

© Б.Ю. Собко¹, В.А. Кардаш¹¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ РОЗРОБКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ РОЗКРИВНИХ РОБІТ В УМОВАХ МОТРОНІВСЬКО – АННІВСЬКОГО РОЗСИПУ

© B. Sobko¹, V. Kardash¹¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

RESEARCH OF DEVELOPMENT SYSTEM PARAMETERS AT CARRYING OUT OVERBURDEN WORKS IN CONDITIONS OF MOTRONIVSKO – ANNIVSKY PLACER DEPOSIT

Метою досліджень є науково-технічне обґрунтування ефективних параметрів системи розробки при розробці розкривних порід родовища при різному розподілу річних об'ємів розкриття та за умови зміни довжини фронту гірничих робіт.

Методи дослідження – теоретичні та експериментальні; методи статистичного та системного аналізу; метод техніко-економічного аналізу для вибору ефективних технологічних схем розкривних робіт.

Результати дослідження. В результаті виконання роботи проведено аналіз параметрів системи розробки при розробці розкривних порід родовища титано-цирконієвих руд на Мотронівському ГЗК. Проведена порівняльна техніко-економічна оцінка можливих варіантів розвитку гірничих робіт при різній продуктивності розкривних роторних комплексів з врахуванням зміни довжини фронту гірничих робіт. Встановлено, що зменшення довжини фронту гірничих робіт на передовому розкривному уступі призводить до падіння продуктивності роторного комплексу та відбувається перерозподіл річних об'ємів розкриття, зі зменшенням їх на передовому і збільшенням на надрудному уступах

Наукова новизна. Встановлена закономірність зміни параметрів системи розробки та застосування гірничотранспортних комплексів розробки розкривних порід в залежності від величин потужностей розкривних порід, довжини фронтів розкривних і видобувних робіт, необхідних річних посувань фронту робіт.

Практичне значення. Виконані дослідження дозволяють вибрати раціональний варіант розвитку гірничих робіт з урахуванням необхідності виконання планових обсягів видобутку, можливої річної продуктивності комплексів машин безперервної дії, а також з урахуванням можливого розподілу висот розкривних уступів.

Очікуваний техніко-економічний ефект виражається в зниженні собівартості розробки розкривних порід за рахунок застосування ефективного гірничо-технічного розкривного комплексу.

Ключові слова: розсипні титано-цирконієві родовища, технологічні схеми, параметри системи розробки, кар'єрне поле, робоча зона кар'єра.

Вступ. Виконання даної науково-дослідної роботи обумовлена тим, що при веденні гірничих робіт на Мотронівському кар'єрі за рахунок криволінійного, в вигляді ломаної лінії, плану контуру підрахунку запасів та гірничого відводу, а також яро-балковим рельєфом поверхні кар'єрного поля відбувається часта зміна

довжини фронту гірничих робіт (рис.1). При цьому можливі різні варіанти технологічних схем розкривних робіт при розробці родовища від яких залежить виконання планових завдань, що в цілому значно впливає на виробничу потужність гірничо-збагачувального комбінату.

Таким чином, вибір ефективних параметрів системи розробки при зміні довжини фронту гірничих робіт є актуальною та сучасною задачею.

Контур гірничого відводу Мотронівсько-Аннівської ділянки представлений на рис. 1.

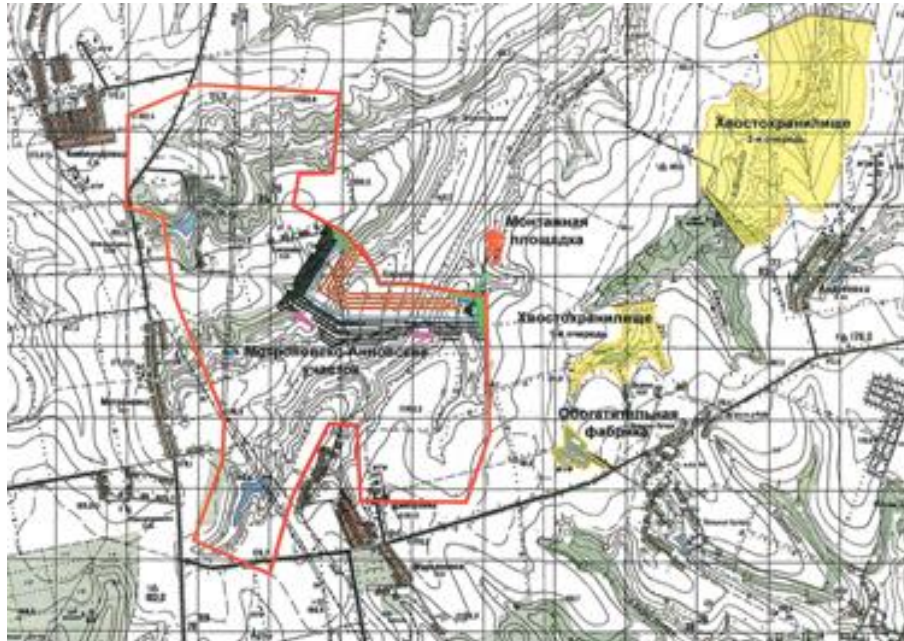


Рис. 1. Контур гірничого відводу Мотронівсько-Аннівської ділянки

На рис. 2 наведено топографічний план поверхні Мотронівсько-Аннівського розсипу.

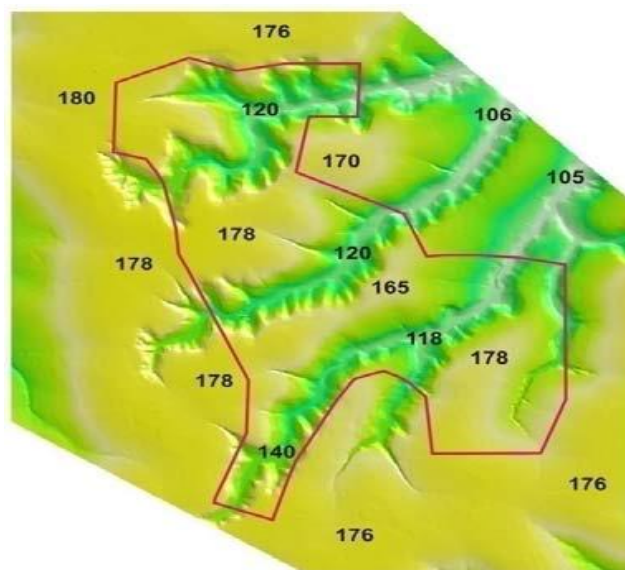


Рис. 2. Топографічний план Мотронівсько-Аннівського розсипу (червоною лінією позначено контур підрахунку запасів)

Характерним для топографії Мотронівсько-Аннівської ділянки є численні яри та балки, які виникли внаслідок ерозії русел річок.

Поверхня ділянки являє собою хвилясту рівнину з височинами приблизно від +160 і до +180 м. Тільки в зоні трьох основних балок, які розчленовують рівнину з південного-заходу на північний-схід, рельєф помітно нахилиється до відміток нижче +120 м.

При розробці горизонтальних родовищ, що відбувається без заглиблювальних робіт в кар'єрі робоча зона переміщується горизонтально по мірі відробки покладу. Його поперечний розріз постійний. Між уступами підтримуються робочі майданчики, ширина яких має бути, як правило, постійною. Визначається вона як мінімально допустима за вимогами правил безпеки та технологічними умовами. Проте конфігурація робочої зони в плані та її довжина може змінюватися внаслідок зміни розмірів кар'єра в плані, викривлення фронту робіт через тимчасову консервацію бортів та окремих уступів чи зменшення швидкості просування гірничих робіт на окремих ділянках, а також при круговому фронті робіт та гористому чи балковому рельєфі [1].

При розробці пологих родовищ мають місце деякі заглиблювальні роботи та поступове збільшення висоти робочої зони. Але ці зміни проходять незначними темпами, саме тому закономірності формування робочої зони на пологих та горизонтальних родовищах мають багато спільного.

Від ефективних технологічних схем розкривних робіт при розробці родовища залежить розподіл розкриву по роках розробки, втрати на збіднення, якісні показники видобувної корисної копалини та економічні результати розробки. Оптимальний варіант розробки кар'єра в цілому, як показує практика, може забезпечити на кар'єрі середньої потужності економічний ефект, обчислювальний мільйонами та десятками мільйонів гривень.

У проведених дослідженнях вся сукупність технологічних рішень полягає в:

- порівняльній гірничо-технологічній і економічній оцінці можливих варіантів технологічних схем розкривних робіт кар'єра;
- виборі та обґрунтуванні технологічної схеми розробки передового розкривного уступу комплексом машин безперервної дії при необхідному просуванні фронту гірничих робіт кар'єра.

Виконані дослідження дозволяють вибрати раціональний варіант розвитку гірничих робіт з урахуванням необхідності виконання планових обсягів видобутку, можливої річної продуктивності комплексів машин безперервної дії, а також з урахуванням можливого розподілу висот розкривних уступів (передового, середнього і надрудного).

Результати дослідження дозволяють також вибрати раціональну технологічну схему відпрацювання передового розкривного уступу роторним комплексом.

В якості основного критерію вибору оптимального варіанту розвитку гірничих робіт на Мотронівсько-Аннівській ділянці Малишевського родовища прийняті сумарні експлуатаційні витрати на розробку всієї товщі розкривних порід.

Однією з проблем виконання планових показників роботи Мотронівського ГЗК є суттєва зміна довжини фронту розкривних робіт при проходженні його через балки і в зв'язку з криволінійною формою гірничого відводу родовища. Відомо, що скорочення довжини фронту робіт призводить не тільки до зменшення продуктивності кар'єру з видобутку, але і по розкриву через зниження продуктивності роторних комплексів на розкривних горизонтах.

При виконанні наукових досліджень з даної проблеми вирішувалися наступні завдання:

- встановлення середніх і середньозважених величин потужностей розкривних порід і корисної копалини, довжини фронтів розкривних і видобувних робіт, необхідних річних посування фронту робіт, розподілу висот уступів і річних обсягів розкриву на кожен рік розглянутого періоду часу (2024-2027 рр).

- встановлення сумарних річних експлуатаційних витрати при розробці передового та надрудного розкривних уступів за умови зміни довжини фронту гірничих робіт.

В даний час на кар'єрі Мотронівського ГЗК проводяться гірничо-капітальні роботи з розкриття родовища та виходу на проектну виробничу потужність – 2,7 млн м³/рік рудних пісків до кінця 2023 р.

На Мотронівському кар'єрі застосовується транспортна система розробки з застосуванням комплексу циклічної дії - однокішшевих крокуючих екскаваторів ЕШ 10/50 та автосамоскидів Белаз - 7555 (55 т) і САТ – 773 (55т). Попереду фронту гірничих робіт проводиться зняття чорнозему автоскрепера з укладанням в бурти на зовнішніх відвалах кар'єра або з безпосереднім нанесенням на площі рекультивації.

З 2024 р. планується застосування роторного комплексу безперервної дії для розробки передового розкривного уступу. При цьому планується придбання та монтаж сучасного роторного екскаватора чеського виробництва KU - 300. На рис. 3 наведено загальний вигляд роторного екскаватора KU - 300 та його технічна характеристика в табл. 1.

Як уже зазначалося, довжина фронту гірничих робіт при розробці родовища може значно знижуватися в зв'язку з криволінійною формою гірничого відводу ділянок родовища. При цьому на Мотронівському кар'єрі при підході фронту робіт до північно-західної частини відбудеться його значне звуження (на 300 - 400 м) на видобувних і розкривних уступах. Таке зменшення довжини фронту робіт може вплинути не тільки на зниження обсягів видобутку, а й на істотне зменшення річної продуктивності розкривного комплексу машин безперервної дії (KU-300) - на 250-300 тис. м³ від його максимально можливого значення – 7 млн м³/рік. З урахуванням того, що розкривний комплекс KU-300 може досягти за песимістичним прогнозом 7,0 млн м³/рік, а з урахуванням скорочення довжини фронту розкривних робіт - 6,7 млн м³/рік. При цьому, передовий розкривний уступ на кар'єрі слід розглядати, як обмежувальний горизонт. Отже, розподіл висот уступів, а також і економічна оцінка розглянутих варіантів повинні проводитися з урахуванням вищенаведеного. Необхідно відзначити, що в теорії і прак-

тиці відкритої розробки горизонтальних і пологих родовищ розрахунок параметрів системи розробки (насамперед висот розкривних уступів), а також вибір комплексу розкривного обладнання проводиться за основним (надрудним) уступом.



Рис. 3. Загальний вигляд роторного екскаватора KU-300

Таблиця 1

Технічна характеристика екскаватора KU-300

Продуктивність, теоретична	1500	м ³ /год
ефективна	900	
Загальна маса	1 250	т
Діаметр ротора	7,6	м
Швидкість обертання ротора	4,46	хв ⁻¹
Номінальний об'єм ківша	0,365	м ³
Кількість квшів	13	-
Потужність приводу ротора	315 (500)	кВт
Ширина конвеєрної стрічки	1400	мм
Швидкість конвеєрної стрічки	4,0	м/с
Макс. висота уступу, що розробляється	19,6	м
Макс. відстань розвантаження від вісі екскаватора	31,25	м
Швидкість пересування екскаватора	6	м/хв
Середній питомий тиск на ґрунт	0,12	МПа
Макс. транспортуємий кут укосу	1:9	-
Напруга живлення	6	кВ
Сумарна потужність	1810	кВт

Сумарні річні експлуатаційні витрати (ΣZ_e), визначалися за формулою:

$$\sum_{i=1}^4 Z_i = V_{ep_i^B} \cdot C_{ep_i} + V_{eui^B} \cdot C_{eui}, \text{ млн м}^3/\text{рік},$$

де V_{ep^B} і V_{eui^B} – відповідно річні об’єми розкривних порід роторного комплексу і комплексу ЕШ+автосамоскиди, млн м³/рік; C_{ep} і C_{eui} – відповідно собівартості 1 м³ розкривних порід, що розробляються зазначеними комплексами, грн/м³; i – порядковий номер року $i=1,2,3,4$, що відповідає 2024, 2025, 2026, 2027 рр.

Значення величин C_{ep} і C_{eui} взяті зі статистичних даних звітів економічного відділу Мотронівського ГЗК, при цьому середньорічні значення складають $C_{ep} = 21,3 \text{ грн/м}^3$, $C_{eui} = 25,14 \text{ грн/м}^3$.

Швидкість посування вибою роторного екскаватора КУ-300 за 2024 р. складе:

$$v_{ep} = \frac{Q_{ep}}{L\phi \cdot H_n} = \frac{7000000}{1150 \cdot 20} = 304 \text{ м/рік},$$

де Q_{ep} – номінальна річна продуктивність екскаватора КУ-300, м³; $L\phi$ – довжина фронту гірничих робіт на передовому уступі, м; H_n – середня висота передового уступу (відм. 140,0 – 120,0).

У табл. 2 наведені результати розрахунків для варіанту розвитку гірничих робіт на кар’єрі, що передбачає зміну по роках експлуатації родовища висоту передового розкривних уступу в зв’язку з топографічними особливостями кар’єрного поля, діапазон зміни якої видно з даних табл. 2.

Таблиця 2

Розрахункові показники розвитку гірничих робіт Мотронівського кар’єра

Роки розробки родовища	Необхідне посування фронту робіт м/рік	Продуктивність КУ-300, Q_{ep} , млн м ³ /рік	Середня потужність розкриву, H_e , м	Рациональні висоти уступів по розкриву, м		Річні об’єми розкриву, млн м ³			Експлуатаційні витрати на розкривні роботи, млн грн/рік		
				передового, H_2	надрудного H_1	на передовому уступі, V_{22}	на надрудному уступі, V_{21}	Всього, V_{2B}	Передовий уступ Z_{e2}	Надрудний уступ Z_{e1}	Всього ΣZ_e
2024	304	7,0 (оптимістична прогнозна величина)	36	20	16	7	3,2	10,2	149,1	80,4	229,5
2025	230		38	20	18	7	4,3	11,3	149,1	108,1	257,2
2026	220		36	20	16	7	3,7	10,7	149,1	93,0	242,1
2027	200		45	20	25	7	5,2	12,2	149,1	130,7	279,8

$$\Sigma \Sigma Z_e = 1008,6 \text{ млн грн}$$

Сумарні витрати на розкривні роботи на чотири роки розробки родовища за даною технологією складають 1008,6 млн грн.

Як видно з даних табл. 1, при невеликій продуктивності роторного комплексу, відбудеться перерозподіл річних об'ємів розкриву, зі зменшенням їх на передовому і збільшенням на надрудному розкривних уступах. Розглянемо, наприклад, 2024 рік. Прирівняємо $V_{гв} = Q_{ер}$, оскільки річний об'єм розкриву повинен відповідати річній продуктивності екскаватора.

Для забезпечення рівномірного посування фронтів гірничих робіт на суміжних уступах повинна виконуватися умова:

$$\frac{Q_{e2}}{Q_{e1}} = \frac{H_2}{H_1} \quad (1)$$

де Q_{e2} та Q_{e1} – відповідно продуктивність роторного комплексу та комплексу ЕШ+а/ди, млн м³/рік; H_2 та H_1 – відповідно висоти передового та надрудного розкривних уступів, м.

При відомих величинах $V_{г^B}$, $V_{г2}$ и $V_{г1}$ (див. табл. 1) можемо знайти з виразу (1) відношення висот H_2 и H_1 .

Зменшення довжини фронту гірничих робіт, як уже зазначалося вище, впливає на продуктивність кар'єра в цілому та зменшує продуктивність розкривного обладнання. При цьому необхідно забезпечити відповідне посування фронту робіт для забезпечення підготовлених річних запасів корисної копалини до виймання.

У табл. 3 наведені результати розрахунків для варіанту розвитку гірничих робіт на кар'єрі, що передбачає зміну довжини фронту по роках розробки у зв'язку з криволінійною формою кар'єрного поля та продуктивності роторного комплексу – 6,7 млн м³/рік.

Таблиця 3

Розрахункові показники розвитку гірничих робіт Мотронівського кар'єра при зменшенні фронту гірничих робіт

Роки розробки родовища	Необхідне посування фронту робіт м/рік	Продуктивність КУ-300, $Q_{ер}$, млн м ³ /рік	Середня потужність розкриву, H_6 , м	Раціональні висоти уступів по розкриву, м		Річні об'єми розкриву, млн м ³			Експлуатаційні витрати на розкривні роботи, млн грн/рік		
				передового, H_2	надрудного H_1	на передовому уступі, $V_{г2}$	на надрудному уступі, $V_{г1}$	Всього, $V_{г^B}$	Передовий уступ ΣZ_2	Надрудний уступ ΣZ_1	Всього ΣZ_3
2024	478	6,7	36	20	16	6,7	5,35	12,1	142,7	135,0	277,7
2025	418		38	20	18	6,7	6,02	12,7	142,7	151,3	294,0
2026	394		36	20	16	6,7	5,36	12,1	142,7	134,8	277,5
2027	372		45	20	25	6,7	8,37	15,3	142,7	210,4	353,1

$\Sigma\Sigma Z_3 = 1202,3$ млн грн

Сумарні витрати на розкривні роботи за чотири роки експлуатації родовища при зменшенні довжини фронту гірничих робіт на 300 м складають 1202,3 млн грн.

Висновки. Таким чином, зменшення довжини фронту гірничих робіт істотно впливає на експлуатаційні витрати при виконанні розкривних робіт. Проведені дослідження дозволили встановити, що при зменшенні фронту гірничих робіт на 300 м сумарні експлуатаційні витрати на розкривні роботи за чотири роки збільшилися понад 193 млн грн.

Зменшення довжини фронту гірничих робіт на передовому розкривному уступі призводить до падіння продуктивності роторного комплексу та відбувається перерозподіл річних об'ємів розкриття, зі зменшенням їх на передовому і збільшенням на надрудному уступах, що призводить до збільшення об'ємів розкриття для розробки циклічними розкривними комплексами «ЕШ+автосамоскиди».

Встановлено, що основними факторами, які впливають на економічну ефективність того чи іншого варіанту гірничих робіт є розподіл висот розкривних уступів і, відповідно, розподіл річних обсягів розкриття між роторним комплексом і комплексами «ЕШ+автосамоскиди»

Перелік посилань

1. Новожилов, М. Г. (Ред.). (1971). *Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Часть I*. Москва: Недра.
2. Собко, Б. Ю. (2008). *Удосконалення технології відкритої розробки розсіпних титано-цирконієвих руд*. Днепропетровск: НГУ.

АННОТАЦИЯ

Целью исследований является научно-техническое обоснование эффективных параметров системы разработки при разработке вскрышных пород месторождения при различном распределения годовых объемов вскрыши при условии изменения длины фронта горных работ.

Методы исследования - теоретические и экспериментальные; методы статистического и системного анализа; метод технико-экономического анализа для выбора эффективных технологических схем вскрышных работ.

Результаты исследования. В результате выполнения работы проведен анализ параметров системы разработки при разработке вскрышных пород месторождения титано-циркониевых руд на Мотроновском ГОК. Проведена сравнительная технико-экономическая оценка возможных вариантов развития горных работ при различной производительности вскрышных роторных комплексов с учетом изменения длины фронта горных работ. Установлено, что уменьшение длины фронта горных работ на передовом вскрышном уступе приводит к падению производительности роторного комплекса и происходит перераспределение годовых объемов вскрыши, с уменьшением их на передовом и увеличением на надрудному уступах.

Научная новизна. Установлена закономерность изменения параметров системы разработки и применения горнотранспортного комплекса разработки вскрышных пород в зависимости от величин мощностей вскрышных пород, длины фронтов вскрышных и добычных работ, необходимых годовых подвиганий фронта работ.

Практическое значение. Выполненные исследования позволяют выбрать оптимальный вариант развития горных работ с учетом необходимости выполнения плановых объемов добычи, возможной годовой производительности комплексов машин непрерывного действия, а также с учетом возможного распределения высот вскрышных уступов.

Ожидаемый технико-экономический эффект выражается в снижении себестоимости разработки вскрышных пород за счет применения эффективного горно-технического вскрышного комплекса.

Ключевые слова: россыпные титано-циркониевые месторождения, технологические схемы, параметры системы разработки, карьерное поле, рабочая зона карьера.

ABSTRACT

The purpose of the research is scientific and technical substantiation of effective parameters of development system for the overburden rock development with different annual overburden volumes distribution and changes in the mining operations front length.

Research methods - theoretical and experimental; methods of statistical and system analysis; method of technical and economic analysis for selection of effective technological schemes of overburden works.

Research results. As a result of the work, the development system parameters analysis for the development of overburden rocks of the titanium-zirconium placer deposit at Motronivsky GZK was carried out. A comparative technical and economic assessment of possible options for the development of mining operations with different productivity of overburden bucket-wheel complexes, taking into account changes in the mining operation front length. It is established that the reduction of the mining operation front length on the forward overburden bench to a decrease in the productivity of the rotor complex and there is a redistribution of annual overburden volumes, with a decrease in the forward and increase in the second overburden bench, which is above ore.

Scientific novelty. The pattern of development system parameters change and application of mining and transportation complexes of overburden development depending on overburden heights, length of fronts of overburden and mining works, necessary annual movements of mining work front is established.

Practical value. The performed researches allow us to choose a rational variant of mining works development taking into account necessity of planned extraction volumes performance, possible annual productivity of continuous action machines complexes, and taking into account possible distribution of overburden bench heights.

The expected technical and economic effect is expressed in the reduction of the overburden development cost due to the use of an effective overburden mining and technical complex.

Keywords: placer titanium-zirconium deposits, technological schemes, development system parameters, quarry field, working area of a quarry.