борту кар'єра і знаходиться вище поточної відмітки дна кар'єра. Глибинна зона – це частина покладу корисної копалини, що не підготовлена до виймання, і прошарків пустих порід, що знаходиться нижче поточної відмітки дна кар'єру, для розкриття якої необхідно провести рознесення борту кар'єру і вилучити частину родовища в приконтурній зоні (рис. 1).

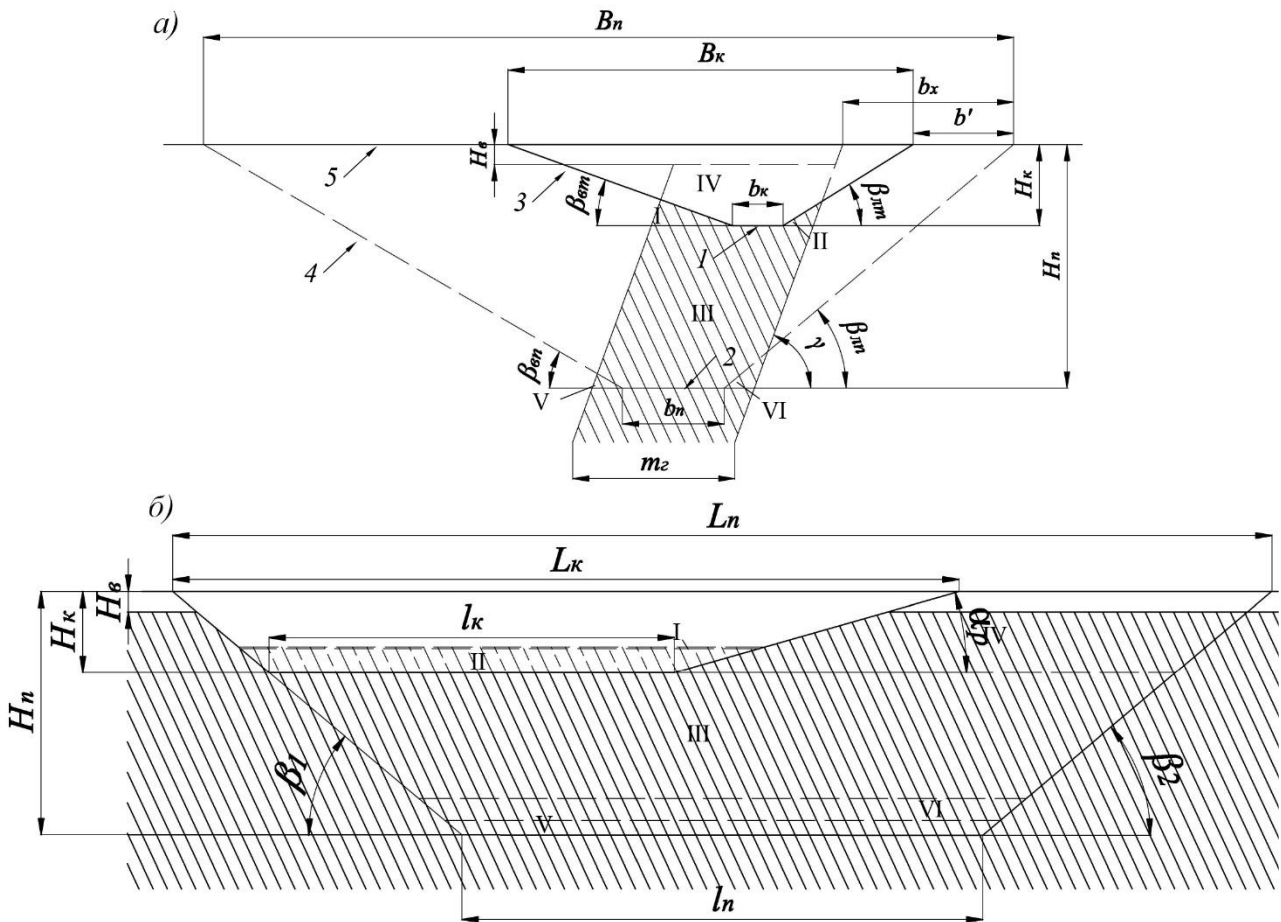


Рис. 1. Схема приконтурної й глибинної зони кар'єру, що розробляє пластове родовище крутого падіння поперечний (а) та поздовжній переріз (б):

1 – поточна відмітка дна кар'єру, 2 – проектна відмітка дна кар'єру, 3 – поточний контур кар'єра, 4 – проектний контур кар'єра, 5 – земна поверхня; I – поточне положення приконтурної зони висячого боку покладу, II – поточне положення приконтурної зони лежачого боку покладу, III – поточне положення глибинної зони покладу, IV – відроблена частина покладу, V – законтурна приконтурна зона висячого боку покладу, VI – законтурна приконтурна зона лежачого боку покладу;  $B_n$  – проектна ширина кар'єра верхом, м;  $B_k$  – поточна ширина кар'єра верхом, м;  $H_n$  – проектна глибина кар'єра, м;  $H_k$  – поточна глибина кар'єра, м;  $b_k$  – ширина кар'єра низом в поточному положенні, м;  $b_n$  – ширина кар'єра низом в проектному положенні, м;  $l_k$  – довжина кар'єра низом в поточному положенні, м;  $l_n$  – довжина кар'єра низом в проектному положенні, м;  $m_z$  – горизонтальна потужність покладу, м;  $\gamma$  – кут падіння покладу, град;  $\beta_{lm}$  – проектний кут укосу борта кар'єра в лежачому боці покладу, град;  $\beta_{en}$  – проектний кут укосу борта кар'єра в висячому боці покладу, град;  $\beta_{em}$  – поточний кут укосу борта кар'єра в лежачому боці покладу, град;  $\beta_{em}$  – поточний кут укосу борта кар'єра в висячому боці покладу, град;  $b_x$  – відстань від проектного контуру кар'єра в лежачому боці до перетину лінії контуру корисної копалини лежачого боку і поверхні, м;  $b'$  – відстань від верхньої брівки борта кар'єра в лежачому боці в проектному положенні до верхньої брівки борта кар'єра в лежачому боці в поточному положенні, м.

**Основна частина.** На рисунку 1 зображена наближена модель крутоспадного родовища корисної копалини глибокого залягання. Для подальшого аналізу параметрів розбиваємо його на складові частини: поточне положення приконтурної зони висячого боку покладу (I), поточне положення приконтурної зони лежачого боку покладу (II), поточне положення глибинної зони покладу (III), поточне положення приконтурної зони робочого борта кар'єра (IV), законтурна глибинна зона покладу, законтурна приконтурна зона висячого боку покладу (V), законтурна приконтурна зона лежачого боку покладу (VI), приконтурна та глибинна зони родовища в його торцях та його відроблена частина.

Для визначення доцільних параметрів розвитку робочої зони необхідно розробити методику обчислення об'єму корисної копалини в поточному та кінцевому положенні приконтурної зони висячого та лежачого боків покладу (I, II, V, VI), а також в поточному положенні глибинної зони та приконтурної зони робочого борта кар'єра (III, IV). Фігури I, II, V та VI представляють собою комбінацію двох прямокутних тетраедрів та трикутної призми, в основі яких лежить поперечний переріз відповідних приконтурних зон. Фігури III, IV представляють собою комбінацію двох півпризм та однієї призми, в основі яких лежить поперечний переріз відповідних глибинної та приконтурної зон. Площа цих перерізів може бути обчислена як аналітично, так і за даними геологічних розрізів.

Для можливості керування параметрами робочої зони при доробці глибоких крутоспадних родовищ відкритим способом у поперечному перерізі було прийнято рішення ввести нові параметри: відстань від проектного контуру кар'єра в лежачому боці до перетину лінії контуру корисної копалини лежачого боку і поверхні ( $b_x$ ) та відстань від верхньої брівки борта кар'єра в лежачому боці в проектному положенні до верхньої брівки борта кар'єра в лежачому боці в поточному положенні ( $b'$ ). Параметр  $b_x$  визначає положення проектного контуру кар'єра в поперечному перерізі і є незмінною величиною по всій його глибині. Параметр  $b'$  характеризує поточне положення контуру кар'єра в поперечному перерізі на глибині  $H_k$ .

Так, об'єм корисної копалини приконтурної зони висячого боку покладу в поточному положенні буде мати вид:

$$\begin{aligned}
 & \text{при } b_x \leq H_n(\operatorname{ctg} \beta_{en} + \operatorname{ctg} \beta_{en}) + b_n - H_k(\operatorname{ctg} \beta_{en} + \operatorname{ctg} \gamma) - m_z \\
 V_I &= S_I l_k + \frac{2S_I^2}{3(H_k(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta_{em}) + m_z + b_x - b_k - b')} (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \alpha_p), \text{ м}^3 \\
 V_I &= \frac{(H_k(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta_{em}) + m_z + b_x - b_k - b')^2 l_k}{2(\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{ctg} \beta_{em})} + \\
 & + \frac{(H_k(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta_{em}) + m_z + b_x - b_k - b')^3 (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \alpha_p)}{6(\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{ctg} \beta_{em})^2}, \text{ м}^3 \\
 V_I &= \frac{(H_k(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta_{em}) + m_z + b_x - b_k - b')^2}{2(\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{ctg} \beta_{em})} \cdot \\
 & \cdot \left( l_k + \frac{(H_k(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta_{em}) + m_z + b_x - b_k - b') (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \alpha_p)}{3(\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{ctg} \beta_{em})} \right), \text{ м}^3 \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{при } b_x > H_n(\text{ctg}\beta_{en} + \text{ctg}\beta_{.m}) + b_n - H_\kappa(\text{ctg}\beta_{en} + \text{ctg}\gamma) - m_z \\
 & V_I = \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\gamma - \text{ctg}\beta_{.m}) + m_z + b_x - b_\kappa - b')^2 l_\kappa}{2(\text{ctg}\gamma + \text{ctg}\beta_{en})} + \\
 & + \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\gamma - \text{ctg}\beta_{.m}) + m_z + b_x - b_\kappa - b')^3 (\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\alpha_p)}{6(\text{ctg}\gamma + \text{ctg}\beta_{en})^2} - \\
 & - \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{en} + \text{ctg}\gamma) + b_x + m_z - B_n)^2 l_m}{2(\text{ctg}\gamma + \text{ctg}\beta_{en})} - \\
 & - \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{en} + \text{ctg}\gamma) + b_x + m_z - B_n)^3 (\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\alpha_p)}{6(\text{ctg}\gamma + \text{ctg}\beta_{en})^2}, \text{M}^3 \\
 & V_I = \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\gamma - \text{ctg}\beta_{.m}) + m_z + b_x - b_\kappa - b')^2}{2(\text{ctg}\gamma + \text{ctg}\beta_{en})} \cdot \\
 & \cdot \left( l_\kappa + \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\gamma - \text{ctg}\beta_{.m}) + m_z + b_x - b_\kappa - b') (\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\alpha_p)}{3(\text{ctg}\gamma + \text{ctg}\beta_{en})} \right) - \\
 & - \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{en} + \text{ctg}\gamma) + b_x + m_z - B_n)^2}{2(\text{ctg}\gamma + \text{ctg}\beta_{en})} \cdot \\
 & \cdot \left( l_m + \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{en} + \text{ctg}\gamma) + b_x + m_z - B_n) (\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\alpha_p)}{3(\text{ctg}\gamma + \text{ctg}\beta_{en})} \right), \text{M}^3 \quad (2)
 \end{aligned}$$

Об'єм корисної копалини приконтурної зони лежачого боку покладу в поточному положенні:

$$\begin{aligned}
 & \text{при } b_x \geq H_{\kappa m}(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) \\
 & V_{II} = S_{II} l_\kappa + \frac{2S_{II}^2}{3(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x + b')} (\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\alpha_p) \\
 & V_{II} = \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x + b')^2 l_\kappa}{2(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma)} + \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x + b')^3 (\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\alpha_p)}{6(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma)^2}, \text{M}^3 \\
 & V_{II} = \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x + b')^2}{2(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma)} \left( l_\kappa + \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x + b') (\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\alpha_p)}{3(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma)} \right), \text{M}^3 \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{при } b_x < H_{\kappa m}(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) \\
 & V_{II} = \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x + b')^2 l_\kappa}{2(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma)} + \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x + b')^3 (\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\alpha_p)}{6(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma)^2} - \\
 & - \frac{(H_{\kappa m}(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x)^2 l_m}{2(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma)} - \frac{(H_{\kappa m}(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x)^3 (\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\alpha_p)}{6(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma)^2}, \text{M}^3 \\
 & V_{II} = \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x + b')^2}{2(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma)} \left( l_\kappa + \frac{(H_\kappa(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x + b') (\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\alpha_p)}{3(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma)} \right) - \\
 & - \frac{(H_{\kappa m}(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x)^2}{2(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma)} \left( l_m + \frac{(H_{\kappa m}(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma) - b_x) (\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\alpha_p)}{3(\text{ctg}\beta_{.m} - \text{ctg}\gamma)} \right), \text{M}^3 \quad (4)
 \end{aligned}$$

Обсяг корисної копалини в поточному положенні глибинної зони в загальному вигляді розраховується за формулою:

$$V_{III} = \frac{S_{III} (H_d - H_c) (ctg \beta_1 + ctg \beta_2)}{2} + S_{III} l_d, \text{ м}^3 \quad (5)$$

де:  $S_{III}$  – площа перерізу глибинної зони родовища,  $\text{м}^2$ ;  $H_d$  – проектна глибина кар'єру, м;  $H_c$  – поточна глибина кар'єру, м;  $\beta_1, \beta_2$  – результуючі кути укосу бортів кар'єру в протилежних торцях родовища в проектному положенні, град;  $l_d$  – проектна довжина кар'єра низом, м.

Площа перерізу глибинної зони родовища ( $S_{III}$ ) може бути обчислена за даними геологічних перерізів, а також аналітично. Поперечний переріз глибинної зони родовища (рис. 2), по осі абсцис обмежений контурами родовища, що представляють собою паралельні прямі на відстані  $m_2$  один від одного, нахилені під кутом  $\gamma$  до позитивного напрямку осі абсцис, де  $m_2$  – горизонтальна потужність корисної копалини, м;  $\gamma$  – кут падіння покладу, град. Виходячи з аналізу параметрів відкритих гірничих робіт на залізородних кар'єрах горизонтальна потужність корисної копалини ( $m_2$ ) знаходиться в межах 100-650 м, а кут падіння покладу  $\gamma$  – 40-90°. Значення цих параметрів визначаються природними факторами [1].

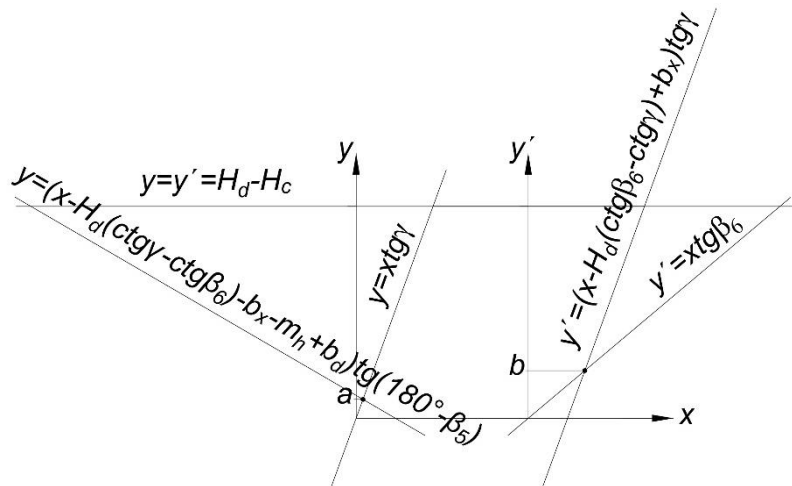


Рис. 2. Схема до визначення параметрів глибинної зони родовища

По осі ординат фігура обмежена рівнем поточної та граничної позначок дна кар'єра й проектним положенням його бортів. При чому відстань на рівні осі абсцис між ними становить ширину кар'єра низом в граничному положенні ( $b_d$ ). При цьому кут нахилу прямих, які представляють проектне положення бортів кар'єра, становить  $(180^\circ - \beta_5)$  і  $\beta_6$  до позитивного напрямку осі абсцис.

Підхід до розрахунку площі перерізу глибинної зони родовища змінюється в залежності від поточного стану рівня позначки дна кар'єра, вираженого рівнянням  $y = y' = H_d - H_c$ , и залежить від умов:

$$\begin{cases} H_d - H_c \geq a \\ H_d - H_c \geq b \end{cases} \begin{cases} H_d - H_c < a \\ H_d - H_c < b \end{cases} \begin{cases} H_d - H_c \geq a \\ H_d - H_c < b \end{cases} \begin{cases} H_d - H_c < a \\ H_d - H_c \geq b \end{cases} \quad (6)$$

Знайдемо значення  $a$  з системи рівнянь:

$$a = \begin{cases} y = x tg \gamma \\ y = (x - H_d) (ctg \gamma - ctg \beta_6) - b_x - m_h + b_d) tg (180^\circ - \beta_5) \end{cases} \quad (7)$$

где:  $\beta_5$  – результуючий кут укосу борту кар'єра з боку висячого боку покладу в проектному положенні, град;  $\beta_6$  – результуючий кут укосу борту кар'єра з боку лежачого боку покладу в проектному положенні, град;

$$\begin{aligned}
 x \operatorname{tg} \gamma &= (x - H_d(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta_6) - b_x - m_h + b_d) \operatorname{tg}(180^\circ - \beta_5) \\
 \frac{x \operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(180^\circ - \beta_5)} - x &= H_d(\operatorname{ctg} \beta_6 - \operatorname{ctg} \gamma) - b_x - m_h + b_d \\
 x \frac{\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg}(180^\circ - \beta_5)}{\operatorname{tg}(180^\circ - \beta_5)} &= H_d(\operatorname{ctg} \beta_6 - \operatorname{ctg} \gamma) - b_x - m_h + b_d \\
 x &= \frac{\operatorname{tg}(180^\circ - \beta_5)(H_d(\operatorname{ctg} \beta_6 - \operatorname{ctg} \gamma) - b_x - m_h + b_d)}{\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg}(180^\circ - \beta_5)} \\
 a &= \frac{\operatorname{tg}(180^\circ - \beta_5)(H_d(\operatorname{ctg} \beta_6 - \operatorname{ctg} \gamma) - b_x - m_h + b_d)}{\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg}(180^\circ - \beta_5)} \operatorname{tg} \gamma \\
 a &= \frac{(H_d(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta_6) + b_x - b_d + m_h)}{(\operatorname{ctg} \gamma + \operatorname{ctg} \beta_5)}, \text{ м}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Знайдемо значення  $b$  з системи рівнянь:

$$\begin{aligned}
 b &= \begin{cases} y' = x \operatorname{tg} \beta_6 \\ y' = (x - H_d(\operatorname{ctg} \beta_6 - \operatorname{ctg} \gamma) + b_x) \operatorname{tg} \gamma \end{cases} \\
 x \operatorname{tg} \beta_6 &= (x - H_d(\operatorname{ctg} \beta_6 - \operatorname{ctg} \gamma) + b_x) \operatorname{tg} \gamma \\
 \frac{x \operatorname{tg} \beta_6}{\operatorname{tg} \gamma} - x &= H_d(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta_6) + b_x \\
 x \frac{\operatorname{tg} \beta_6 - \operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \gamma} &= H_d(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta_6) + b_x \\
 x &= \frac{(H_d(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta_6) + b_x) \operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \beta_6 - \operatorname{tg} \gamma} \\
 b &= \frac{(H_d(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta_6) + b_x) \operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \beta_6 - \operatorname{tg} \gamma} \operatorname{tg} \beta_6 \\
 b &= \frac{(H_d(\operatorname{ctg} \beta_6 - \operatorname{ctg} \gamma) - b_x)}{(\operatorname{ctg} \beta_6 - \operatorname{ctg} \gamma)}
 \end{aligned} \tag{9}$$

Таким чином, в загальному випадку, площа перетину глибинної зони родовища визначається виходячи з наступної формули:

при  $H_d - H_c \geq a$ ,  $H_d - H_c \geq b$

$$S_{III} = m_h \cdot (H_d - H_c) - S_V - S_{VI}, \text{ м}^2 \tag{11}$$

при  $H_d - H_c < a$ ,  $H_d - H_c < b$

$$S_{III} = b_d(H_d - H_c) + \frac{(H_d - H_c)^2(\operatorname{ctg} \beta_5 + \operatorname{ctg} \beta_6)}{2}, \text{ м}^2 \tag{12}$$

при  $a \leq H_d - H_c < b$

$$S_{III} = (m_h + b_x)(H_d - H_c) + \frac{(H_d^2 - H_c^2)(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta_6)}{2} - S_V, \text{ м}^2 \tag{13}$$

при  $a > H_d - H_c \geq b$

$$S_{III} = (b_d + H_d \operatorname{ctg} \beta_6 - b_x)(H_d - H_c) - \frac{\operatorname{ctg} \gamma (H_d^2 - H_c^2)}{2} + \frac{\operatorname{ctg} \beta_5 (H_d - H_c)}{2} - S_{VI}, \text{ м}^2 \tag{14}$$

де:  $S_V$  – площа поперечного перерізу законтурної приконтурної зони висячого боку покладу,  $\text{м}^2$ ;  $S_{VI}$  – площа поперечного перерізу законтурної приконтурної зони лежачого боку покладу,  $\text{м}^2$ .

$$S_V = \frac{(H_d(\text{ctg } \gamma - \text{ctg } \beta_6) + b_x - b_d + m_h)^2}{2(\text{ctg } \gamma + \text{ctg } \beta_5)}, \text{м}^2 \quad (15)$$

$$S_{VI} = \frac{(H_d(\text{ctg } \beta_6 - \text{ctg } \gamma) - b_x)^2}{2(\text{ctg } \beta_6 - \text{ctg } \gamma)}, \text{м}^2 \quad (16)$$

Відомо, що найменші поточні обсяги розкривних робіт при однаковій виробничій потужності кар'єру досягаються за рахунок формування в одному з торців кар'єрного поля уступів у постійному проектному положенні й переміщення фронту розкривних робіт під певним кутом до поздовжнього напрямку залягання покладу [2]. Тому об'єм корисної копалини приконтурної зони робочого торця кар'єру в поточному положенні при паралельному переміщенні фронту гірничих робіт:

$$\begin{aligned} &\text{при } L_n \geq H_k(\text{ctg } \beta_1 + \text{ctg } \alpha_p) + l_k \\ V_{IV} &= S_{IV}(L_n - L_k) + \frac{S_{IV} \cdot (H_{KT} - H_n) \text{ctg } \alpha_p}{2} - \frac{S_{IV} \cdot (H_{KT} - H_n) \text{ctg } \beta_2}{2}, \text{м}^3 \\ V_{IV} &= m_2 \cdot (H_{KT} - H_n)(L_n - L_k) + \frac{m_2 \cdot (H_{KT} - H_n)^2 \text{ctg } \alpha_p}{2} - \frac{m_2 \cdot (H_{KT} - H_n)^2 \text{ctg } \beta_2}{2} \\ V_{IV} &= m_2 \cdot (H_{KT} - H_n)(L_n - L_k) + \frac{m_2 \cdot (H_{KT} - H_n)^2}{2} (\text{ctg } \alpha_p - \text{ctg } \beta_2) \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} &\text{при } L_n < H_k(\text{ctg } \beta_1 + \text{ctg } \alpha_p) + l_k \\ V_{IV} &= \frac{S_{IV}(L_n - H_k(\text{ctg } \beta_1 + \text{ctg } \beta_2) - l_k)(\text{ctg } \alpha_p - \text{ctg } \beta_2)}{2(\text{ctg } \alpha_p - \text{ctg } \beta_2)}, \text{м}^3 \\ V_{IV} &= \frac{m_2(H_k - H_n)(L_n - H_k(\text{ctg } \beta_1 + \text{ctg } \beta_2) - l_k)}{2}, \text{м}^3 \end{aligned} \quad (18)$$

Об'єм корисної копалини приконтурної зони висячого боку покладу в проектному положенні:

$$V_V = S_V l_n + \frac{2S_V^2}{3(H_n(\text{ctg } \gamma - \text{ctg } \beta_m) + b_x - b_n + m_2)} (\text{ctg } \beta_1 + \text{ctg } \beta_2), \text{м}^3 \quad (19)$$

$$\begin{aligned} V_V &= \frac{(H_n(\text{ctg } \gamma - \text{ctg } \beta_m) + b_x - b_n + m_2)^2 l_n}{2(\text{ctg } \gamma + \text{ctg } \beta_{en})} + \\ &+ \frac{(H_n(\text{ctg } \gamma - \text{ctg } \beta_m) + b_x - b_n + m_2)^3 (\text{ctg } \beta_1 + \text{ctg } \beta_2)}{6(\text{ctg } \gamma + \text{ctg } \beta_{en})^2}, \text{м}^3 \\ V_V &= \frac{(H_n(\text{ctg } \gamma - \text{ctg } \beta_m) + b_x - b_n + m_2)^2}{2(\text{ctg } \gamma + \text{ctg } \beta_{en})} \cdot \\ &\cdot \left( l_n + \frac{(H_n(\text{ctg } \gamma - \text{ctg } \beta_m) + b_x - b_n + m_2)(\text{ctg } \beta_1 + \text{ctg } \beta_2)}{3(\text{ctg } \gamma + \text{ctg } \beta_{en})} \right), \text{м}^3 \end{aligned} \quad (20)$$

Об'єм корисної копалини приконтурної зони лежачого боку покладу в проектному положенні:

$$V_{VI} = S_{VI} l_n + \frac{2S_{VI}^2}{3(H_n(\operatorname{ctg} \beta_m - \operatorname{ctg} \gamma) - b_x)} (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2), \text{ м}^3 \quad (21)$$

$$V_{VI} = \frac{(H_n(\operatorname{ctg} \beta_m - \operatorname{ctg} \gamma) - b_x)^2 l_n}{2(\operatorname{ctg} \beta_m - \operatorname{ctg} \gamma)} + \frac{(H_n(\operatorname{ctg} \beta_m - \operatorname{ctg} \gamma) - b_x)^3 (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2)}{6(\operatorname{ctg} \beta_m - \operatorname{ctg} \gamma)^2}, \text{ м}^3$$

$$V_{VI} = \frac{(H_n(\operatorname{ctg} \beta_m - \operatorname{ctg} \gamma) - b_x)^2}{2(\operatorname{ctg} \beta_m - \operatorname{ctg} \gamma)} \left( l_n + \frac{(H_n(\operatorname{ctg} \beta_m - \operatorname{ctg} \gamma) - b_x)(\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2)}{3(\operatorname{ctg} \beta_m - \operatorname{ctg} \gamma)} \right), \text{ м}^3 \quad (22)$$

Середній коефіцієнт розкриття розраховується як обсяг порід розкриття, поділений на обсяг корисної копалини в проектному контурі кар'єра. Збільшення обсягу корисної копалини призводить до зниження середнього коефіцієнта розкриття. Сума цих обсягів є постійною величиною. Положення кінцевого контуру кар'єра регулюється параметром  $b_x$ . У зв'язку з цим для досягнення більшого обсягу корисної копалини параметр  $b_x$  повинен бути таким, щоб обсяг корисної копалини в кінцевому положенні приконтурної зони кар'єру був мінімальним ( $V_V + V_{VI} \rightarrow \min$ ).

Поточний коефіцієнт розкриття розраховується як обсяг порід розкриття, поділений на обсяг корисної копалини в поточному контурі кар'єра. На відміну від кінцевого контуру, поточний контур регулюється параметром  $b'$  і підпорядковується умовам:

$$b' \in b_x \rightarrow b' \in R^+ \quad b' \notin b_x \rightarrow b' \notin R^+ \quad (23)$$

У зв'язку з цим для досягнення меншого поточного коефіцієнта розкриття параметр  $b'$  повинен бути таким, щоб обсяг корисної копалини в поточному положенні приконтурної зони кар'єру був мінімальним ( $V_I + V_{II} + V_{IV} \rightarrow \min$ ).

**Висновки.** Встановлено, що найменший середній коефіцієнт розкриття досягається при мінімальному значенні суми обсягів корисної копалини приконтурної зони лежачого і висячого боків поклади в проектному положенні. Найменший поточний коефіцієнт розкриття досягається при мінімальному значенні суми обсягів корисної копалини приконтурної зони лежачого і висячого боків поклади, а також робочого борту кар'єру в поточному положенні.

Новизна розробленого методу полягає в тому, що управління параметрами робочої зони пропонується виконувати шляхом введення двох нових параметрів: відстань від проектного контуру кар'єра в лежачому боці до перетину лінії контуру корисних копалин лежачого боки і поверхні ( $b_x$ ), а також відстань від верхньої бровки борту кар'єру в лежачому боці в проектному положенні до верхньої бровки борту кар'єру в лежачому боці в поточному положенні ( $b'$ ). Значення першого впливає на вибір доцільного положення проектних контурів кар'єра, значення другого змінюється з розвитком гірських робіт і впливає на поточне положення контурів кар'єра.

#### Перелік посилань

1. Moldabayev, S.K., Shustov, O.O., Adamchuk, A.A., & Sultanbekova, Z.Z. (2019) Justification of transfer parameters in conditions of deep zone development of iron ore surface mines. *Sustainable development of resource-saving technologies in mineral mining and processing* : multi-authored monograph. Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 138-155.
2. Дриженко, А.Ю. (2014). *Відкриті гірничі роботи*. Дніпропетровськ: НГУ.



### АННОТАЦИЯ

**Цель.** Разработать методику вычисления параметров развития рабочей зоны и целесообразного положения контуров карьера при доработке глубоких крутопадающих месторождений открытым способом.

**Методика.** Установление зависимостей параметров открытой доработки крутопадающих месторождений глубокого залегания, а именно их объемов и площадей поперечного сечения осуществлялось путем разложения сложного явления (общий объем доработки запасов месторождения) на простые: его приконтурную и глубинную зону. Алгоритм включает в себя методы анализа, абстрагирования, синтеза и обобщения.

**Результаты.** Получены формулы расчета объема запасов полезных ископаемых в приконтурной и глубинной зоне. Установлен характер влияния параметров доработки глубоких крутопадающих месторождений открытым способом на целесообразное положение текущих и проектных контуров карьера. Установлено, что наименьший средний коэффициент вскрыши достигается при минимальном значении суммы объемов полезного ископаемого приконтурной зоны лежащего и висячего боков залежи в проектном положении. Наименьший текущий коэффициент вскрыши достигается при минимальном значении суммы объемов полезного ископаемого приконтурной зоны лежащего и висячего боков залежи, а также рабочего борта карьера в текущем положении.

**Научная новизна.** Для управления рабочей зоной введено два новых параметра: расстояние от проектного контура карьера в лежащем боку до пересечения линии контура полезных ископаемых лежащего стороны и поверхности ( $b_x$ ), а также расстояние от верхней бровки борта карьера в лежащем боку в проектном положении до верхней бровки борта карьера в лежащем боку в текущем положении ( $b'$ ).

**Практическая значимость.** Разработана методика расчета параметров приконтурной и глубинной зоны месторождения, которая позволяет более точно рассчитывать контурный и текущий коэффициенты вскрыши, а также корректировать их путем управления параметрами транспортных схем и перегрузки, а также введенными новыми параметрами.

**Ключевые слова:** доработка запасов карьера, глубокие крутопадающие месторождения, объем полезного ископаемого, коэффициент вскрыши, параметры рабочей зоны, математическая модель.

### ABSTRACT

**Purpose.** To develop a methodology for calculating the parameters of the development of the working area and the appropriate position of the contours of a career in the final development of deep steep deposits in a surface mining method.

**The methods.** Determining the dependencies of the parameters of surface mine processing of steeply dipping deposits of deep occurrence, namely, their volumes and cross-sectional areas, was carried out by decomposing a complex phenomenon (total amount of working up of the deposit's reserves) into simple ones: its contour and deep zone. The algorithm includes methods of analysis, abstraction, synthesis and generalization.

**Findings.** Formulas for calculating the volume of mineral reserves in the contour and deep zone are obtained. The nature of the influence of the parameters of the deep steeply dipping deposits by the

surface mining method on the expedient positions of the current and design surface mine contours is established. It is established that the smallest average stripping coefficient is achieved with the minimum value of the sum of the mineral resources of the contour zone of the lying and hanging sides of the deposit in the design position. The smallest current stripping ratio is achieved with the minimum value of the sum of the mineral volumes of the contour zone of the lying and hanging sides of the deposit, as well as the working side of the surface mine in the current position.

**The originality.** To control the working area, two new parameters were introduced: the distance from the project contour of the open pit in the lying side to the intersection of the contour line of mineral resources on the lying side and surface ( $b_x$ ), as well as the distance from the upper edge of the pit in the reclining side in the design position on the upper edge of the pit edge in the hanging side in the current position ( $b'$ ).

**Practical implication.** A method has been developed for calculating the parameters of the contour and deep zone of the deposit, which allows us to more accurately calculate the contour and current stripping factors, as well as correct them by controlling the parameters of transport schemes and overload, as well as the new parameters introduced.

**Keywords:** *refinement of mine reserves, deep steep deposits, mineral volume, overburden ratio, working area parameters, mathematical model.*