

УДК 622.271: 622.34

Луценко С.О., канд. техн. наук (Криворізький технічний університет)

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМУ ГІРНИЧИХ РОБІТ ПРИ РОЗРОБЦІ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ

Розроблено методику визначення раціонального варіанту режиму гірничих робіт при змінних параметрах та інтенсивності відпрацювання ділянок залізрудного кар'єру, яка враховує взаємозв'язок між технологічними параметрами елементів системи розробки, способу розконсервації тимчасово неробочих ділянок бортів та параметрами внутрішнього відвалювання.

Ключові слова: режим гірничих робіт, розконсервація тимчасово неробочих бортів, глибокі кар'єри.

The technique of definition of rational option regime of mining operations at variable intensity settings and practice areas of iron ore quarry, which considers the relationship between technological parameters of the system development method reactivation temporarily broken boards and lots of internal stacking parameters.

Keywords: mode of mining, reactivation of temporarily non-working sides, deep career.

Разработана методика определения рационального варианта режима горных работ при переменных параметрах и интенсивности отработки участков железорудного карьера, которая учитывает взаимосвязь между технологическими параметрами элементов системы разработки, способа расконсервации временно нерабочих участков бортов и параметрами внутреннего отвалювания.

Ключевые слова: режим горных работ, расконсервация временно нерабочих бортов, глубокие карьеры.

Проблема і її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасний стан залізрудних кар'єрів Кривбаса характеризується значною їх глибиною (близько 300-350 м), яка і надалі буде збільшуватися до проектних позначок. Досвід експлуатації кар'єрів свідчить, що при їх поглибленні збільшується робоча зона, і гірничі роботи ведуться на значній кількості горизонтів. Це призводить до збільшення загального фронту гірничих робіт в кар'єрі, який вже зараз сягає 20-25 км. Поряд з цим, щоб забезпечити за гірничими можливостями продуктивність кар'єру на рівні проекту, а це, як правило, $20...30 \cdot 10^6$ т/рік, достатнім буде активний фронт 3,5-5 км. Підтримувати на такому рівні параметри елементів системи розробки можливо за рахунок концентрації гірничих робіт на окремих ділянках робочої зони. При цьому важливим питанням є вибір режиму гірничих робіт. Виділення технологічних

сортів руди із загального об'єму їх видобування змінює і вимоги, що висуваються до планування гірничих робіт. Однак існуючі критерії оцінки режиму гірничих робіт не враховують взаємозв'язок між режимом і продуктивністю кар'єру за технологічними сортами руди. Крім цього, відомо, що ефективний перерозподіл у часі об'ємів виймання розкривних порід, досягається за рахунок залишення тимчасових ціликів. Але при використанні відомих технологічних способів розконсервації тимчасово неробочих бортів збільшується час відпрацювання законсервованої ділянки борта кар'єру, внаслідок чого вона може розглядатися як обмежуюча з підготовки нових горизонтів, що у свою чергу призводить до зниження продуктивності кар'єру за гірничотехнічними можливостями. У зв'язку з вищевикладеним було розроблено методику визначення раціонального варіанту режиму гірничих робіт при змінних параметрах та інтенсивності відпрацювання ділянок залізорудного кар'єру.

Викладення матеріалу та результати. В основу методики визначення раціонального режиму гірничих робіт покладена ідея концентрувати гірничі роботи на окремих ділянках секторів робочої зони. Такими ділянками є шари гірничих порід, вертикальна потужність яких визначається способом постановки бортів кар'єру у ТНП та їх розконсервації. Регулювати динаміку співвідношень об'ємно-якісних показників при плануванні гірничих робіт пропонується змінювати інтенсивності й порядку відпрацювання зазначених шарів. При цьому завдяки постановці шарів у тимчасово неробоче положення й наступній їх розконсервації можна здійснювати перерозподіл динаміки виймання об'ємів розкривних порід у часі.

Ділянка кар'єру – виділений за глибиною шар товщі гірничих порід у межах одного сектора.

Сектором називається ділянка робочої зони, яка обмежується по довжині двома вертикальними площинами.

Загальна методика розрахунків така:

1. Визначається довжина сектора робочої зони L_c .
2. У межах робочої зони виділяються сектори.
3. Уся товща гірничих порід розбивається на шари, висота яких визначається способом постановки бортів кар'єру у ТНП та їх розконсервації. При цьому висота нижнього шару визначається розмірами виїмки випередження.
4. Визначається річний об'єм виймання гірничої маси $V_{г.м}$.
5. Формуються варіанти режиму гірничих робіт по кожному сектору.
6. Кожний варіант повинен додержуватися умов розрахункового принципу, згідно якого економічно доцільним є варіант режиму гірничих робіт, поточний коефіцієнт розкриву якого менше або дорівнює граничному коефіцієнту ($n_T \leq n_{гп}$).

Якщо коефіцієнт розкриву більше граничного, то даний варіант є недоцільним з економічної точки зору й з подальших розрахунків виключається.

7. На кожному етапі планування гірничих робіт для кожного шару, який знаходиться в ТНП, розраховується максимально можлива довготривалість

консервації (t_b^{\max}).

8. Розраховується значення критерію оцінки та вибору ДП.

При регулюванні режиму гірничих робіт одним з основних елементів системи розробки, від параметрів якого залежать ширина блоків, швидкість горизонтального просування по шарах і собівартість розконсервації тимчасово неробочого борта, є довжина сектора робочої зони. Як показали дослідження, при збільшенні довжини сектора собівартість розконсервації зменшується. Тому при розділі робочої зони на сектори необхідно, щоб його довжина була максимально можливою.

Довжина сектора визначається:

I. Виходячи з максимально можливої довжини фронту консервації за двома способами:

а) раціонального об'єму перевалування розкривних порід усередині кар'єру.

В основу способу покладено розрахунковий принцип, згідно якого собівартість виробництва кінцевої товарної продукції (концентрату) $C_{к.о}$ повинна бути менше або дорівнювати значенню припустимої собівартості концентрату $C_{к.п}$.

$$L_{\phi K} = \frac{2n_{\text{пер}}A_p}{H_{\text{конс}}^2 (\text{ctg}\phi - \text{ctg}\beta)}, \text{ м,}$$

де $n_{\text{пер}}$ – коефіцієнт перевалування, $\text{м}^3/\text{т}$; A_p – продуктивність кар'єру по руді, $\text{т}/\text{рік}$; $H_{\text{конс}}$ – висота консервації розкривних порід, м ; ϕ – кут укосу робочого борта кар'єру, град ; β – кут укосу тимчасово неробочого борта кар'єру, град ;

б) продуктивності екскаватора, зайнятого на розконсервації ГНБ.

В основу способу покладено розрахунковий принцип, згідно якого об'єм консервації повинен бути менше або дорівнювати річній продуктивності екскаватора-драглайна, зайнятого на розконсервації ГНБ $Q_{\text{екс}}$

$$L_{\phi K} = \frac{2Q_{\text{екс}}}{H_{\text{конс}}^2 (\text{ctg}\phi - \text{ctg}\beta)}, \text{ м.}$$

II. Виходячи з мінімально необхідної швидкості просування борта кар'єру при його рівномірному переміщенні.

Для розконсервації тимчасово неробочих бортів передбачено використовувати спосіб постановки бортів кар'єру у тимчасово неробоче положення і їх розконсервації [1], який полягає у поділі борта за висотою на дві ділянки: верхню та нижню. Відпрацьовування верхньої ділянки здійснюється екскаватором типу драглайн ЕШ 10/70 за безтранспортною схемою з укладанням гірничої маси в тимчасовий відвал, який відпрацьовується екскаваторами ЕКГ-8І за транспортною схемою; відпрацьовування нижньої ділянки здійснюється екскаватором драглайн ЕШ 10/70 за безтранспортною схемою з відвантаженням гірничої маси у внутрішній відвал (виїмку випередження), це дозволяє знизити витрати на розконсервацію завдяки зменшенню об'єму тра-

нспортних робіт і збільшити продуктивність екскаваторів.

Однією з позитивних сторін розробленого способу є переєкскавація об'єму нижньої ділянки ТНБ. Це дозволяє у порівнянні із транспортуванням цього об'єму на зовнішні відвали, крім зменшення транспортних витрат, перенести виймання й транспортування розкривних порід на пізніші періоди, коли його можливо буде дістати з меншими витратами внаслідок удосконалення техніки й технології видобування. Також цей об'єм можливо шляхом декількох переміщень перемістити у вироблений простір дна кар'єру, тобто здійснити процес внутрішнього відвалоутворення [2]. При цьому даний процес почнеться задовго до виходу гірничих робіт на проектні контури дна кар'єру.

Формування варіантів режиму гірничих робіт у межах одного сектора розглянуто на умовному прикладі (рис. 1). На рисунку представлений фрагмент ділянки борта кар'єру глибиною 210 м. Сучасний стан гірничих робіт характеризується положенням робочого борта кар'єру (лінія PERF). Проектний контур кар'єру представлений положенням борта – лінія P'E'R'F'. За глибиною виділено три основні шари: верхній А, середній В, нижній С, кожний по 60 м, та один додатковий шар D висотою 30 м, який потрібен для розконсервації нижнього шару С.

Кожний шар розбивається на блоки (рис. 2), розміри яких відповідають: висоті шару, довжині сектора робочої зони й швидкості горизонтального просування блоку (ширина блоку). Кількість блоків, що відпрацьовується за рік, є величиною змінною, однак сумарний об'єм цих блоків повинен дорівнювати річному об'єму виймання гірничої маси. Величина даного об'єму розраховується за формулою

$$V_{г.м} = A_p(1+n_e), \text{ м}^3,$$

де A_p – річна продуктивність кар'єру по руді, м^3 ; n_e – експлуатаційний коефіцієнт розкриття, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

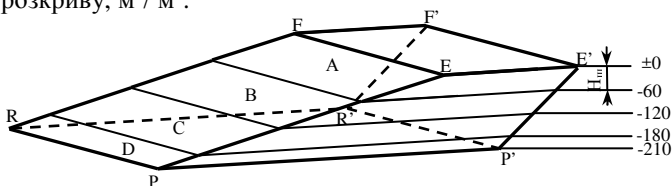


Рис. 1. Сектор робочої зони

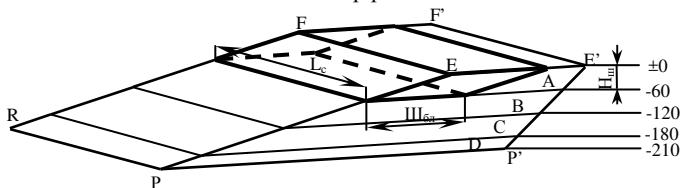


Рис. 2. Схема до обґрунтування параметрів блоку

Ширина блоку на i -му шарі визначається з формули

$$\text{Ш}_{\text{бл}(i)} = \frac{V_{\text{з.м.}}}{L_c H_{\text{ш}} K_{\text{заг}}}, \text{ м,}$$

де L_c – довжина сектора робочої зони, м; $H_{\text{ш}}$ – висота шару, м; $K_{\text{заг}}$ – загальна кількість блоків, які відпрацьовуються.

Загальна кількість блоків, які відпрацьовуються, визначається за формулою

$$K_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{ш}}} K_i,$$

де K_i – кількість блоків, яка відпрацьовується на i -му шарі.

Формування варіантів режиму гірничих робіт здійснюється завдяки зміні кількості технологічних шарів, які відпрацьовуються за один проміжок часу. Крім цього, у зв'язку з тим, що на одному етапі планування гірничих робіт допускається нерівномірне горизонтальне просування шарів, то кількість блоків, яку залучають до відпрацьовування, на різних шарах може бути неоднаковою. Так, якщо річна програма формується тільки з одного шару, то загальна кількість блоків, що залучають до відпрацьовування, дорівнює кількості шарів, з яких формується робоча програма N_p , тобто $K_{\text{заг}} = 1$. Якщо річна програма формується з двох або більше шарів, показник $K_{\text{заг}}$ може змінюватись від N_p до $N_{\text{заг}}$ ($N_{\text{заг}}$ – загальна кількість шарів), а показник K_i відповідно від 1 до $1 + (N_{\text{заг}} - N_p)$.

Для формування річної програми з нижчих шарів необхідно, щоб на вищих шарах було утворено випередження, розміри якого визначаються за умови

$$L_{\text{вип}(i)} \geq K_{(i+1)} \text{ Ш}_{\text{бл}(i+1)} - K_{(i)} \text{ Ш}_{\text{бл}(i)}.$$

Якщо сектор перебуває на криволінійній ділянці кар'єру, й залежно від глибини розташування шари мають різну довжину, тоді ширина блоку визначається за формулою

$$\text{Ш}_{\text{бл}(i)} = \frac{V_{\text{з.м.}}}{H_{\text{ш}} \sum L_{c(i)}}, \text{ м,}$$

де $L_{c(i)}$ – довжина сектора на i -му шарі, м.

Для нормальної роботи обладнання, а також збільшення його продуктивності необхідно, щоб ширина блоку була більше або дорівнювала нормальній ширині екскаваторної заходки ($\text{Ш}_{\text{бл}(i)} \geq A_3$).

У зв'язку з тим, що висота шару D у два рази менше основних шарів, ширина блоку на ньому складе:

$$\text{Ш}_{\text{бл}(N_{\text{заг}})} = 2 \text{Ш}_{\text{бл}(i)}.$$

Сумарна ширина блоків, що відпрацьовують на шарі, відповідає його річному просуванню і визначається за формулою

$$I_{г.п(i)} = Ш_{бл(i)} K_i, \quad M,$$

де K_i – кількість блоків, які відпрацьовують на i -му шарі.

Залежно від кількості шарів і блоків, які залучають у відпрацьовування за один період часу, можливі такі способи формування річних програм:

I. Формування річної програми з одного шару, $K_{зар}=1$.

II. Формування річної програми з двох шарів:

а) при $K_{зар}=2$; б) при $K_{зар}=3$; в) при $K_{зар}=4$.

III. Формування річної програми з трьох шарів:

а) при $K_{зар}=3$; б) при $K_{зар}=4$.

IV. Формування річної програми з чотирьох шарів, $K_{зар}=4$.

Час консервації поділяється на мінімально необхідний ($t_{н}^{min}$) і максимально можливий ($t_{м}^{max}$).

Мінімальний необхідний час консервації визначається за такими умовами:

1. Собівартість розкривних робіт $C_{p,p}$ при відпрацьовуванні об'єму розконсервації V_p більше або дорівнює собівартості розконсервації C_p цього ж об'єму через деякий час t_k , яка приведена до початку робіт з постановки шару у ТНП.

$$C_{p,p} \geq C_p \frac{1}{(1+E)^{t_k-1}},$$

звідси

$$t_k^{min} = \log_{(1+E)} \frac{C_p}{C_{p,p}} + 1, \quad \text{років.}$$

2. Забезпечення можливості розконсервації технологічного шару порід.

Для того, щоб здійснити розконсервацію шару, необхідно відробити об'єм його погашення $Q_{пог}$ і об'єм виїмки випередження $Q_{в.в.}$, а також створити випередження шару $L_{вин}$, розташованого вище (рис. 3), яке повинне бути більше або дорівнювати горизонтальному переміщенню уступів при розконсервації шару $L_{г.п.}$ ($L_{вин} \geq L_{г.п.}$).

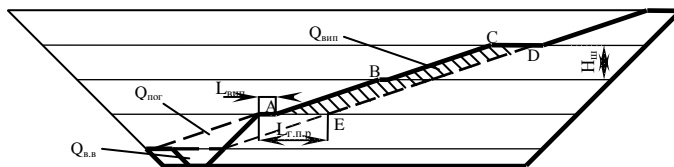


Рис. 3. Обґрунтування випередження шару, який розташовано вище

З рис. 3. видно, що для створення випередження шару необхідно на вищих шарах відпрацювати об'єм гірничої маси $Q_{вин}$ ($ABCDE$), який визначається з виразу

$$Q_{вин.} = L_{г.п.р} H_{ш} \kappa_{г} L_{с} \sum_{j=\kappa_{г}}^1 (L_{вин(j)} H_{ш} j L_{с}),$$

де $\kappa_{г}$ – кількість вищих шарів, які є стримуючим фактором для розконсервації даного шару, шт.

$$\kappa_{г} = i - 1,$$

де i – порядковий номер шару, на якому проводяться роботи по розконсервації.

Звідси мінімально необхідний час консервації об'єму розкривних порід визначається за формулою

$$t_{\kappa}^{min} = \frac{Q_{в.в.} + Q_{пог} + Q_{вин}}{V_{г.м.}}, \text{ років,}$$

де $V_{г.м.}$ – річний об'єм виймання гірничої маси, м³.

Більше значення t_{κ}^{min} приймаємо як вихідне.

Максимально можлива тривалість консервації – це час, впродовж якого можна забезпечити безперебійну роботу підприємства із заданою продуктивністю з руди. При цьому коефіцієнт розкриття повинен бути більше або дорівнювати експлуатаційному коефіцієнту.

Максимально можлива тривалість консервації шару визначається об'ємом концентрату, одержуваного з руди, яку видобуто без розконсервації цього шару

$$T_{\kappa}^{max} = \frac{\sum P_{B(i)} \gamma_i}{A_{\kappa}}, \text{ років,} \quad (1)$$

де A_{κ} – річна продуктивність кар'єру з концентрату, м³/рік; P_B – об'єм руди, який можливо видобути з кар'єру без рознесення шару, м³. Даний об'єм знаходиться в межах сучасного стану борта кар'єру (лінія $ABCRD$ на рис. 4) і контуром кар'єру на момент часу, коли ТНБ буде стримувати розвиток гірничих робіт на інших шарах (лінія $A'B'EFRND'$).

Розраховану за формулою (1) тривалість консервації необхідно округлити до меншого цілого.

При цьому повинна дотримуватися умова

$$T_{\kappa}^{max} V_{г.м.} \leq Q_{Г.М.Б.},$$

де $Q_{Г.М.Б.}$ – об'єм гірничої маси, яку можна вилучити з кар'єру без розконсервації шару, м³.

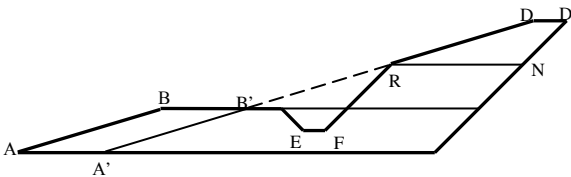


Рис. 4. Обґрунтування максимально можливого часу консервації

У даній методиці оцінка варіантів режиму гірничих робіт здійснюється за критерієм мінімальних відхилення значення фактичного валового прибутку від його планового значення, тобто за мінімальними відхиленнями поточних об'ємів видобутку різних технологічних сортів руди від їх оптимального співвідношення, яке визначається процесом збагачення [3]:

$$\Delta\Pi_{(t)} = (\Pi_{\text{пл}(t)} - \Pi_{\text{ф}(t)}) + \sum_{j=t+1}^T ((\Pi_{\text{пл}(j)} - \Pi_{\text{ф}(j)})K_{з.в.}) \rightarrow \min,$$

де $\Delta\Pi_{(t)}$ – відхилення фактичного валового прибутку від планового на t -му кроці планування режиму гірничих робіт, грн; $\Pi_{\text{пл}(t)}, \Pi_{\text{ф}(t)}$ – відповідно плановий і фактичний прибуток від реалізації продукції на t -му кроці планування, грн; $\Pi_{\text{пл}(j)}, \Pi_{\text{ф}(j)}$ – відповідно плановий і фактичний прибуток від реалізації продукції за всіма подальшими j -ми кроками планування, грн; T – тривалість планового періоду (етап планування), років; відповідно до норм технологічного проектування величина етапу планування повинна знаходитись у межах 8-10 років; $K_{з.в.}$ – коефіцієнт, що враховує лінійне зростання по роках витрат на виробництво концентрату і його ціни.

Застосування розробленої методики можливе за наявності двох розкритих і підготовлених шарів.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Розроблена методика дозволяє з високою точністю здійснювати розрахунки та отримувати надійні результати з визначення режиму гірничих робіт залізрудних кар'єрів шляхом зміни параметрів та інтенсивності відпрацювання його ділянок. Дана методика враховує залежність режиму гірничих робіт від продуктивності кар'єру, а також залежність між технологічними параметрами елементів системи розробки, способом розконсервації тимчасово непрацюючих бортів і параметрами внутрішнього відвалоутворення.

1. Патент на корисну модель України № 4375. Спосіб встановлення борта кар'єру в тимчасово непрацююче положення і його роз консервації / М.М. Пижик, С.О. Луценко.– 2005. – Бюл. №1. 2. Луценко С.О. Технологія внутрішнього відвалоутворення при розробці глибоких кар'єрів // Вісник Криворізького технічного університету. – Вып. 26. – Кривий Ріг, 2010. – С.44-47. 3. Луценко С.А. Обоснование критерия оценки вариантов режима горных работ при переменном качестве рудного сырья // Разраб. рудн. месторожд. – Вып. 93. – Кривой Рог, 2010. – С. 49-52.

Рецензент: д.т.н., професор Блізнюков В.Г. (Криворізький технічний університет)