

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи

на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра
зі спеціальності 184 “Гірництво” ОПП «Відкриті гірничі роботи»

На тему: **«Дослідження параметрів пересувних дробильно-
перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології»**

Виконав ст. групи ГІВ-23-1м _____ /Коваленко В.Ю./

Керівник _____ /Григор'єв Ю.І./

Завідувач кафедри _____ /Жуков С.О./

Кривий Ріг

2024 р.

РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему «Дослідження параметрів пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології» викладена на 51 стр., містить 13 рис., 4 таблиці, 32 джерела літератури.

Актуальність теми. Дослідження параметрів пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології є надзвичайно актуальним у сучасних умовах розвитку гірничодобувної промисловості. Зростання потреби в ефективному видобутку та переробці корисних копалин вимагає впровадження інноваційних технологій та оптимізації існуючих виробничих процесів.

Пересувні дробильно-перевантажувальні пункти є ключовими елементами в системах циклічно-поточної технології, що поєднує переваги циклічних та безперервних методів видобутку та транспортування гірничої маси. Оптимізація їх параметрів дозволяє знизити витрати на транспортування, зменшити енергоспоживання та підвищити загальну продуктивність підприємства.

По-перше, ПДПП дозволяють зменшити відстань транспортування гірничої маси. Завдяки можливості пересування пункту ближче до місця видобутку, знижується потреба у використанні рухомого складу автомобільного транспорту. Це не тільки скорочує витрати на паливе та обслуговування техніки, але й зменшує тривалість рейсу. По-друге, інтеграція пересувних дробарно-перевантажувальних пунктів у циклічно-поточну технологію забезпечує безперервність виробничого процесу. Безперервний потік матеріалів мінімізує простой обладнання та підвищує загальну продуктивність. По-третє, встановлені на них системи моніторингу в режимі реального часу дозволяють оперативно реагувати на зміни в процесі

видобутку та переробки, забезпечуючи оптимальні параметри роботи обладнання. Це сприяє зниженню ризику поломок та аварійних ситуацій.

Таким чином, дослідження цього аспекту має значний науковий та практичний потенціал, спрямований на вирішення актуальних завдань підвищення ефективності та стійкості виробничих процесів відкритих гірничих робіт.

Мета й завдання роботи. Метою даної магістерської роботи є наукове обґрунтування оптимальних параметрів пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології. Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Виконати аналіз досвіду експлуатації пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології.

2. Проаналізувати сучасний стан теоретичної бази щодо проектування систем циклічно-поточної технології з внутрішньокар'єрним подрібненням.

3. Встановити залежності параметрів пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології, що забезпечують найкращі техніко-економічні показники розробки.

Об'єкт дослідження – пересувні дробильно-перевантажувальні пункти у складі циклічно-поточної технології.

Предмет дослідження – взаємозв'язки параметрів пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології.

Ідея. Підвищити ефективність транспортування гірничої маси при використанні циклічно-поточної технології за рахунок обґрунтування

оптимальних значень продуктивності дробарок і кроку перенесення пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів.

Методи дослідження. Аналіз і синтез літературних джерел - для вивчення теоретичних основ і досвіду експлуатації пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології; метод кореляційно-регресійного аналізу – для встановлення залежностей продуктивності дробарок і кроку перенесення пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів.

Наукове значення роботи полягає у аналізі теорії і практики експлуатації пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології, а також обґрунтуванні залежностей продуктивності дробарок і кроку перенесення пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів.

Практичне значення роботи полягає у встановленні регресійних залежностей продуктивності дробарок і кроку перенесення пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів.

ЦИКЛІЧНО-ПОТОЧНА ТЕХНОЛОГІЯ, ПЕРЕСУВНИЙ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИЙ ПУНКТ, ДРОБАРКА, КОРЕЛЯЦІЯ, ТРАНСПОРТУВАННЯ, БУНКЕР-ПЕРЕВАНТАЖУВАЧ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРАКТИЧНОГО ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ДРОБИЛЬНО-ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК В КАР'ЄРАХ	8
1.1 Аналіз досвіду проектування і впровадження пересувних дробильно-перевантажувальних установок на відкритих гірничих роботах	8
1.2 Проблеми і перспективи використання мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології	20
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ПРОЄКТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦИКЛІЧНО-ПОТОЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІЗ МОБІЛЬНИМИ ДРОБАРНО-ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИМИ ПУНКТАМИ	29
РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ДРОБИЛЬНО-ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПУНКТІВ У СКЛАДІ ЦИКЛІЧНО-ПОТОЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ	36
3.1 Обґрунтування кроку перенесення перевантажувального пункту	39
3.2. Обґрунтування продуктивності дробарно-перевантажувального пункту	41
3.3. Моделювання параметрів дробарно-перевантажувального пункту	43
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	48

ВСТУП

Сучасний розвиток гірничодобувної промисловості ставить перед підприємствами нові вимоги щодо підвищення ефективності та продуктивності виробничих процесів. Зростання потреби в корисних копалинах та жорстка конкуренція на світовому ринку залізорудної продукції вимагають впровадження інноваційних технологій, які забезпечують оптимальне використання ресурсів та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище.

Одним із перспективних напрямів удосконалення відкритих гірничих робіт є впровадження циклічно-поточної технології з використанням мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів. Ця технологія поєднує переваги циклічних та безперервних методів видобутку і транспортування, що дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити продуктивність та покращити екологічні показники підприємств.

Аналіз практичного досвіду використання дробильно-перевантажувальних установок у кар'єрах свідчить про їх значний потенціал у оптимізації гірничих процесів. Проте існують проблеми, пов'язані з проектуванням та вибором оптимальних параметрів дробарно-перевантажувальних пунктів, що стримують їх широке впровадження. Недостатня теоретична опрацьованість цих питань обумовлює актуальність дослідження параметрів пересувних дробильно-перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології.

Впровадження мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів у циклічно-поточкову технологію відкриває широкі можливості для оптимізації гірничих процесів. Це дозволяє зменшити транспортні витрати, скоротити час доставки сировини та підвищити загальну продуктивність підприємства. Крім того, ефективне використання дробильно-перевантажувальних пунктів сприяє зниженню енергоспоживання та мінімізації екологічного впливу на навколишнє середовище.

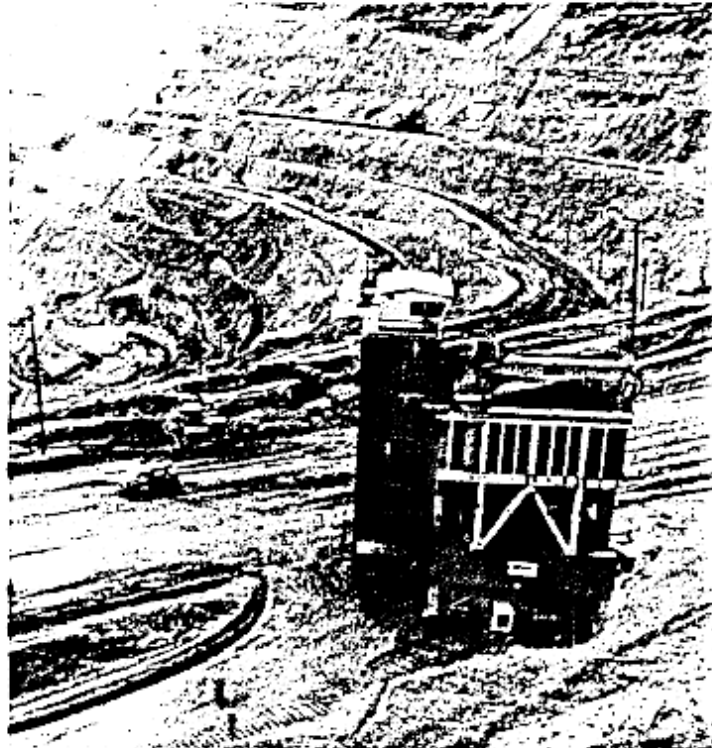
Важливим аспектом дослідження є підвищення поточності виробництва шляхом оптимізації використання мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів. Забезпечення безперервності технологічного процесу дозволяє мінімізувати простої обладнання та підвищити ефективність використання виробничих потужностей. Це досягається завдяки узгодженню роботи всіх ланок технологічного ланцюга та оптимальному плануванню гірничих робіт. Таким чином, впровадження мобільних дробильно-перевантажувальних пунктів сприяє створенню умов для безперервного та стабільного функціонування підприємства, що позитивно впливає на загальні показники продуктивності та рентабельності виробництва.

Однак недостатня розробленість теоретичних основ проектування та оптимізації параметрів дробильно-перевантажувальних пунктів обмежує їх ефективне застосування. Відсутність чітких методик та моделей ускладнює прийняття обґрунтованих рішень при впровадженні цієї технології. Тому дослідження в цьому напрямку є надзвичайно актуальними і мають значний науковий та практичний інтерес.

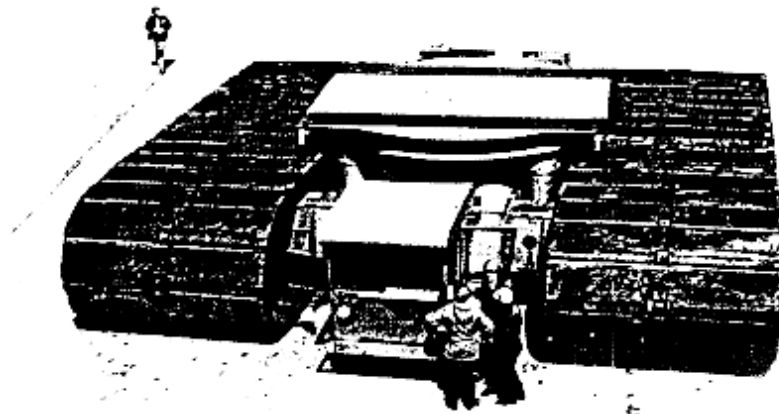
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРАКТИЧНОГО ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ДРОБИЛЬНО-ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК В КАР'ЄРАХ

1.1 Аналіз досвіду проектування і впровадження пересувних дробильно-перевантажувальних установок на відкритих гірничих роботах

Під час аналізу досвіду проектування та впровадження пересувних дробильно-перевантажувальних установок (ДПУ) у блочному модульному виконанні було виявлено 12 типів установок (табл. 1.1), п'ять з яких знаходяться в експлуатації, інші представлені проектними розробками. Всі типи пересувних установок розраховані на переміщення модулів гусеничними транспортерами фірми «Крупп» (табл. 1.2), яка випускає гусеничні транспортери типорозмірного ряду з вантажопідйомністю від 240 до 1000 т. Найбільшим виробником гусеничних транспортерів є також американська фірма «Ліпсон», яка пропонує наступний типорозмірний ряд: 600, 800, 1000, 1200, 2000, 3000 і 4000 т (рис. 1.1). Найбільше крупних машин цього ряду оснащені чотирма дизельними двигунами. Загалом фірма випустила понад 60 машин. Основні параметри гусеничних транспортерів є наступними: висота рами 2,8 м; довжина 15 м; середній тиск на ґрунт 0,2 МПа; автономне енергозабезпечення [1].



а)



б)

Рис. 1.1 – Гусеничний транспортер: а) в ході експлуатації; б) в очікуванні переміщення мобільного комплексу

Конусна дробарка розташовується майже в центрі установки, з одного боку знаходиться моторний відсік, з іншого – відсік з електрообладнанням.

Дроблена порода з дробарки надходить на розвантажувальний конвеєр, розміри якого становлять $2,4 \times 30,5$ м. Розвантажувальний конвеєр встановлено на колісному пневмоходу, що дозволяє йому переміщуватися на нове місце [2].

Пересувна дробильна установка фірми «Крупп», експлуатована на кар'єрі «Мейрімбра» (США), наведена в таблиці 1.2. Застосовується бункер із конусно-щековою дробаркою типу 135-190, встановлена на окремій несучій рамі (схема I, таблиця 1.1).

Максимальна розрахункова продуктивність у перший рік роботи — 1200 т/год, а розмір продукту на виході дробарки — 250 мм. Завантаження бункера виконується автосамоскидами вантажопідйомністю 170 т, а із бункера йде подача через качаючий лотковий живильник. Дробильна установка має висоту 17,6 м, ширину 8 м і довжину 36,9 м [3].

Таблиця 1.1 – Закордонні пересувні дробарно-перевантажувальні установки

Компоновочна схема	Фірма і країна-виробник	Продуктивність, т/год	Тип дробарки	Місце установки (стадія розробки)	Функціональна схема дробарно-перевантажувальної установки
I	«Крупп», ФРН	600	Щоково-конусна 135-190	Кар'єр «Мейрама», Іспанія	[Б-Ж-Д] – [К]
II	«Крупп», ФРН	до 7000	Конусна 60-109	Кар'єр «Сішен», ПАР	[Б-Ж-Д-Ж] – [К]
III	«Дювелл», США	до 4000	Конусна 60-89	Кар'єр «Сієрріта», США	[Б-Ж] - [Д] - [К]
IV	«Ніссіо Іваї Корпорейшн», Японія	6800	Конусна	Проект	[Б-Ж-Д-К]
V	«Кобе Стіл ЛТД», Японія	4000	Конусна 60-89	Проект	[Б-Ж] - [Д] - [К]
VI	«Тойо Менка Кайша ЛТД», Японія	4000	Конусна 125 18НН	Проект	[Б-Ж] - [Д] - [Б-Ж] [К]

VII	«Маунтін Стейтс», США	3000	Конусна	Проект	[Б-Ж-Д] – [К]
VIII	«Фуллер», США	до 4000	Конусна	Проект	[Б-Ж] - [Д] - [К]
IX	«Кобе Стіл ЛТД», Японія	до 4000	Конусна	Проект	[Б-Д]
X	«Маунтін Стейтс», США	4000	Конусна 60-89	Проект	[Б-Ж-Д] – [К]
XI	«Крупп», ФРН	4000	Конусна	Проект	[Б-Ж] - [Д] - [К]
XII	«Везерхютте», ФРН	до 9000	Конусна	-	[Б-Д] - [Б] - [К]

[] – функціональні елементи, об'єднані в одному конструктивному блоці;

[] – функціональні елменти, положення яких змінюється в транспортному і робочому станах;

Б – приймальний бункер; Ж – живильник; Д – дробарка; К – розвантажувальний конвеєр.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики гусеничних транспортерів «Крупп»

Параметри	Тип транспортера					
	TR 850	TR 700	TR 500	TR 450	TR 300	TR 200
Довжина, м	12,1	11,9	11,5	9,6	9,3	7,6
Ширина, м	10,1	9,5	8,4	7,6	7,1	6,4
Висота, м	2,74	2,62	2,63	2,31	2,00	1,56
Хід гідроциліндрів, м	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5
Площа опорної поверхні, м ²	44,2	42,9	33,2	26,6	22,3	14,5
Вага транспортеру, т	237	213	165	140	91	65
Вага вантажу, т	850	700	500	450	300	200
Керівний ухил, %	7	10	10	10	10	10
Швидкість руху без вантажу, м/хв	25	25	25	25	25	30
Швидкість руху з вантажем, м/хв	12	12	12	12	12	12
Потужність двигуна, кВт	250	250	250	250	200	140

На мідно-молібденовому кар'єрі «Сіппігата», розташованому в штаті Арізона (США), встановлена пересувна система дроблення з розрахунковою продуктивністю 15 млн т на рік. Максимальна експлуатаційна продуктивність у перший рік роботи складає 3200 т/год. Пересувна дробильна установка (схема III, таблиця 1.1) включає в себе пересувний модуль з пластинчастим живильником продуктивністю 3600 т/год, пересувний модуль дробарки фірми «Аліс-Чалмерс», типорозмір 60-89; самохідний розвантажувальний конвеєр; кран на пневмоколісному ході вантажопідйомністю 360 т для виконання ремонтних робіт; гусеничний

транспортер вантажопідйомністю 1080 т. Довжина пересувного модуля пластинчастого живильника 52,5 м, ширина 7,6 м, висота 9 м. Пластинчастий живильник можна встановлювати під кутом 5-20°, що дає змогу завантажувати автосамоскидами ґрунтову масу з горизонту розміщення установки, а також із уступу вище. Завантажувальний кінець пластинчастого живильника заглиблюється в приймач, чим створюються умови для стабільного живлення установки.

Установка фірми «Крупп» (схема II в таблиця 1.1) складається із конусної дробарки «Аліс-Чалмерс» (типорозмір 60-109), бункера місткістю 78 т, пластинчастого живильника довжиною 3 м, колісного крана вантажопідйомністю 140 т, призначеного для виконання ремонтних робіт, а також для вилучення негабариту з прийомного отвору дробарки; гусеничного транспортера вантажопідйомністю 1000 т. Максимальна продуктивність досягає 7000 т/год при прийомному розмірі 250 мм.

Компанія «Маунтейн Стейтс», Туксон, штат Арізона, США, розробила дробильно-перегрузочну установку, експлуатаційна продуктивність якої складає 3000 т/год і більше, залежно від типу установки, продуктивністю до 3500 т/год (схема VII в таблиця 1.1). Система включає в себе бункер з відвальним живильником, пластинчастий живильник, конусну дробарку, бутобій та розвантажувальний конвеєр. Переміщення установки здійснюється за допомогою гусеничного транспортера. Місткість бункера-живильника становить 350 т, завантаження може виконуватися з трьох сторін. З бункера-живильника порода направляється на пластинчастий живильник розміром 2,44*14 м. Ударні навантаження мінімізуються, оскільки гірнична маса падає на жорстку плиту, а потім зісковзує з неї в бункер дробарки. Бункер-живильник встановлюється на 8 колесах діаметром 91 см, які, в свою чергу, встановлюються на чотирьох рейках. Рейки розташовані на бетонній основі бункера-живильника і з'єднуються з іншим набором рейок, розташованих поперек верхньої частини опорної конструкції дробарки. Таке пристрій

дозволяє переміщувати бункер-живильник на опорну конструкцію дробарки для спільного транспортування на нове місце. Металоконструкції дробильно-гопорного модуля виконані зі сталевих плит з метою досягнення максимальної жорсткості конструкції, здатної витримувати підвищені статичні та динамічні навантаження під час дроблення.

Інший проєкт пересувної дробильної установки з продуктивністю до 4000 т/год цієї ж фірми (схема X в табл. 1.1) в основному схожий з попереднім, відрізняється лише більш удосконаленим рішенням бункера-живильника, переміщення якого відбувається тільки в горизонтальному напрямку при приведенні його в робоче або транспортне положення. Бункер-живильник встановлюється на восьми колесах для підйомного крана діаметром 0,9 м, який, у свою чергу, встановлюється на чотирьох рейках. Рейки, укладені на основі забетонованого каналу («карману»), з'єднуються з іншими рейками, що проходять через верхню частину опорної конструкції дробарки. Це дає можливість бункеру-живильнику переміщатися по опорній конструкції дробарки і дозволяє об'єднати їх разом для транспортування на нове місце. Поздовжнє переміщення бункера-живильника по рейках здійснюється за допомогою гідравлічних двигунів, кожний із яких приводить у рух два колеса. Дроблена руда надходить на розвантажувальний конвеєр довжиною 30,5 м і шириною 2,44 м, з швидкістю стрічки 1,75 м/с [4].

Пересувна дробильна установка компанії «Фуллер» (схема VIII в табл. 1.1) включає в себе конусну дробарку фірми «Тейлор», встановлену на раму із профільного прокату з трьома опорами з кожного боку. Розмір приймального отвору дробарки 1520 мм, продуктивність системи до 4000 т/год. Додаткове обладнання включає бутобій, підйомний кран вантажопідйомністю до 80 т для подачі траверси в конус дробарки при проведенні ремонтних робіт. Пластинчастий живильник-бункер нахилений під кутом 25° [5].

Проєкт пересувної дробильної установки (схема V в табл. 1.1),

розроблений японською фірмою «Кобе Стіл ЛТД», включає окремі модулі бункера-живильника і дробарки. Місткість приймального бункера 300 м³, завантаження в бункер може здійснюватися одночасно двома самоскидами. На металокопункції бункера встановлені дві відвальні опори. Дробильний пристрій пересувного модуля на всю його раму розташований на чотирьох опорах, із зазором між опорами і верхньою частиною рами 0,23 м. Між двома дробильними конусами дробарки, типорозмір 60-89, розташовані верхні частини опорної конструкції з відстанню 10 і 14 м по осі опор. Пересування модуля дробарки здійснюється також за допомогою гусеничного транспортера вантажопідйомністю 900 т. Розвантажувальний летючий конвеєр встановлено на колісному пневмоході для транспортування на нове місце й приведення в робоче положення шляхом вкатування під модуль дробарки. Продуктивність розвантажувального конвеєра до 5000 т/год при ширині стрічки 2,4 м і швидкості стрічки 0,66 м/с. Проведення ремонтних робіт здійснюється за допомогою автокрана моделі 9200 ТС, вантажопідйомністю 200 т при вильоті стріли 4,5 м [8].

Інший проєкт цієї фірми (схема ІХ в табл. 1.1) виконаний також на базі конусної дробарки 60-89. Дробильна встановлена в порожнині уступу, на збірно-розбірних металокопункціях. Розвантаження автосамоскидів здійснюється безпосередньо в бункер, розташований над дробаркою. Розвантаження гірничої маси здійснюється на розвантажувальний конвеєр, встановлений на колісному пневмоході.

Пересувна дробильна установка, розроблена японською фірмою «Тойо Менка Кайша», м. Японія (схема ХІ в табл. 1.1), виконана на базі дробарки 125 НН з гідравлічною системою приводу й функціонує на кар'єрі при середньому рівні висоти уступу 150 м. Продуктивність системи — до 4000 т/год при ширині стрічки 150 мм, яка регулюється в межах 150-245 мм. Дробарка розташована на чотирикопійній рамі, опори якої утворені для гусеничного пересування в протилежних напрямках і можуть рухатися

одночасно. З двох сторін у діаметрі колони приварені вантажопідйомні лапи, за допомогою яких положення приймається на гусеничній рамі. Місткість бункера прийому матеріалу до 3000 м³, продуктивність системи до 2000 т/год (максимальна 2400 т/год), швидкість 2,5 м/с (ширина стрічки/ширина борту) досягає середнього рівня розділення. Довжина бункера – 60 м; розвантажувальна ємність – 30 м.

Передвижна дробильна установка, спроектована фірмою «Крупп» (схема XI в табл. 1.1), за своєю функціональною схемою аналогічна схемам У установок «Кобе Стил» і схем VIII установок компанії «Фуллер». Бункер-живильник і модуль дробарки виконані в виді окремих конструктивних блоків, котрі транспортуються на нове місце за допомогою гусеничного транспортера цієї ж фірми. Розвантажувальний конвеєр встановлено на колісному пневмоході для транспортування на нове місце і приведення в робоче положення шляхом вкатування під модуль дробарки.

Практична реалізація даного проекту була здійснена з незначними змінами в дробильно-перевантажувальних установках, входячих в комплекс циклічно-поточної технології на кар'єрі Полтавського ГЗК (Україна), введеного в експлуатацію в квітні 1996 р. Слід зазначити, що техніко-економічно обґрунтована необхідність застосування циклічно-поточної технології і середніх дробильних установок у блочному виконанні отримала відображення в ІГД ім. М.М. СРСР ще в 1987 р. [6]. Дробильна установка включає два бункери – живильник фірми «Крупп», модуль бункер-живильник, конвеєр розвантаження. Стіни бункера облицьовані змінними зношувальними елементами стандартного розміру, завдяки чому вони можуть замінюватися на ділянках з високим зносом. Для захисту від ударів падаючих кусків гірничої маси на ділянці завантаження пластинчастий живильник спирається на рейки ковзання, що також дозволяє розвантажити ходові ролики живильника в зоні розвантаження. Для зручності проведення ремонтних робіт при техобслуговуванні дробарки, а також для оптимізації її

завантаження рудою пластинчастий живильник може зупинятися при допомозі гідроциліндрів. Привід живильника має гідравлічний привід, що дозволяє плавно регулювати швидкість і забезпечувати рівномірне завантаження руди в дробарку, залежно від частоти розвантажень автосамоскидів у приймальний бункер [7].

Дробильна установка фірми «Везерхютте» ФРН (схема XII в табл. 1.1) складається з конусної дробарки фірми «Алліс-Чалмерс» продуктивністю 9000 т/год, потужністю 745 кВт; завантажувального бункера місткістю 600 м³ і проміжного (буферного) бункера місткістю 300 м³. Конусна дробарка з приймальним бункером виконана у вигляді самостійного конструктивного блоку, який встановлюється на уступі в спеціальній виїмці на бетонному фундаменті. Уступ оформлюється плитами, які разом із фундаментами постачаються фірмою «Везерхютте». Повна висота дробильної установки від підшви уступу до верхньої позначки завантажувального бункера становить 30 м, що відповідає висоті двох уступів. Дробильний блок масою 1200 т переміщується за допомогою гусеничного транспортера [8].

У проєкті установки японської фірми «Ніссію Іваї» (схема IV в табл. 1.1) продуктивністю 6800 т/год всі елементи: бункер-живильник, конусна дробарка, розвантажувальний конвеєр – об'єднані в одному конструктивному блоці. Установка переміщується за допомогою гусеничного транспортера вантажопідйомністю 1000 т [9].

Таким чином, практика видобутку мінеральної сировини свідчить, що основним напрямом інтенсифікації та підвищення ефективності відкритої розробки родовищ в умовах постійно зростаючої глибини кар'єрів є широке впровадження на гірничодобувних підприємствах циклічно-поточної технології, заснованої на використанні нової потужної гірничо-транспортної техніки, яка за своїми параметрами й показниками відповідає специфічним вимогам гірничого виробництва. Циклічно-поточна технологія з використанням пересувних дробарно-перевантажувальних установок

знайшла широке застосування при розробці залізорудних, мідних, марганцевих, фосфатних та вугільних родовищ, а також на багатьох кар'єрах корисних нерудних копалин США, Канади, Бразилії, Австралії, ПАР, Чилі та інших країн.

Найбільшого поширення на зарубіжних кар'єрах набули технологічні схеми ЦПТ з авто-, залізничним і дробильно-конвеєрним транспортом, які у скельних породах застосовують безпосередньо в кар'єрах в пересувних установках, конструктивно виконаних в блочному модульному виконанні.

Основним напрямом подальшого розвитку та вдосконалення систем циклічно-поточної технології є використання в комплексах основного обладнання мобільних дробильних установок на базі конусних і щекових дробарок з заданими параметрами приводу й ефективності залежно від фізико-механічних властивостей сировинних матеріалів порід, гусеничних транспортерів для переміщення модулів дробильних установок, приводних станцій конвеєрів вантажопідйомністю до 1000 т і т.д., мобільних вантажопідйомних засобів на пневмоколісному чи гусеничному ході.

Використання нового спеціалізованого обладнання в схемах ЦПТ дозволяє значно розширити область застосування і підвищити ефективність розробки родовищ навіть на великих глибинах.

Дослідження в області створення пересувних установок, а також досвід експлуатації існуючих стаціонарних дробильно-перевантажувальних пунктів показують, що до них слід пред'являти такі вимоги: приймальний отвір дробарки повинен відповідати максимальному розміру вхідного матеріалу порядку 1200-1300 мм і забезпечувати дроблення порід із міцністю до 250-300 Мпа, що відповідає значенням міцності порід нижніх горизонтів кар'єрів Кривбасу; продуктивність повинна знаходитися в інтервалі 600-2000 м³/год залежно від технологічних можливостей завантаження ліній ЦПТ, враховувати можливість забивання приймального отвору, а також мати можливості роботи під завалом; витрати на експлуатацію пересувної

дробильно-перевантажувальної установки повинні бути співмірні з витратами на експлуатацію стаціонарних пунктів; продуктивність трудових ресурсів при застосуванні пересувних дробильно-перевантажувальних установок не повинна бути нижчою, ніж при експлуатації стаціонарних ДПУ; конструкція пересувної ДПУ повинна забезпечувати максимальний строк служби всіх деталей, вузлів і коефіцієнт готовності установок у цілому повинен бути не нижче 0,95; продовжуваність монтажно-демонтажних робіт в умовах переходу на нове місце роботи повинна бути мінімальною; для переносу блоків ДПУ використовуються гусеничні транспортери з вантажопідйомністю 200-1000 т з параметрами: висота машини до 2,8 м, довжина до 15 м; середній тиск на ґрунт до 0,2 МПа; автономне енергозабезпечення.

1.2 Проблеми і перспективи використання мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології

На перших етапах розвитку комплексів ЦПТ (1980–1995 рр.) головним недоліком дробильних станцій було те, що вони ставали по суті жорстко фіксованими точками перевантаження на стаціонарних бортах кар'єрів. Їх перенесення в результаті поглиблення гірничих робіт представляло складну інженерно-технічну проблему і було досить економічно витратним процесом.

При середньому для багатьох рудних кар'єрів темпі зниження робочих горизонтів на 15–20 м/рік, глибина кар'єрів зростала, і такі жорстко фіксовані точки дробильних станцій вже не могли задовольняти потреби ефективного стабілізованого обсягу транспортно-дробильної роботи кар'єра. Безупинним прогресом в розвитку гірничої техніки й активного створення нових пересувних, двувалкових, мобільних станцій для гірничої промисловості стали досягнення таких компаній, як «ThyssenKrupp Fördertechnik», «Joy Global» і «Sandvik». Лідерами в виробництві низько-зубчатих дробилок

являються фірми «MMD», «FAM», «FLSmidth». Останні двовалкові установки розроблені фірмою «Tenova TAKRAF» [10-12].

Пересувні дробильні станції, обладнані валковими й шнекозубими дробилками, використовуються в наш час на багатьох кар'єрах світу (рис. 1.2).

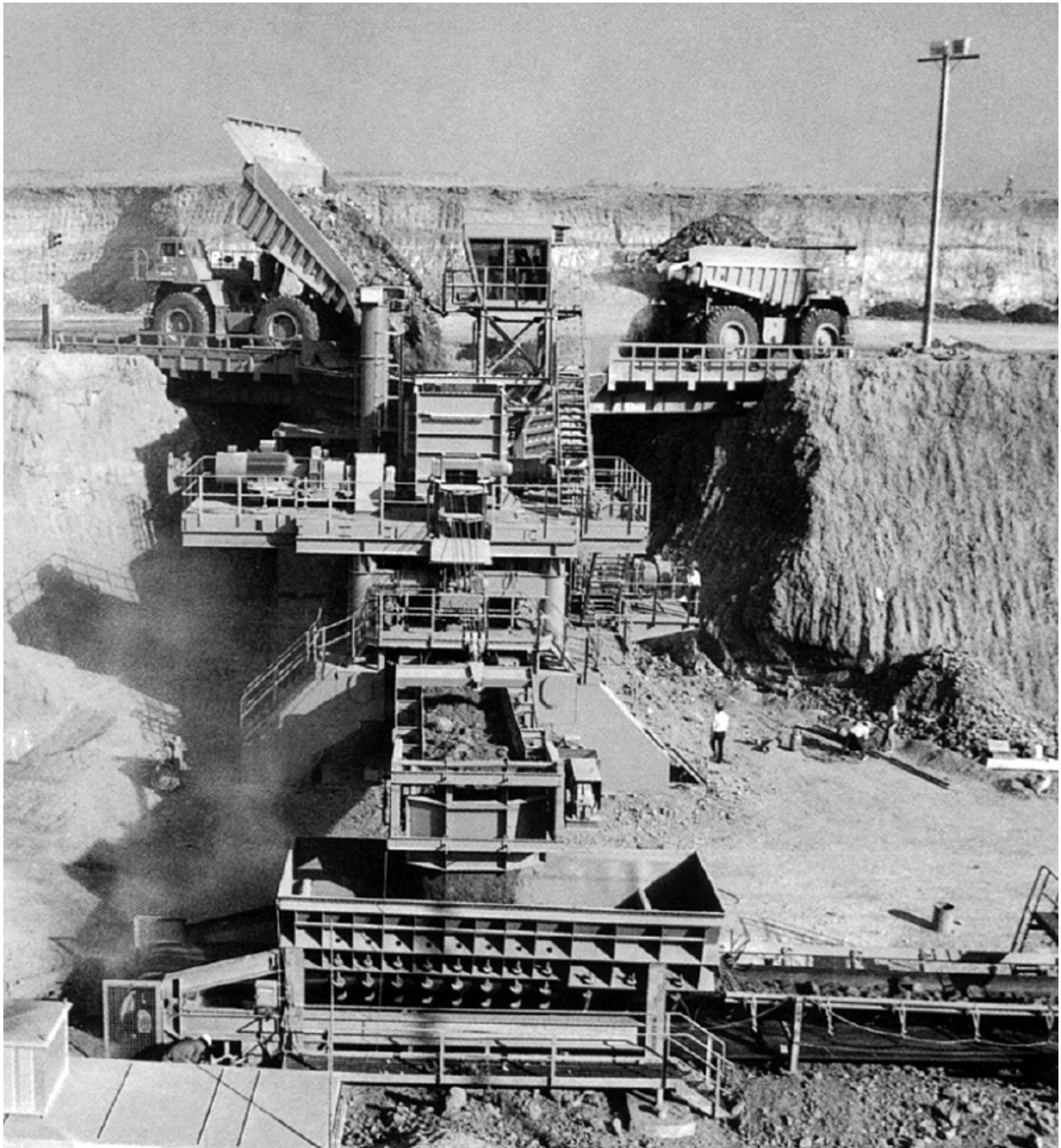


Рис. 1.2 – Напівстаціонарна дробарка на кар'єрі компанії «Salakol Engineers Ltd.» (Таїланд)

Фірма «Joy Global» випускає одновалкові дробилки типу BF-38 і BF-43, які успішно застосовуються для первинного дроблення скельних порід (рис. 1.3).



Рис. 1.3 – Зовнішній вигляд напівстаціонарного дробарного пункту на базі одновалкової дробарки фірми «Joy Global»

Фірма «Sandvik» для обладнання напівстаціонарних дробильних вузлів у кар'єрі випускає параметричний ряд гібридних дробилок серії CR810. Гібридні дробилки поєднують у собі принципи роботи традиційних

дробилок-класифікаторів і двувалкових дробилок, що робить їх придатними для первинного дроблення [11].

Фірми «ThyssenKrupp Furdertechnik», ПАТ «Новоκραматорський машинобудівний завод», «Tenova TAKRAF», «Joy Global», «Metso» і «Kleemann» розробили концепцію ЦПТ з використанням повністю мобільних дробарних установок (рис. 1.4-1.9).



Рис. 1.4 – Мобільна дробарна установка «ThyssenKrupp Fundertechnik» на кар'єрі «Yimin He», КНР

Інноваційна складова полягала в можливості руху техніки під час гірничих робіт, що забезпечувало максимальну гнучкість, мобільність і, найголовніше, поточність виробничого процесу.

У поєднанні з неперервно працюючими стрічковими транспортерами повністю усувається необхідність у транспортуванні автосамоскидами.



Рис. 1.5 – Самоходний агрегат ДПА-2000 на дослідно-виробничій ділянці ПРАТ «Центральний ГЗК»

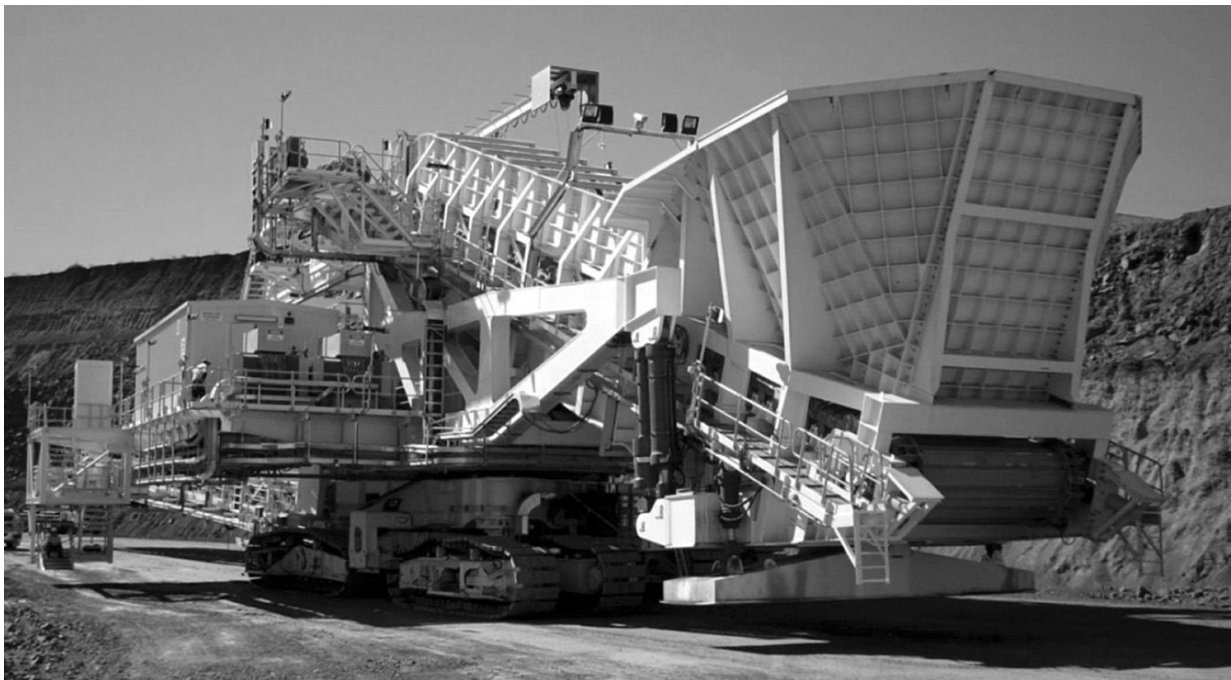


Рис. 1.6 – Мобільна дробарна установка фірми «Тепова Такраф»

Використання неперервно працюючої техніки порівняно з циклічно працюючими автосамоскидами дає економічний ефект не тільки у зростанні

продуктивності, але й в економії енерговитрат, а також у захисті навколишнього середовища [10].



Рис. 1.7 – Навантаження гірничої маси екскаватором Р&Н-2800 в пересувну дробарну установку «Joy Global» (родовище «Goonyella», Австралія)



Рис. 1.8 – Мобільна дробарна установка фірми «Metso»



Рис. 1.9 – Зовнішній вид пересувної дробарної установки MC 160 PRR фірми «Kleemann»

До складу комплексів ЦПТ з повністю мобільними дробарками входять екскаватор-мехлопата, пересувна дробильна установка, система конвеєрів (рис. 1.10).

Однак досвід гірничих робіт підказує, що комплекси ЦПТ з мобільними дробильними установками великої потужності є значною мірою експериментальним обладнанням. Найбільш перспективними для застосування на розкривних роботах великих вугільних і рудних кар'єрів є комплекси ЦПТ, побудовані на основі використання півстаціонарних дробарних станцій і зборочного автомобільного транспорту. Ключовим при виборі комплексів механізації ЦПТ є вид дробарки. В цьому аспекті найкращим чином себе зарекомендували шокові та гіраційні дробарки, які однак, характеризуються найбільшою собівартістю. Тому більшого поширення знайшли двохвалкові дробарки.



Рис. 1.10 – Комплекс циклічно-поточної технології, що включає механічну лопату, мобільний дробарно-перевантажувальний бункер і конвеєрний перевантажувач (виробництво компанії «ThyssenKrupp Fundertechnik» на кар'єрі «Yimin He», КНР)

Ефективними способами регулювання продуктивності дробарок є зниження розмірів вихідного матеріалу дробарок. Дана умова може бути успішно реалізована за рахунок ефективного управління вибуховою підготовкою гірничих порід для забезпечення оптимального гранулометричного складу, що подається на дробарні станції комплексів ЦПТ.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ПРОЄКТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦИКЛІЧНО-ПОТОЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІЗ МОБІЛЬНИМИ ДРОБАРНО-ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИМИ ПУНКТАМИ

При плануванні відкритих гірничих робіт повинні бути враховані багато технічних, геологічних, екологічних і економічних факторів. Системи циклічно-поточної технології з внутрішньокар'єрним подрібненням (ЦПТ ВП) можна розглядати переважно як технічний та економічний фактор. Сьогодні об'єм гірничих робіт є величезним, тому неможливо точно визначити, коли саме має бути видобутий конкретний блок руди або в якому місці кар'єрного поля він має бути вийнятий. Витрати або прибуток завжди враховуються в стратегічних і технічних дослідженнях планування підприємства в цілому. Метою є мінімізація витрат або максимізація прибутку в межах заданого періоду. Планувальники відкритих гірничих робіт майже одноставно погоджуються, що в короткостроковій перспективі витрати мають бути мінімізовані, а в довгостроковій – має бути максимізований чистий приведений дохід (NPV) [13-16]. Однак подекуди пропонуються імпровізовані ідеї для мінімізації коливань ємності, шляхом зниження екстремальних витрат, оптимізуючи довгострокове планування і підтримуючи NPV на постійному рівні [17]. Відомо також, що рівень невизначеності даних вищий у довгостроковому плануванні порівняно з середньо- або короткостроковим плануванням [18]. У короткостроковому плануванні, однак, більшість даних є доступними та більш надійними. Цільові показники виробництва, встановлені довгостроковим плануванням, мають розглядатися як мета кожного короткострокового плану, що може бути інтерпретовано як поєднання довгострокового і короткострокового планування [19]. Однією з головних витрат у відкритих гірничих роботах є транспортування, незалежно від капітальних або експлуатаційних витрат. Автори [20] зазначають, що витрати на транспортування в кар'єрі можуть

становити від 45% загальних експлуатаційних витрат і 40-50% загальних капітальних витрат. Таким чином, ЦПТВП є важливим фактором у плануванні відкритих гірничих робіт, незважаючи на тенденцію керівників оцінювати й розглядати ЦПТВП як перший крок при плануванні гірничих робіт чи ні.

Система циклічно-поточної технології з внутрішньокар'єрним подрібненням являє собою високотехнологічне інженерне рішення, що забезпечує інтеграцію первинного подрібнення корисних копалин безпосередньо в межах робочого простору кар'єру на оптимальній висотній позначці. Застосування конвеєрного транспорту для переміщення подрібненого матеріалу від місця дроблення до другого етапу обробки (дробарки або млину), розташованого поза межами кар'єру, дозволяє суттєво знизити залежність від автосамоскидів і скоротити експлуатаційні витрати на транспортування.

Така концепція вирішує одну з ключових проблем системи транспортування в умовах значних відстаней і змін глибини робочих горизонтів. Альтернативні підходи, наприклад, використання самоскидів ультра-великого класу, потребують суттєвого збільшення об'ємів буропідривних робіт і підвищення вантажопідйомності навантажувальної техніки, що, у свою чергу, призводить до зростання висоти уступів і складності їх розробки.

Інноваційні технології, такі як автоматизовані транспортні системи або стратегічний перехід від відкритого до підземного видобутку, також пропонуються як ефективні рішення для оптимізації транспортування. Вони дозволяють адаптувати гірничо-транспортну інфраструктуру до нових викликів у гірничій галузі, забезпечуючи підвищення продуктивності, зменшення енергоспоживання та покращення техніко-економічних показників відкритих гірничих робіт.

Для впровадження системи циклічно-поточної технології з внутрішньокар'єрним подрібненням підприємство повинно відповідати певним ключовим вимогам. Система ЦПТВП має кілька моделей, кожна з яких оптимізована для конкретних умов відкритої розробки. Проте, невизначеність залишається домінуючим фактором, що впливає на всі етапи гірничих робіт. Відсутність точних даних, особливо на початкових стадіях проектування кар'єра, може призвести до помилок у розрахунках. Невизначеність, незалежно від її масштабу, є вирішальним фактором у визначенні доцільності впровадження ЦПТВП. Зокрема, варто приділяти увагу економічним, технічним та геологічним джерелам невизначеності, адже саме вони формують основні ризики [21].

За класифікацією [22], існують три основні типи ЦПТВП: повністю мобільні дробарки, напівмобільні/напівстаціонарні дробарки, а також стаціонарні дробарки. Кожен із цих типів має свої технічні характеристики та обмеження в застосуванні. Повністю мобільні дробарки зазвичай використовуються на горизонтальних та пологспадних родовищах. Застосування повністю мобільних дробарок дозволяє суттєво знизити або повністю усунути потребу у транспортних засобах, що призводить до значного зменшення експлуатаційних витрат.

Напівмобільні та напівстаціонарні дробарки об'єднані в одну категорію через їх схожі технічні характеристики. Основною відмінністю є час їх переміщення, який визначається поглибленням кар'єру. Ці дробарки зазвичай встановлюються всередині кар'єру між уступами, що дозволяє автосамоскидам або навантажувачам доставляти матеріал до дробарки. Час переїзду таких дробарок варіюється від 1 до 10 років.

Стаціонарні дробарки зазвичай залишаються на фіксованому місці всередині кар'єру протягом не менше 15 років [18]. Цей тип дробарок схожий на напівмобільні, проте витрати на їх переміщення є значно нижчими.

В роботі [23] визначено три ключові умови, за яких впровадження систем циклічно-поточної технології з внутрішньокар'єрним подрібненням стає доцільним:

1. Тривалий термін експлуатації кар'єру.
2. Розвинена транспортна система.
3. Високі показники виробничої продуктивності.

У міру збільшення розмірів кар'єру виникає ціла низка проблем, серед яких суттєве зростання експлуатаційних витрат. Для глибоких кар'єрів час циклу роботи автосамоскидів значно збільшується, що потребує залучення більшої кількості рухомого складу для транспортування руди. У таких умовах диспетчеризація стає критичним аспектом, оскільки при значній кількості автосамоскидів контроль і управління транспортними операціями вимагають підвищеної уваги. Технічне обслуговування і ремонт автосамоскидів, а також пов'язані з ними збої збільшують експлуатаційні витрати. Використання дизельного пального, основного енергоресурсу для автосамоскидів, є ключовим фактором високих витрат і забруднення довкілля. Впровадження ЦПТВП дозволяє значно скоротити споживання пального. Прикладом може слугувати скорочення витрат палива до 60 мільйонів літрів на рік, як це сталося на одному з бразильських кар'єрів залізної руди, де працювали дві повністю мобільні ЦПТВП із загальною продуктивністю 800 т/год [24].

На основі проведених досліджень, виділяють такі фундаментальні критерії для впровадження ЦПТВП:

1. Для досягнення економічної ефективності з точки зору капітальних витрат, рівень продуктивності кар'єру повинен перевищувати 4 млн тонн на рік, а бажаним показником є 10 млн тонн на рік.

2. Експлуатаційні витрати повинні бути мінімізовані, щоб період окупності впровадження ЦПТВП був коротшим. Це зазвичай можливо, якщо залишковий термін експлуатації кар'єру перевищує 10 років. У більшості

випадків ЦПТВП встановлюється на середніх або пізніх етапах експлуатації кар'єру, тому рекомендується, щоб залишковий строк експлуатації був не меншим за 10 років.

3. Вартість електроенергії (г.о./кВт·год) має бути нижчою за вартість дизельного пального (г.о./т), щоб зробити ЦПТВП економічно доцільною. При переведенні до єдиної системи оцінки різниця має становити не менше 25%.

Існує низка досліджень, присвячених можливостям впровадження систем циклічно-поточної технології з внутрішньокар'єрним подрібненням як способу зниження витрат [8, 15-21, 23]. Усі вони підтверджують, що зростання витрат, викликане збільшенням глибини кар'єру, зниженням якості руди та нестабільністю цін на сировину, є серйозною проблемою для гірничодобувних підприємств. Впровадження ЦПТВП зафіксовано навіть для родовищ із глибиною понад 1000 метрів, які, ймовірно, могли б перейти на підземну розробку. До прикладів таких родовищ належать Bingham Canyon, Morenci та Chuquibambilla, де напівмобільні/напівстаціонарні системи використовувалися ще в 1980-х роках. Chuquibambilla використовувала цю систему як для транспортування руди, так і породи, тоді як Bingham Canyon застосовував її виключно для транспортування руди [20].

Згідно з даними виробників, зібраними [25], з 1956 року було встановлено 447 систем по всьому світу. Європа має найбільшу кількість установок (147), а Близький Схід — найменшу (16). З того часу застосування технології внутрішньокар'єрного подрібнення і транспортування руди постійно зростає. Вантажопідйомність систем збільшилася з 100–500 т/год на початкових етапах розвитку цієї технології до 10 000–14 000 т/год в останні роки. Найпоширенішими сферами застосування є розробка вапняку, вугілля та залізної руди. Також значна частина установок цієї системи використовується для транспортування пустої породи, а не руди, що обумовлено кінцевим пунктом доставки породи.

У 1956 році перша система ЦПТВП була введена на шахті Werk Hoyer у Німеччині [26]. З того часу багато дослідників намагалися розробити ефективні методи використання подібних систем. Автори у праці [27] досліджували зниження витрат на транспортування за рахунок мінімізації нахилу конвеєрів. Автори у [28] повторно розглянули та вивчили можливість використання конвеєрів для високих ухилів. Автори [29-30] намагалися визначити найкраще місце розташування мобільної внутрішньокар'єрної дробарки. Ще одне рішення, запропоноване [31], стосувалося визначення оптимального місця розташування точок розподілу для стрічкових конвеєрів.

Сьогодні проєктувальники кар'єрів приділяють більше уваги напівмобільним і напівстаціонарним моделям через їхню більшу гнучкість у взаємодії з транспортними системами. Тому більшість досліджень зосереджена на питанні встановлення та переміщення напівмобільних/напівстаціонарних дробарок у відповідний час і правильне місце. Ця задача вирішується за допомогою математичного моделювання, що оптимізує місце розташування дробарки та час її переміщення.

У роботі [8] автори запропонували просту транспортну модель для вирішення задачі оптимального розташування та часу переміщення. Вони стверджують, що ця модель дозволяє одночасно шукати оптимальне місце та час розташування. Використовуючи цю модель, дослідники вирішили двовимірну гіпотетичну задачу гірничої секції. Автори у [17] змоделивали проблему розташування мобільних дробарних установок за допомогою лінійного програмування як динамічну задачу. Автори розрахували витрати на транспортування за допомогою двох функцій: одна для систем вантажівок і інша для систем конвеєрів. Ці функції оцінювали витрати транспортування на основі щорічної висоти видобутку, що дозволяє визначити оптимальне місце і час переміщення.

В дослідженні [32] дослідники представили евристичний підхід для пошуку оптимального місця розташування. У запропонованій евристиці

модель даних має дві цільові функції: перша мінімізує витрати, а друга максимізує чистий приведений дохід (NPV). Оскільки змінні цих функцій не є ідентичними, максимізація NPV потребує нелінійної функції, тому модель вирішується за допомогою евристичного підходу. На основі цієї моделі, коли система транспортування змінюється, метод транспортування та вартість блоку повинні бути оновлені й перераховані з новими витратами. Застосування ЦПТВП знижує витрати, що дозволяє збільшити кінцеві розміри кар'єру. Ця модель повинна працювати в кілька ітерацій для оцінки витрат на транспортування за кожен період, визначення найкращого місця та часу, а також встановлення нових меж глибини кар'єру.

РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ДРОБИЛЬНО-ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПУНКТІВ У СКЛАДІ ЦИКЛІЧНО-ПОТОЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Планування гірничих робіт в кар'єрі потребує детального аналізу та обґрунтування рішень, спрямованих на підвищення ефективності виробництва та зниження експлуатаційних витрат. Одним із ключових аспектів такого планування є раціональне розташування дробарного обладнання та оптимізація його продуктивності з урахуванням особливостей родовища та технологічних процесів.

У кар'єрах, що розробляють крутоспадні родовища, де гірничі роботи розвиваються як по горизонталі, так і по вертикалі, питання оптимізації транспортування породи та переміщення дробарного пункту стає особливо актуальним. Зі збільшенням глибини та площі робіт відстань транспортування породи автосамоскидами до дробарки зростає, що призводить до підвищення витрат на транспортування та зниження загальної продуктивності видобутку. Водночас часті переміщення дробарного пункту пов'язані зі значними витратами часу та ресурсів.

Таким чином, виникає необхідність у розробці методів оптимізації, які дозволять збалансувати витрати на транспортування породи та витрати на перенесення дробарного обладнання. Це забезпечить мінімізацію загальних експлуатаційних витрат та підвищить ефективність гірничих робіт.

Оптимізація кроку перенесення дробарного пункту (S) та його

продуктивності (Q) на основі балансу витрат є важливим інструментом для досягнення цих цілей.

Врахування факторів розвитку гірничих робіт вимагає комплексного підходу до моделювання процесів транспортування та переміщення обладнання. Зокрема, необхідно аналізувати зміну відстаней транспортування по горизонталі та вертикалі, а також враховувати вплив кута падіння родовища на швидкість розвитку гірничих робіт та витрати на транспортування.

Застосування оптимізаційних розрахунків дозволяє:

- мінімізувати загальні витрати шляхом визначення оптимального співвідношення між частотою перенесення дробарного пункту та витратами на транспортування породи;
- підвищити продуктивність видобутку за рахунок оптимального використання обладнання та ресурсів;
- забезпечити безперервність технологічного процесу шляхом планування перенесення дробарки з мінімальним впливом на виробничий цикл;
- приймати обґрунтовані управлінські рішення на основі кількісних показників та моделей, що відображають реальні умови роботи кар'єру.

Оптимізація параметрів гірничих робіт є невід'ємною складовою стратегічного планування розвитку кар'єру. Вона сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства, забезпечує раціональне використання ресурсів та зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище.

Розглянемо відпрацювання крутоспадного родовища із використанням циклічно-поточної технології: гірничу масу виймається із забоїв і навантажується у автосамоскиди за допомогою механічних лопат, а автосамоскидами доставляється до мобільного дробарно-перевантажувального пункту. Він знаходиться у неробочому торці кар'єру і

переміщується вздовж нього по мірі поглиблення гірничих робіт. Схема розвитку гірничих робіт наведена на рис. 3.1, а транспортна схема – на рис. 3.2.

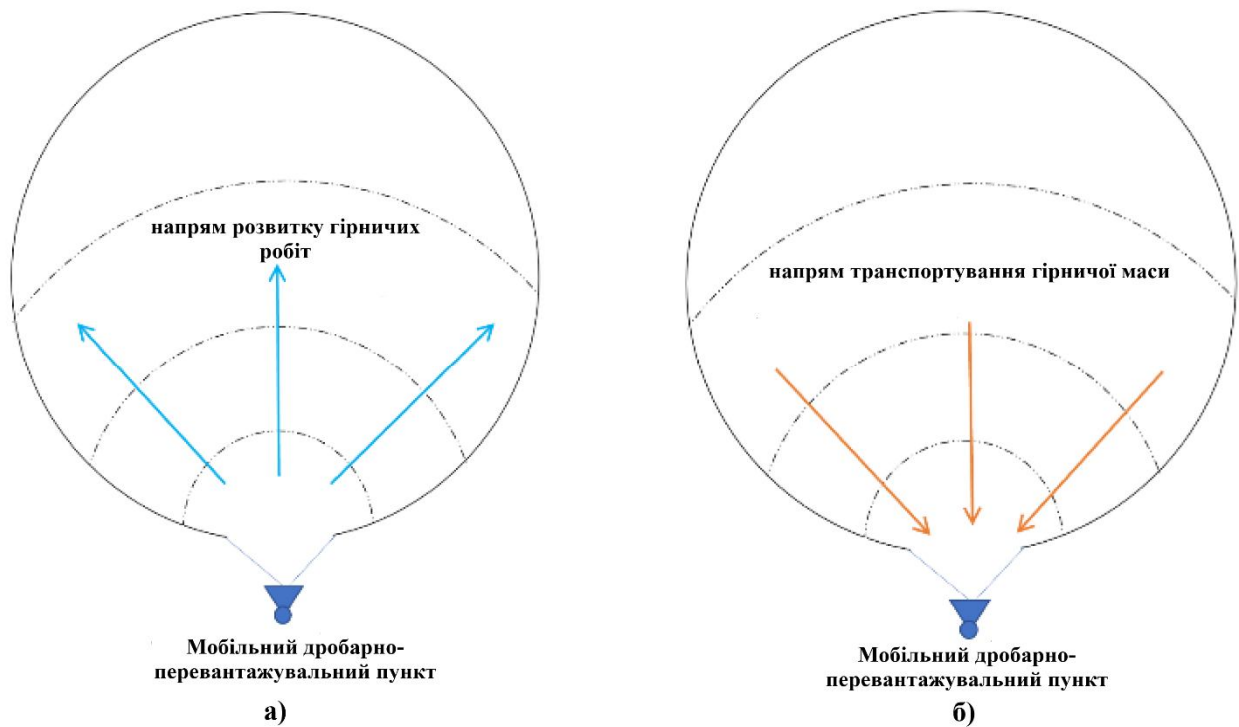


Рис. 3.1 – Схема до визначення параметрів дробарно-перевантажувального пункту: а) схема розвитку гірничих робіт; б) схема напрямку транспортування гірничої маси

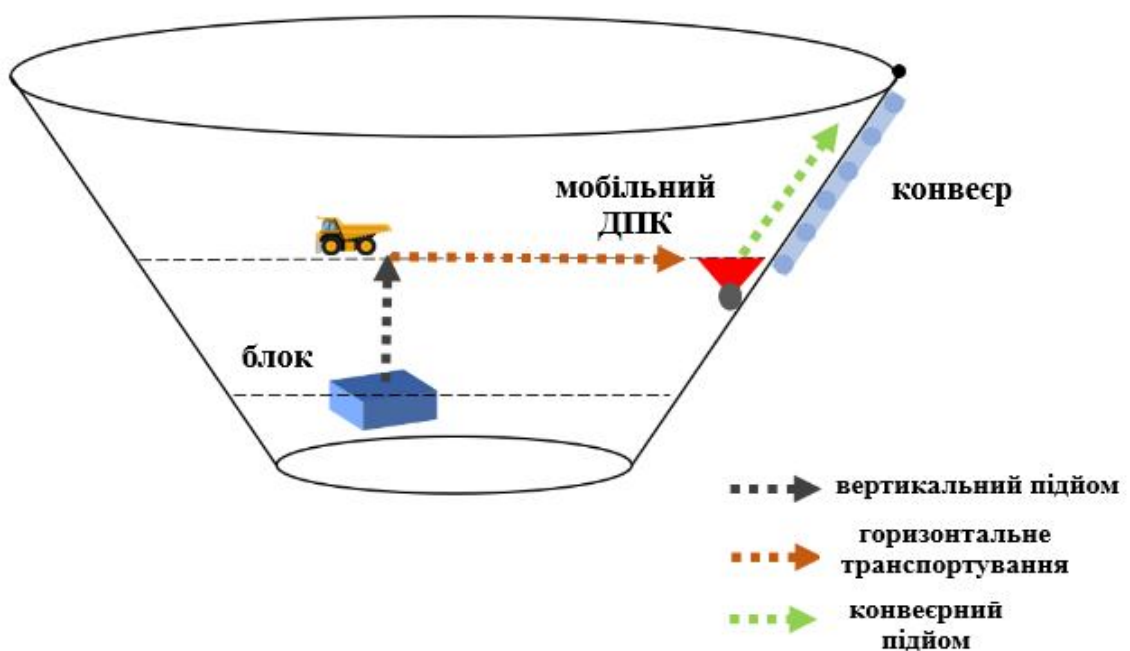


Рис. 3.2 – Транспортна схема кар'єру при використанні мобільного дробарно-перевантажувального комплексу

Розробимо методику оптимізації кроку перенесення дробильно-перевантажувального пункту та його продуктивності на основі балансу витрат на транспортування породи автосамоскидами та витрат на перенесення дробарки.

3.1 Обґрунтування кроку перенесення перевантажувального пункту

Для обґрунтування методики визначення параметрів дробильно-перевантажувального пункту перш за все визначимо наступні параметри:

Q - продуктивність дробарки, т/зміну;

S - крок перенесення дробарного пункту (відстань між переміщеннями уздовж напрямку гірничих робіт, м;

C_m - вартість перенесення дробарного пункту (за одне переміщення);

C_t - вартість транспортування за тону на одиницю відстані;

v – швидкість розвитку гірничих робіт уздовж напрямку видобутку;

θ – кут падіння родовища, градуси.

Оскільки ми розглядаємо крутоспадне родовище, відстань транспортування збільшується як по горизонталі, так і по вертикалі. Загальна

відстань від місця навантаження до дробарки після часу t становитиме:

$$D(t) = vt \tag{3.1}$$

Це відстань уздовж напрямку розвитку гірничих робіт. Горизонтальна

(D_x) та вертикальна (D_y) складові можна відповідно виразити як:

$$D_x = D(t) \cos \theta = vt \cos \theta \tag{3.2}$$

$$D_y = D(t) \sin \theta = vt \sin \theta \tag{3.3}$$

Для подальшого розрахунку витрат на транспортування

враховуватимемо загальну відстань $D(t)$, яку проходять самоскиди.

Почнемо з оптимізації кроку перенесення дробарно-перевантажувального пункту. Для цього прирівнюємо додаткові витрати на транспортування через збільшення відстані до вартості перенесення дробарного пункту.

Час між перенесеннями дробарки (T):

$$T = \frac{S}{v} \quad (3.4)$$

Збільшення відстані транспортування за час T зростає від D_0 до D_0+S .

Середня відстань за цей період становитиме:

$$D_{\text{avg}} = D_0 + \frac{S}{2} \quad (3.5)$$

Якщо ж почткова величина $D_0=0$, то:

$$D_{\text{avg}} = \frac{S}{2} \quad (3.6)$$

Витрати на транспортування порід за час T становитимуть:

$$\Delta C_{\text{trans}} = Q \times T \times C_t \times D_{\text{avg}} = Q \times \left(\frac{S}{v}\right) \times C_t \times \left(\frac{S}{2}\right) = \frac{Q \times C_t \times S^2}{2v} \quad (3.7)$$

Виходячи з умови оптимізації, прирівняємо ці витрати до витрат на перенесення дробарки C_m :

$$C_m = \frac{Q \times C_t \times S^2}{2v} \quad (3.8)$$

З даного виразу і отримаємо оптимальний крок перенесення S :

$$S = \sqrt{\frac{2vC_m}{QC_t}} \quad (3.9)$$

3.2. Обґрунтування продуктивності дробарно-перевантажувального пункту

Наступним кроком визначимо формулу для розрахунку оптимальної продуктивності дробарно-перевантажувального пункту. Для цього спочатку

введемо загальні питомі витрати C_{total} . Питомі витрати на транспортування

становитимуть:

$$C_{trans} = C_t \times D_{avg} = C_t \times \left(\frac{S}{2}\right) \quad (3.10)$$

Питомі витрати на перенесення пункту становитимуть:

$$C_{move} = \frac{C_m}{Q_{total}} = \frac{C_m v}{QS} \quad (3.11)$$

Однак для цього мають бути розраховані об'єми гірничої маси, поділені за час T :

$$Q_{total} = Q \times T = Q \times \left(\frac{S}{v}\right) \quad (3.12)$$

Далі можемо розрахувати загальні питомі витрати по формулі (3.13):

$$C_{total} = C_p + C_{trans} + C_{move} = C_p + \frac{C_t S}{2} + \frac{C_m v}{QS} \quad (3.13)$$

Далі підставимо у отриманий вираз розрахований вище оптимальний крок перенесення S . Тоді витрати на транспортування становитимуть:

$$C_{trans} = \frac{C_t}{2} \times \sqrt{\frac{2vC_m}{QC_t}} = \sqrt{\frac{C_t v C_m}{2Q}} \quad (3.14)$$

Витрати на перенесення визначатимуться:

$$C_{move} = \frac{C_m v}{Q} \times \frac{1}{\sqrt{\frac{2vC_m}{QC_t}}} = \sqrt{\frac{C_m v C_t}{2Q}} \quad (3.15)$$

Тоді загальні витрати можуть бути розраховані за виразом:

$$C_{total} = C_p + C_{trans} + C_{move} = C_p + 2\sqrt{\frac{C_m v C_t}{2Q}} = C_p + \sqrt{\frac{2C_m v C_t}{Q}} \quad (3.16)$$

З огляду на функцію (3.16) продуктивність дробарно-перевантажувального пункту може бути оптимізована по цільовій функції з мінімізацією витрат.

Виходячи з отриманого виразу, оскільки Q знаходиться в знаменнику

під коренем, для мінімізації загальних питомих витрат слід максимізувати Q

продуктивність дробарного обладнання.

3.3. Моделювання параметрів дробарно-перевантажувального пункту

Змоделюємо зміну величини оптимального кроку перенесення дробарно-перевантажувального пункту при зміні продуктивності дробарки по формулі 3.9. Вхідні дані зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Вхідні дані для моделювання параметрів дробарно-перевантажувального пункту

Параметр	Позначення	Значення	Од. виміру
Швидкість вертикального поглиблення гірничих робіт	$v_{\text{верт}}$	10	м/рік
Швидкість горизонтального посування гірничих робіт	$v_{\text{гор}}$	70	м/рік
Продуктивність дробарки	Q	500 - 7000	т/год
Питомі витрати на транспортування	C_t	0,5	грн/ткм
Вартість перенесення дробарно-перевантажувального пункту	C_m	1000000	грн

Змінюючи значення продуктивності дробарки в межах, що були визначені у другому розділі, отримаємо відповідні значення кроку перенесення дробарно-перевантажувального пункту. Результати розрахунків зведемо в таблицю 3.2 і візуалізуємо на графіку (рис. 3.3).

Таблиця 3.2 - Результати моделювання параметрів дробарно-перевантажувального пункту

Продуктивність дробарки Q , т/год	Крок перенесення S , м
500	752,1
1000	531,8
1500	434,2
2000	376,1
2500	336,4
3000	307,1
3500	284,3
4000	265,9
4500	250,7
5000	237,8
5500	226,8
6000	217,1
6500	208,6
7000	201,0

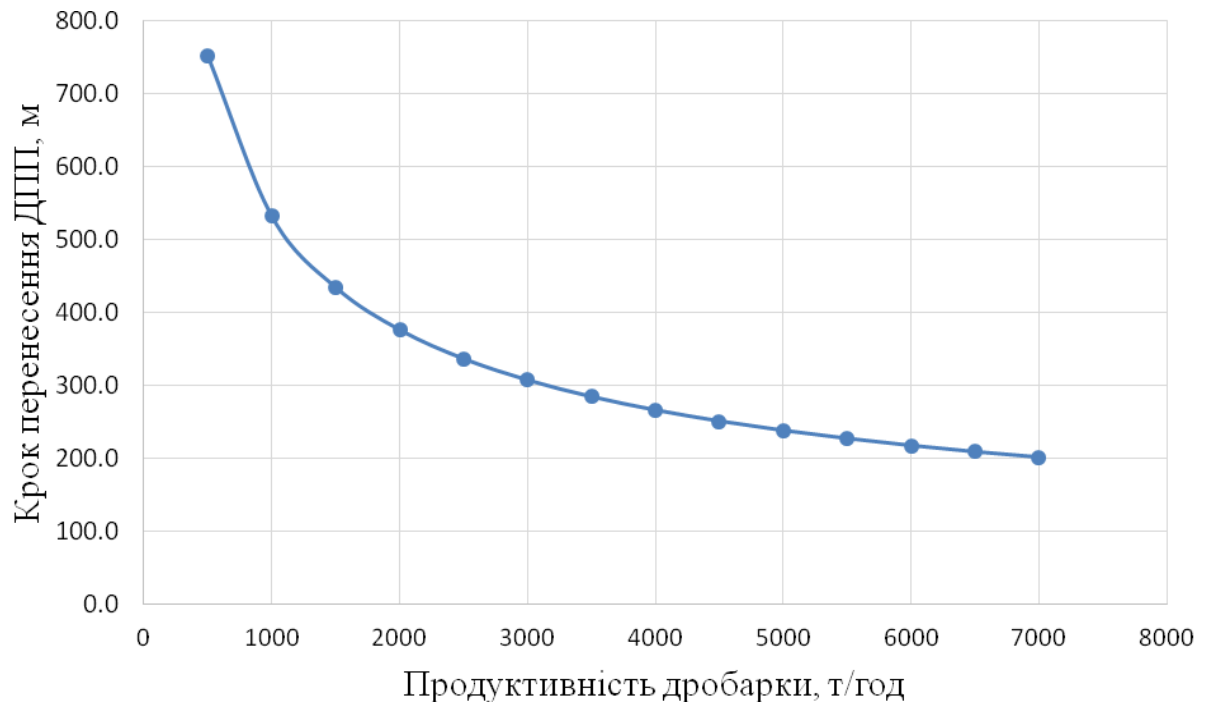


Рис. 3.3 – Залежність кроку перенесення дробарно-перевантажувального пункту від продуктивності дробарки

Характер залежності, наведений на графіку, показує стрімке зростання величини кроку перенесення мобільного дробарно-перевантажувального пункту при невеликих значеннях продуктивності дробарки і сповільнення падіння – при збільшенні продуктивності.

Наведена залежність може бути використана для укрупненої оцінки варіантів розміщення мобільного дробарно-перевантажувального пункту в кар'єрах, що розробляють горизонтальні, полого- та крутоспадні родовища.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

В першому розділі кваліфікаційної роботи було виконано аналіз практичного досвіду використання дробильно-перевантажувальних установок в кар'єрах. Проведений огляд досвіду проектування і впровадження пересувних дробильно-перевантажувальних установок на відкритих гірничих роботах дозволив виділити основних виробників обладнання, конкретні значення діючих на гірничодобувних підприємствах і запроєктованих машин. Відповідно було виявлено, що продуктивність подібних комплексів змінюється в межах від 600 до 9000 т/год. Окрема увага була приділена типорозмірному ряду гусеничних транспортерів, що використовуються для обслуговування пересувних дробарно-перевантажувальних пунктів. Аналіз існуючих проблем і перспектив використання мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів у складі циклічно-поточної технології, а також обширної географії їх використання дозволив зробити висновок, що, не дивлячись на численні робочі зразки даної техніки, комплекси ЦПТ з мобільними дробильними установками великої потужності є значною мірою експериментальним обладнанням. Найбільш перспективними для застосування на розкривних роботах великих рудних кар'єрів є комплекси ЦПТ, побудовані на основі використання півстаціонарних дробарних станцій і зборочного автомобільного транспорту.

У другому розділі було проведено дослідження теоретичних основ проектування параметрів циклічно-поточної технології із мобільними дробарно-перевантажувальними пунктами, а також впливу використання даної технології на розвиток гірничих робіт в кар'єрі і техніко-економічні показники розробки. На основі проведених досліджень, були сформовані такі фундаментальні критерії для впровадження мобільних систем внутрішньокар'єрного подрібнення порід:

1. Для досягнення економічної ефективності з точки зору капітальних витрат, рівень продуктивності кар'єру повинен перевищувати 4 млн тонн на рік, а бажаним показником є 10 млн тонн на рік.

2. Експлуатаційні витрати повинні бути мінімізовані, щоб період окупності впровадження системи був коротшим. Це зазвичай можливо, якщо залишковий термін експлуатації кар'єру перевищує 10 років. У більшості випадків ЦПТВП встановлюється на середніх або пізніх етапах експлуатації кар'єру, тому рекомендується, щоб залишковий строк експлуатації був не меншим за 10 років.

3. Вартість електроенергії (г.о./кВт·год) має бути нижчою за вартість дизельного пального (г.о./т) щонайменше на 25%.

В третьому розділі дослідження було обґрунтовано математичну модель до визначення кроку переносу дробарно-перевантажувального пункту і виробничої потужності його дробарки, а також виведена формула їх взаємозв'язку. Було розглянуто типорозмірний ряд дробарок продуктивністю від 500 до 7000 т/год і розраховано відповідні значення кроку перенесення. Встановлено, що ці параметри знаходяться у оберненій експоненційній залежності. Також в ході математичних перетворень було встановлено, що при визначенні витрат на перенесення дробарно-перевантажувального пункту продуктивність знаходиться в знаменнику під коренем. Тому для мінімізації загальних питомих витрат слід максимізувати продуктивність дробарного обладнання.

Отримані залежності можуть бути використані для проєктування систем циклічно-поточної технології та укрупненої оцінки варіантів розміщення мобільного дробарно-перевантажувального пункту в кар'єрах, що розробляють горизонтальні, полого- та крутоспадні родовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Hoffman W. C. Die Transportraupe – ein bewährtes Tagebauhilfsgerät // Bergbau. 1988. Bd. 39. №5. S. 206-210.
2. Muller G. Schenkung der Betriebskosten im Festgestein-Tagebau durch Einsatz von Brecher-Band-System // Fordern und Heben. 1986. Bd. 36. №8. S. 556-559.
3. Rixen W. Energy saving ideas for open pit mining // World Mining. 1981. Vol. 34. №6. P. 84-85.
4. Almond R. M., Shaulm R. I. In-pit movable crushing systems // Mining Congress International: Mining Show, Las Vegas, October 11-14, 1982. Sess. Pap. №1. 1982. P. 1-19.
5. Sassos M. P. In-pit crushing and conveying systems // Engineering and Mining Journal. 1984. Vol. 185. №4. P. 46-59.
6. Бизов В.Ф. Основи технології гірничого виробництва. – Т. V “Технологічні засоби”: Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком “Гірництво”. - Кривий Ріг: Мінерал, 2000. – 270 с. з іл.
7. Мартиненко В.П. Элиас К.Х. Первый дробильно-конвейерный комплекс фирмы КРУПП на Полтавском ГОКе // Горная промышленность – 1996. - №3. – С. 27-29.
8. Abbaspour, H.; Drebenstedt, C.; Dindarloo, S.R. Evaluation of safety and social indexes in the selection of transportation system alternatives (Truck-Shovel and IPCCs) in open pit mines. Saf. Sci. 2018, 108, 1–12.
9. Tapia, E.; Salazar Araya, A.; Saavedra, N.; Nehring, M.; Mora, J. An analysis of full truck versus full bucket strategies in open pit mining loading and hauling operations. Int. J. Min. Reclam. Environ. 2021, 35, 1–11.
10. Quick loading // World Mining Equipment, 1996, №1, January/February, vol.20, pp.22,23,25.
11. White L. Large loading equipment: what the users think // Engineering and Mining Journal, 1996, №2, vol.197, pp.32-34,36,38.

12. Surface Mining, 2 edition, Littleton, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1990, 1194p.
13. Mahdi R., Morteza O. Determining the Most Effective Factors on Open Pit Mine Plans and Their Interactions // Mine Planning and Equipment Selection / Ed. by C. Drebenstedt, R. Singhal. Cham: Springer International Publishing, 2014.
14. Matamoros M. E. V., Dimitrakopoulos R. Stochastic short-term mine production schedule accounting for fleet allocation, operational considerations and blending restrictions // European Journal of Operational Research. 2016. Vol. 255. №3. P. 911–921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.05.050>.
15. Demirel N., Ta Q.B. Optimization of the Excavator-and-Dump Truck Complex at Open Pit Mines // E3S Web of Conferences. 2018. № 41. C. 01006. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101006>
16. Nehring M., Andrews C. Optimization of Cycle Time for Loading and Hauling Trucks in Open-Pit Mines // Academia. 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.academia.edu>
17. Paricheh M., Osanloo M., Rahmanpour M. A heuristic approach for in-pit crusher and conveyor system's time and location problem in large open-pit mining // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2018. Vol. 32. №1. P. 35–55. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1247206>.
18. Paricheh M., Osanloo M., Rahmanpour M. In-pit crusher location as a dynamic location problem // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017. Vol. 117. P. 599.
19. Matamoros M. E. V., Dimitrakopoulos R. Stochastic short-term mine production schedule accounting for fleet allocation, operational considerations and blending restrictions // European Journal of Operational Research. 2016. Vol. 255. №3. P. 911–921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.05.050>.

20. Tutton D., Streck W. The application of mobile in-pit crushing and conveying in large, hard rock open pit mines // Mining Magazine Congress. Canada, 2009.
21. Meagher C., Dimitrakopoulos R., Avis D. Optimized open pit mine design, pushbacks and the gap problem—a review // Journal of Mining Science. 2014. Vol. 50. №3. P. 508–526. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1062739114030132>.
22. Utley R. W. In-pit crushing // SME Mining Engineering Handbook. USA: Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., 2011.
23. Koehler F. In-Pit Crushing System the Future Mining Option // Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series. Twelfth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 2003. P. 371–376.
24. Raaz V., Mentges U. In-pit crushing and conveying with fully mobile crushing plants in regards to energy efficiency and CO2 reduction // Belo Horizonte, IPCC, 2011.
25. Ritter R. Contribution to the capacity determination of semi-mobile in-pit crushing and conveying systems: Dissertation. Freiberg: Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2016.
26. Ritter R., Herzog A., D. C. Automated dozer concept aims to cut IPCC downtime // E&MJ. 2014. P. 52–55.
27. Lonergan J., Barua E. S. L. Computer-assisted layout of in-pit crushing/conveying systems // SME-AIME Fall Meeting. 1985. P. 1–6.
28. Dos Santos J. A., Stanisic Z. In-pit crushing and high angle conveying in a Yugoslavian copper mine // Mining Latin America / Minería Latinoamericana. Cham: Springer, 1986. P. 101–113.
29. Sturgul J. R. How to determine the optimum location of in-pit movable crushers // Geotechnical and Geological Engineering. 1987. Vol. 5. №2. P. 143–148.

30. Rahmanpour M., Osanloo M., Adibee N., AkbarpourShirazi M. An approach to locate an in-pit crusher in open pit mines // *International Journal of Engineering-Transactions C: Aspects*. 2014. Vol. 27. №9. P. 1475.
31. Roumpos C., Partsinevelos P., Agioutantis Z., Makantasis K., Vlachou A. The optimal location of the distribution point of the belt conveyor system in continuous surface mining operations // *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2014. Vol. 47. P. 19–27.
32. Paricheh M., Osanloo M., Rahmanpour M. A heuristic approach for in-pit crusher and conveyor system's time and location problem in large open-pit mining // *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2018. Vol. 32. №1. P. 35–55. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1247206>.