

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

*Навчально-науковий інститут природокористування*  
(інститут)

**Кафедра Відкритих гірничих робіт**  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

*кваліфікаційної роботи ступеню* \_\_\_\_\_ *магістра*  
освітньо-кваліфікаційний рівень (бакалавра, спеціаліста, магістра)

*Студента* \_\_\_\_\_ *Лисенка Павла Володимировича*  
*академічної групи* \_\_\_\_\_ *184м-23-4 ІІІ*

*спеціальності:* \_\_\_\_\_ *184 Гірництво*

*спеціалізації<sup>1</sup>* \_\_\_\_\_ *«Відкрита розробка родовищ»*

*за освітньо-професійною програмою* \_\_\_\_\_ *«Гірництво»*

*на тему:* «Обґрунтування ефективної технології розкривних робіт в умовах кар'єру «Північ» Вільногірського ГМК »  
(назва за наказом ректора)

<i>Керівники</i>	<i>Прізвище, ініціали</i>	<i>Оцінка за шкалою</i>		<i>Підпис</i>
		<i>рейтинговою</i>	<i>інституційною</i>	
<i>кваліфікаційної роботи</i>	<i>Собко Б.Ю.</i>			
<i>розділів:</i>	<i>Собко Б.Ю.</i>			

<i>Рецензент</i>	<i>Лазніков О.М.</i>			
------------------	----------------------	--	--	--

<i>Нормоконтролер</i>	<i>Анісімов О.О.</i>			
-----------------------	----------------------	--	--	--

**Дніпро**  
**2024**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
Відкритих гірничих робіт

\_\_\_\_\_ **Б.Ю. Собко**  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня** \_\_\_\_\_ **магістра**  
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

**Студенту** \_\_\_\_\_ **Лисенку Павлу Володимировичу**  
**академічної групи** \_\_\_\_\_ **184М-23-4 ІІІ**  
**спеціальності:** \_\_\_\_\_ **184 Гірництво**  
**спеціалізації<sup>1</sup>** \_\_\_\_\_ **«Відкрита розробка родовищ»**  
**за освітньо-професійною програмою** \_\_\_\_\_ **«Гірництво»**

**на тему:** «Обґрунтування ефективної технології розкривних робіт в умовах кар'єру «Північ» Вільногірського ГМК»  
(назва за наказом ректора)

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 05.11.2024 р. №1461-с

<i>Розділ</i>	<i>Найменування етапів роботи</i>	<i>Термін виконання</i>
<i>Розділ 1</i>	<i>Аналіз сучасного стану розробки розкривних порід родовищ титан-цирконієвих руд, обґрунтування задач і методів дослідження</i>	<i>28.10.2024</i>
<i>Розділ 2</i>	<i>Обґрунтування ефективних технологічних схем виконання розкривних робіт</i>	<i>15.11.2024</i>
<i>Розділ 3</i>	<i>Дослідження ефективності запропонованих технологічних схем розкривних порід</i>	<i>18.12.2024</i>
<i>Розділ 4</i>	<i>Охорона та безпека праці при відкритій розробці корисних копалин</i>	<i>20.12.2024</i>

**Дата видачі завдання:** 18.10.2024 р.

**Термін подання дипломного проекту до ДЕК** 18.12.2024 р.

Завдання видав \_\_\_\_\_ **Б.Ю. Собко**

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ **П.В. Лисенко**

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка:** 65 с., 10 рис., 9 табл., 2 додатки, 9 літературних джерел.

**Об'єкт досліджень:** розкривні роботи на кар'єрі «Північ» Вільногірського ГМК з видобутку розсипних титан-цирконієвих руд.

**Предмет досліджень:** технологічні схеми розробки розкривних порід екскаваторами-механічна лопата та роторними екскаваторами.

**Метою досліджень:** є удосконалення технологічних схем розробки розкривних порід в умовах кар'єру «Північ» Вільногірського ГМК.

**Наукова новизна** проведених досліджень полягає у:

- встановленні залежностей зміни коефіцієнта розкриву від року розробки родовища;
- встановленні залежності зміни вартості розробки 1 м<sup>3</sup> розкривних порід та їх транспортування від продуктивності розкривних комплексів.

**Практична цінність результатів** досліджень полягає у розробці:

- обґрунтуванні ефективної технології розробки гірських порід розкриву на родовищі з видобутку титан-цирконієвих руд.

Перший розділ присвячений загальній характеристиці підприємства, опису геологічної та гідрогеологічної будови родовища, розгляду існуючої технології відкритих гірничих робіт та параметрів системи розробки на кар'єрі «Північ» Вільногірського ГМК.

У другому розділі розглянуто сучасний стан гірничих робіт на кар'єрі, наведено технологію ведення гірничих робіт, запропоновано нове технічне рішення з удосконалення технології розробки розкривних порід шляхом застосування роторних екскаваторів за транспортно-відвальною системою розробки родовища

Третій розділ присвячений розрахункам ефективності застосування роторних екскаваторів та транспортно-відвальної системи розробки розкривних робіт у кар'єрі.

У четвертому розділі наведено перелік основних нормативних документів, вимоги правил безпеки до гірничого обладнання, охорона праці при проведенні відкритих гірничих робіт.

**Ключові слова:** гірська порода, система відкритої розробки родовища, розкривні роботи, технологічна схема розкриву, роторний екскаватор, параметри елементів системи розробки.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗРОБКИ РОЗСИПНИХ ТИТАН-ЦИРКОНІЄВИХ РОДОВИЩ, ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАДАЧ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1. Геологічна характеристика Малишевського розсипного титан-цирконієвого родовища .....	9
1.2. Фізико-механічні властивості гірських порід .....	15
1.3. Характеристика гірничого підприємства .....	17
1.4. Гірничо-геометричний аналіз кар’єрного поля .....	24
1.5. Мета, задачі та методи дослідження. ....	29
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ РОЗКРИВНИХ РОБІТ.....	30
2.1. Діюча технологія розробки, що застосовується на кар’єрі «Північ» Вільногірського ГМК.....	30
2.2. Обґрунтування технічного рішення з удосконалення технології розробки розкривних порід на родовищі.....	32
2.3. Параметри елементів системи розробки родовища.....	36
2.4. Продуктивність запропонованого основного гірничо-виймального обладнання та розрахунок його кількості.....	37
РОЗДІЛ 3. ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ РОЗКРИВНИХ КОМПЛЕКСІВ .....	39
3.1. Прогнозна оцінка продуктивності розкривних комплексів та її вплив на собівартість розробки розкривних порід .....	39
3.1.1. Кореляційний аналіз встановлення взаємозв’язку між собівартістю розробки розкриття та продуктивністю розкривного комплексу .....	40
3.1.2. Встановлення залежностей витрат на розробку розкривних порід та їх транспортування від продуктивності гірничотранспортних комплексів.....	43
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ТА БЕЗПЕКА ПРАЦІ.....	48

4.1. Основні нормативні документи з охорони та безпеки праці при відкритій розробці родовищ корисних копалин .....	48
4.2. Загальні положення .....	49
4.3. Вимоги безпеки під час роботи одноківшевих екскаваторів.....	49
4.4. . Вимоги безпеки під час роботи багатоківшевих роторних та ланцюгових екскаваторі .....	51
4.5. Вимоги безпеки під час роботи бульдозерів .....	53
4.6. Вимоги правил безпеки на автомобільному транспорті .....	54
4.7. Безпека праці при експлуатації стрічкових конвеєрів.....	55
4.8. Вимоги правил безпеки при проведенні відвальних робіт .....	55
4.9. Санітарно-гігієнічні норми праці .....	57
4.10. Попередження затоплення гірничих виробок .....	58
Висновки .....	59
Список літератури. ....	61
Додаток А .....	63
Додаток Б .....	65

## ВСТУП

Україна входить до десятки провідних країн світу за обсягами розвіданих запасів титану та забезпечує понад 7% його світового видобутку.

У надрах України виявлено більше 40 родовищ розсіпів титану й цирконію, серед яких одне унікальне (Малишевське родовище), 13 – великих, 10 – середніх. Відомо також близько 280 перспективних рудопроявлень розсіпного типу.

Титан-цирконієві концентрати знаходять широке застосування у всіляких галузях промисловості (авіакосмічній, хімічній, чорній й кольоровій металургії тощо, харчовій, медичній промисловості, 95% ринку титану складає виробництво пігментного двоокису титану, 5% – металічного титану), їх споживання є показником рівня науково-технічного й економічного розвитку держави, його обороноздатності.

Основною мінеральною базою титана й цирконію є ільменітові й комплексні рутил-циркон-ільменітові розсіпи.

Вільногірський гірничо-металургійний комбінат (ВГМК), створений на базі Малишевського розсіпного циркон-рутил-ільменітового родовища, є основною сировинною базою титанової підгалузі України.

ВГМК здійснює розробку Східної ділянки Малишевського родовища титан-ільменітових руд відкритим способом. Запаси руди родовища зосереджено трьох паралельних покладах: I-й середній поклад, II-й середній поклад і Південний поклад. Проектна продуктивність кар'єру з видобутку рудних пісків – 5,5 млн м<sup>3</sup>/рік. Середньорічна продуктивність по розкриттю – 19,4 млн м<sup>3</sup>.

Промислові запаси розсіпу, представлені горизонтально залягаючими шарами рудних пісків неогенового віку, під комплексом розкритих осадових порід неоген-четвертинного віку потужністю до 50 м, визначили можливість відпрацювання родовища відкритим способом, з широким використанням комплексів обладнання неперервної та циклічної дії на розкритих роботах і високопродуктивної гірничої техніки на видобутку і транспортуванні корисних копалин.

Велика потужність порід розкриву обумовлює значні витрати гірничого підприємства на розробку розкриву. У зв'язку з цим, понад 80 % собівартості видобутку корисної копалини припадає саме на витрати з розробки розкривних гірських порід.

Підвищення техніко-економічних показників гірничого виробництва забезпечується постійним вдосконаленням технології і управління, вибором оптимального комплексу основного обладнання на розкривних роботах в кар'єрі.

Таким чином, кваліфікаційна робота магістра, що спрямована на удосконалення технології ведення розкривних робіт в умовах кар'єру «Північ» Вільногірського ГМК є своєчасною та актуальною.



## 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ РОЗКРИВНИХ РОБІТ

### 2.1. Діюча технологія розробки, що застосовується на кар'єрі «Північ» Вільногірського ГМК

На кар'єрі № 7 «Північ» застосовується комбінована система розробки (рис. 2.1). Попереду фронту розкривних робіт проводиться зняття чорнозему автоскреперами з укладанням його в бурти або з безпосереднім нанесенням на площу, що рекультивується. Середня потужність розкривних порід складає 43 м. Передовий розкривний уступ, потужністю 22 м, відпрацьовується розкривним комплексом ТК-2 у складі роторного екскаватора ЕРШР-1600-40/7, перевантажувача ПГ-5000/60, двох вибійних, магістрального і відвального конвеєрів, перевантажувача РVP-6600, відвалоутворювача ЗР-6600 у вироблений простір.

Нижче розташовані три розкривні уступи, потужністю по 8 м, які відпрацьовуються екскаваторами ЕКГ-8(10)І по транспортній системі з навантаженням в автосамоскиди БілАЗ-7548 та вивезенням породи у внутрішній відвал. Відстань транспортування порід розтину становить 1–1,4 км.

Видобувні роботи проводяться на I-му та II-му середніх покладах. Розробка руди проводиться екскаваторами ЕШ-10/50 з навантаженням в автосамоскиди з подальшим транспортуванням руди на рудний склад пересувної пульпонасосної станції, що знаходиться безпосередньо в кар'єрі.

Фронт гірничих робіт на кар'єрі № 7 «Північ» односторонній, вхрест простягання рудного покладу. Середня довжина фронту робіт складає до 1,0 км. Річне посування фронту гірничих робіт становить 170-230 м. Основні об'єми (до 60 %) розкривних робіт здійснюються роторними комплексами, 24–35% об'ємів розробляється за транспортною системою розробки з застосуванням комплексів гірничого обладнання ЕКГ+ автосамоскиди і лише 10–12% обсягів виїмки розкриву здійснюється за безтранспортною системою розробки.

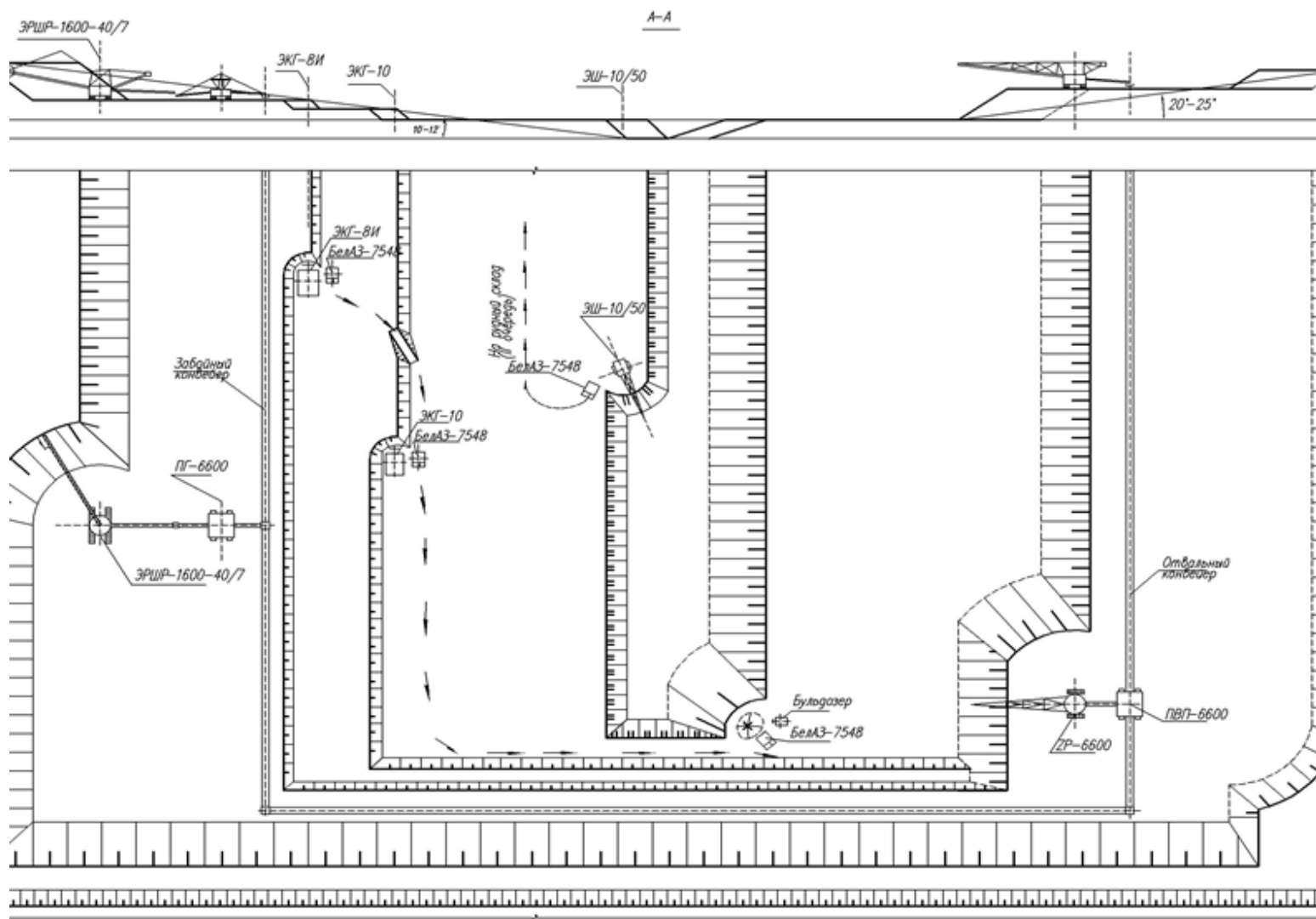


Рис. 2.1. Технологічна схема гірничотранспортних робіт на кар'єрі №7 «Північ»

Основне гірничотранспортне устаткування, що застосовується на кар'єрі «Північ» наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Кількість і тип основного гірничо-технологічного обладнання

Найменування устаткування	Кількість	Примітка
кар'єр № 7 «Північ»		
Розкривні роботи		
Екскатор ЕКГ – 8І	1	
Екскатор ЕКГ – 10	1	
<u>Розкривний комплекс ТК-2:</u>		
- роторний ексатор ЕРШР-1600	1	
- перевантажувач ПГ-5000/60	1	
- відвалоутворювач ЗР-6600 № 1	1	
- перевантажувач РВР – 6600 № 1	1	
- конвеєри В – 1800 № 4,5,6,7	4	
Видобувні роботи		
Екскатор крокуючий ЭШ-10/50	3	

2.2. Обґрунтування технічного рішення з удосконалення технології розробки розкривних порід на родовищі

Для гірничодобувних підприємств особливо важливим є зниження собівартості розробки розкривних порід, що у свою чергу знижує витрати на видобуток корисних копалин в цілому.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є пошук нових технологічних схем розробки розкривних порід, що має призвести до економічної ефективності запропонованих рішень.

У зв'язку з цим техніко-економічні завдання розглядаються з точки зору ухвалення оптимальних рішень.

Оскільки середньозважена величина потужності розкриття  $H_B^{cp.63}$  на ділянці кар'єру «Північ» складає 33,2 м (табл.1.5), то для розробки розкривних порід на відміну від діючої транспортної технологічної схеми (транспортування породи розкриття у відвал здійснюється стрічковими конвеєрами) роз-

робки розкриву пропонується транспортно-відвальний спосіб переміщення розкривних порід у відвал.

Такі зміни існуючої схеми відпрацювання розкривного уступу вимагають перевірки можливості забезпечення рівномірності посування фронту видобувних робіт на кар'єрі.

Транспортно-відвальний комплекс включає: роторний екскаватор ЕР-ШР-1600, перевантажувачі ПВП-6600, а також консольний відвалоутворювач ЗР-6600. Загальна довжина ділянки розкривного уступу, що відпрацьовується за схемою, що розглядається, становить 180 м. Відпрацювати цю ділянку однією західкою ( $A=180$  м) зазначений комплекс може тільки за ускладненою транспортно-відвальною схемою, що нерационально, оскільки потрібно додатково підключати драглайн в відвальній частині робочої зони. Найбільш прийнятна в даному випадку друга схема (рис. 2.2), при

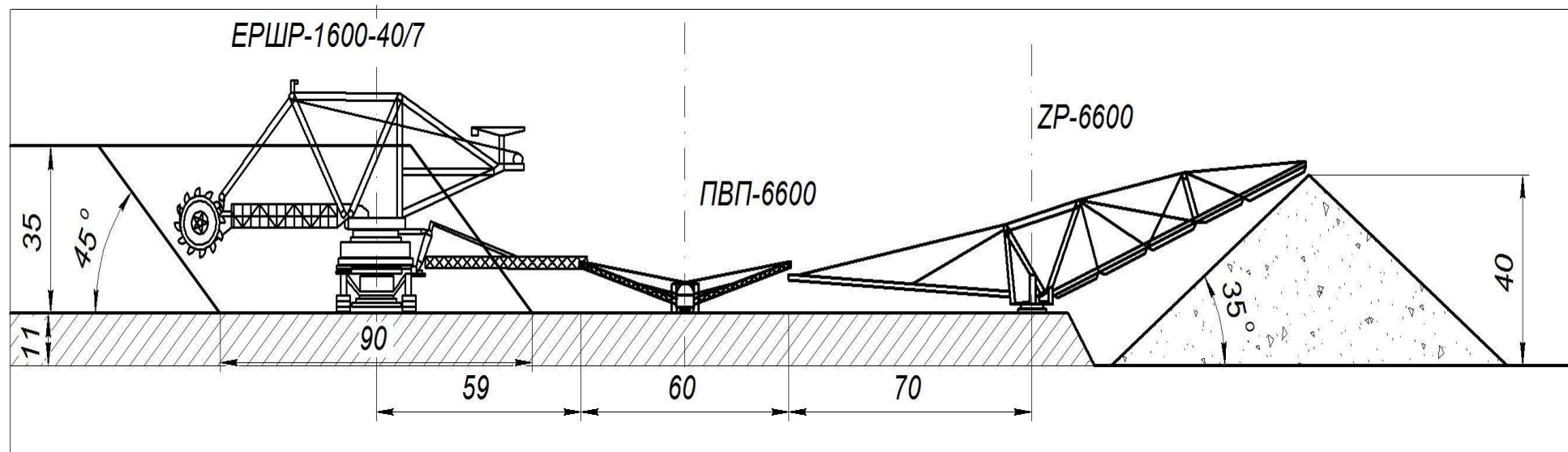


Рис. 2.2. Технологічна схема розробки розкривного уступу роторним комплексом НКМЗ по транспортно-відвальній схемі розробки (при  $A=90$  м)

якій уступ на даній ділянці розробляється двома заходками шириною  $A = 90$  м без підсипання пласта корисних копалин породами розкриву. Висота внутрішнього відвалу ( $H_в$ ), що відсипається комплексом за цією схемою, становитиме:

$$H_в = H_p \cdot K_p + 0,25A \cdot \operatorname{tg} \beta_0 = 33,2 \cdot 1,2 + 0,25 \cdot 90 \cdot 0,7 = 56 \text{ м,}$$

де  $H_p$  - середня висота уступу, м;

$K_p$  – коефіцієнт розпушування породи у відвалі;

$\beta_0$  – кут укосу відвалу.

Розглянута схема також виключає недоліки, пов'язані з порушенням рівномірного просування фронтів гірничих зі зниженням продуктивності різних комплексів, що застосовуються при розробці порід розкриву, а також ускладненням організації відвальних робіт.

Основною перевагою застосування транспортно-відвального способу розробки передового уступу є значне скорочення експлуатаційних витрат на виїмку  $1 \text{ м}^3$  розтину та її відсипання у відвал, тобто зменшується собівартість  $1 \text{ м}^3$  розтину, оскільки відсутнє транспортування її стрічковими конвеєрами.

З теорії та практики відкритої розробки пологих родовищ як у нашій країні, так і за кордоном відомо, що транспортно-відвальна система розробки (ТВСР) родовища за собівартістю  $1 \text{ м}^3$  поступається тільки безтранспортній, в т.ч. і безтранспортно ускладненій (на 10-20 %).

Порівняно з транспортною системою розробки із застосуванням конвеєрного транспорту собівартість  $1 \text{ м}^3$  розробки розкриву при ТВСР у 2,4-2,5 рази менше (табл. 2.2).

З розглянутих варіантів найбільш економічно ефективним є варіант технологічної схеми, що передбачає транспортно-відвальну систему спосіб відпрацювання розкривного уступу. Порівняно з діючим варіантом (застосована на кар'єрі «Південь» технологічна схема) економія витрат на розкривні роботи складає до 35 % ( що при розробці розкриву  $5100 \text{ тис. м}^3$  складе – 35 млн грн /рік).

Таблиця 2.2

## Показники систем відкритої розробки горизонтальних родовищ

Система розробки	Собівартість 1 м <sup>3</sup> розтину, %	Середня собівартість 1 м <sup>3</sup> розкриву, %
1. Бестранспортна (ускладнена)	100	100
2. Транспортно-відвальна (з конве- єрними відвалоутворювачами)	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 буровугільних розрізах США [1, 3]. Так, питомі витрати на розробку 1 м<sup>3</sup> розкриву комплексом BWE/XPS на Техаському розрізі в 2-3 рази менше, ніж комплексами з транспортуванням розкривних порід стрічковими конвеєрами [10].

## 2.3. Параметри елементів системи розробки

Розрахунки основних параметрів системи розробки проводяться за нижченаведеними формулами:

Як було визначено раніше раціональну ширину заходки для роторного екскаватора приймаємо рівною 90м.

Ширина робочого майданчика роторного екскаватора складе:

$$Ш_{р.м.} = A_p + Z_p + b_б + C_1 + Ш_a + C_2, м,$$

де  $A_p$  - ширина заходки роторного екскаватора, м;

$Z_p$  - ширина призми обвалення на розкривному уступі, м;

$b_б$  - ширина смуги для проїзду бульдозера, м;

$C_1$  та  $C_2$  - відповідно зазор між кромками автодороги та верхньої будови колії, автодороги та призмою обвалення, м;

$Ш_a$  - ширина допоміжного автошляху, м;

$$Ш_{pm} = 90 + 9 + 3 + 1 + 5 + 2 = 110 \text{ м.}$$

Паспорт вибою роторного екскаватора наведено на рис. 2.3.

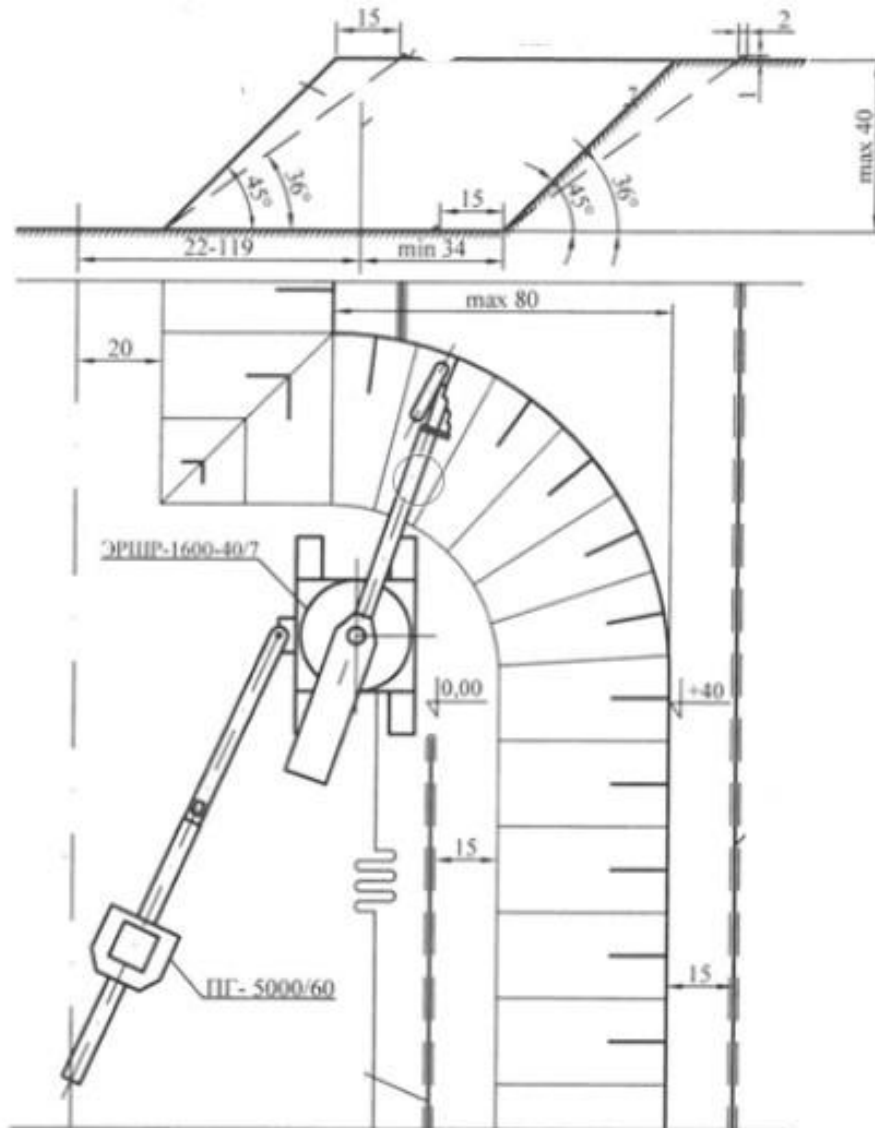


Рис. 2.3.Паспорт вибою роторного екскаватора ЕРШР-1600-40/7

2.4. Продуктивність запропонованого основного гірничо-виймального обладнання та розрахунок його кількості

Експлуатаційна річна продуктивність роторного екскаватора ЕРШР-1600-40/7 визначається за формулою:

$$Q_{p.e.} = 60 \times E \times n_k \times n_{зм} \times T_{зм} \times N_{pд} \times K_H / K_p \times K_3 \times K_6, \text{ м}^3/\text{рік},$$



де  $E$  – ємність ківша, м<sup>3</sup>;

$n_k$  – кількість зсипок породи з ківша за хвилину;

$K_n$  – коефіцієнт наповнення ківша;

$K_p$  – коефіцієнт розпушення породи у ківші;

$K_z$  – коефіцієнт вибою;

$K_v$  – коефіцієнт використання в часі екскаватора;

$n_{зм}$  – кількість змін на добу;

$N_{р\delta}$  – кількість робочих змін на рік.

$$\begin{aligned} Q_{p.e.} &= 60 \times 1,6 \times 24 \times 2 \times 12 \times 256 \times 0,8/1,15 \times 0,8 \times 0,8 = \\ &= 6302400, \text{ м}^3/\text{рік}. \end{aligned}$$

Зважаючи на заплановані об'єми розробки розкривних порід приймаємо один екскаватор для виконання річного запланованого об'єму розробки розкриву. Для переміщення порід розкриву у відвал за транспортно-відвальною схемою розробки розкривних порід приймаємо один перевантажувач ПВП-6600, а також один консольний відвалоутворювач ЗР-6600 які мають таку ж продуктивність як і роторний екскаватор.

Річне посування надрудного розкривного уступу складе:

$$P_{рік} = Q_{p.e.} / L_{p.ф.} \times H_p = 6302400/800 \times 33,2 = 237 \text{ м / рік.}$$

### 3. ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ РОЗКРИВНИХ КОМПЛЕКСІВ

3.1. Прогнозна оцінка продуктивності розкривних комплексів та її вплив на собівартість розробки розкривних порід

Вирішення завдання вибору раціонального варіанту технології розвитку гірничих робіт на Східній ділянці Малишевського титан-цирконієвого родовища (к-р «Північ») викликає необхідність прогнозової оцінки можливої експлуатаційної продуктивності розкривних комплексів: роторних екскаваторів, що працюють із стрічковими конвеєрами (ЕР+стр.к.) та одноківшових екскаваторів, працюючих у комплексі з автосамоскидами (ЕКГ+автосамоскиди та ЕШ+автосамоскиди). Така необхідність пояснюється значним скороченням довжини фронту видобувних та, відповідно, розкривних робіт (на 300 м) на зазначеній ділянці. Скорочення довжини фронту розкривних робіт, як свідчать результати наукових досліджень [3], і практика відкритих гірничих робіт призводить до істотного зменшення продуктивності, передусім, роторних комплексів.

Раніше виконаними в НГУ [11] дослідженнями встановлено, що стосовно гірничо-технологічних умов роботи комплексу НКМЗ (ЕРШР-1600+стр.к.) на передовому розкривному уступі кар'єру №7 «Південь» скорочення довжини фронту робіт на 100 м призводить до зниженню річної продуктивності комплексу на 100 тис. м<sup>3</sup>.

Крім того, на продуктивність роторного комплексу впливатиме і зміна (ускладнення) конфігурації кар'єрного поля на ділянці, що розглядається. Це призведе до порушення прямолінійності розташування торцевого сполучного конвеєра.

На продуктивність роторного комплексу НКМЗ впливатиме і ускладнення рельєфу поверхні цієї ділянки кар'єрного поля (наявність балок), що вимагатиме відповідного перерозподілу висот розкривних уступів. Зазначені особливості складності виробництва розкривних робіт на ділянці, що розгля-

дається, слід враховувати при їх плануванні на наступні періоди 2024-2026 років.

Слід зазначити, що найбільші річні обсяги розкривних робіт виконуються на кар'єрі роторним комплексом, тому важливо встановити діапазон величин фактично досягнутої ним продуктивності. Це дозволить перевірити можливість забезпечення необхідних річних рухів фронту робіт.

Загальновідомо, що продуктивність гірничотранспортного обладнання, в т.ч. і комплексів машин безперервної дії значно впливає на вартість розробки 1 м<sup>3</sup> розкриву.

У табл. 3.1, як підтвердження вищесказаного, наведено статистичні дані, які показують, що між продуктивністю обладнання та собівартістю розробки 1 м<sup>3</sup> розкриву, є відповідний взаємозв'язок.

Так, наприклад, при досягнутій у липні 2023 року продуктивності роторного комплексу НКМЗ, що дорівнює 202,8 тис. м<sup>3</sup>, собівартість 1 м<sup>3</sup> розкриву ( $C_{ep}$ ) склала 19,1 грн, а при продуктивності в червні, що дорівнює всього 117,2 тис. м<sup>3</sup>, собівартість склала  $C_{ep}=47,15$  грн/м<sup>3</sup>.

3.1.1. Кореляційний аналіз встановлення взаємозв'язку між собівартістю розробки розкриву та продуктивністю розкривного комплексу

Для встановлення взаємозв'язку між собівартістю розробки 1 м<sup>3</sup> розкриву розкривними гірничими комплексами та продуктивністю (на прикладі комплексу ЕКГ + автосам.)  $C_{екг} = f(Q_{екг})$  виконаний кореляційний аналіз. Необхідний обсяг вибірки для якого представлений в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Статистичні дані про зміну продуктивності розкривних комплексів, собівартість розробки та транспортування 1 м<sup>3</sup> розкриву

№	місяць,	ЕКГ+ автосамоскиди	Роторний комплекс, НКМЗ	ЕШ-10/50 + автосамоскиди
---	---------	--------------------	-------------------------	--------------------------

п/п	рік	$Q_{екг.}$ , тис. м <sup>3</sup>	$C_{екг.}$ , грн/ м <sup>3</sup>	$C_{тр.}$ , грн/ м <sup>3</sup>	$Q_{ер.}$ , тис. м <sup>3</sup>	$C_{ер.}$ , грн/ м <sup>3</sup>	$C_{тр.}$ , грн/ м <sup>3</sup>	$Q_{еш.}$ , тис. м <sup>3</sup>	$C_{еш.}$ , грн/ м <sup>3</sup>	$C_{тр.}$ , грн/ м <sup>3</sup>
1	червень, 23	106,6	50,58	26,81	117,2	47,15	13,65	9,5	49,57	26,88
2	липень, 23	106	42,9	24,66	202,8	19,1	7,39	29,1	44,99	24,66
3	серпень, 23	90,4	40,53	21,44	235,3	22,56	9,07	50,2	40,88	22,39
4	вересень, 23	98,1	56,05	33,74	177,8	23,35	7,96	35,8	55,15	23,17
5	липень, 24	32,9	81,8	26,35	144,7	30,87	10,56	10,5	50,33	27,9
6	серпень, 24	86,3	43,3	22,1	126,3	36,69	12,37	30,8	43,92	27,35

Кореляційний взаємозв'язок між вартістю розробки 1 м<sup>3</sup> розкриття та продуктивністю розкривних комплексів обладнання встановлювався за відомим методом статистичного аналізу, який дозволяє спростити обробку двовимірної статистичної сукупності, при невеликому обсязі вибірки. Схема обчислень полягає в послідовному обчисленні середніх значень досліджуваних величин і середньоквадратичних відхилень, коефіцієнтів кореляції, коефіцієнтів регресії та середньоквадратичних помилок параметрів. При встановленні кореляційної залежності  $C_{екг} = f(Q_{екг})$  для розкривних комплексів схема обчислень полягає в наступному.

Подається таблиця досліджуваних та розрахункових величин  $x = Q_{екг}$ ;  $x^2$ ;  $y = C_{екг}$ ;  $y^2$  та  $xy$  (табл. 3.2)

Таблиця 3.2

До встановлення рівняння регресії для комплексу ЕКГ + автосамоскиди

№ п/п	$x (Q_e)$	$x^2$	$y(C_e)$	$y^2$	$xy$
1	106,6	11363,56	50,58	2558,33	5391,83
2	106	11236	42,9	1840,41	4547,40
3	90,4	8172,16	40,53	1642,68	3663,91
4	98,1	9623,61	56,05	3141,60	5498,50
5	32,9	1082,41	81,80	6691,24	2691,22
6	86,3	7447,69	43,30	1874,89	3736,79
Сумма	520,3	48930,43	315,16	17749,15	25529,65

$$\bar{x} = \frac{520,3}{6} = 86,72; \quad \bar{y} = \frac{315,16}{6} = 52,53; \quad \mu_x = \frac{48930,43}{6} = 8155,1; \quad \mu_y = \frac{17749,15}{6} = 2958,2$$

$$\mu_x = 8155,1 - 86,72 = 8068,38; \quad \mu_y = 2958,2 - 52,53 = 2905,67;$$

$$\sigma_x = \sqrt{8068,38} = 89,82; \quad \sigma_y = \sqrt{2905,67} = 53,9;$$

$$\nu = \frac{25529,65}{6} = 4254,94; \quad \mu = 4254,94 - (x * y) = -300,46$$

$$\sigma_x \sigma_y = 89,82 \cdot 53,9 = 4841,3$$

$$r = \frac{-300,46}{4841,3} = -0,062; \quad r^2 = 0,0038; \quad 1 - r^2 = 0,9962;$$

$$\sigma_r = \frac{0,9962}{\sqrt{6}} = 0,4066; \quad r = -0,062 \pm 0,4066.$$

Встановимо коефіцієнти та рівняння регресії:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = \frac{89,82}{53,9} = 1,66; \quad \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = \frac{53,9}{89,82} = 0,6$$

Після цього для коефіцієнтів регресії отримаємо значення:

$$\rho_{yx} = -0,062 \cdot 1,66 = -0,1; \quad \rho_{xy} = -0,062 \cdot 0,6 = -0,037$$

Рівняння регресії має вигляд:

$$\bar{y}_x - 52,53 = -0,1(x - 86,72),$$

$$\bar{y}_x = 52,53 - 0,1x + 8,67,$$

$$\bar{y}_x = 61,2 - 0,1x.$$

Таким чином, рівняння регресії для комплексу ЕКГ + а/с може бути представлено у вигляді:

$$C_{екг} = 61,2 - 0,1 Q_{екг}, \text{ грн/м}^3,$$

де  $Q_{екг}$  – продуктивність комплексу ЕКГ + а/с, тис. м<sup>3</sup>/міс.

Результати визначення коефіцієнта кореляції між  $C_{екг}$  і  $Q_{екг}$  показують, що рівняння регресії можна використовувати для обчислення значень однієї величини за значеннями іншої з невеликою середньою квадратичною помилкою.

3.1.2. Встановлення залежностей витрат на розробку розкривних порід та їх транспортування від продуктивності гірничотранспортних комплексів

За допомогою програмного середовища «Ексель» були проведені дослідження залежності витрат на розробку розкривних порід від продуктивності гірничотранспортних комплексів та встановлення залежностей витрат на транспортування розкривних порід від продуктивності екскаваторів.

На рис. 3.1 наведено графіки залежностей витрат на розробку та транспортування порід розкриття від продуктивності екскаватора типу ЕКГ.

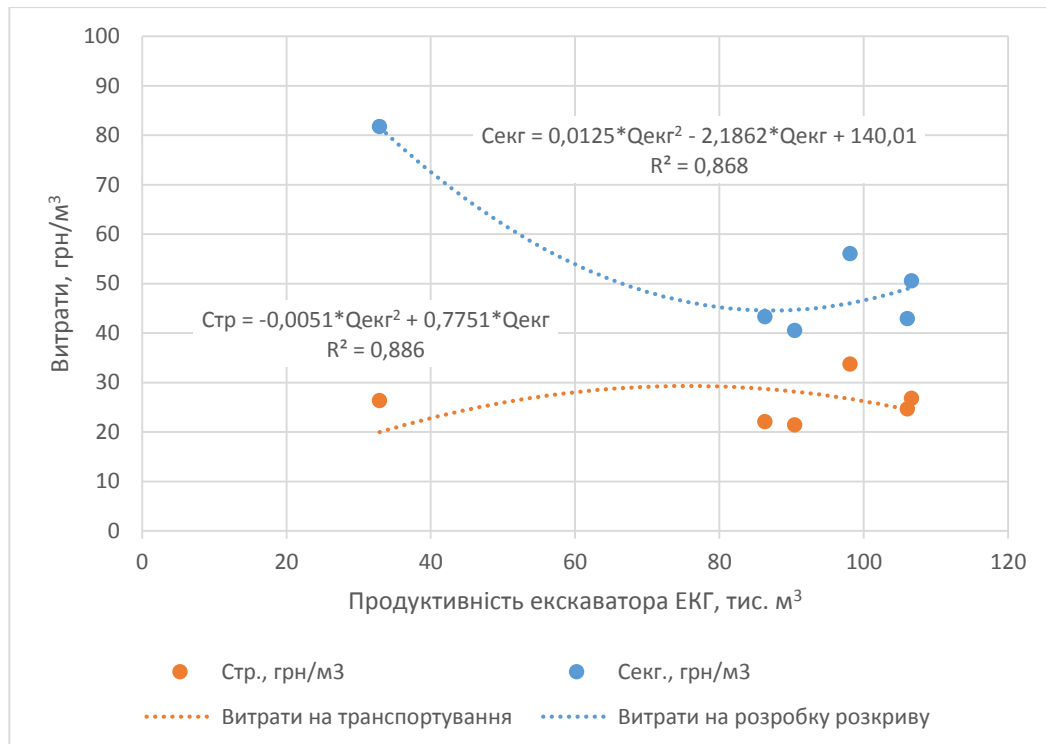


Рис. 3.1. Графіки залежностей витрат на розробку та транспортування розкриву від продуктивності екскаватора типу ЕКГ

Графік залежностей витрат на розробку та транспортування розкриву від продуктивності екскаватора ЕКГ – 8 І має параболічний вигляд, це говорить про те, що існує область оптимальних значень. Так при місячній продуктивності 87 – 90 тис. м<sup>3</sup> витрати на розробку розкривних порід мають найменше значення 40,5 грн/м<sup>3</sup>. При збільшенні чи зменшенні продуктивності екскаватора витрати на розробку гірських порід зростають. Так при малій продуктивності екскаватора – 30 тис. м<sup>3</sup>/міс і менше витрати на розробку розкривних порід складають понад 80 грн/ м<sup>3</sup>.

Апроксимація даних графіку (рис. 3.1) залежності витрат на розробку розкривних порід від продуктивності екскаватора пряма механічна лопата дозволила отримати квадратне рівняння:  $C_{екг} = 0,0125Q_{екг}^2 - 2,1862 Q_{екг} + 140,01$ , що досить точно відображає точність даної залежності, ( $R^2 = 0,868$ ), на 86,8%.

Графік витрат на транспортування порід розкриття також має параболічну залежність. При цьому максимальне значення витрат знаходиться в діапазоні продуктивності екскаватора від 70 до 80 тис. м<sup>3</sup>/міс і складають понад 30 грн/м<sup>3</sup>.

На рис. 3.2 наведено графіки залежностей витрат на розробку розкриття від продуктивності роторного екскаватора.

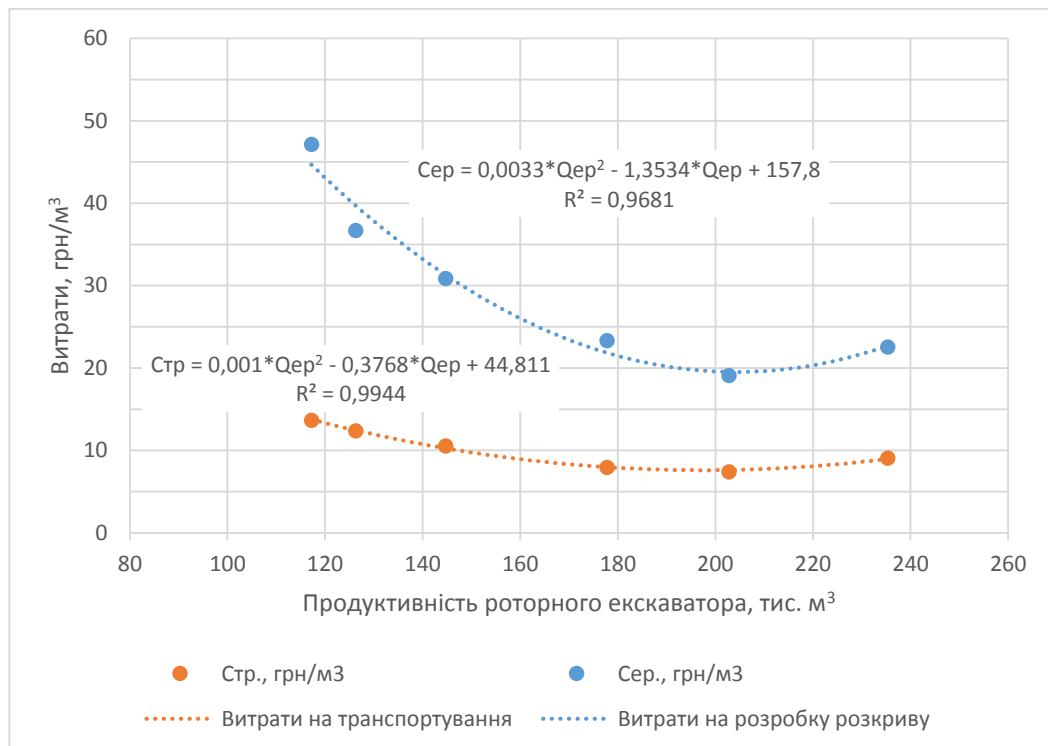


Рис. 3.2. Графіки залежностей витрат на розробку та транспортування розкриття від продуктивності роторного екскаватора

Дані залежностей витрат на розробку та транспортування розкриття від продуктивності роторного екскаватора ЕРШР-1600-40/10, що наведені на графіку рис. 3.2 мають параболічний вигляд, це говорить про те, що існує область оптимальних значень. Так при місячній продуктивності 200-210 тис. м<sup>3</sup> витрати на розробку розкриття порід мають найменше значення 19,0 грн/м<sup>3</sup>. При зменшенні продуктивності екскаватора витрати на розробку гірських порід значно зростають. Так при продуктивності екскаватора менше 120 тис.



м<sup>3</sup> на місяць витрати зростають до 50 грн/м<sup>3</sup>. Апроксимація даних графіку 3.2 дозволила отримати квадратне рівняння:  $C_{ep} = 0,0033Q_{ep}^2 - 1,3534 Q_{ep} + 157,8$ , що досить точно відображає точність даної залежності, ( $R^2 = 0,9681$ ), на 96,8%.

Графік даних витрат на транспортування порід розкриття показує, що найменші їх значення знаходяться також в діапазоні продуктивності екскаватора від 180 до 220 тис. м<sup>3</sup>/міс і складають менше 8 грн/м<sup>3</sup>.

На рис. 3.3 наведено графіки залежностей витрат на розробку та транспортування розкриття від продуктивності екскаватора типу ЕШ.

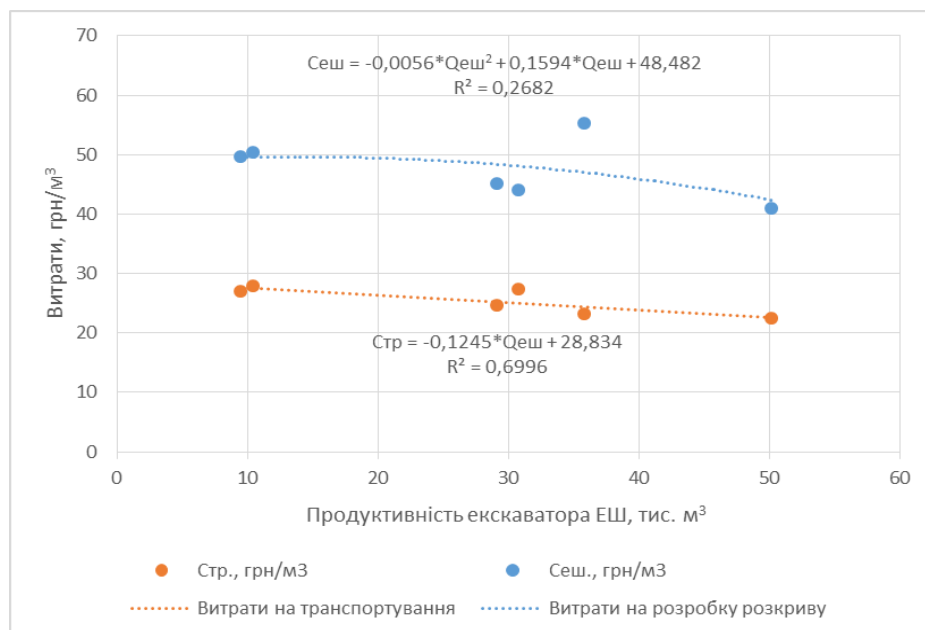


Рис. 3.3. Графіки залежностей витрат на розробку та транспортування розкриття від продуктивності екскаватора типу ЕШ

Дані залежностей витрат на розробку та транспортування розкриття від продуктивності крокуючого екскаватора ЕШ-10/50, що наведені на графіку рис. 3.3 мають також параболічний вигляд. При цьому витрати на розробку порід розкриття гірничим комплексом ЕШ-10/50 + автосамоск. в межах продуктивності екскаватора від 10 до 50 тис. м<sup>3</sup> на місяць становлять від 40 до 55 грн/ м<sup>3</sup>. В свою чергу витрати на транспортування розкриття порід для такої ж продуктивності екскаватора становлять – 20 – 30 грн/м<sup>3</sup>.

Апроксимація даних графіку 3.3 дозволила отримати квадратне рівняння визначення витрат на розробку порід розкриву крокуючими екскаваторами:  $C_{eui} = 0,0056Q_{eui}^2 + 0,1594 Q_{eui} + 48,482$ , при середньоквадратичному відхиленні ( $R^2 = 0,268$ ).

На рис. 3.4 наведено графіки залежностей витрат на розробку розкривних порід для трьох вищенаведених гірничотранспортних комплексів.

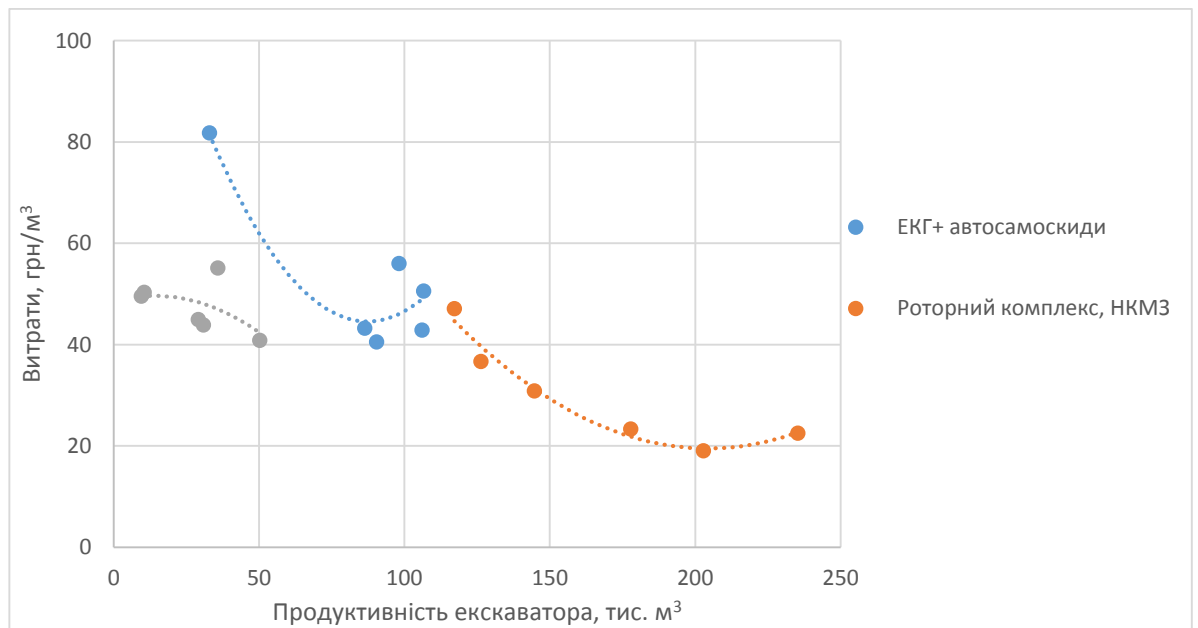


Рис. 3.4. Графіки залежностей витрат на розробку розкривних порід від продуктивності екскаваторів

З даних графіків, які наведені на рис. 3.4 видно, що витрати на розробку розкриву при застосуванні роторних комплексів менші в середньому на 40% при продуктивності, що перевищує комплекси циклічної дії 2 – 4 рази.

## ВИСНОВКИ

Проведені дослідження дозволили вирішити поставлені у роботі задачі.

Отримані наступні наукові та практичні результати:

1) встановлена залежність коефіцієнта розкриття від року розробки родовища;

2) встановлені залежності витрат на розробку розкривних порід гірничотранспортними комплексами «ЕКГ + автосамоскиди», «ЕШ + автосамоскиди та «ЕРШР + стрічковий конвеєр»;

3) встановлені залежності витрат на транспортування розкриття від продуктивності екскаваторів: пряма мехлопата, крокуючого та роторного;

4) встановлено, найефективніший розкривний комплекс гірничотранспортного обладнання («ЕРШР + стрічковий конвеєр») на основі найменших витрат на розробку та транспортування розкривних порід; при цьому витрати на розробку розкриття при застосуванні роторних комплексів менші в середньому на 40% при продуктивності, що перевищує комплекси циклічної дії 2 – 4 рази;

5) запропонована раціональна технологічна схема розробки розкриття з застосуванням транспортно-відвального способу транспортування розкривних порід у внутрішній відвал з використанням роторного екскаватора, перевантажувача та відвалоутворювача, що дозволяє зменшити витрати на розробку розкривних порід до 35 %.

У кінцевому результаті наукове дослідження враховує особливості розробки м'яких розкривних порід комплексами гірничотранспортного обладнання в умовах кар'єру «Північ» Вільногірського ГМК. Результати дослідження можуть бути використані для кар'єрах, де застосовуються вказані комплекси.

Техніко-економічний ефект від реалізації результатів роботи очікується позитивним завдяки підвищенню ефективності роботи розкривних гірничотранспортних комплексів та застосування транспортно-відвальної системи ро-

зробки на кар'єру «Північ» при розробці Малишевського розсипного родовища титан-цирконієвих руд.