

© Б.Ю. Собко<sup>1</sup>, В.А. Кардаш<sup>1</sup><sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ РОЗРОБКИ ПЕРЕДОВОГО РОЗКРИВНОГО УСТУПУ ПРИ КРИВОЛІНІЙНОМУ КОНТУРІ КАР'ЄРНОГО ПОЛЯ

© B. Sobko<sup>1</sup>, V. Kardash<sup>1</sup><sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## SUBSTANTIATION OF THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF DEVELOPMENT OF THE OUTSTRIPPING OVERBURDEN BENCH AT QUARRY FIELD CURVILINEAR CONTOUR

**Метою досліджень** є розробка технологічних схем виймання порід розкриву на випереджаючому розкривному уступі з подальшим вибором раціональної схеми для умов криволінійного контуру кар'єру.

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

**Результати дослідження.** В результаті виконання роботи розглянуто можливі варіанти відпрацювання передового розкривного уступу. Проведена порівняльна техніко-економічна оцінка можливих варіантів розвитку гірничих робіт з врахуванням зміни довжини фронту гірничих робіт. Виконано вибір та обґрунтування технологічної схеми розробки передового розкривного уступу роторним комплексом з використанням екскаватора KU-800 на кар'єрі Мотронівського ГЗК на період проходження фронту робіт в північній частині кар'єрного поля.

**Наукова новизна.** Запропоновані можливі напрями забезпечення необхідної продуктивності розкривних робіт на випереджаючому уступі. Встановлено співвідношення собівартостей розробки розкривних порід для досліджуваних технологічних схем. Обрано раціональну технологічну схему з найменшою собівартістю виконання розкривних робіт.

**Практичне значення.** Виконані дослідження дозволяють вибрати раціональну схему виконання розкривних гірничих робіт з урахуванням криволінійного контуру кар'єрного поля та забезпечення необхідної продуктивності розкривних робіт за рахунок забезпечення необхідного посування фронту гірничих робіт на надрудному та середньому розкривних уступах.

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

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

При створенні плану контуру підрахунку запасів та гірничого відводу розробки розсипного родовища за рахунок санітарно-захисних зон, що залежать від розміщення на території родовища населених пунктів, зарезервованих заповідних зон формується, як правило, криволінійний, в вигляді ломаної лінії, контур підрахунку запасів та гірничий відвід, а також за рахунок яро-балкового рельєфу

поверхні кар'єрного поля відбувається часта зміна довжини фронту гірничих робіт. Приклад криволінійного контуру підрахунку запасів та гірничого відводу Мотронівського розсіпу Малишевського титан-цирконієвого родовища наведено на рис.1.

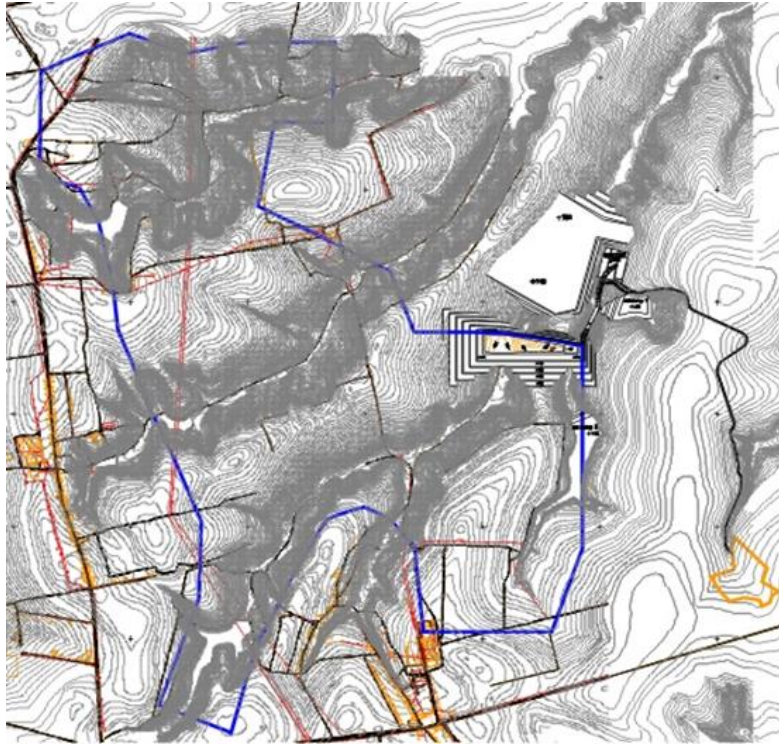


Рис. 1. Контур підрахунку запасів Мотронівського розсіпу

При цьому можливі різні варіанти технологічної схеми розробки передового розкривного уступу від розробки якого залежить забезпечення підготовки запасів корисних копалин для видобутку та виконання планових завдань гірничого підприємства в цілому. Таким чином, обґрунтування технологічної схеми розробки передового розкривного уступу при криволінійній формі фронту гірничих робіт є актуальним та своєчасним завданням.

Необхідно відмітити, що конфігурація робочої зони в плані та її довжина може змінюватися внаслідок зміни розмірів кар'єру 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].

Порівняльна оцінка можливих варіантів розвитку гірничих робіт при розробці горизонтальних родовищ показує, що найбільш економічно ефективною технологічною схемою розробки передового уступу є схема з поздовжніми заходками при транспортній системі розробки [1].

Однак при підході фронту гірничих робіт до кутових точок викривлення кар'єрного поля виникають певні складнощі із забезпеченням його прямолінійності на передовому уступі торця кар'єру, що потребують вигину торцевого (з'єднувального) конвеєра і придбання додаткової приводної станції конвеєрної лінії.

У зв'язку з цим виникла необхідність розгляду і інших альтернативних технологічних схем відпрацювання передового розкривного уступу.

У даній роботі розглянуті наступні варіанти технологічних схем розробки передового розкривного уступу із застосуванням комплексу машин безперервної дії (роторного комплексу):

схема 1 (базовий варіант) - відпрацювання уступу роторним комплексом поздовжніми заходками по транспортній системі розробки (існуюча технологічна схема) (рис. 2);

схема 2 – теж саме - поперечними заходками (рис. 3);

схема 3 – відпрацювання уступу діагональними заходками при віяловому переміщенні фронту розкривних робіт (рис. 4);

схема 4 – відпрацювання уступу поздовжніми заходками за транспортно-відвальною схемою (рис. 5 та 6).

Схема 1 являє собою фактично технологічну схему розробки розкривних уступів поздовжніми заходками. Перевагою такої схеми є забезпечення рівномірного посування фронту гірничих робіт на всіх уступах.

Недолік цієї технологічної схеми - необхідність придбання додаткової приводної головки для з'єднувального конвеєра, що пов'язано з вигином частини цього конвеєра, при просуванні фронту робіт на північ кар'єрного поля Мотронівського розсипу.



Рис. 2. Технологічна схема розробки передового уступу роторним комплексом поздовжніми заходками



Рис. 3. Технологічна схема розробки передового уступу роторним комплексом поперечними заходками



Рис.4. Технологічна схема розробки передового уступу роторним комплексом діагональними заходками при віяловому переміщенні фронту розкривних робіт

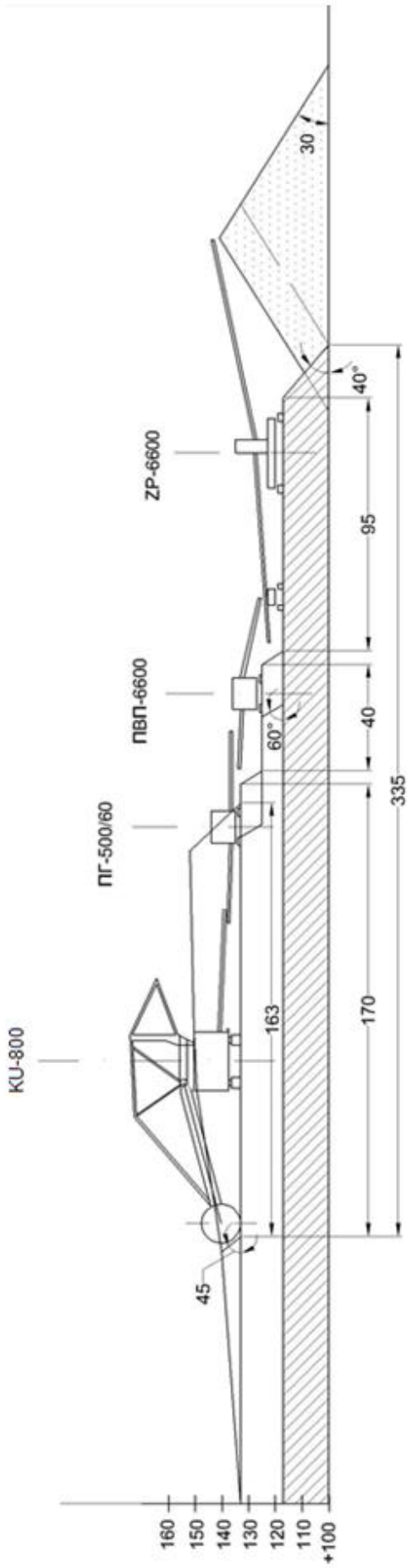


Рис. 5. Технологічна схема відпрацювання передового уступу роторним комплексом поздовжніми заходками за транспортно-відвальною схемою (при  $A = 163$  м)

11

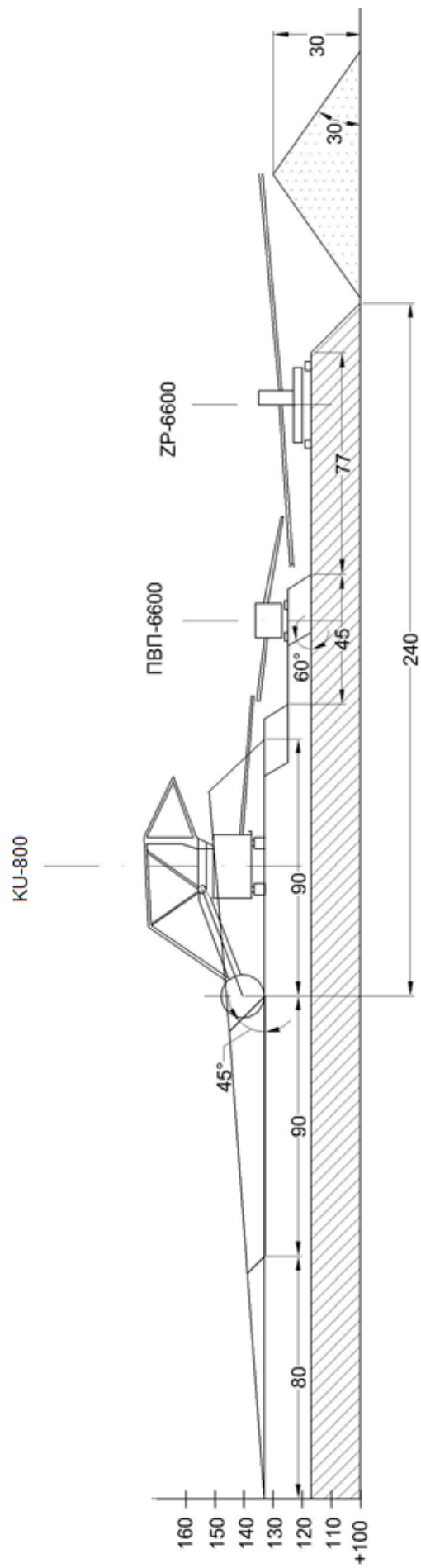


Рис. 6. Технологічна схема відпрацювання передового уступу роторним комплексом поздовжніми заходками за транспортно-відвальною схемою (при  $A = 90$  м)

Схема 1 розглядається при порівняльній оцінці як базовий варіант відпрацювання передового уступу кар'єру.

Схеми 2-4, як альтернативні схеми, передбачають зміну порядку відпрацювання уступу, зміни ширини заходки роторного екскаватора (схеми 2 і 3), а також перехід від транспортної передачі розкриву стрічковими конвеєрами в відвал на транспортно-відвальний спосіб (схеми 5 та 6). Такі зміни технологічної схеми 1 відпрацювання уступу вимагають перевірки можливості забезпечення рівномірності посування гірничих фронтів на всіх уступах розкриву, що розробляються (надрудному, середньому і передовому).

Схема 2 характеризується тим, що частина об'єму розкривних порід передового уступу розробляються поперечними заходками. Сутність такої технологічної схеми полягає в тому, що роторним комплексом відпрацьовуються 2 поздовжні заходки шириною 120 м. Потім вибійний стрічковий конвеєр залишається на своєму місці, тобто не пересувається. Подача до нього розкривних порід від роторного екскаватора (працює поперечними заходками) проводиться через передавальний конвеєр довжиною 200-250 м, що розташовується перпендикулярно до вибійного конвеєру.

Технологічна схема поперечними заходками має наступні переваги:

- зменшується число переносів вибійного стрічкового конвеєра;
- можливе збільшення продуктивності роторного екскаватора в 1-й поперечній заходці, за рахунок великої ширини заходки;
- не вимагає придбання допоміжної привідної головки конвеєра.

Недолік даної схеми - порушення рівномірності посування всіх нижче розташованих уступів, що можливо не забезпечить виконання планової виробничої потужності кар'єру. Так при відпрацюванні 1-ї поперечної заходки швидкість посування вибою роторного екскаватора складе:

$$v_{\text{эп}} = \frac{Q_{\text{эп}}}{12 \cdot A \cdot H_n} = \frac{5000000}{12 \cdot 360 \cdot 12} = 96 \text{ м/міс.},$$

де  $Q_{\text{эп}}$  – річна продуктивність роторного екскаватора, м<sup>3</sup>;  $A$  – ширина 1-ї поперечної заходки, м;  $H_n$  – середня висота передового уступу (20 м).

Термін відробки 1-ї поперечної заходки -  $T_1$  складе:

$$T_1 = \frac{l_3}{v_{\text{эп}}} = \frac{220}{96} = 2,3 \text{ міс.},$$

де  $l_3$  – середня довжина заходки, м.

Визначимо швидкість посування вибою ( $v_{\text{эк2}}$ ) і тривалість відпрацювання заходки ( $T_n$ ) комплексом «ЕШ-автосамоскиди» на надрудному розкривному уступі потужністю  $H_n = 10$  м.

$$v_{\text{эк2}} = \frac{Q_{\text{эк2}}}{12 \cdot A \cdot H_n} = \frac{2000000}{12 \cdot 30 \cdot 10} = 555 \text{ м/міс.}$$

Таким чином, вже при відпрацюванні 1-ї поперечної заходки нижні розкривні і видобувних уступи підійдуть впритул до розташування робочого майданчика вищележачого передового уступу і призупинять своє посування, тобто призупиниться видобуток корисних копалин. З огляду на тривалість відпрацювання інших 3-х поперечних заходок сумарний час простою кар'єра (з видобутку) складе майже 4,0 міс., що відповідає недовидобутку близько 400-450 тис. м<sup>3</sup> корисної копалини.

Варіант розробки передового уступу на даній ділянці віяловими заходками (схема 3) усуває основний недолік попередньої схеми, тобто не порушує рівномірності посування всіх уступів. Однак, при цьому, суттєво ускладнюється організація розкривних робіт на надрудному і середньому уступах, а також відвальних робіт поблизу району розташування пульпо-приготувальної установки для розмиву корисної копалини. Крім того зменшиться продуктивність розкривних комплексів «ЕШ + автосамоскиди», а також драглайнів, що працюють на видобувному уступі, оскільки буде змінюватися ширина їх заходок (від 0 до 30 м).

Розподіл об'ємів розкриву, що відпрацьовуються роторним комплексом віяловими заходками залишається приблизно таким же, як і при поперечних заходках. Тільки для 1-ї та 2-ї заходок об'єми розкривних порід перерозподілені. В середньому об'єми розкривних порід в кожній віяловій заходці відповідають номінально можливій місячній продуктивності роторного комплексу.

Схема 4 (рис. 5 та 6) передбачає застосування транспортно-відвального комплексу обладнання, виключаючи транспортування гірських порід розкриву у відвал стрічковими конвеєрами.

Транспортно-відвальний комплекс включає: роторний екскаватор КУ-800, перевантажувачі ПВП-6600 і ПГ-500/60, а також консольний відвалоутворювач ЗР-6600. Загальна довжина ділянки передового уступу, що відпрацьовує по даній схемі становить 180 м. Відпрацювати цю ділянку однією заходкою ( $A = 180$  м) зазначений комплекс може тільки за ускладненою транспортно-відвальною схемою (рис. 5), що нераціонально, оскільки буде потрібно додатково підключати драглайни в відвальній частині робочої зони для переєкспавації відвальних порід, що підсипають пласт корисної копалини. Найбільш прийнятна в даному випадку друга схема (рис. 6), при якій уступ на даній ділянці розробляється двома заходками шириною  $A = 90$  м без підсипки пласта корисної копалини породами розкриву. Висота внутрішнього відвалу ( $H_0$ ), що відсипається роторним комплексом по цій схемі буде складати:

$$H_0 = H_n \cdot K_p + 0,25A \cdot \operatorname{tg} \beta_0 = 15 \cdot 1,2 + 0,25 \cdot 90 \cdot 0,7 = 33 \text{ м,}$$

де  $H_n$  – середня потужність передового уступу на ділянці, м;  $K_p$  – коефіцієнт розпушення породи у відвалі;  $\beta_0$  – кут укосу відвалу.

Схема 4, що розглядається, виключає недоліки, пов'язані з порушенням рівномірного посування фронтів гірських робіт на розкривних уступах (схема 2), зі зниженням продуктивності роторного комплексу при відпрацюванні передового уступу віяловими заходками, а також ускладненням організації відвальних робіт (схема 3).

Основною перевагою застосування транспортно-відвального способу розробки передового уступу є значне скорочення експлуатаційних витрат на виймання  $1 \text{ м}^3$  розкривних порід і їх відсіпання у відвал, тобто зменшується собівартість  $1 \text{ м}^3$  розкривних порід, оскільки відсутнє їх транспортування стрічковими конвеєрами.

З теорії і практики відкритої розробки пологих родовищ як у нашій країні, так і за кордоном відомо, що транспортно-відвальні системи розробки (ТВСР) родовища за собівартістю виймання  $1 \text{ м}^3$  розкривних порід поступаються тільки безтранспортній, та безтранспортній ускладненій (на 10-20 %).

У порівнянні з транспортною системою розробки з застосуванням конвеєрного транспорту собівартість виймання  $1 \text{ м}^3$  розкривних порід при ТВСР в 2,4-2,5 рази менше (табл. 1).

Таблиця 1

## Показники систем відкритої розробки вугільних родовищ

Система розробки	Собівартість $1 \text{ м}^3$ розкриву, %	Середня собівартість $1 \text{ м}^3$ розкриву, %
1. Безтранспортна (ускладнена)	100	100
2. Транспортно-відвальна (з конвеєрним відвалоутворювачем)	110-120	115
3. Спеціальна з гідромеханізацією розкривних робіт	190-375	280
4. Транспортна	185-300	240
5. Комбінована	250-290	270

Підтвердженням ефективності транспортно-відвальної системи розробки є і зарубіжний досвід роботи транспортно-відвальних комплексів на буро-вугільних розрізах США [2, 4]. Так, питомі витрати на розробку  $1 \text{ м}^3$  розкриву комплексом ВВЕ/ХПС на Техаському розрізі в 2-3 рази менше, ніж комплексами з транспортуванням розкривних порід стрічковими конвеєрами [4].

Порівняльна економічна оцінка технологічних схем відпрацювання частини розкривних порід передового уступу на північній ділянці кар'єрного поля Мотронівського розсипу проведена за показником - мінімум експлуатаційних витрат на розробку об'єму розкривних порід на цій ділянці ( $10 \text{ млн м}^3$ ). Результати розрахунків наведені в табл. 2, з якої видно, що найбільш ефективною є схема 4 – транспортно-відвальна система розробки ділянки передового розкривного уступу.



Таблиця 2

## Показники порівнюваних технологічних схем розробки передового розкривного уступу

Технологічні схеми розробки передового розкривного уступу	Об'єм розкриву	Коефіцієнт технологічності	Собівартість 1 м <sup>3</sup> розкриву, грн	Сумарні експлуатаційні витрати, млн грн
1. Схема 1 – розробка повздовжними заходками	10 млн. м <sup>3</sup>	0,9	$\frac{21,3}{21,78^*}$	210,78
2. Схема 2 – розробка поперечними заходками		0,5	$\frac{21,3}{42,6^*}$	420,60
3. Схема 3 – розробка віяловими заходками		0,8	$\frac{21,3}{26,6^*}$	260,60
4. Схема 4 – транспортно-відвальна схема розробки уступу		0,95	$\frac{8,6}{9,1^*}$	90,10

\*- собівартість 1 м<sup>3</sup> розкриву, грн з урахуванням коефіцієнта технологічності

**Висновки.** Основні результати досліджень полягають в наступному.

1. Проведені вибір і обґрунтування технологічної схеми розробки передового розкривного уступу роторним комплексом з використанням екскаватора KU-800 на кар'єрі Мотронівського ГЗК на період проходження фронту робіт в північній частині кар'єрного поля.

2. З чотирьох розглянутих варіантів найбільш економічно ефективним є варіант 4, який передбачає транспортно-відвальну систему розробки передового розкривного уступу. У порівнянні з варіантом 1 де пропонується технологічна схема з повздовжніми заходками зменшення експлуатаційних витрат на розкривні роботи становить 120,68 млн грн при розробці 10 млн м<sup>3</sup> розкривних порід; в порівнянні з варіантом 2 (відпрацювання уступу поперечними заходками) – 330,5 млн грн; при варіанті 3 (відпрацювання уступу віяловими заходками) – 170,5 млн грн.

#### Перелік посилань

1. Новожилов, М. Г. (Ed.). (1971). *Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Часть I.* Недр.
2. *Наукове обґрунтування та дослідження стратегічних напрямків підвищення ефективності відкритої розробки родовищ України. отчет о НИР (заключительный) (2007).* № ГР 0106U001378. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. 173 с.
3. Собко, Б. Ю. (2008). *Удосконалення технології відкритої розробки розсипних титано-цирконієвих руд.* Дніпропетровськ: Національний гірничий університет.
4. Tad S. (2006). *Golosinski Mining oil sands in Alberta, Canada: past, present and future. 8th International symposium continuours surface mining.* RWTH Aachen Germany.

## АННОТАЦИЯ

**Целью исследования** является разработка технологических схем выемки пород вскрыши на опережающем вскрышном уступе с дальнейшим выбором рациональной схемы для условий криволинейного контура карьера.

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

**Результаты исследования.** В результате выполнения работы рассмотрены возможные варианты отработки передового вскрышного уступа. Проведена сравнительная технико-экономическая оценка возможных вариантов развития горных работ с учетом изменения длины фронта горных работ. Выполнен выбор и обоснование технологической схемы разработки передового вскрышного уступа роторным комплексом с использованием экскаватора KU-800 на карьере Мотроновский ГОК на период прохождения фронта работ в северной части карьерного поля.

**Научная новизна.** Предложены возможные направления обеспечения необходимой производительности вскрышных работ на опережающем уступе. Установлено соотношение себестоимости разработки вскрышных пород для исследуемых технологических схем. Произведён выбор рациональной технологической схемы с наименьшей себестоимостью выполнения вскрышных работ.

**Практическое значение.** Выполненные исследования позволяют выбрать рациональную схему выполнения вскрышных горных работ с учетом криволинейного контура карьерного поля и обеспечения необходимой производительности вскрышных работ за счет обеспечения необходимого подвигания фронта горных работ на надрудном и среднем вскрышных уступах. Ожидаемый технико-экономический эффект выражается в снижении себестоимости разработки вскрышных пород за счет применения эффективного горнотехнического комплекса и технологической схемы разработки вскрышных пород.

**Ключевые слова:** *россыпные титан-циркониевые месторождения, технологические схемы, параметры системы разработки, карьерной поле, рабочая зона карьера, криволинейный контур карьера.*

## ABSTRACT

**The purpose** of the research is to develop technological schemes of overburden rocks extraction on the outstripping overburden bench with a further rational scheme choice in the curvilinear quarry contour conditions.

**Research methods** – theoretical and experimental; graphic-analytical method; method of statistical and system analysis; method of technical and economic analysis for the selection of effective technological schemes for stripping operations.

**Research results.** As a result of the research, possible options for the development of the outstripping overburden bench were considered. A comparative technical and economic assessment of possible options for the mining operations progress, taking into account the change in the length of the mining operations front, has been carried out. The selection and justification of the technological scheme for the outstripping overburden bench development with a rotary complex using a KU-800 excavator at the Motronivsky GOK quarry for the period of the mining operations front in the northern part of the quarry field has been performed.

**Scientific novelty.** Possible directions of ensuring the required productivity of stripping operations on the outstripping ledge are proposed. The ratio of the prime cost of overburden development for the studied technological schemes has been established. The choice of a rational technological scheme with the lowest cost of stripping works has been made.

**Practical value.** The performed research allow us to choose a rational scheme for performing stripping mining operations, taking into account the curvilinear contour of the quarry field and ensuring the required performance of stripping operations by ensuring the necessary advancement of the mining operation front on the above-ore and middle stripping benches.

The expected technical and economic effect is expressed in a reduction in the overburden development cost due to the use of an efficient mining complex and a technological scheme for the overburden development.

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