

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

На правах рукопису

ЦИМБАЛ БОГДАН СЕРГІЙОВИЧ

УДК 622.271

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕНДЕНЦІЙ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ
ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ НА ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРАХ»**

184 «Гірництво»
(відкриті гірничі роботи)

Випускна робота
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра

Виконав Цимбал Б.С. / _____ /

Керівник Слободянюк В.К. / _____ /

Завідувач кафедри Жуков С.О. / _____ /

Кривий Ріг
2025 р.

Зміст

РЕФЕРАТ	3
ВСТУП	4
Розділ 1	
ВІДВАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ НА СУЧАСНИХ КАР'ЄРАХ.....	8
1.1. Аналіз технологічних рішень екскаваторно-бульдозерного зовнішнього відвалоутворення при автомобільному транспорті.....	8
1.2. Структурні схеми ярусних відвалів на різних основах.....	15
1.3. Можливості використання гідровідвалів для повторного утворення відвалів скельних порід.....	19
1.4. Виробничий досвід формування екскаваторних відвалів на намитих площах.....	22
1.5. Перспективи адаптації відібраних технологій до умов Кривбасу.....	29
Висновки за розділом 1.....	31
Розділ 2	
АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БАГАТОЯРУСНОГО ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ ПРИ АВТОТРАНСПОРТІ.....	32
2.1. Основні напрямки та зміст обґрунтування технології багатоярусного екскаваторного відвалоутворення при автотранспорті.....	32
2.2. Залежність продуктивності бульдозеру від такої драглайну.....	35
2.3. Встановлення кількості ярусів відвалу.....	44
Висновки за розділом 2.....	47
Розділ 3	
ОСОБЛИВОСТІ ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ В УМОВАХ ПАТ «ПівдГЗК».....	48
3.1. Загальна характеристика кар'єру.....	48
3.2. Етапи розвитку кар'єру Південного ГЗК.....	50
3.3. Розкривні роботи та відвали Південного ГЗК.....	57
Висновки за розділом 3.....	64
Розділ 4	
ПОТЕНЦІЙНО АДАПТИВНІ ДО УМОВ КАР'ЄРУ ПАТ «ПівдГЗК» ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСКАВАТОРНОГО ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ ТА ЇХ РАНЖУВАННЯ.....	65
4.1. Типові ознаки комплексів екскаваторно-автомобільного відвалоутворення потужних рудних кар'єрів та вугільних розрізів.....	65
4.2. Робота відвального автотранспорту по традиційному закритому циклу (із закріпленням самоскидів за екскаваторами).....	66
4.3. Визначення критерію прийняття рішень щодо розподілу кар'єрних самоскидів за пунктами навантаження-розвантаження.....	68
4.4. Аналіз результатів імітаційного моделювання вантажно-транспортного процесу рудника за відібраним алгоритмом.....	74
Висновки за розділом 4.....	79
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка випускної магістерської роботи Цимбала Богдана Сергійовича на тему: «Дослідження тенденцій удосконалення технологій відвалоутворення на залізорудних кар'єрах».

«Випускна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2025 р.».

Актуальність теми. Останніми роками технологічні комплекси потужних ГЗК України, особливо – Кривбасу, зазнають масштабних якісних змін: радикально оновлюється техніка, зумовлюючи радикальну еволюцію парку наявних на ГЗК гірничих машин, і насамперед це стосується виймально-навантажувальних засобів – кар'єрних та відвальних екскаваторів – і великовантажних автосамоскидів. Та надзвичайно важливим є те, що за цих умов вимоги щодо охорони довкілля стають все більш жорсткими, що зумовлює стрімке зростання невідповідностей у даному сенсі відносно відвалоутворення й актуалізацію його наукового обґрунтування.

Ідея роботи полягає в максимальному врахуванні стохастичного характеру вантажно-транспортних процесів рудника та використанні імітаційного моделювання для їх опису й оптимізації.

Мета дослідження полягає в підвищенні ефективності екскаваторного відвалоутворення на ГЗКах Кривбасу шляхом трансферу виділених варіантів.

Поставлена мета визначає основні завдання:

- аналіз та ранжування за економічною й екологічною ефективністю сучасних методів прикар'єрного екскаваторного відвалоутворення;
- аналіз типізованих схем ярусних відвалів на основах різної стійкості;
- відбір дворівневих моделей екскаваторно-транспортного комплексу на основі аналізу існуючих методів його координації, найбільш придатних для умов відкритих розробок Кривбасу.
- структурування імітаційної моделі й алгоритму оптимізації розподілу самоскидів на нижньому її рівні і створеного на їх базі програмного комплексу.
- виділення й ранжування відібраних технологій за ступенем їх потенційної придатності до застосування в умовах Кривбасу.

Предмет дослідження – зовнішні екскаваторні ярусні відвали кар'єрів.

Об'єкт дослідження – методи обґрунтування варіанту відвалоутворення та вибору відвальних екскаваторів.

Методологія та методи досліджень: компаративний та каузальний аналіз, методи теорії ймовірностей і статистичної обробки даних, дискретно-подійне імітаційне моделювання, положення теорії систем та системного аналізу.

Наукова складова роботи полягає в узагальненні сучасних тенденцій теорії та практики формування екскаваторних відвалів з кар'єрів у складі ГЗК.

Структура й обсяг роботи. Робота представлена рефератом, вступом, чотирма розділами, загальними висновками і списком інформаційних джерел з 50 найменувань та містить 38 рисунків, 4 таблиці. Загальний обсяг – 86 сторінок.

Ключові слова: КАР'ЄР, РОЗКРИВНІ ПОРОДИ, ЗОВНІШНІЙ ВІДВАЛ, КАР'ЄРНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕКСКАВАТОРИ, ГІДРОВІДВАЛ.

ВСТУП

Актуальність теми. Загальна економічна мета відкритого видобутку корисних копалин полягає у видаленні найменших обсягів розкриву при досягненні найвищої рентабельності шляхом переробки найбільш товарного мінерального продукту. Чим вищий сорт сировини родовища корисних копалин, тим вища його вартість. Щоб мінімізувати капіталовкладення й отримати доступ до найціннішого матеріалу в межах родовища корисних копалин, розробляється план видобутку, який точно деталізує, як буде видобуватися та перероблятися рудне тіло. Оскільки багато рудних родовищ не мають однорідної форми, плану видобутку передують масштабне розвідувальне буріння для визначення геології та положення рудного тіла. Розмір родовища корисних копалин визначає розмір та планування рудника. Планування кар'єру визначається мінералогією та геологією родовища. Форма більшості кар'єрів наближається до конуса, але завжди відображає форму родовища корисних копалин, що розробляється.

Незалежно від розміру, план розробки включає положення щодо розвитку кар'єру, інфраструктури (наприклад, сховищ, офісів та технічного обслуговування), транспорту, обладнання, норм видобутку та зборів. Норми видобутку та збори впливають на термін служби кар'єру, який визначається виснаженням рудного тіла або досягненням економічної межі.

Сучасні кар'єри різняться за масштабом: від невеликих приватних компаній, що переробляють кілька сотень тонн руди на день, до потужних промислових комплексів, які керуються урядами та багатонаціональними корпораціями, що видобувають понад мільйон тонн матеріалу на день. Найбільші операції можуть охоплювати багато квадратних кілометрів землі.

За цих умов розкриття – порожні породи, що складаються з консолідованого та неконсолідованого матеріалу, який необхідно видалити, щоб відкрити підстилаюче рудне тіло. Зрозуміло, що бажано видаляти якомога менше відходів, щоб отримати доступ до руди, але більший обсяг відходів видобується, коли родовище корисних копалин – глибоке. Більшість методів розкриття є циклічними, перериваються фазами видобутку (буріння, вибухові роботи та завантаження) та видалення (транспортування). Це особливо

стосується відходів твердих порід, які спочатку необхідно пробурити та підірвати. Винятком із цього циклічного процесу є земснаряди, що використовуються в гідравлічних відкритих розробках, та на шламосховищах ГЗК, але території, зайняті ними, створюють значні складнощі стосовно розміщення на них відвалів, особливо – екскаваторних, які є одним з об'єктів дослідження даної магістерської роботи.

Відношення обсягу пустої породи до видобутої руди визначається як коефіцієнт розкриття: від 2:1 до 4:1 він не є рідкістю на великих гірничодобувних підприємствах, вище 6:1 – менш економічно доцільний, залежно від сировини.

Після видалення пустої породи можна використовувати для будівництва доріг та дамб, або вона може мати комерційну цінність, не пов'язану з видобувною промисловістю, але завжди вона має складуватися в насипи.

Вибір гірничого обладнання залежить від плану видобутку. Деякі з факторів, що враховуються при виборі гірничого обладнання, включають топографію кар'єру та навколишньої території, обсяг руди, що видобувається, швидкість та відстань, на яку руду необхідно транспортувати для переробки, а також передбачуваний термін служби кар'єру, серед іншого. Загалом, більшість сучасних гірничих робіт на відкритих розробках покладаються на мобільні бурові установки, гідравлічні екскаватори, фронтальні навантажувачі, скрепери та самоскиди для видобутку руди та її початкової переробки. Чим більший кар'єр – тим більшою має бути потужність необхідного обладнання.

Обладнання, як правило, є найбільшим з доступних, щоб поєднати економію від масштабу на кар'єрах з урахуванням можливостей відповідного обладнання. Наприклад, невеликий фронтальний навантажувач може заповнити великий самоскид, але відповідність не є ефективною. Аналогічно, великий екскаватор може завантажувати менші самоскиди, але це вимагає скорочення часу циклу самоскидів і не оптимізує використання екскаватора, оскільки ківш екскаватора може вмістити достатньо руди для більш ніж одного самоскида. Безпека може бути поставлена під загрозу, якщо спробувати завантажити лише половину ковша або якщо самоскид – перевантажений. Крім того, масштаб вибраного обладнання повинен відповідати доступним можливостям

технічного обслуговування. Велике обладнання часто обслуговується там, де воно виходить з ладу через труднощі.

Проблеми такого роду наразі вивчено далеко не вичерпно, тому дослідження й максимально відповідна оптимізація функціонування екскаваторних комплексів, залежно від ємності кузовів рухомого складу, а також – параметрів рудних складів або породних відвалів є **однозначно актуальною**.

Ступінь розробленості. Проблемами ефективного функціонування екскаваторних комплексів на відкритих розробках займалися багато вітчизняних професорів – А.Г. Шапар, Б.М. О.В. Романенко, В.Ф. Бизов, А.Ю. Дриженко, В.О. Завсєгдашній, М.Г. Новожилов, І.Л. Гуменик, М.Т. Бакка, О.І. Арсєнтєв [1-6]; іноземних – В.В. Ржевський, К.М. Трубецькой, Г.О. Холодняков, В.С. Хохряков, Б.Р. Ракішев, Ю.І. Аністратов, М.Г. Саканцев [7-13], а також S. Alarie, C. Burt, M. Gamache і багато інших [14-15]. Вивчення й аналіз опублікованих ними праць воказав, що навантажувально-транспортні виробничі процеси відкритих гірничих робіт потребують подальшого наукового обґрунтування, оскільки наразі не повністю задовольняють потреби крупних ГЗК, особливо за умов, коли останні змушені оцінювати можливості залучати до розміщення під відвали площ залишених шламосховищ, які з точки зору інженерної геології є нестійкою основою для розміщуваних на них масивних породних насипів.

Виділені публікації під час інформаційного пошуку відбиралися виключно за напрямком екскаваторного відвалоутворення, як, наприклад, [16], включена до складу базових, та які найповніше відповідають умовам, характерним для ГЗКів Кривбасу.

Ідея при цьому полягає в аналізі прогресивних технологій і гірничих машин та визначенні максимально придатних з них для адаптації до умов ГЗК Кривбасу.

Мета дослідження полягає в підвищенні ефективності екскаваторного відвалоутворення на ГЗКах Кривбасу шляхом трансферу виділених варіантів.

Поставлена мета визначає основні завдання:

- аналіз та ранжування за економічною й екологічною ефективністю сучасних методів прикар'єрного екскаваторного відвалоутворення;
- аналіз типізованих схем ярусних відвалів на основах різної стійкості;
- установлення взаємозалежності параметрів відвальних ярусів;
- виявлення продуктивності відвалоутворювачів, зайнятих при відсипанні ярусів відвалу;
- виділення й ранжування відібраних технологій за ступенем їх потенційної придатності до застосування в умовах Кривбасу.

Предмет дослідження – зовнішні екскаваторні ярусні відвали кар'єрів.

Об'єкт дослідження – методи обґрунтування варіанту відвалоутворення та вибору відвальних екскаваторів.

Методологія та методи досліджень: компаративний та каузальний аналіз, методи теорії ймовірностей і статистичної обробки даних, положення теорії систем та системного аналізу.

Наукова складова роботи полягає в узагальненні сучасних тенденцій теорії та практики формування екскаваторних відвалів з кар'єрів у складі ГЗК.

Достовірність наукових результатів у працях більшості авторів підтверджується посиланням на використання в дослідженнях відомих теорій та коректним їх застосуванням, як і надійно апробованих математичних методів обробки отриманих результатів лабораторних та експериментальних вишукувань, а також – безпосередньо достатньою збіжністю самих результатів аналітичних розрахунків з отриманими реєстраціями лабораторних й експериментальних показників щодо моделювання та натурної роботи кар'єрних і відвальних екскаваторів, а також оцінки ефективності розглянутих при компаративному аналізі варіантів технології й організації робіт на підприємствах за надійними критеріями.

Особистий внесок автора виконаного аналізу полягає в об'єктивній прив'язці інженерних рішень близьких за найбільш значимими ознаками кар'єрів провідних гірничодобувних компаній та фірм різних країн до умов аналогічних об'єктів і процесів гірничо-збагачувальних комбінатів Криворізького залізорудного басейну.

Розділ 1

ВІДВАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ НА СУЧАСНИХ КАР'ЄРАХ

1.1. Аналіз технологічних рішень екскаваторно-бульдозерного зовнішнього відвалоутворення при автомобільному транспорті

Відвалоутворення значною мірою визначає ефективність відкритої розробки. При автомобільному транспорті як відвалоутворювачі на кар'єрах в основному застосовуються бульдозери, як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва різних класів за їх потужністю [16].

Слід наголосити, що в даному контексті використовується термін «відвалоутворювач» не в його загальноприйнятому значенні.

Відповідно до Гірничої енциклопедії [17], відвалоутворювач – це машина безперервної дії, призначена для укладання розкривних порід у відвал за допомогою стрічкового конвеєра, розташованого на консолі. Відвалоутворювачі розрізняються за ступенем поворотності відвальної та приймальної консолей (повноповоротні або частково поворотні з одним або двома поворотними колами та неповоротні); за типом ходового обладнання (на гусеничному, рейковому, крокуючому, крокуюче-рейковому ходу); за типом приймальних пристроїв (консоль або з'єднувальний міст з окремою проміжною опорою). Іноді відвалоутворювач може бути конструктивно з'єднаний з багатоковшовим екскаватором.

Однак у тій же Гірничій енциклопедії безпосередньо після цього визначення додано наступне:

Поняття «відвалоутворювач» має і ширше тлумачення, під яким мається на увазі всяка машина (одноковшовий екскаватор, відвальний плуг та ін.), що використовується для утворення відвалу [18-21].

Тому в цій магістерській роботі відвалоутворювачем називається будь-яке обладнання, що застосовується на формуванні відвалу: бульдозер, мехлопата,

драглайн і т.д.; також може бути додано визначення: "бульдозерний відвалоутворювач" та ін.

Об'єктом дослідження у даному конкретному випадку є технологія відвалоутворення в системі глибоких кар'єрів, а предметом – технологія багатоярусного відвалоутворення при змішаному за видами транспорті ГЗК.

Етапна мета розділу: обґрунтування параметрів багатоярусного бульдозерно-екскаваторного відвалоутворення, що забезпечують зниження землеємності та його вартості.

Завдання досліджень розділу:

- ✓ установити взаємозалежність параметрів відвальних ярусів;
- ✓ виявити взаємозалежність продуктивності відвалоутворювачів, зайнятих при відсипанні ярусів відвалу;
- ✓ проаналізувати технологію багатоярусного відвалоутворення із попередньою оцінкою їхньої стійкості.

Під зовнішні екскаваторні та бульдозерні відвали зазвичай виділяються малопродуктивні непридатні землі для сільськогосподарського використання, а у виняткових випадках і землі сільськогосподарського призначення.

Слід зазначити, що у початковий період розвитку відкритого видобутку м'яких руд та особливо вугілля широко застосовувалася технологія виїмки м'яких порід гідравлічним способом. В даний час майже на всіх розрізах є старі гідровідвали, які можуть бути використані для розміщення на них міцних порід розкриву.

У Кривбасі аналогом таких об'єктів і територій є сховища відходів збагачення залізних руд кожного з локалізованих там ГЗК.

Практика ведення відвальних робіт на відкритих розробках показує, що є досить широкий набір технологічних рішень бульдозерного відвалоутворення: однарусні та багатоярусні; на стійкому та на нестійкому підґрунті; на горизонтальній і похилій (косогори, лога та ін.) основі; на площах старих гідровідвалів; на обводнених схилах та логах.

Можна виділити групи технологій відвалоутворення на стійку та нестійку основу. У свою чергу, під сталою основою розуміється горизонтальна або похила площина з міцних порід. Нестійка основа – це в основному площі, які займають болота і старі гідровідвали.

Бульдозерні відвали відсипаються зазвичай одним ярусом і, як виняток, двома та більше ярусами за відсутності вільних площ під відвали.

Таке положення пояснюється тим, що при одноярусному відвалоутворенні експлуатаційні витрати – нижчі, ніж при багатоярусному, внаслідок зменшення довжини транспортування порід по поверхні відвалу та низьким використанням місткості верхніх ярусів відвалу.

При двоярусному відвалі місткість верхнього ярусу становить 0,5-0,7. Це зумовлюється тим фактом, що частина поверхні нижнього ярусу зайнята заїздами на верхній ярус, укосами і бермами.

Відомі технологічні схеми відвалоутворення із застосуванням як відвалоутворювачів тільки одних бульдозерів, бульдозерів у комплекті з вібраційними відвалоутворювачами конструкції ПД та з самохідними платформами [22-28].

Особливу групу технологічних схем складають схеми відвалоутворення на поверхні старих гідровідвалів [29].

Тут слід виділити кілька основних технологій.

Відсипання «сухих» відвалів на поверхні гідровідвалу зі створенням випереджального предвалу невеликої висоти (5-10 м), що формується за площею технології. Потім із деяким відставанням (до 40 м) відсипається другий (основний) ярус відвалу зі збільшеною висотою.

Пропонуються також схеми з відсипанням дамби з порід, що дренують, по контуру гідровідвалу з подальшим подвиганням відвального фронту до центру гідровідвалу. При цьому необхідність створення випереджального передвідвалу зберігається.

Основною вимогою до технології бульдозерного відвалоутворення в усіх їх різноманітності є забезпечення безпеки роботи автосамоскидів при їх розвантаженні на відвалі.

Одним із обов'язкових заходів, які необхідно виконати до відсипання відвалу «сухих» порід на гідровідвалі, є видалення води із ставка-відстійника. Це пов'язано з тим, що при відсипанні породи у воду слід очікувати підйому рівня води в ставку, що може призвести до розмиву порід, утворення прорану та катастрофічного розтікання води та водонасиченої породи за межі гідровідвалу.

Розрахунки стійкості гребель показують, що стійкість для деяких з них забезпечується з коефіцієнтом запасу нижче нормативного, як на сучасному етапі розвитку гірничих робіт на гідровідвалі, так і при його навантаженні відвалами «сухого» розкриву. Тому до початку ведення відвальних робіт на поверхні та дамбах гідровідвалу слід відсипати привантаження з боку низового укосу (рис. 1.1).

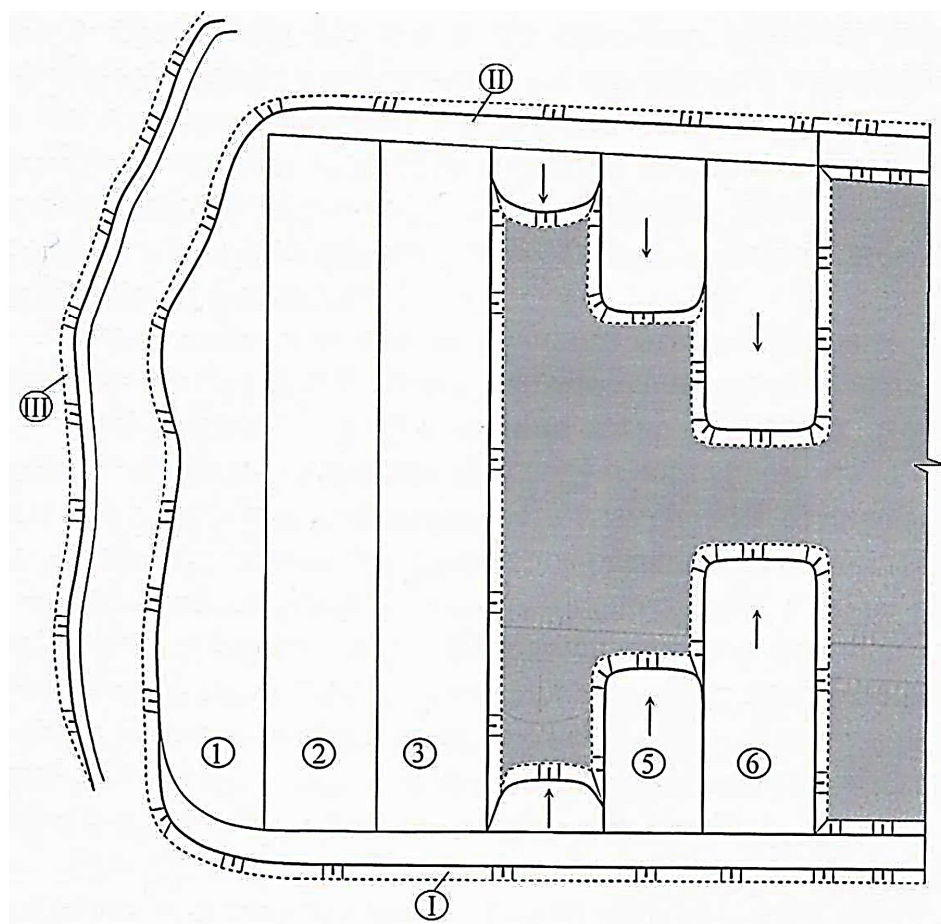


Рис. 1.1. Приклад технології відсипання відвальних блоків на площі гідровідвалу: I – західний піонерний насип; II - східний піонерний насип; III – привантажувальний ярус; → - напрям руху відвального фронту

Процеси відвалоутворення є завершальним етапом гірничих робіт і при транспортних системах відкритої розробки родовищ характеризуються жорстким взаємозв'язком роботи транспорту та відвального обладнання. Зовнішні відвали в Кривбасі зазвичай формуються із застосуванням бульдозерів та екскаваторів, доставка породи здійснюється або автомобільним, або залізничним транспортом.

Технологічні схеми зовнішнього відвалоутворення визначаються комбінацією відвального обладнання та транспорту.

При розробці й обґрунтуванні технологічних схем відвалоутворення на гідровідвалах слід на першому етапі визначити порядок та послідовність розміщення відвальних мас у споруді, виходячи з умови локалізації відсипаних порід у межах обґрунтованих контурів споруди, тобто нерозповсюдження відвальних мас та порід основи за межі земельного відведення.

Виконання цієї умови забезпечить безпеку гірничих робіт на територіях, складених слабкими водонасиченими намівними відкладеннями, деформації яких можуть призвести до серйозних екологічних наслідків.

При відсипанні першого ярусу відвалу на гідровідвалі найкращим напрямком є розвиток робіт від периферії до центру. На початковому етапі відвал формується на дамбах гідровідвалу або поруч із ними, а в подальшому розвитку відвальних робіт переноситься на намівання. Така послідовність розвитку відвалу дозволяє віджати намівні породи від кордонів гідровідвалу до його центру, забезпечуючи створення упорної призми.

Важливим параметром при відвалоутворенні на слабкій основі є висота першого відвального ярусу, при виборі якого слід враховувати стан стійкості укосів. У випадках, які потребують обов'язкового забезпечення стійкості відвалів, висота відвального ярусу вибирається на підставі відповідних розрахунків.

Досвід ведення відвальних робіт на гідровідвалах показує, що при відсипанні передвідвалу відбувається вдавлювання «сухих» порід у намівний масив на величину, приблизно рівну висоті передвідвалу, тобто 100%. Загальна висота відвалу дорівнює подвійній висоті передвідвала.

Бульдозерні відвали прямокутної форми, що відсипаються на рівнинну поверхню, мають співвідношення довжини до ширини 2:1.

При веденні відвальних робіт на гідровідвалах повинні дотримуватися наступних заходів безпеки.

1. Відвал на гідровідвалі рекомендується формувати із застосуванням автомобільного транспорту та бульдозерів за двома схемами: 1) із забезпеченою стійкістю – при відсипанні піонерних насипів; 2) при контрольованих деформаціях укосів першого ярусу – на поверхні гідровідвалу.

2. Обов'язковим заходом під час проведення відвальних робіт на гідровідвалі є моніторинг безпеки, що складається з гідромеханічного, маркшейдерського та технологічного моніторингу. Гідромеханічний моніторинг стійкості слід проводити по створах, де встановлені відкриті п'єзометри. Він повинен включати вимірювання рівнів води в тілі греблі й оцінку стійкості на комп'ютері за спеціально створеною гідромеханічною моделлю. Маркшейдерський моніторинг включає:

1) спостереження за деформаціями дамб гідровідвалів та зовнішніх укосів відвалів «сухого» розкриву;

2) спостереження за характером та динамікою розвитку зсувів, що супроводжують ведення відвальних робіт на намівній поверхні.

Технологічний моніторинг містить у собі спостереження за параметрами відвалоутворення і, зокрема, за умовою, що забезпечує перевищення верхньої брівки відвалу над поверхнею гідровідвалу в 10 метрів.

У всіх пропонованих схемах відсипання провалу на гідровідвалах проводиться бульдозером в комплексі з автосамоскидом. При цьому бульдозер і автосамоскид розташовуються на поверхні провалу, що відсипається, тобто знаходяться в зоні можливих просадок і зсувів передвідвалу. І тут знижуються умови безпеки.

Аналіз бульдозерного відвалоутворення в перерахованих вище умовах показав, що процес відвалоутворення при автотранспорті складається з розвантаження автомашин на верхньому майданчику відвального уступу, переміщення породи під укіс або планування її на майданчику, підтримки

автошляхів на відвалі. Останні два види робіт переважно виконуються бульдозером. Будівництво бульдозерних відвалів на рівнинній місцевості полягає у підведенні автошляхів до відвального відводу та створення «піонерного» відвалу.

Відвал нарощується до проектної висоти шляхом пошарового складування порід.

На косогорах створюється майданчик для розвороту автосамоскида в напівтраншеї або насипу.

В період експлуатації розрізу виділяють два способи відвалоутворення: периферійний та площадочний.

У першому випадку породу розвантажують прямо під укіс або в безпосередній близькості від нього, а потім переміщують бульдозерами до верхньої брівки відвалу.

У другому випадку породу розвантажують на всій площі відвалу, потім планують її бульдозерами, після чого відсипають наступний шар.

Переважне розташування більшості автовідвалів – зовнішнє, за рідкісним винятком – внутрішнє, що, швидше за все, присвячено періоду згасання діяльності кар'єру або підходу гірничих робіт до кінцевих контурів кар'єрного поля.

Прагнення кар'єрів знизити дальність транспортування розкриву призвело до того, що всі зовнішні автомобільні відвали стали розташовувати в безпосередній близькості від контурів кар'єрного поля, що часто визначається дальністю транспортування в діапазоні 2-3,5 км. Так, кількість зовнішніх автовідвалів дорівнює двом практично на всіх кар'єрах.

Середня висота автовідвалів становить від 18 до 32 м при загальному обсязі порід у зовнішніх відвалах бульдозерних 806,5 млн м³.

Тривала експлуатація кар'єрів протягом кількох десятиліть призвела до того, що площі, які займають зовнішні відвали, досягають 3494 га і ця величина прогресує з кожним роком.

Землеємність бульдозерного відвалоутворення коливається від 2,7 до 5,6 га на 1 млн м³ порід, що укладаються у відвал.

До недоліків зовнішнього бульдозерного відвалоутворення належать:

- 1) велика дальність переміщення розкривних порід із вибою у зовнішні відвали;
- 2) розміщення відвалів поблизу контурів кар'єрного поля визначає той факт, що в найближчі десятиліття кар'єри виявляться обмеженими власними відвалами та їх подальший розвиток буде проблематичним;
- 3) розташування зовнішніх автовідвалів поблизу контурів кар'єру знижує стійкість бортів кар'єру, що може призвести до раптових деформацій прибортового масиву;
- 4) необхідність підтримки відвальних автошляхів призводить до постійного позичання сільськогосподарських земель або необхідності постійного нарощування відвалу вгору, що знижує його стійкість;
- 5) невикористання наявних старих гідровідвалів як можливих майданчиків під будівництво нових зовнішніх автовідвалів;
- 6) інші недоліки.

Все сказане вище визначає розробку нового підходу до зовнішнього бульдозерного відвалоутворення при автотранспорті.

1.2. Структурні схеми ярусних відвалів на різних основах

Нижче наводяться структурні схеми одно- і багатоярусних відвалів, що відсипаються на різні основи: стійка, нестійка, горизонтальна, похила і т.д. (рис. 1.2-1.12).

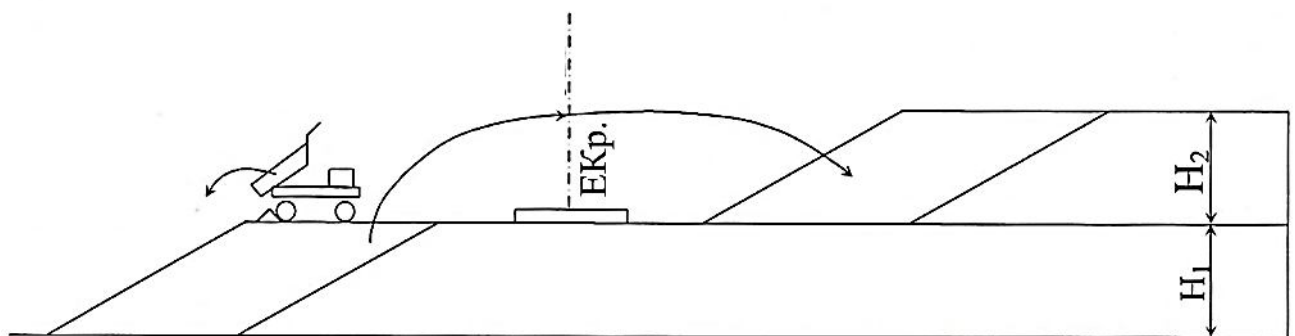


Рис. 1.2. Схема двоярусного бульдозерно-екскаваторного відвалоутворення на стійкій основі

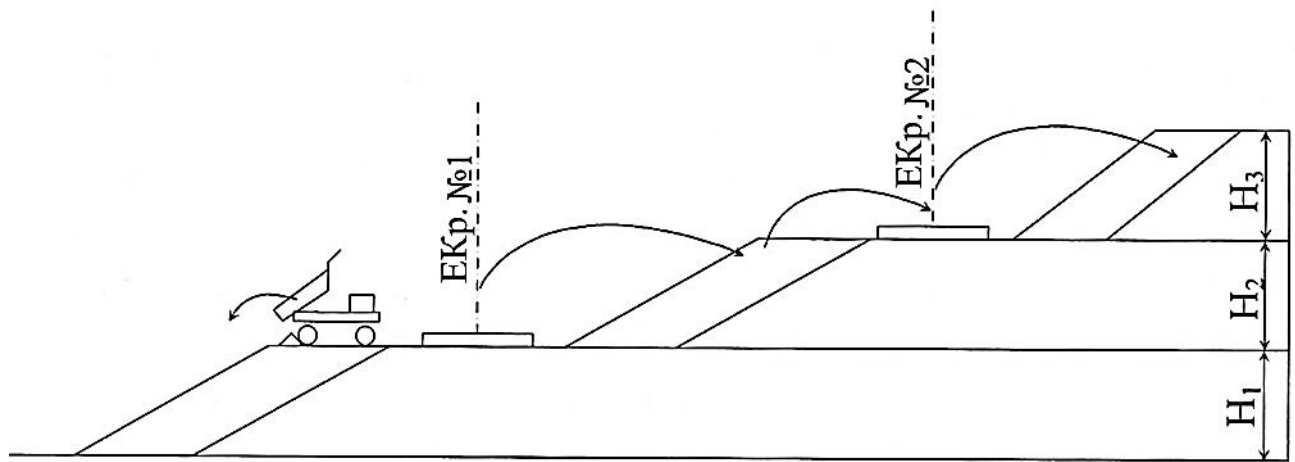


Рис. 1.3. Схема тріярусного бульдозерно-екскаваторного відвалоутворення на стійкій основі

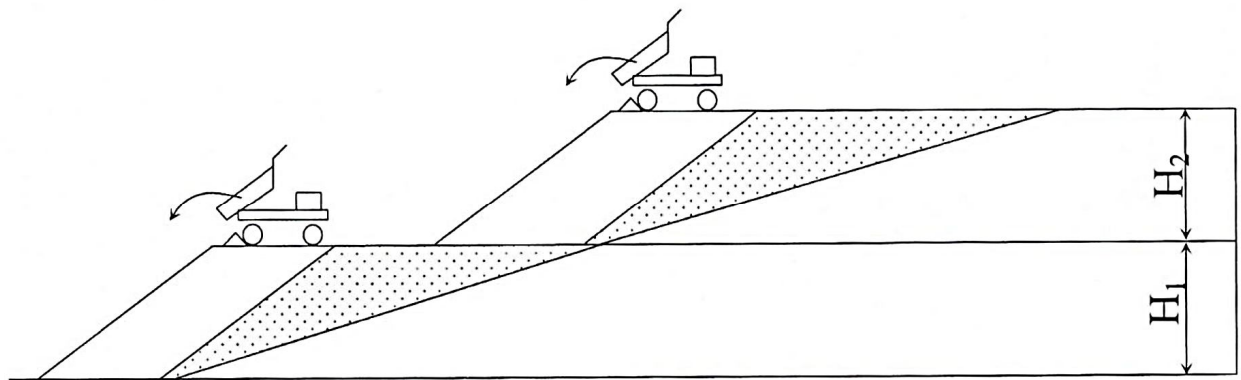


Рис. 1.4. Схема двоярусного відвалоутворення на стійкому косогорі

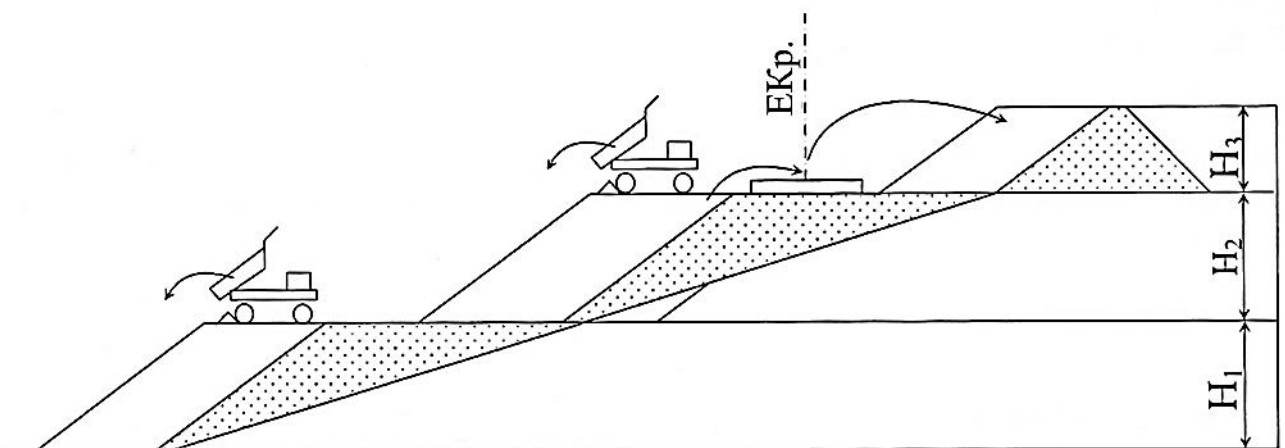


Рис. 1.5. Схема тріярусного бульдозерно-екскаваторного відвалоутворення на стійкому косогорі

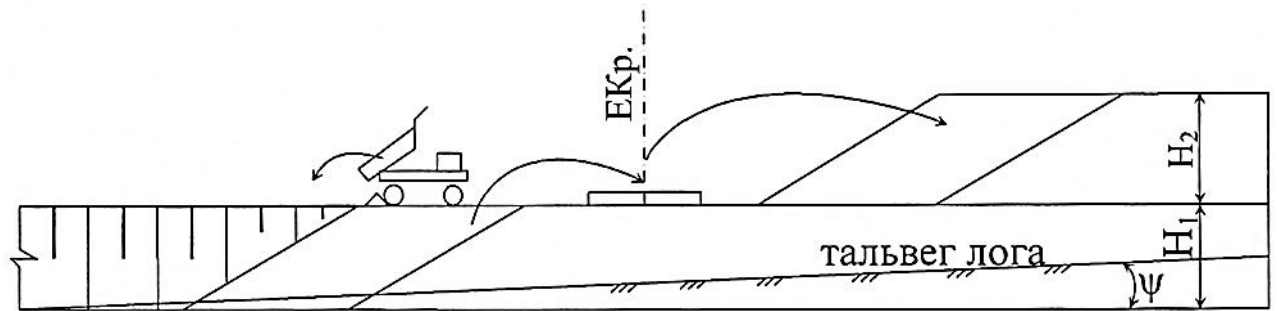


Рис. 1.6. Схема двоярусного бульдозерно-екскаваторного відвалоутворення на стійкій основі

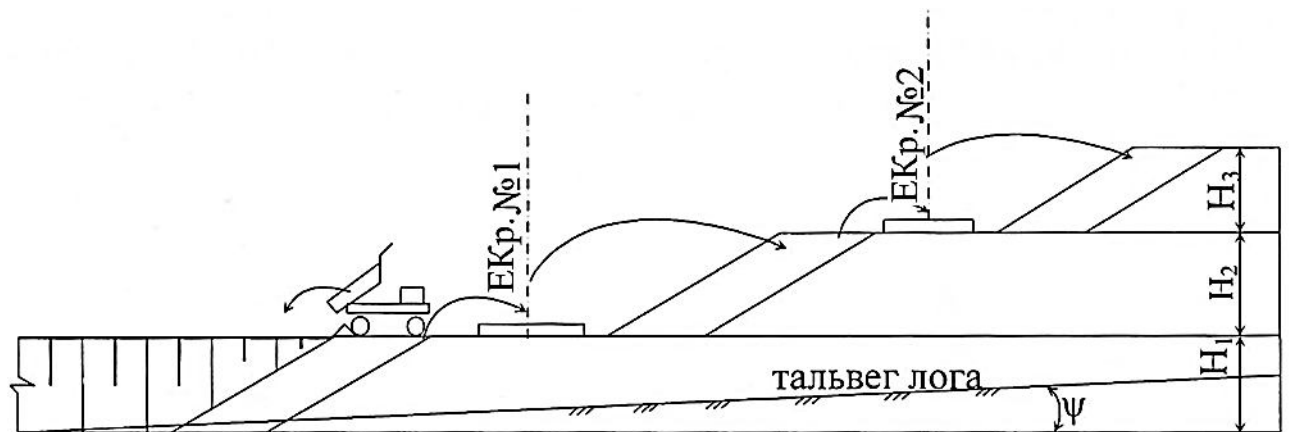


Рис. 1.7. Схема троярусного бульдозерно-екскаваторного відвалоутворення на стійкій основі

Для розміщення порід розкриву потрібна певна територія, яка часто перебуває на значній відстані від розрізу.

Під відвали нерідко відводяться найближчі родючі орні землі, що завдає чималої шкоди сільському господарству.

У зв'язку з цим у технічній літературі питання, пов'язані з використанням площ гідровідвалів під відвали скельних порід, останнім часом посідають значне місце.

Перші відсіпання «сухих» відвалів на гідровідвали супроводжувалися раптовими обвалами укосів і змушували зрештою припиняти небезпечний експеримент.

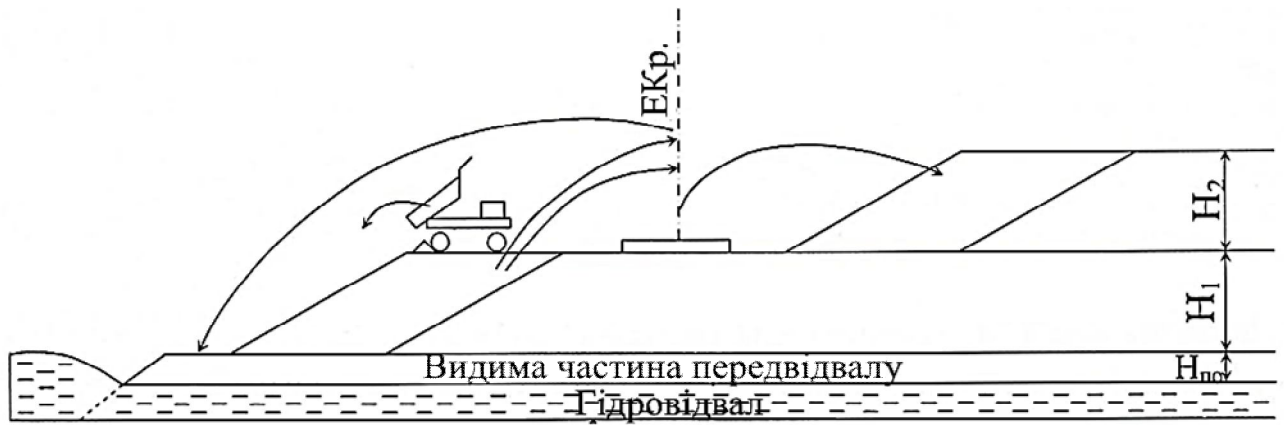


Рис. 1.8. Схема двоярусного бульдозерно-екскаваторного відвалоутворення на площі старого гідровідвалу з відсипанням преддвала драглайном



Рис. 1.9. Схема троярусного бульдозерно-екскаваторного відвалоутворення на площі старого гідровідвалу з відсипанням передвідвала драглайном

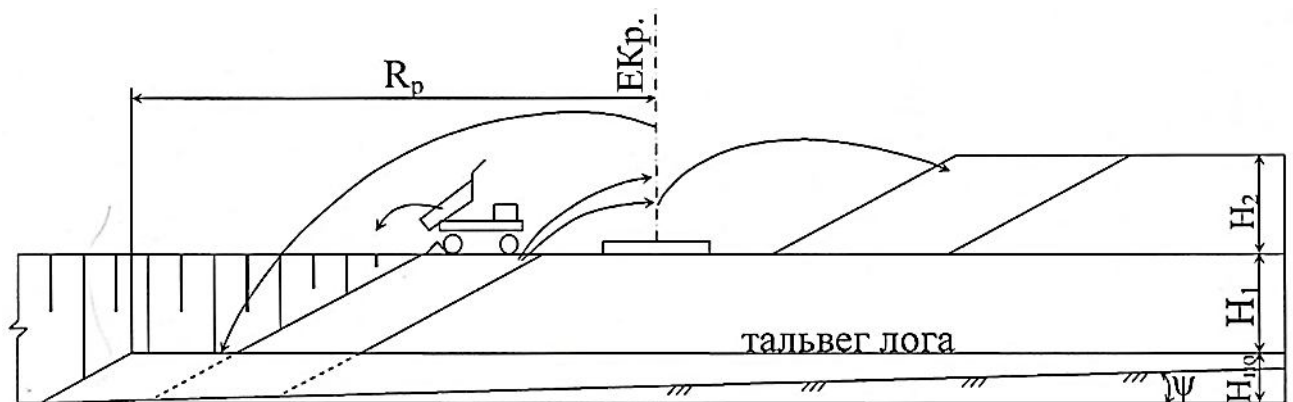


Рис. 1.10. Схема двоярусного бульдозерно-екскаваторного відвалоутворення на обводнених логах з відсипанням передвідвалу драглайном

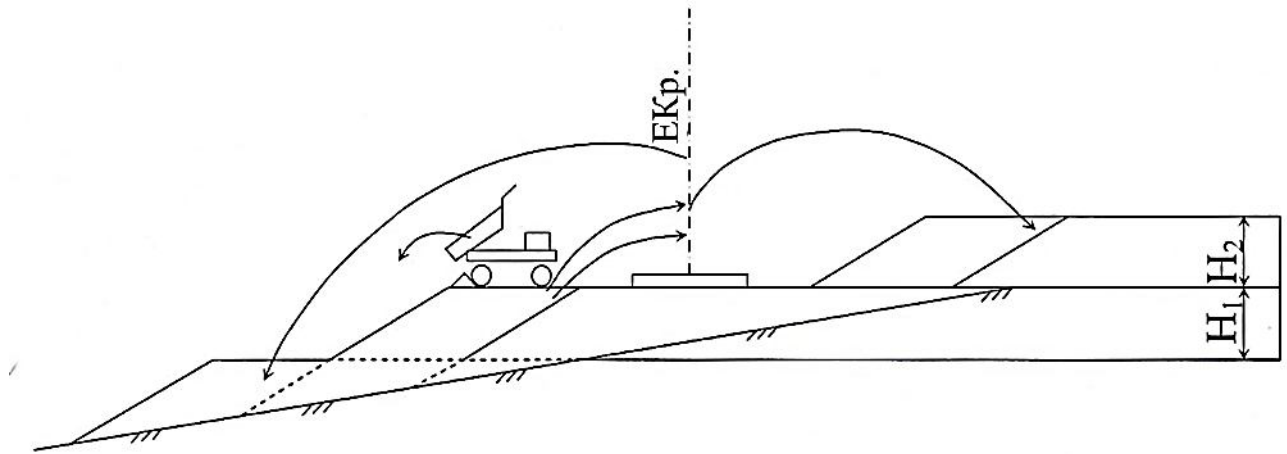


Рис. 1.11. Схема двоярусного бульдозерно-екскаваторного відвалоутворення на обводнених схилах з відсіпанням передвідвалу драглайном

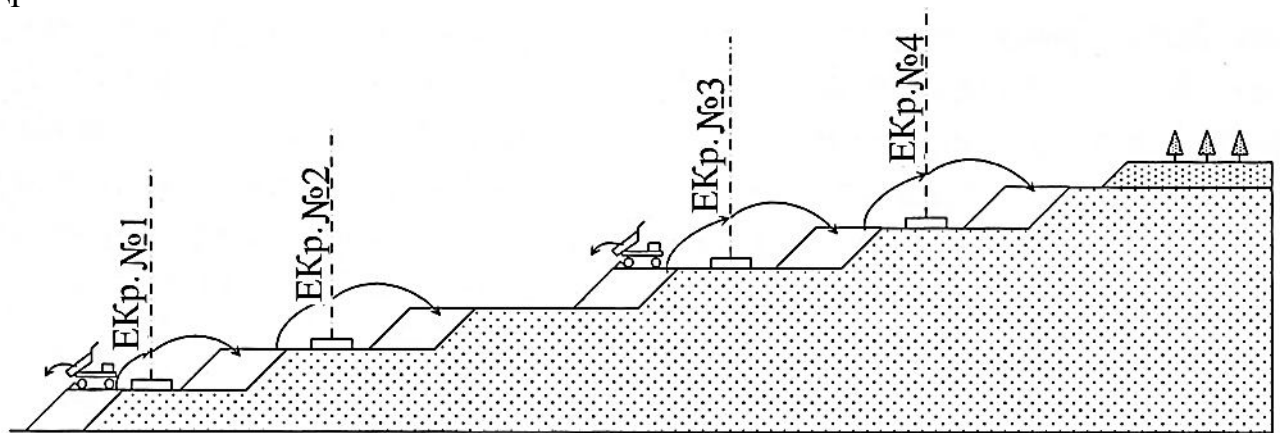


Рис. 1.12. Схема зовнішнього групового бульдозерно-екскаваторного багатоярусного відвалу на стійкій основі

1.3. Можливості використання гідровідвалів для повторного утворення відвалів скельних порід

Як показала практика, укладання породи на площах старих гідровідвалів є можливим та безпечним при відповідній організації процесу відвалоутворення. Так, у [29] при відсіпанні порід на гідровідвали розглядаються два завдання:

- ✓ укладання сухих порід не повинно допускати розтікання пульпи гідровідвалу за межі зайнятої ним площі;
- ✓ необхідно забезпечити спокійне занурення твердих порід, що не розмокаються, в напіврідке середовище пульпи гідровідвалу.

Перше завдання вирішується шляхом зведення навколо гідровідвалу нової дамби з нерозмокших порід. Висота огороження протягом усього часу відсипання відвалу повинна бути вищою за рівень рідкої або напіврідкої пульпи.

Друге завдання вирішується підбором таких поперечних профілів укосів, при яких виключаються різкі обвалення та просідання порід під працюючими на відвалах механізмами.

Обидва завдання найбільш повно й оперативно можуть бути вирішені шляхом моделювання та, зокрема, відцентрового моделювання з використанням натурних матеріалів – порід розкриву та пульпи. Ще в 1970-1976 роках на одній з найбільших відцентровій установці інститутом УкрНДІпроект за участю інституту «Гіпрошахт» проводилися дослідження з відсипання сухих порід на гідровідвали: Красногірський, Сагарлицький, Бачатський, Новобачатський.

У процесі моделювання визначалися:

- ✓ характер та глибина проникнення «сухого» відвалу в пульпу;
- ✓ мінімальний кут стійкого укосу відвалу;
- ✓ кут відсічі пульпи;
- ✓ довжина та висота зсувного «язика»;
- ✓ ширина небезпечної зони тріщиноутворення на відвалі;
- ✓ зміна фізико-механічних характеристик пульпи у процесі її навантаження «сухими» відвалами.

Для побудови моделі використовувалися натурні матеріали - пульпа з пляжної зони гідровідвалу та зони дрібного відстою та суміш корінних порід у відповідній пропорції з порід кар'єрів.

На підставі результатів досліджень рекомендується:

- ✓ на гідровідвалах глибиною понад 10 м основним способом відвалоутворення вважати екскаваторний, який найбільш повно відповідає умовам безпечного відсипання;

✓ застосовувати крокуючі екскаватори з довжиною стріли близько 50-60 м, але не менше розміру небезпечної зони тріщиноутворення для даної глибини гідровідвалу;

✓ висоту першого ярусу «сухого» відвалу рекомендується приймати 20 м, а крок заходження – 24 м;

✓ при глибинах гідровідвалів до 5-10 м слід застосовувати при відсипанні першого та наступних ярусів відвалу бульдозерний спосіб.

Велика різноманітність гірничо-геологічних умов вугільних родовищ, що розробляються відкритим способом, зумовлює виникнення на розрізах різних видів деформацій відвалів, що відрізняються одна від одної, як формою, так і механізмом прояву. Від виду деформації відвалів залежить насамперед надійність і правильність вибору методів вивчення фізико-механічних та деформаційних властивостей відвальних порід, а також порід основи відвалів.

У 1997 р. було проведено дослідження на гідровідвалі «Південний» з метою визначення ступеня ущільнення намівних шарів та характеристик опору зсуву породних мас у межах різних зон. Дослідження дозволили оцінити несучу здатність намівних тонкодисперсних мас і виділити у вертикальному розрізі намівної товщі три шари:

1. Кірка висихання ($h = 0,1$ м);
2. Підкірковий шар із консистенцією, близькою до текуче-пластичної ($h = 3-4$ м);
3. Основний шар із м'якопластичною консистенцією ($h = 9$ м).

Рядом авторів розглянуто можливість використання гідровідвалів Зирянівського кар'єру для повторного утворення відвалів скельних порід, а також проблеми, що виникають при відвалоутворенні на площу гідровідвалів; характер деформацій гідровідвалу, що виникають у процесі засипання його скельної породи.

В результаті досліджень було з'ясовано, що складування скельних порід на гідровідвалах уможлиблюється при правильному обґрунтуванні висоти

відсипання з урахуванням несучої здатності основи гідровідвалів та стійкості дамб обвалування.

1.4. Виробничий досвід формування екскаваторних відвалів на намитих площах

Основна проблема, з якою доводиться стикатися на кар'єрі, полягає в тому, що вторинне заповнення гідровідвалів скельним розкритом пов'язане з ризиком руйнування гребель та видавлювання налитих ґрунтів за межі гідровідвалів, що може спричинити перекриття річок. Відсипання порід на всіх без винятку підприємствах, які випробовували розглянуті технології, проводилося дуже обережно, невеликими чергами зі значними проміжками у часі. За період із 1965 року в експериментальних гідровідвалах ряду підприємств Західної Азії було розміщено понад 30 млн м³ розкритих порід.

При дослідженні характеру деформацій було виявлено, що основною причиною їх виникнення є обводнення основи відвалу та відвальних мас.

У 1975-1976 рр. активно досліджувалися гірничогеологічні умови, методики та результати розрахунку стійкості гідровідвалів. Показано основні розрахункові схеми стійкості укосів та результати розрахунків. За даними проведених досліджень встановлено параметри відвалів на гідровідвалі та надається послідовність відвалоутворення, що забезпечує безпеку та техніко-економічну ефективність відвальних робіт, визначається коло необхідних інженерних заходів. Зокрема, при відсипанні «сухих» порід на Сагарлицький гідровідвал рекомендується:

- ✓ за умовами стійкості упорних призм на пляжі гідровідвалу та в зоні ставка-відстійника можна розмістити три яруси відвалів «сухих» порід загальною висотою 60 м;

- ✓ результуючий кут укосу гідровідвалу, навантаженого відвалами, не повинен перевищувати 20° у центральній частині гідровідвалу та 16° у районі ставка-відстійника та в місцях, де відмічені слабкі породи на підставі споруд;

✓ на ділянках примикання відкладень ставка-відстійника до природних підвищень рельєфу відвалоутворення необхідно починати зі створення контрфорсу шириною по низу 50 м та висотою 20 м на породах природної основи гідровідвалу;

✓ відвальні роботи можуть вестись із застосуванням автотранспорту та бульдозера або залізничного транспорту та екскаватора-драглайну;

✓ для забезпечення безпеки робіт необхідні постійні інструментальні спостереження за розвитком деформацій ярусу, що відсипається, і послідовним на цій основі переносом робіт на ті ділянки, деформації яких припинилися.

Використання старих гідровідвалів для розміщення відвалів корінних порід набуває, особливо в Кривбасі, все більшої актуальності у зв'язку з відсутністю поблизу кар'єрів вільних площ. Ще в 1977 році на основі рекомендацій УкрНДІпроекту було розроблено проект розміщення відвалів корінних порід на Сагарлицькому гідровідвалі: на площі 675 га передбачалося розмістити понад 300 млн м³ розкривних порід. У проекті розглянуто три схеми відвалоутворення із застосуванням екскаваторів ЕШ-10/60, ЕШ-13/50, бульдозера Д-572 під час транспортування породи автосамоскидами БелАЗ-549.

Короткий огляд науково-дослідних та проектних робіт, виконаних для кар'єрів Кривбасу з відсипання «сухих» порід на площах старих гідровідвалів, дозволяє зробити висновки:

1. В даний час досить повно досліджено фізико-механічні властивості ґрунтів основи гідровідвалів, пляжу, відвалів «сухих» порід, інженерно-геологічна характеристика яких використовується при розрахунках стійкості дамб гідровідвалів, висоти ярусу відвального уступу тощо.

2. Намитий в минулі роки гідровідвал як масив, на якому повинен відсипатися відвал «сухих» порід, для виробничників і фахівців є невизначеним за його несучими здатностями.

3. Науково-узагальненого систематизованого досвіду відсипання порід на гідровідвали досі немає, незважаючи на те, що відвалоутворення ведеться на багатьох гідровідвалах.

4. Необхідно проводити постійні інструментальні спостереження за поведінкою відвалу при відсіпанні його ярусами різної висоти, при різній потужності пульпи та фізикомеханічних властивостях порід, що складуються. Накопичені матеріали дозволять узагальнити досвід відвалотування на гідровідвалах та розробити безпечну технологію ведення відвальних робіт.

Прийнята в роботі [28] схема відвалоутворення на гідровідвал передбачає використання екскаватора ЕШ 10/60 з устроєм прямка на поверхні відвального уступу. Розвантажена з автосамоскидів порода фронтом прямка екскавується в відвальну заходку (рис. 1.13).

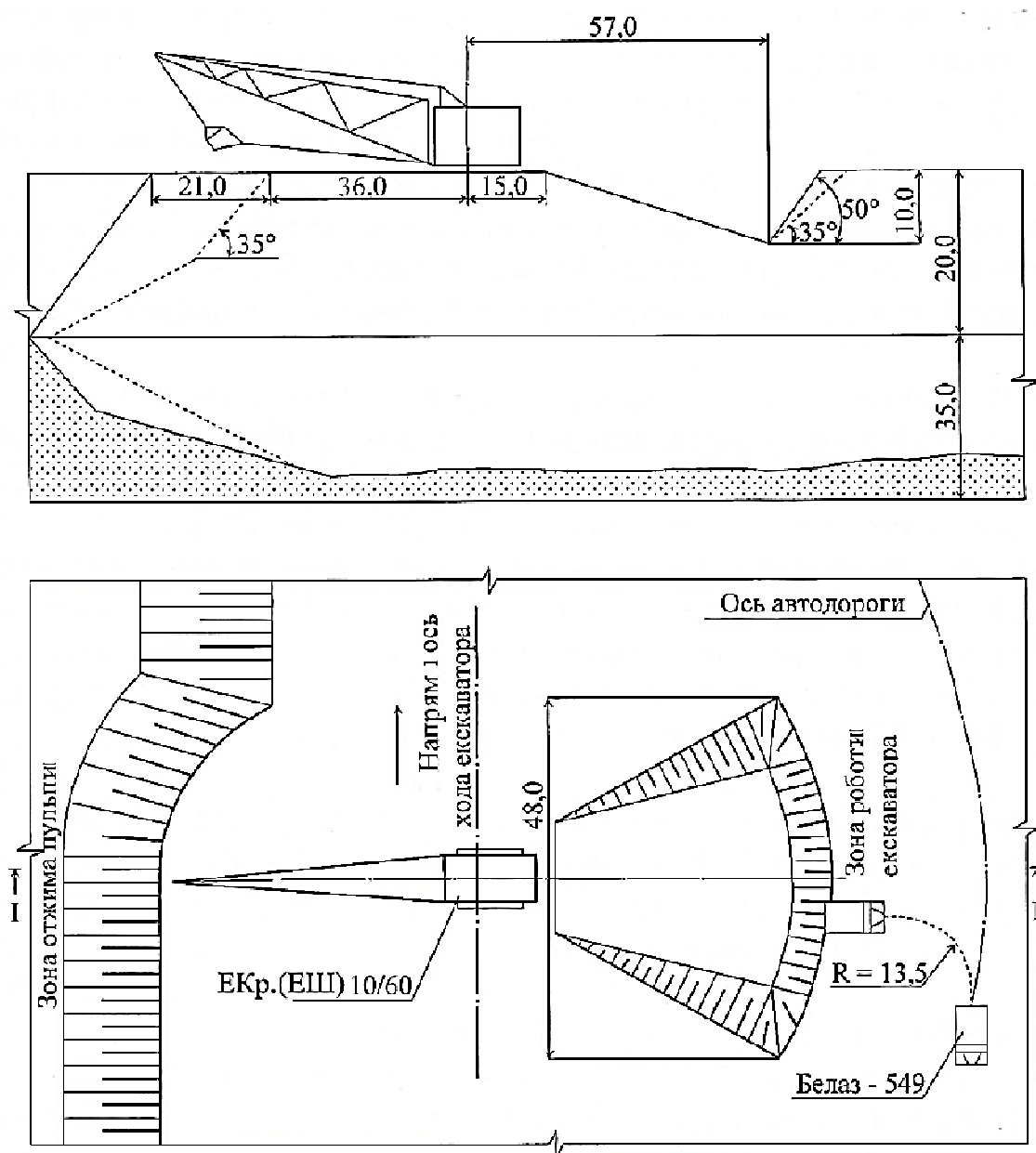


Рис. 1.13. Схема перееккавації розкривних порід з прямка в гідровідвал драглайном

З урахуванням добової продуктивності екскаватора ЕШ-10/60, яка дорівнює $7600 \text{ м}^3/\text{год}$, робота екскаватора з однієї стоянки становитиме 6-7 діб. З огляду на нетривалий час необхідність устрою напівстаціонарного розвантажувального майданчика з жорстким упором відпадає. Для запобігання падінню автосамоскидів у приямок влаштовується запобіжний вал з породи розміром за висотою 1,3 м і шириною по підшві 2,7 м для автосамоскида БелАЗ-549 (вантажопідйомність 75 т) і відповідно 1,7 і 3,6 м для автосамоскида вантажопідйомністю 18 т.

Дослідження, проведені при транспортуванні породи самоскидами різної вантажопідйомності [27], показують, що лінійні параметри екскаватора-драглайну ЕШ-10/60 забезпечують довжину розвантажувального майданчика, достатню для безпечної роботи автосамоскидів.

Приймальний устрій, що акумулює, є необхідною умовою нормальної роботи системи «автосамоскид-екскаватор». Геометричні розміри його визначаються характером вантажопотоку та продуктивністю драглайну.

Розрахунок продуктивності драглайну ЕШ-10/60 на відвалоутворенні показує, що при існуючих обсягах гірничої маси, що надходить на Сагарлицький відвал ($4 \text{ млн м}^3/\text{рік}$), необхідно мати два екскаватори.

З урахуванням характеру вантажопотоку максимальне значення об'ємів розкриття, що надходить до кожного екскаватора, становить $380 \text{ м}^3/\text{год}$, що забезпечується продуктивністю драглайна ($397 \text{ м}^3/\text{год.}$).

Для забезпечення нормальної роботи автосамоскидів при нетривалій зупинці екскаватора ємність акумулюючого приймального пристрою повинна дорівнювати $0,3Q_{см}$, де $Q_{см}$ - змінна продуктивність екскаватора.

Розвантажувальний майданчик характеризується шириною, що визначає можливість під'їзду та розвороту автосамоскидів перед встановленням їх на навантаження, та довжиною, яка визначає можливість вільного розміщення автосамоскидів.

З умови забезпечення маневрів самоскидів та встановлення їх під розвантаження довжина розвантажувального майданчика визначиться як

$$l_{p.n} = N \cdot III_a + C_a (N - 1) \text{ м}, \quad (1)$$

де N - кількість автосамоскидів, що одночасно розвантажуються, од.; III_a - ширина автосамоскида, м; C_a - безпечна відстань між автосамоскидами, м.

Ширина розвантажувального майданчика:

$$b_{p.n} = l_a + C_a + R_a, \text{ м} \quad (2)$$

де l_a - довжина автосамоскида, м; R_a - радіус повороту автосамоскида, м.

Розраховані за формулами (1) і (2) довжина та ширина розвантажувального майданчика з урахуванням максимальної інтенсивності надходження обсягів розкриву становитимуть: $l_{p.n} = 48$ м; $b_{p.n} = 37$ м при висоті приямка, що дорівнює 10 м.

Фронт роботи по приямку за умовами безпеки спільної роботи екскаватора та автосамоскидів розділений на дві ділянки: на одній ведуться екскаваторні роботи, на іншій розвантажуються автосамоскиди.

Відсипання «сухих» відвалів на Сагарлицькому гідровідвалі здійснюється послідовно: екскаватор ЕШ-10/60 екскавує породу з приямка в відвальну західку шириною 21 м, причому сам екскаватор віддалений від верхньої брівки відвалу не менше ніж на 36 м [26].

Після відсипання 50,4 тис. м³ розкриву екскаватор переходить на нову стоянку на відстань, що дорівнює 50 м. У зоні першої відсипки починаються інтенсивні деформації, згасання яких настає через 20 діб. У цей час екскаватор перебуватиме від першої відсипки на відстані 150 м.

Для підготовки переходу екскаватора на наступну позицію в зонах першої, другої та наступних відсипок першого проходу здійснюється привантаження осілої частини відвалу на висоту просідання. Привантаження ведеться безпосередньо розвантаженням автосамоскидів на частину заходки, що просідає. Відсипану породу планує бульдозер, готуючи водночас трасу для другого проходу екскаватора.

1974 року гірничим інженером В.І. Тимошиним [24] на розрізі «Міжріченський» був здійснений у промислових масштабах експеримент з використання екскаватора ЕШ-10/60 на прийомі розкриву, що доставляється 27- та 40-тонними автосамоскидами (рис. 1.14).

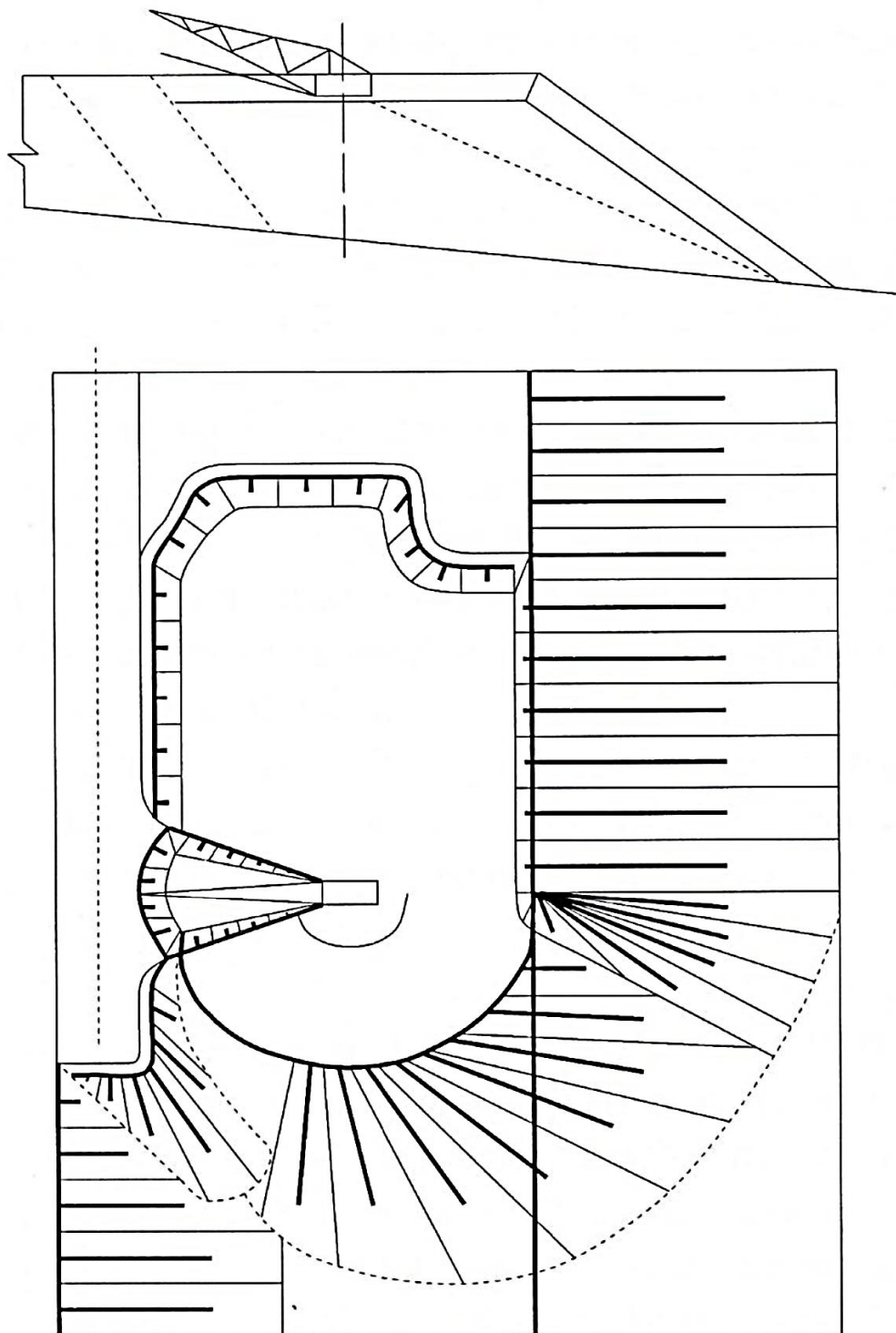


Рис. 1.14. Схема відвалоутворення на косогорі із застосуванням драглайну та автотранспорту

На основі цього експерименту були розроблені схеми, розрахункові положення та методика застосування крокуючих драглайнів як відвалоутворювачів в різних умовах гірничо-технічної обстановки. В результаті представилося доцільним ефективно вирішити питання вантажотransпортного зв'язку між розкривними та відвальними горизонтами по найкоротшій відстані. Це в кінцевому рахунку привело до скорочення розрахункової кількості автосамоскидів, що діють, підвищення ефективності їх використання. Напряма величина окремих вантажопотоків дозволили визначити річну продуктивність драглайнів, а умови складування розкривних порід у відвали – їх лінійні параметри.

1.5. Перспективи адаптації відібраних технологій до умов Кривбасу

Зростання обсягів розкриву при транспортній технології ведення робіт, підвищення ефективності виробництва за рахунок збільшення потужності гірничого обладнання та транспортних засобів висувають особливі вимоги до питань подальшого вдосконалення існуючих технологічних схем гірничих підприємств та покращення використання технічних засобів.

Специфічні умови родовищ Кривбасу часто полягають у різко пересіченому рельєфі поверхні з наявністю глибоких логів з крутими схилами і слабкими породами, що підстилають, невеликої потужності. Географічне положення відвалів щодо кар'єрних полів, абсолютні висотні позначки логів зумовлюють необхідність організації складування розкриву з горизонтів кількох кар'єрів, що вимагає створення концентрованих високопродуктивних пунктів прийому розкриву. Бульдозерне відвалоутворення в логах, що мають значні перепади при невеликій висоті ярусу відвалу в цих умовах, веде до деконцентрації відвальних робіт, велику переробку самоскидів – особливо в початковий період експлуатації.

При збільшенні вантажопідйомності транспортних засобів витрати на будівництво та підтримання тимчасових автомобільних доріг, що мають у цих умовах незначний термін служби, можуть вплинути на вибір

вантажопідйомності транспортних засобів і явитися стримуючим фактором збільшення продуктивності.

Якісний аналіз відвалоутворювальних механізмів показує, що в умовах складного рельєфу поверхні найкращими показниками при відвалоутворенні мають крокуючі екскаватори.

Крім цього, в умовах Кривбасу нині поряд з кар'єрами знаходиться значна кількість площ (понад 20 тис. га – старі гідровідвали та русла річок, заболочені озера тощо), які не використовуються під відвали через відсутність надійних, безпечних способів відвалоутворення. У той же час під відвали розкривних порід, що доставляють засоби автотранспорту займається щорічно понад 200 га сільськогосподарських угідь, на відновлення яких витрачаються мільйони грн.

Застосування крокуючих драглайнів на відвалоутворенні в цих умовах дозволить створити безпечні умови роботи самоскидів у відвальній зоні та отримати значний економічний ефект.

Характерною особливістю технологічних схем драглайнового відвалоутворення є суттєва залежність їх формування від параметрів відвальних екскаваторів, місця встановлення драглайну, розмірів приймальних пристроїв, зон розвантаження, а також рельєфу поверхні та фізико-механічних властивостей підстилаючих та складованих гірських порід.

Слід розрізняти схеми з верхнім та нижнім відсипанням відвалу при повороті стріли відвального екскаватора на кут до 180° . Драглайн при цьому може розташовуватися на рівні транспортного горизонту вище або нижче його.

Як основну можна вважати схему з відсипанням породи в нижній ярус при розташуванні екскаватора на рівні або нижче транспортного горизонту. Оскільки ємності, що заповнюються, характеризуються змінними параметрами, початкова висота ярусу може бути не дуже великою, а потім досягати максимальної величини.

Схеми екскаваторного відвалоутворення можуть зазнавати певних змін у міру розвитку відвалу. Зокрема, може змінитися розташування екскаватора при незмінному положенні транспортного горизонту.

Спочатку з використанням бульдозера або безпосередньо екскаватором відсипається майданчик, на якому екскаватор може розташовуватися поблизу автомобільної дороги (розвантажувального майданчика) і розміщувати гірничу масу нижче за транспортний горизонт. У міру відсипання відвалу драглайн переміщається від автодороги на відстань, що дорівнює радіусу черпання, і продовжує засипати ємність нижче за рівень стояння з повним використанням своїх розвантажувальних параметрів.

У міру подальшого пересування екскаватора вздовж фронту відвальних робіт висота ярусу може досягти граничної величини за умовою стійкості (для конкретної марки драглайну). Збільшення висоти нижнього ярусу може бути забезпечене зниженням рівня стояння драглайна по відношенню до транспортного горизонту на глибину, що дозволяє прибирати крихку породу з приймального пристрою верхнім черпанням. При цьому верхній підступ нижнього ярусу відвалу може заповнюватися екскаватором з верхнім розвантаженням до рівня транспортного горизонту або використовуватися для бульдозерного відвалування. Невелика висота верхнього підступу забезпечує безпечні умови роботи, а його заповнення при використанні бульдозерів може проводитися з відставанням не менше ніж 1,5 радіуса розвантаження екскаватора.

Після заповнення нижнього ярусу екскаватор може бути встановлений вище за транспортний горизонт для заповнення ємності верхнього ярусу. Транспортування розкриву здійснюється за тією ж автомобільною дорогою, заповнення верхнього ярусу може проводитися, як з відставанням на одну західку, так і безпосередньо в даній західці з ліквідацією автодороги в порядку, що відступає. При заповненні ємності вище транспортного горизонту драглайн розміщується на проміжному підступі вище за автомобільну дорогу (з урахуванням глибини черпання екскаватора) і робить засипку на повні параметри по висоті (з урахуванням стійкості верхнього ярусу) і радіусу розвантаження.

У випадках заповнення глибоких логів з нестійкими крутими схилами, складування порід на площі бувших шламосховищ, у заплави річок та озер,

заповнення ємності старих гідровідвалів розвантажувальний майданчик слід розміщувати за межами зсувних явищ. Це можна зробити розташуванням екскаваторної заходки при русі екскаватора навколо автомобільної дороги.

Висновки за розділом 1

Виконаний у даному розділі аналіз науково-дослідних та проектних робіт стосовно відсіпання «сухих» порід на площах старих гідровідвалів, дозволяє зробити наступні висновки щодо придатності їх алаптації до умов гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу:

1. В даний час досить повно досліджено фізико-механічні властивості ґрунтів основи гідровідвалів, пляжу, відвалів «сухих» порід, інженерно-геологічна характеристика яких використовується при розрахунках стійкості дамб гідровідвалів, висоти ярусу відвального уступу тощо.

2. Намитий в минулі роки гідровідвал як масив, на якому повинен відсіпатися відвал «сухих» порід, для виробничників і фахівців є невизначеним за його несучими здатностями.

3. Науково-узагальненого систематизованого досвіду відсіпання порід на гідровідвали досі немає, незважаючи на те, що відвалоутворення ведеться на багатьох гідровідвалах.

4. Необхідно проводити постійні інструментальні спостереження за поведінкою відвалу при відсіпанні його ярусами різної висоти, при різній потужності пульпи та фізико-механічних властивостях порід, що складуються.

5. Накопичені матеріали дозволяють узагальнити досвід відвалотування на гідровідвалах та розробити безпечну технологію ведення відвальних робіт.

Узагальнюючи наведені аргументи й особливості Кривбасу, можна стверджувати, що повноцінна адаптація виділених в результаті виконаного в даному розділі комплексного аналізу технологічних схем відвалоутворення до умов останнього є цілком можливою і певною мірою доцільною у разі вторинного виробничого використання площ виведених з цільової експлуатації гідровідвалів – шламосховищ збагачувальних фабрик ГЗК.

Розділ 2

АНАЛІТИЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БАГАТОЯРУСНОГО ЕКСКАВАТОРНОГО ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ ПРИ АВТОТРАНСПОРТІ

2.1. Основні напрямки та зміст обґрунтування технології багатоярусного екскаваторного відвалоутворення при автотранспорті

На підставі виконаного аналізу технологій відвалоутворення із застосуванням автомобільного транспорту на кар'єрах та структурних технологічних схем багатоярусного відвалоутворення в даній частині роботи представлені перспективні схеми відвалоутворення для умов кар'єрів Кривбасу. В цих схемах як відвалоутворювачі прийняті крокуючі екскаватори, мехлопати, бульдозери та вібраційні комплекси. Застосування пропонованих відвалоутворювачів дозволяє охопити все різноманіття умов формування багатоярусних відвалів з метою підвищення ефективності відвальних робіт.

Дана частина розділу наводить методичні положення щодо визначення основних параметрів технологічних схем багатоярусного відвалоутворення з установленням взаємозалежностей сумарної продуктивності бульдозерних відвалоутворювачів від продуктивності екскаваторних відвалоутворювачів.

У пропонованих технологічних схемах реалізуються екскаваційні та транспортні функції екскаваторних відвалоутворювачів, що дозволяє скоротити кількість автосамоскидів, зайнятих на транспортуванні порід з вибою на відвал.

Застосування схем багатоярусного відвалоутворення, крім цього, дозволяє суттєво знизити землеємність і, отже, потребу у земельних відводах під зовнішні відвали.

Методичні положення щодо визначення параметрів технологічних схем багатоярусного відвалоутворення

Основними параметрами технологічних схем багатоярусного відвалоутворення є:

- ✓ кількість ярусів;
- ✓ висота ярусів;

- ✓ ширина відвальної західки;
- ✓ ширина відвального майданчика;
- ✓ ширина та висота проходила при відсипанні порід на гідровідвал.

Основними вимогами до технологічних схем багатоярусного відвалоутворення є забезпечення безпеки ведення відвальних робіт та ритмічності подвигання відвальних фронтів по ярусах.

Безпека відвалоутворення забезпечується дотриманням встановлених нормативів щодо розміщення гірничого обладнання на окремих робочих майданчиках, формуванням запобіжних породних валів та іншими заходами, перерахованими раніше.

Умови ритмічності подвигання відвальних фронтів по ярусах забезпечуються рівністю швидкостей їхнього руху.

При двоярусному відвалоутворенні на горизонтальній стійкій основі із застосуванням бульдозерів і драглайнів як відвалоутворювачів ці умови розраховуються наступним чином (рис. 2.1):

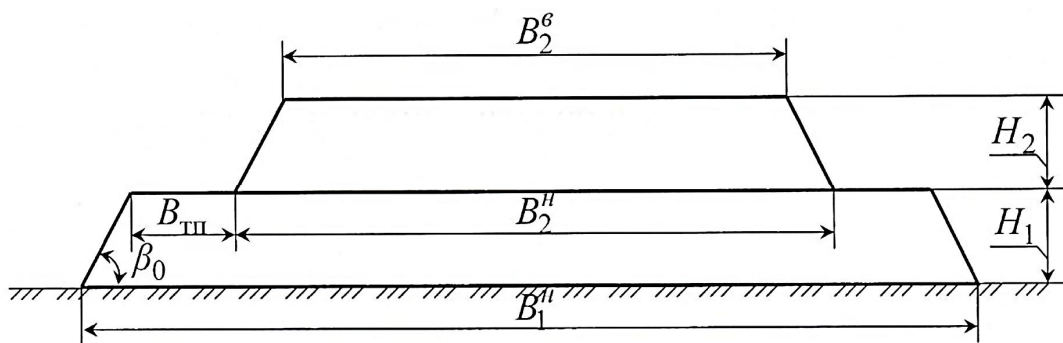


Рис. 2.1. Схема до розрахунку ритмічності відвалоутворення на стійкій основі бульдозерно-екскаваторним комплексом

Ритмічність роботи відвалоутворювача на двоярусному бульдозерно-екскаваторному відвалі визначається умовою

$$V_{оф1} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y}{S_1}, \quad (4)$$

$$V_{оф2} = \frac{Q_{EII}^y}{S_2}, \quad (5)$$

де S_1, S_2 - площа поперечного перерізу відповідно першого та другого ярусу відвалу, м^2 . При цьому сумарна продуктивність бульдозерів на відвалоутворенні становитиме

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y, \text{м}^3/\text{ч};$$

а годинна продуктивність драглайна $Q_{EIII}^y - \text{м}^3/\text{год}$.

$$\begin{aligned} S_1 &= H_1 (B_1^n - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0), \\ S_2 &= H_2 (B_2^n - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0), \end{aligned} \quad (6)$$

де B_1^n, B_2^n - ширина відповідно нижнього та верхнього ярусу по низу, м ; H_1, H_2 - висота відповідно нижнього та верхнього ярусу, м ; β - кут відвального ярусу, градус;

$$B_2^n = B_1^e - (2B_{\text{тп}} + H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 + H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0), \quad (7)$$

де $B_{\text{тп}}$ - ширина транспортної смуги відвалу, м ($B_{\text{тп}} = 30 \text{ м}$); B_1^e - ширина нижнього ярусу по верху, м :

$$B_1^e = B_1^n - 2 \cdot H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0. \quad (8)$$

Тоді вираз (3) набуде вигляду

$$\frac{H_1 (B_1^n - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0)}{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y} = \frac{H_2 [B_1^e - (2B_{\text{тп}} + H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 + H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0) - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0]}{Q_{EIII}^y}. \quad (9)$$

2.2. Залежність продуктивності бульдозеру від такої драглайну

Тому годинна середньоексплуатаційна продуктивність бульдозерних відвалоутворювачів, залежно від годинної продуктивності прийнятого драглайну, має бути такою:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y &= \frac{H_1 (B_1^n - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) Q_{EIII}^y}{H_2 [B_1^e - (2B_{\text{тп}} + H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 + H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0) - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0]} = \\ &= \frac{H_1 (B_1^n - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) Q_{EIII}^y}{H_2 [B_1^n - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} + \text{ctg } \beta_0 \cdot (H_1 + H_2) - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0]}. \end{aligned} \quad (10)$$

Розглянемо приклад.

$$B_1'' = 2000 \text{ м}; H_1 = 52 \text{ м}; H_2 = 48 \text{ м}; B_{\text{тп}} = 30 \text{ м}, \beta_0 = 38^\circ.$$

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q = \frac{52(2000 - 52 \cdot 1,28)1360}{48[2000 - 2 \cdot 52 \cdot 1,28 - 2 \cdot 30 + 1,28 \cdot (52 + 48) - 48 \cdot 1,28]} = \frac{136732876,8}{77637,12} = 1761,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Годинна продуктивність бульдозера:

$$Q_B^q = \frac{3600 \cdot V_{\text{омв}}}{T_{\text{ч}} \cdot K_p} = \frac{3600 \cdot 10}{42 \cdot 1,35} = 635 \text{ , м}^3/\text{год.}$$

Необхідна кількість бульдозерів:

$$N_B = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q}{Q_B^q} = \frac{1761,2}{635} = 2,77.$$

Приймаємо до роботи 3 бульдозери.

Далі будуємо графік залежності продуктивності бульдозерно-екскаваторного комплексу від ширини відвального фронту робіт та від продуктивності крокуючого екскаватора (рис. 2.2).

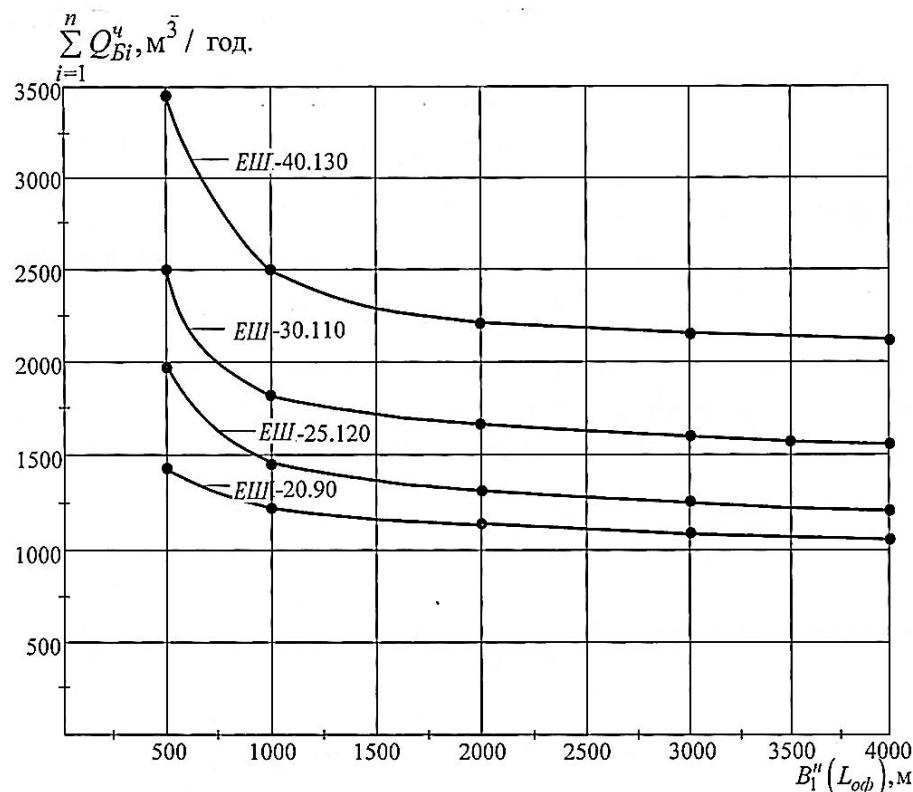


Рис. 2.2. Графік залежності сумарної годинної продуктивності бульдозерних відвалоутворювачів від довжини відвального фронту по нижньому ярусу і марки драглайна, що відсипає другий ярус відвалу на стійкій основі

Ритмічність відвалоутворення по ярусах при відсіпанні відвалу на гідровідвал забезпечується за умови рівності швидкостей просування відвальних фронтів по ярусах (рис. 2.3).

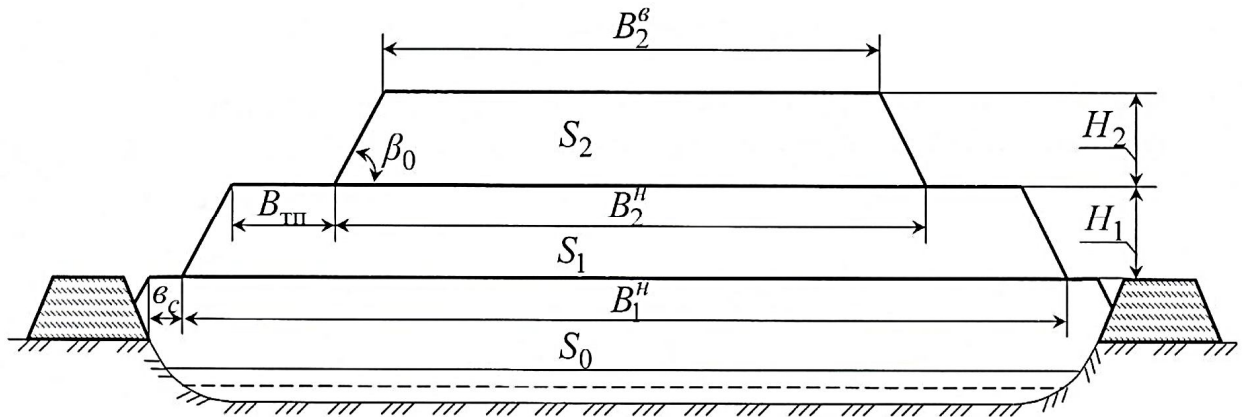


Рис. 2.3. Схема до розрахунку ритмічності відвалоутворення на нестійку основу по ярусах

$$U_1 = U_2, \quad (11)$$

де U_1 и U_2 - швидкість руху відвального фронту робіт по нижньому (першому) і верхньому (другому) ярусу відповідно, м/год:

$$U_1 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q}{S_1 + S_0}, \quad (12)$$

де $\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q$ - сумарна продуктивність бульдозерів на відвалоутворенні, м³/год;
 S_1 - площа поперечного перерізу першого ярусу відвалу, м²; S_0 - площа перерізу передвідвалу по довжині відвального фронту, м².

$$S_1 = H_1 (B_1^H - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0), \quad (13)$$

$$S_0 = h_{no} (B_1^H + 2b_n + h_{no} \cdot \text{ctg } \beta_0), \quad (14)$$

де b_n - ширина берми на передвідвалі, м; h_{no} - висота передвідвалу, що відсіпається драглайном, м

$$U_2 = \frac{Q_{EII}^q}{S_2}, \quad (15)$$

де Q_{EII}^q - часова продуктивність драглайну, м³/год; S_2 - площа перерізу відвального фронту на другому ярусі, м².

$$S_2 = H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0), \quad (16)$$

де B_{mn} - ширина транспортної площадки на поверхні нижнього ярусу, м; H_2 - висота нижнього ярусу, м.

Тоді

$$U_2 = \frac{Q_{EШ}^q}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)}. \quad (17)$$

Вираз (11) після цих перетворень набуде наступного вигляду:

$$\frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q}{H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) + h_{no} (B_1'' + 2b_n + h_{no} \cdot \text{ctg } \beta_0)} = \frac{Q_{EШ}^q}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)} \quad (18)$$

Отже, сумарна годинна продуктивність бульдозерних відвалоутворювачів визначиться як

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q = \frac{Q_{EШ}^q [H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) + h_{no} (B_1'' + 2b_n + h_{no} \cdot \text{ctg } \beta_0)]}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)}. \quad (19)$$

Розглянемо приклад.

Драглайн-відвалоутворювач: ЕШ 30.110; бульдозер: ДЗ-59ХЛ (Т-330).
Продуктивність драглайну – 1300 м³/год; бульдозера – 310 м³/год (при коефіцієнті заваленості відвального майданчика, що дорівнює 0,7); $B_1'' = 2000$ м; $H_1 = 52$ м; $H_2 = 48$ м; $h_{no} = 10$ м; $B_{mn} = 30$ м, $\beta_0 = 38^\circ$.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q &= \frac{Q_{EШ}^q [H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) + h_{no} (B_1'' + 2b_n + h_{no} \cdot \text{ctg } \beta_0)]}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)} = \\ &= \frac{1360 [52(2000 - 52 \cdot 1,28) + 10(2000 + 2 \cdot 30 + 10 \cdot 1,28)]}{48(2000 - 2 \cdot 52 \cdot 1,28 - 2 \cdot 30 - 48 \cdot 1,28)} = \frac{164922956,8}{83781,12} = 1968,5 \text{ м}^3/\text{г}. \end{aligned}$$

Для забезпечення годинної продуктивності з бульдозерного відвалоутворення знадобиться наступна кількість робочих бульдозерів:

$$N_B = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^q}{Q_B^q} = \frac{1968,5}{310} = 6,35.$$

Приймаємо $N = 7$.

Ритмічність відвалоутворення по ярусах триярусного відвалу на стійкій основі обґрунтовується таким чином (рис. 1.18).

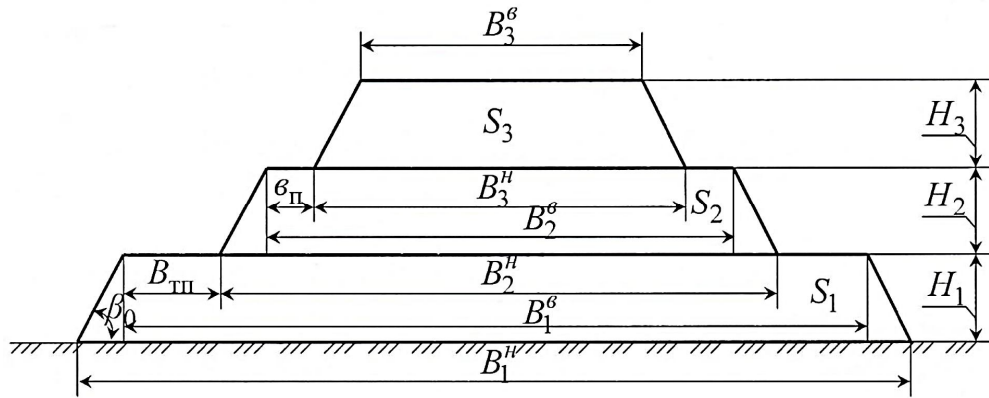


Рис. 2.4. Схема для розрахунку ритмічності триярусного відвалоутворення по ярусах

Умова ритмічності виражається рівністю швидкостей просування відвальних фронтів ярусами відвалу, тобто

$$U_1 = U_2 = U_3, \quad (20)$$

де U_1 , U_2 і U_3 - швидкість руху відвального фронту робіт з нижнього (першого), середнього (другого) і верхнього (третього) ярусу відповідно, м/год:

$$U_1 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^u}{S_1}, \quad (21)$$

$$U_2 = \frac{Q_{EIII1}^u}{S_2}, \quad (22)$$

$$U_3 = \frac{Q_{EIII2}^u}{S_3}, \quad (23)$$

де S_1 , S_2 і S_3 - площа відвального фронту робіт з нижнього (першого), середнього (другого) та верхнього (третього) ярусів відповідно:

$$S_1 = H_1 (B_1^H - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0), \quad (24)$$

$$S_2 = H_2 (B_2^H - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0), \quad (25)$$

$$S_3 = H_3 (B_3^H - 2H_3 \cdot \text{ctg } \beta_0). \quad (26)$$

З урахуванням того, що

$$B_3^H = B_2^e - 2b_n, \quad (27)$$

$$B_2^e = B_2^H - 2H_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - 2B_{\text{тп}}, \quad (28)$$

$$B_2^H = B_1^H - 2H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - 2B_{\text{тп}}, \quad (29)$$

можемо визначити B_3^H .

$$\begin{aligned} B_3^H &= B_2^H - 2H_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - 2b_n = B_1^H - 2H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - 2H_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - 2b_n = \\ &= B_1^H - 2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 (H_1 + H_2) - 4B_{\text{тп}} - 2b_n, \end{aligned} \quad (30)$$

$$S_3 = H_3 \left(B_1^H - 2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 (H_1 + H_2) - 4B_{\text{тп}} - 2b_n - H_3 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 \right). \quad (31)$$

Прийнявши, що весь обсяг розкриву, який надходить на триярусний відвал, розвантажуються спочатку на першому (нижньому) ярусі, можна скласти наступні рівності швидкостей просування відвальних фронтів по ярусах:

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y}{H_1 (B_1^H - H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0)} &= \frac{Q_{EШ1}^y}{H_2 (B_1^H - 2H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0)} = \\ &= \frac{Q_{EШ2}^y}{H_3 (B_1^H - 2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 (H_1 + H_2) - 4B_{\text{тп}} - 2b_n - H_3 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0)}. \end{aligned} \quad (32)$$

Але оскільки крокуючі екскаватори зайняті на переекскавації породи з нижнього ярусу на вищележачі, то визначальним показником є сумарна продуктивність бульдозерних відвалоутворювачів на нижньому ярусі.

Тоді

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y = \frac{H_1 \cdot (B_1^H - H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0) \cdot Q_{EШ1}^y}{H_2 (B_1^H - 2H_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_0)}. \quad (33)$$

При цьому слід враховувати, що продуктивність крокуючого драглайну ЕШ №1, зайнятого на первинній переекскавації порід з першого ярусу в другий, є визначальною (базовою) для драглайну ЕШ №2, який переекскавує, частину об'єму порід другого ярусу в третій.

Але, оскільки площі поперечних перерізів відвальних ярусів – різні, то й обсяги порід, що укладаються у відвал, будуть різними.

Отже, продуктивність драглайнів теж має бути різною.

Тоді продуктивність драглайну ЕШ №2, що переєккавує частину породи з другого ярусу в третій, становитиме

$$Q_{\text{ЕШ2}}^{\text{ч}} = \frac{Q_{\text{ЕШ1}}^{\text{ч}} \cdot H_3 \cdot [B_1'' - 2 \cdot \text{ctg } \beta_0 (H_1 + H_2) - 4B_{\text{тп}} - 2b_{\text{п}} - H_3 \cdot \text{ctg } \beta_0]}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)} \quad (34)$$

Приклад. Драглайн №1 – ЕШ 30.110.

Продуктивність драглайну – 1400 м³/год; $B_1''=2000$ м; $H_1=50$ м; $H_2=40$ м; $H_3=30$ м; $b_{\text{п}} = 10$ м; $B_{\text{тп}} = 30$ м, $\beta_0 = 38^\circ$.

$$Q_{\text{ЕШ2}}^{\text{ч}} = \frac{1400 \cdot 30 \cdot [2000 - 2 \cdot 1,28(50 + 40) - 4 \cdot 30 - 2 \cdot 10 - 30 \cdot 1,28]}{40(2000 - 2 \cdot 50 \cdot 1,28 - 2 \cdot 30 - 40 \cdot 1,28)} = \frac{66830400}{70432} = 949 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Такий продуктивності відповідає драглайн ЕШ 20.90.

При цьому сумарна продуктивність бульдозерних відвалоутворювачів, що забезпечують формування триярусного відвалу, становитиме

$$\sum_{i=1}^n Q_{\text{Bi}}^{\text{ч}} = \frac{50 \cdot (2000 - 50 \cdot 1,28) \cdot 1400}{40(2000 - 2 \cdot 50 \cdot 1,28 - 2 \cdot 30 - 40 \cdot 1,28)} = \frac{135520000}{70432} = 1923, \text{ м}^3/\text{год}.$$

При середній продуктивності бульдозера, що дорівнює 600 м³/год, їх кількість становитиме

$$N_B = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{Bi}}^{\text{ч}}}{Q_B^{\text{ч}}} = \frac{1923}{600} = 3,2.$$

Приймається 3 бульдозери Т35.01.

Ритмічність відвалів у ярусах триярусного відвалу на нестійкій основі встановлюється, виходячи з наступних положень (рис. 2.5).

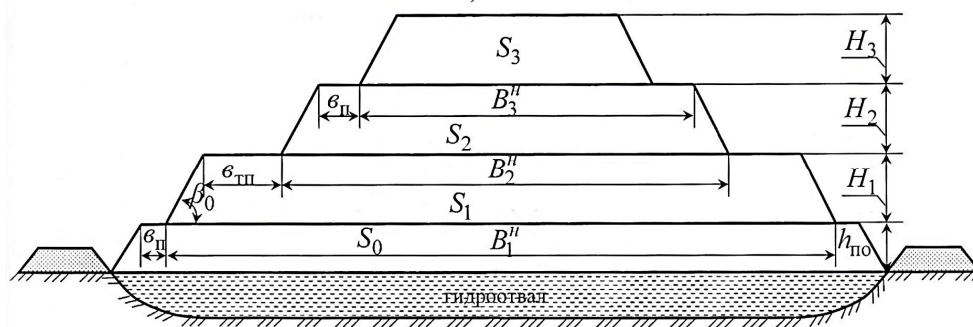


Рис. 2.5. Схема до розрахунку ритмічності триярусного відвалоутворення по ярусах відвалу на нестійкій основі

Умова ритмічності руху відвальних фронтів по ярусах виражається рівністю

$$U_0 = U_1 = U_2 = U_3, \quad (35)$$

де U_0 - швидкість просування передвідвала, м/год; U_1 , U_2 і U_3 - швидкість руху відвального фронту робіт по нижньому (першому), середньому (другому) і верхньому (третьому) ярусу відповідно, м/год.

Зважаючи на те, що

$$U_1 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y}{S_0 + S_1}, \quad (36)$$

$$U_2 = U_0 = \frac{Q_{EШ1}^y}{S_2}, \quad (37)$$

$$U_3 = \frac{Q_{EШ2}^y}{S_3}, \quad (38)$$

де S_1 , S_2 і S_3 - площа відвального фронту робіт з нижнього (першого), середнього (другого) та верхнього (третього) ярусів відповідно, м² (див. формули (24-26)); S_0 - площа перерізу відвального фронту по передвідвалу, м² (див. формулу (14)).

Тоді

$$U_2 = \frac{Q_{EШ1}^y}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0) + h_{no} (B_1'' + 2b_n + h_{no} \cdot \text{ctg } \beta_0)}. \quad (39)$$

Але оскільки $U_2 = U_0 = U_1$, то

$$\frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y}{H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) + h_{no} (B_1'' + 2b_n + h_{no} \cdot \text{ctg } \beta_0)} = \frac{Q_{EШ1}^y}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)}. \quad (40)$$

Тому сумарна годинна продуктивність бульдозерних відвалоутворювачів на першому ярусі визначиться як

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^y = \frac{Q_{EШ1}^y [H_1 (B_1'' - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0) + h_{no} (B_1'' + 2b_n + h_{no} \cdot \text{ctg } \beta_0)]}{H_2 (B_1'' - 2H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - 2B_{\text{тп}} - H_2 \cdot \text{ctg } \beta_0)}. \quad (41)$$

Розглянемо приклад.

Продуктивність драглайну – 1400 м³/год; $B_1^H = 2000$ м; $H_1=50$ м; $H_2=40$ м; $H_3=30$ м; $b_n = 10$ м; $B_{mn} = 30$ м, $\beta_0 = 38^\circ$. $h_{no}=10$ м.

$$\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^u = \frac{1400 \left[52 \cdot (2000 - 50 \cdot 1,28) + 10 (2000 + 2 \cdot 30 + 10 \cdot 1,28) \right]}{40 (2000 - 2 \cdot 50 \cdot 1,28 - 2 \cdot 30 - 40 \cdot 1,28)} = \frac{163060800}{70440} = 2314 \text{ м}^3/\text{год}.$$

При середній продуктивності бульдозера 600 м³/год. кількість їх на першому ярусі відвалу складе

$$N_B = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Bi}^u}{Q_B^u} = \frac{2314}{600} = 3,86.$$

Приймається 4 бульдозери.

2.3. Встановлення кількості ярусів відвалу

Кількість ярусів встановлюється, залежно від необхідної ємності відвалу та площі, що відводиться під відвал.

Висота ярусів відвалу, що відсипається на горизонтальну основу, визначається глибиною черпання драглайну та висотою розвантаження ковша.

Для схем відвалоутворення на косогорі висота нижнього (першого) ярусу, в принципі, не обмежується, оскільки його відсипання ведеться драглайном або мехлопатою з нижнім розвантаженням ковша, причому драглайн або мехлопата розташовані у стійкій зоні відвалу.

Ширина відвальної західки встановлюється залежно від радіусу черпання.

$$A_o = R_q - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - b_o - 0,5 B_o, \quad (42)$$

де R_q - радіус черпання драглайну, м; H_1 - висота нижнього ярусу, м; B_o - діаметр опорної бази драглайну, м; b_o - берма безпеки, м:

$$b_o = H_1 \cdot (\text{ctg } \beta_y - \text{ctg } \beta_0), \quad (43)$$

де β_y - стійкий кут укосу відвалу, градус; β_0 - кут природного укосу відвального ярусу, градус.

При використанні як відвалоутворювача мехлопати ширина відвальної західки визначається за виразом

$$A_o = R_p^{EKG} - 0,5B_{zx}, \quad (44)$$

де R_p^{EKG} - радіус розвантаження мехлопати, м; B_{zx} - ширина гусеничного ходу мехлопати, м. Ширина відвального робочого майданчика для драглайнів визначається за виразом

$$Ш_{on} = A_o + b_o + 0,5B_o + R_k + c - h_{np} \cdot \text{ctg } \beta_0, \quad (45)$$

де A_o - ширина відвальної заходки, м; b_o - берма безпеки, м; R_k - радіус обертання кузова драглайна, м; c - запобіжний зазор між кузовом драглайна та укосом ярусу, м; h_{np} - висота просвіту між днищем кузова драглайна та робочим майданчиком, м; β_0 - кут природного укосу відвального ярусу, градус.

При застосуванні мехлопати як відвалоутворювача ширина відвального майданчика визначається за формулою:

$$Ш_{on} = R_p^{EKG} + R_k^{EKG} + c - h_{np} \cdot \text{ctg } \beta_0, \quad (46)$$

де R_p - радіус розвантаження ковша мехлопати, м; R_k - радіус обертання кузова мехлопати; c - запобіжний зазор між кузовом мехлопати та укосом ярусу, м; h_{np} - висота просвіту між днищем кузова мехлопати та робочим майданчиком, м (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Робочі параметри рекомендованих екскаваторних відвалоутворювачів для багатоярусного бульдозерно-екскаваторного відвалоутворення

Найменування параметрів	Екскаватори						
	ЕШ 20.90	ЕШ 25.120	ЕШ 30.110	ЕШ 40.130	ЕКІ-10	ЕКІ-12	ЕКІ-15
Ємність ковша, м ³	20	20	30	40	10	12	15
Максимальний радіус копання, м	83,0	117,7	103,3	123,0	18,4	21,0	22,6
Максимальна глибина копання, м	42,5	57,0	53,0	60,0	-	-	-
Максимальна висота вивантаження ковша, м	38,5	53,4	48,2	56,0	-	-	-
Теоретична продуктивність, м ³ /год.	965	1100	1360	1870	1170	1410	1640
Максимальна висота копання, м	-	-	-	-	13,5	15,0	16,6
Максимальний радіус розвантаження, м	-	-	-	-	16,3	18,5	20,0
Радіус обертання кузова, м	19,7	22,0	24,0	27,0	7,8	9,0	10,0
Діаметр опорної бази, м	14,5	18,0	18,0	23,5	-	-	-
Ширина гусеничного ходу, м	-	-	-	-	7,0	8,0	9,5
Тривалість циклу, с	60	60	60	60	26	26	28
Просвіт під поворотною платформою, м	1,61	2,44	2,44	2,84	2,765	3,35	3,35

Ширина передвідвалу при відсипанні відвалу на старий гідровідвал визначається за виразом

$$B_{np} = R_p^{EШ} - H_1 \cdot \text{ctg } \beta_0 - b_{\delta} - 0,5B_{\delta}, \quad (47)$$

де $R_p^{EШ}$ - радіус розвантаження ковша драглайна, м; H_1 - висота нижнього (першого) відвального ярусу, м; b_{δ} - діаметр опорної бази драглайну, м; B_{δ} - берма безпеки, м:

$$b_{\delta} = H_1 \cdot (\text{ctg } \beta_y - \text{ctg } \beta_0), \quad (48)$$

де β_y - стійкий кут укосу відвала, градус; β_0 - кут природного укосу відвального ярусу, градус.

Висота багатоярусного відвалу встановлюється шляхом зіставлення витрат на відвалування екскаваторним і бульдозерно-автомобільним комплексом, тобто

$$C_{mp} + C_{\delta o} = C_{EШ}, \quad (49)$$

де C_{mp} - вартість транспортування 1 м³ розкриву на розрахункову висоту відвалу, грн/м³; $C_{\delta o}$ - вартість бульдозерного відвалоутворення, грн/м³; $C_{EШ}$ - вартість екскаваторного відвалоутворення, грн/м³:

$$C_{EШ} = \frac{S_{MЧ}^{EШ}}{Q_{EШ}^ч} \cdot K_{ne}, \quad (50)$$

де $S_{MЧ}^{EШ}$ - вартість машино-години роботи драглайну, грн/год; $Q_{EШ}^ч$ - годинна продуктивність драглайну, м³/год; K_{ne} - коефіцієнт переєкскавації.

Коефіцієнт переєкскавації, при якому $C + C_{\delta o} = C_{EШ}$, є граничним, причому, зі збільшенням висоти відвалу витрати на відвалоутворення бульдозерно-автомобільним та екскаваторним комплексом будуть зростати, але з різною

інтенсивністю, що і призводить до їх рівності при досягненні раціональної висоти багатоярусного відвалу.

Для цих цілей встановлюється залежність витрат на відвалоутворення бульдозерно-автомобільним та екскаваторним комплексом від висоти відвалів з побудовою графіків. Точка перетину цих графіків і визначатиме раціональну висоту відвалу.

Висновки за розділом 2

На сучасних кар'єрах в основному застосовуються одноярусні зовнішні бульдозерні відвали заввишки 30-40 м із землеємністю 2-3,5 га/млн м³ розкривних порід, що укладаються в їхній масив.

У проектних рішеннях іноді закладаються багатоярусні бульдозерні відвали із заїздами автотранспорту на кожен ярус, що призводить до зниження їхньої місткості.

При відсипанні відвалу на нестійку основу (гідровідвал) формується передвідвал за площею прийнятої технології, що веде до зростання обсягу бульдозерних робіт.

Підвищення ефективності зовнішнього відвалоутворення можливе за рахунок більш повного використання площ під відвали із застосуванням безтранспортної технології переміщення порід у багатоярусні відвали.

Розділ 3

ОСОБЛИВОСТІ ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ В УМОВАХ ПАТ «ПІВДЕННИЙ ГЗК»

3.1. Загальна характеристика рудника

Сучасний стан відкритої розробки залізорудних родовищ супроводжується значним зростанням глибини кар'єрів (по 10-15 м/рік), яка наразі нерідко перевищує 350-400 м.

Разом з цим, проектні рішення передбачають подальше нарощування глибини до 750-1000 м. [30].

Цим визначається підвищена увага до проблеми транспорту глибоких кар'єрів, тому що без її вирішення неможливо забезпечити на рентабельний видобуток корисних копалин на таких глибинах.

Оснащення кар'єрів новим гірничотранспортним обладнанням, удосконалення технології та організації виробництва й інші фактори технічного прогресу, поки не компенсують пов'язане зі зростанням глибини кар'єрів збільшення витрат.

Тому в міру зростання відстаней транспортування та висоти підйому гірничої маси, зменшення розмірів робочої зони кар'єру, потрібне періодичне вдосконалення транспортної системи кар'єру, спрямоване на забезпечення оптимальних умов експлуатації кожного з застосовуваних на кар'єрі видів транспорту й екскаваторів при їх самостійному чи комбінованому використанні [31, 32].

Багаторічний досвід досліджень транспортної проблеми глибоких кар'єрів показує, що її вирішення стає можливим лише на основі докорінного перегляду стратегії формування їх транспортних систем.

Необхідним є урахування закономірностей розвитку кар'єрного простору та вантажопотоків гірничої маси, а також умов виконання гірничих робіт за досить тривалі періоди розробки родовищ.

Реалізація такої методики вимагає динамічної постановки завдання, врахування всього різноманіття факторів, що впливають, що можливе лише на основі застосування економіко-математичного моделювання та використання сучасних інформаційних систем [33].

При цьому необхідно враховувати наступне:

- параметри кар'єру, його продуктивність по корисних копалин та гірничій масі, режим гірничих робіт, адже схеми розкриву та системи розробки в тих самих гірничотехнічних умовах можуть мати різні оптимальні поєднання при різних видах екскаваторів та схемах транспорту;

- при розрахунку та порівнянні значень наведених витрат за варіантами використовується принцип їх порівняння за період, протягом якого переваги та недоліки окремих видів транспорту виявляються досить повно;

- порівняльна ефективність формування транспортних систем повинна оцінюватися з урахуванням їхнього взаємозв'язку з суміжними технологічними процесами, а саме: екскавацією, відвалоутворенням, переробкою корисних копалин;

- умови розкриву та розробки верхніх, середніх та нижніх горизонтів кар'єру суттєво відрізняються, тому розрахунки порівняльної ефективності та вибору видів і схеми транспорту повинні здійснюватися диференційовано для окремих зон по глибині кар'єру.

Комплекс саме таких науково-дослідних, проектно-конструкторських й організаційних робіт було виконано під час здійснення реконструкції транспортної схеми кар'єру ПАТ «Південний ГЗК» (рис. 3.1-3.3) з метою суттєвого підвищення його виробничої потужності, як загальної, так і по вантажопотоку [34-36].



Рис. 3.1. Кар'єр «ПівдГЗК»
(Джерело: https://rest.guru.ua/krivoj_rog/places/1030-kar_er_yugoka/[37])

3.2. Етапи розвитку кар'єру Південного ГЗК

Розелянутий кар'єр є унікальним не тільки в нашій країні, але й узагалі в Європі, як за своїми гірничо-геометричними особливостями, так і стосовно родовища магнетитових кварцитів, яке розробляється ним. Варто також відзначити, що даний кар'єр став першим у Кривбасі джерелом сировини даного виду, а сам ПівдГЗК – це найперший потужний гірничо-збагачувальний комбінат України з відкритим способом видобутку залізних руд.



Рис. 3.2. Фрагмент робочого борту кар'єра «ПівдГЗК» (Джерело: https://www.turpravda.com/places/ua/krivoy_rog/ZHelezorudnyj_karer_JUGOK-s5519/# [38])



Рис. 3.3. Капітальний борт кар'єру «ПівдГЗК» (Джерело: https://www.turpravda.com/places/ua/krivoy_rog/ZHelezorudnyj_karer_JUGOK-s5519/# [39])

Кар'єр ПАТ «ПівдГЗК» розробляє Скелеватське магнетитове родовище, приурочене південному замиканню Західно-Інгулецької синкліналі. У зв'язку з цим границі відкритих гірничих робіт по глибині визначаються синклінальною структурою рудного тіла, яке заглиблюється у північному напрямку під кутом 10-20°, та кінцевою глибиною розвідки родовища.

Проведений аналіз закономірностей розвитку кар'єру ПАТ «ПівдГЗК» дозволив виділити кілька періодів, що характеризуються рядом специфічних особливостей, надають значний вплив на умови та показники його роботи:

I період – від початку розробки до 1960 р.;

II період – 1961-1966 рр.;

III період – 1967 - 1976 рр.;

IV період – з 1977р. - по теперішній час.

При виділенні зазначених періодів урахувалися такі фактори: масштаб гірничих робіт, оснащеність кар'єру вантажним та транспортним обладнанням, гірничотехнічні умови (глибина кар'єру, дальність транспортування, обсяги перевезень). З цих позицій I період вважається періодом становлення кар'єру. Він мав невелику глибину та масштаб робіт, використовувався в основному залізничний транспорт. Основним вантажним засобом були екскаватори СЕ-3 з ємністю ковша 3 м³ (рис. 3.4) [40]. На транспорті використовувалися спочатку паровози, а потім електровози типу IV-КП-1 (рис. 3.5) [41].



Рис. 3.4. Драглайни та мехлопати СЕ-3 на розкривних роботах кар'єру ПівдГЗК (Джерело: <https://kryvyi-rih.name/ru/eternal-1820-istoriya-karera-yugok-v-krivom-roge> [40])



Рис. 3.5. Залізничний транспорт кар'єру Півд ГЗК (Джерело: <https://kryvyi-rih.name/ru/eternal-1820-istoriya-karera-yugok-v-krivom-roge> [41])

У період із 1961 по 1967 рр. різко зросли масштаби гірничих робіт і сталося технічне переозброєння кар'єру: на завантаженні гірничої маси поряд із ЕКГ-4 почали застосовуватися екскаватори ЕКГ-8, з 1965 розпочато експлуатацію автосамоскидів БелАЗ-540, на залізничному транспорті здійснювався перехід на електротягу. Глибина кар'єра була невеликою, тому її негативний вплив на ускладнення роботи транспорту та погіршення техніко-економічних показників не виявлялося.

Проте вже до 1967 року ситуація істотно змінилася. На кар'єрі виникли труднощі з освоєнням все більших обсягів перевезень, особливо з глибоких горизонтів. Намітилася тенденція до відставання щодо розкривних робіт, причому основною причиною цього був транспорт. Додаткові труднощі у роботі транспорту, як і в організації планомірного ведення гірничих робіт в цілому, виникли на кар'єрі у зв'язку із залученням в експлуатацію бідних руд, що потребують збагачення. Коливання якісних характеристик руд у робочій зоні кар'єру та вимоги збагачувальних фабрик до постачання рудної маси стабільного складу призвели до необхідності резервування потужностей вантажного та транспортного обладнання, будівництва різного виду проміжних складів. Це привело до зміни технології ведення гірничих робіт та схем транспорту. Почався перехід від однотранспортних схем, коли для перевезення

гірничої маси застосовувався якийсь один вид транспорту (залізничний), до більш складних, по багатотранспортним схемам, що характеризуються одночасним використанням у кар'єрі та на поверхні декількох видів транспорту. У цих умовах на кар'єрі на додаток до автомобільного та залізничного транспорту вводиться додаткова ланка – конвеєрний. Починаючи з 1984 р. поряд із дволанковими знаходять застосування триланкові системи транспорту, що об'єднують у єдиному технологічному ланцюгу автомобільний та залізничний транспорт з конвеєрним підйомом. В даний час трудомісткість транспортування зростає випереджаючими темпами порівняно зі збільшенням обсягів перевезень. А це означає, що без прийняття кардинальних заходів щодо вдосконалення техніки та технології відкритих гірничих робіт питомі трудові та матеріальні витрати на транспортування гірничої маси будуть безперервно зростати, що призведе до падіння продуктивності та неможливості подальшого розвитку кар'єру. Тому при відпрацюванні родовища з метою підтримки виробничої потужності та її нарощування, виходячи з гірничотехнічних умов, що склалися, затверджених геологічних запасів та інших факторів, проектом реконструкції транспортної схеми кар'єру ПАТ «ПівдГЗК», передбачено [34]:

- рознесення західного борту кар'єру з метою забезпечення до 2017 р. на ньому видобутку руди обсягом 2,5 млн тонн на рік задля досягнення потужності кар'єру 30 млн. тонн на рік до 2020 р.;

- інтенсивне поглиблення та відпрацювання центральної частини родовища та постановка північного борту до позначки -270 м у кінцеве положення;

- розвиток автомобільних доріг північного борту кар'єру;

- переобладнання транспортних комунікацій на східному борту;

- відпрацювання запасів південного борту після ліквідації розташованих на ньому транспортних комунікацій.

При цьому в перший 15-річний період (2013-2028 рр.) здійснюється розконсервування західного борту горизонтів +15-180 м на залізничний транспорт (рис. 3.6) [42].



Рис. 3.6. Сучасний стан робочих горизонтів кар'єру Півд ГЗК (Джерело: <https://ukrainaincognita.com/mista/kryvyy-rih-tse-ne-mars-tse-ukraina> [42])

При цьому на західному борту відбувається ліквідація залізничних станцій горизонтів -60 м, -120 м та -180 м. На цих горизонтах залишаються кілька гілок залізничних колій, що забезпечують вивезення гірничої маси з кар'єру на залізничний транспорт. Відпрацювання північного борту кар'єру на горизонтах -105-15 м планується на залізничний транспорт (див. рис. 3.7). При відпрацюванні даної ділянки руда залізничним транспортом доставляється до ПДП горизонту -90 м. Відпрацювання нижніх горизонтів кар'єру здійснюється автомобільним транспортом. Руда з горизонтів -180-300 м (з пониженням до -360 м) автомобільним транспортом подається на ПДП горизонту -210 м.

Для відпрацювання горизонтів -105-180 м проходиться залізнична напівтраншея спіралеподібного типу [42], що починається на позначці +40,0 м східного борту і далі через північний, західний та південний борти виходить на позначку -180 м на східному борту кар'єру (рис. 3.7).

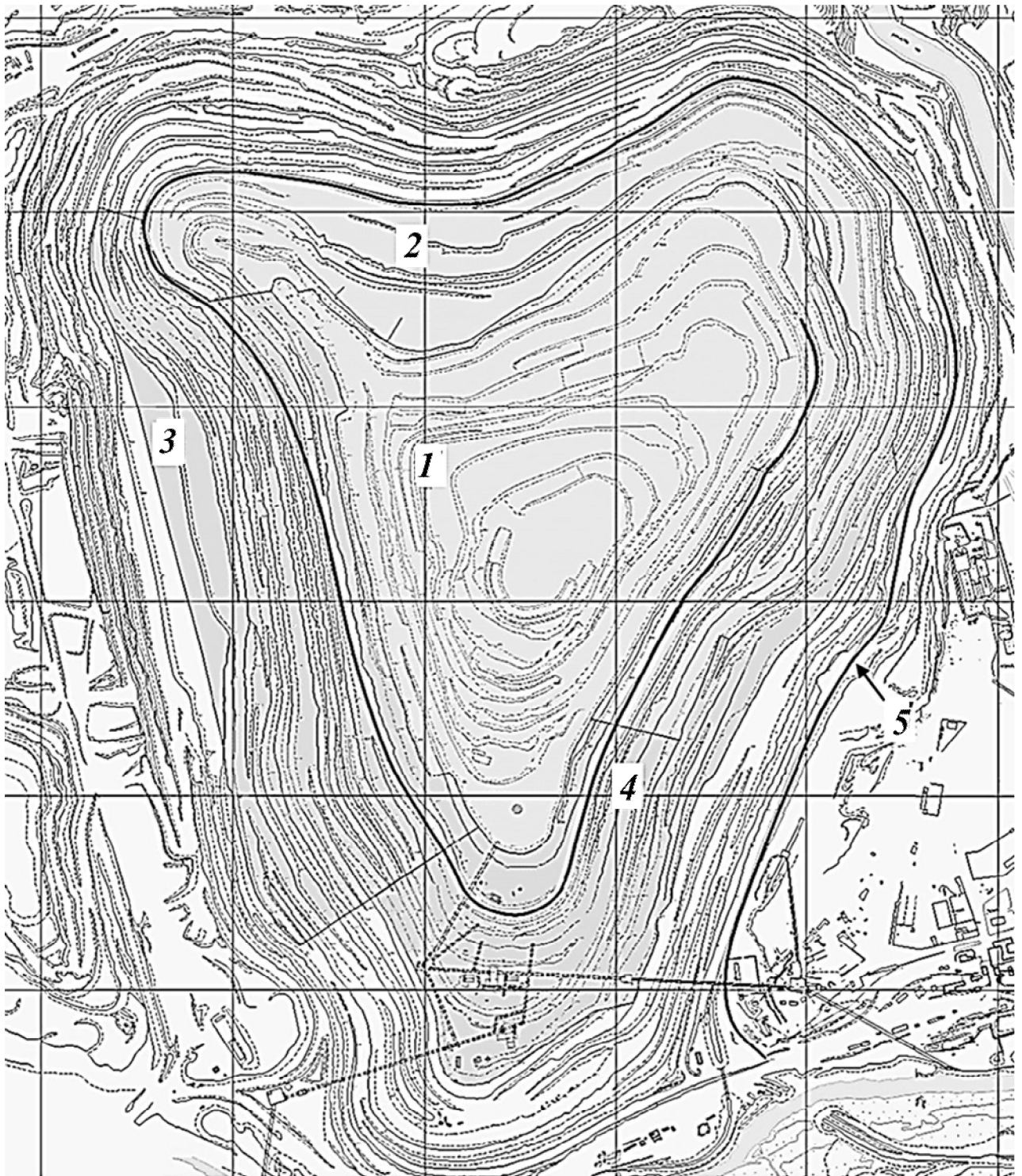


Рис. 3.7. Реконструкція транспортної схеми кар'єру ПівдГЗК: 1 - поглиблення гор. -180-300 м до -570 м автотранспортом; 2 - розкриття верхніх горизонтів північного та північно-східного борту до -90 м залізничним; 3 - розкриття гор. +15-90 м залізничним; 4 - погашення запасів південного та південно-східного бортів; 5 - спірально-видна залізнична напівтраншея для відпрацювання запасів гор. -105-180 м

3.3. Розкривні роботи та відвали Південного ГЗК

У наступний 15-ти річний період (2029-2043 рр.) розкрив нових горизонтів, з пониженням дна кар'єру до позначки горизонту -480 м, планується здійснювати автомобільними траншеями з подальшим відпрацюванням гідравлічними екскаваторами в сполученні з автомобільним транспортом (рис. 3.8. 3.9) [43, 44]. Руда з горизонтів 180-470 м автомобільним транспортом доставляється на ПДП горизонту -330 м.



Рис. 3.8. Екскаваторно-автомобільний комплекс кар'єру «ПівдГЗК» (Джерело: <https://www.ugok.com.ua/about/structure.php?lang=ua> [43])

Розкривні породи з горизонтів -180-470 м. автомобільним транспортом доставляються на перевантажувальні пункти з наступним навантаженням у залізничний транспорт.

В останній 15-ти літній період (2044-2058 рр.) планується розкриття нових горизонтів, зі зниженням дна кар'єру до позначки -570 м здійснювати автомобільними траншеями.

Залишки корисних копалин у бортах кар'єру на горизонтах -105-180 м добираються залізничним транспортом.

Відпрацювання нижніх горизонтів кар'єру здійснюється лише з використанням автомобільного транспорту.



Рис. 3.9. Транспортування порід з кар'єру на відвали «ПівдГЗК» (Джерело [44]: <https://travels.in.ua/object/3772/karyer-yuzhnogo-gorno-obogatoryelnogo-kombinata>)

Руда з горизонтів 270-570 м автомобільним транспортом доставляється на ПДП горизонту -330 м та на перевантажувальний пункт із наступним навантаженням у залізничний транспорт та транспортуванням на дробильну фабрику. Розкривні породи скельного типу з горизонтів -270-570 м автомобільним транспортом доставляються на перевантажувальні пункти з наступним навантаженням у залізничний транспорт і транспортуванням у Лівобережні відвали (рис. 3.10-3.12) [45-47].

Рис. 3.10. Право- та лівобережний відвали ВАТ «Південний ГЗК»
(Джерело [45]: <https://wikimapia.org/10889705/>)



Рис. 3.11. Транспортні комунікації відвалу ВАТ «Південний ГЗК» (Джерело: <https://veskr.com.ua/krivorozhskie-gorodskie-novosti/37545-pochti-klassika-kak-formiruyutsya-krivorozhskie-otvaly-foto.html> [46])



Рис. 3.12. Формування породного відвалу ВАТ «Південний ГЗК» (Джерело: <https://veskr.com.ua/krivorozhskie-gorodskie-novosti/37545-pochti-klassika-kak-formiruyutsya-krivorozhskie-otvaly-foto.html> [47])

Результати розрахунку планових транспортних потоків для різних ділянок кар'єру ПАТ «ПівдГЗК» у розглянуті періоди наведено в табл. 3.1-3.3.

Таблиця 3.1

Плануємі обсяги перевезень гірничої маси кар'єру ПівдГЗК в 2013-2028 рр.

Ділянка кар'єру	Залізничний транспорт				Автотранспорт		Разом	
	Руда (млн. т)		Розкрив (млн. м ³)		Руда	Розкрив	Руда	Розкрив
	на ПДП -90 м	на РЗФ	на ПДП -75 м	на відвали	на ПДП -210 м	на ПДП -75 м	(млн. т)	(млн. м ³)
Західний борт (гор. +15 ... -180 м)	31,0	20,0	12,0	11,0			51	23,0
Східний борт (гор. -15 ... -90 м)	25,6	25,0	3,0	1,0			50,6	4,0
Північний борт (гор. -105 ... -150 м)	34,0		9,0				3,4	9,0
Дно кар'єру (гор. -180 ... -360 м)					240,0	25,5	240	25,5
Разом по кар'єру за 15-річний період	60,0	45,0	24,0	12,0	240,0	25,5	345	61,5
Річні обсяги транспортування	4,0	30,0	1,6	0,8	16,0	1,7	23	4,1

Коефіцієнт розкриву (м³/т) – 0,18

Таблиця 3.2

Заплановані обсяги перевезень гірничої маси кар'єру ПівдГЗК у 2029-2043 рр.

Ділянка кар'єру	Залізничний транспорт		Автотранспорт		Разом	
	Руда на РЗФ (млн.т)	Розкрив на відвал (млн. м ³)	Руда на ПДП -330 м	Розкрив на ПП і далі у відвали	Руда (млн. т)	Розкрив (млн. м ³)
Південний борт кар'єру (гор. +15 ... -180 м)	45,0	7,0	-	-	45,0	7,0
Дно кар'єру (гор. -180 ... -470 м)	-	-	300,0	38,0	300,0	38,0
Разом в кар'єрі за 15-річний період	45,0	7,0	300,0	38,0	345,0	45,0
Річні обсяги	3,0	0,47	20,0	2,53	23,0	3,0

Коефіцієнт розкриву (м³/т) – 0,13

Таблиця 3.3

Заплановані обсяги перевезень гірничої маси кар'єру ПівдГЗК у 2044-2058 рр.

Ділянка кар'єру	Автотранспорт		Розкрив на ПП -285-300 м і далі залізничним у відвали	Разом	
	Руда (млн. т)			Руда (млн. т)	Розкрив (млн. м³)
	на ПДП -330 м	на ПП -285/-300м і далі на РЗФ			
Центральна частина кар'єру (гор. -270 -570 м)	300,0	45,0	30,0	345,0	30,0
Разом по кар'єру за 15-річний період	300,0	45,0	30,0	345,0	30,0
Річні обсяги	20,0	3,0	2,0	23,0	2,0

Коефіцієнт розкриву (м³/т) – 0,09

Одним із основних елементів реконструкції транспортної схеми кар'єру ПАТ «ПівдГЗК» є створення нового транспортного зв'язку залізничних станцій нижніх горизонтів з проммайданчиком. У зв'язку з цим виникла необхідність будівництва стаціонарної похилої внутрішньої напівтраншеї спіралеподібного типу по східному борту кар'єру для введення залізничного транспорту на нижній горизонт на ділянці, розташованій в межах контуру кар'єру, що раніше склався, по поверхні. У проектно-технічній документації така розробка отримала назву траншеї глибокого введення залізничного транспорту. За проектом траса її проходить східним бортом кар'єру, від технічного поста № 10 до горизонту -15 м і далі в кар'єр. Планується, що загальний обсяг руди, видобутої у 2025 році, складе 26 млн. т, з яких сумарно комплексами ЦПТ з горизонту -90 м та горизонту -210 м максимально можливо подати на фабрику 23,0 млн. т. Решту руди обсягом 3,0 млн т необхідно вивезти на фабрику. До 2025 року обсяг перевезення руди з нового залізничного зв'язку збільшився до 7 млн т.

Будівництво даної траншеї у складі виконуваної реконструкції гірничотранспортної схеми кар'єру ПАТ «ПівдГЗК» дозволяє забезпечити його стабільну роботу на тривалу перспективу з видобутку руди, виїмки розкриву та їх транспортування відповідно на ДЗФ та відвали. При цьому будівництво траншеї глибокого введення залізничного транспорту пов'язане з низкою

труднощів, зумовлених тим, що східний борт поверхнею знаходиться на кінцевому контурі. Кінцевий контур кар'єру у східній частині не може бути зміненим, так як він обмежений обвідним каналом р. Інгулець та житловим селищем. Траншея проходить по ділянці східного борту, відпрацювання якого велось по скельних породах з міцністю $f=6-18$, уступами заввишки 12-15 м, з залишенням запобіжних берм шириною 10-12 м і транспортних берм шириною 11-20 м. Породи, що розробляються при проходці траншеї, представлені скельними різновидами з міцністю $f=6-18$. Розбирання підірваних скельних порід передбачається вести екскаватором ЕКГ-5А та автонавантажувачем тупиковими вибоями вгору та вниз від горизонтального майданчика. Буріння вибухових свердловин передбачається виконувати буровим верстатом ATLAS COPCO ROC L-8, що дозволяє бурити вертикальні та похилі свердловини діаметром 165 мм.

Існуючими нормативними документами визначено, що масові вибухи на кар'єрах можуть проводитися тільки в тому випадку, якщо відстань від них до соціально-культурних об'єктів, що захищаються, буде не менше відстаней, безпечних по розльоту шматків породи, сейсмічній дії та рівня ударних повітряних хвиль [48, 49]. Тому проектом передбачалася розробка спеціальної технології з безпечного ведення БВР, параметри яких дозволили б суттєво знизити їх негативний вплив на об'єкти соціально-культурного призначення, що знаходяться в безпосередній близькості від кар'єру [36].

Основними заходами щодо безпечного ведення вибухових робіт при будівництві траншеї стало застосування свердловин зменшеного діаметра, обмеження маси ВР одночасного вибуху і зменшення заряду в свердловині.

Для вирішення цього завдання було використано результати моніторингу масових вибухів, який проводився на кар'єрі ПАТ «ПівдГЗК» протягом кількох останніх років. За результатами аналізу цього моніторингу було отримано емпіричні залежності та встановлено чисельні значення емпіричних коефіцієнтів, які дозволили визначити чисельні значення таких параметрів масових вибухів, як:

- гранична маса ВР на ступінь уповільнення, за сейсмічною дією вибуху;

- гранична маса ВР на ступінь уповільнення за величиною ударних хвиль;
- гранична маса ВР на ступінь уповільнення, по розльоту шматків породи;
- чисельні значення інтервалів уповільнення між підриванням окремих блоків під час здійснення масових вибухів.

Методика розрахунку безпечних відстаней за наведеними вище параметрами – різна, тому безпечна відстань приймалася за мінімальним значенням. Враховуючи значну мінливість гірничо-геологічних умов трасою траншеї, проведення вибухових робіт при її будівництві передбачалося проводити окремими блоками (пікетами), розміри яких чітко позначені відповідними маркшейдерсько-геодезичними координатами. На кожен такий блок було складено паспорт бурових та вибухових робіт, що забезпечує безпечні параметри вибуху по сейсмічному впливу, ударній повітряній хвилі та розльоту осколків (рис. 3.13) [50].

а)



б)

Максимальний радіус розльоту, м	Пікет 5+00 – 7+00								Висота уступа, Н (м)					
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Глибина свердловини L (м)													
	4,5	5,5	6,5	7,5	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Висота заряду, L _з (м)													
	1,8	2,2	2,6	3,0	3,6	4,0	4,4	5,2	5,6	6,0	6,4	6,9	7,3	7,7
	Висота забойки, L _{заб} (м)													
350	2,7	3,3	3,9	4,5	5,4	6	6,6	6,8	7,4	8	8,6	9,1	9,7	10,3
	Максимальна маса ВР в свердловині, q (кг) :													
	52	64	75	87	104	116	128	151	162	174	186	200	212	223

Рис. 3.13. Проектний розріз (а) траншеї глибокого введення залізничного транспорту на східному борту кар'єру ПАТ «ПівдГЗК» у межах пікету ПК 5+50 та рекомендовані параметри БПР(б) при її будівництві

З урахуванням того, що прохід траншеї пов'язується із загальним технологічним процесом у кар'єрі, підривання траншейних блоків проводилося

тими самими засобами і за тією самою методикою, що й основних блоків, а саме із застосуванням вибухової речовини «Україніт ПП-2» та неелектричної системи ініціювання вибуху «Прима Ера». В результаті виконаних розрахунків було визначено параметри БПР, використання яких при будівництві траншеї глибокого введення на східному борту кар'єру ПАТ «ПівдГЗК» забезпечили безпеку житлових будинків та будівель соціально-культурного призначення, що перебувають у зоні впливу масових вибухів. При цьому мінімізовано негативний вплив сейсмічних та ударних повітряних хвиль на ці споруди, а також унеможлиблюється падіння уламків гірських порід на них. Наразі проект будівництва траншеї глибокого введення до позначки -90 метрів, завершено. Відповідно до рекомендованих параметрів БПР запроектовано та здійснено підривання понад 17 блоків у районі, що безпосередньо примикає до траси траншеї. В усіх випадках рівень сейсмічних, ударних повітряних хвиль масових вибухів не перевищив розрахункових параметрів, а їх негативний вплив на житлові будівлі та об'єкти соціально-культурного призначення був на мінімальному рівні. Фактів падіння уламків гірської породи за розрахунковими межами не встановлено.

Висновки за розділом 3

Таким чином, завдяки комплексу науково-дослідних, проектних та дослідно-промислових заходів, виконаних останніми роками, вдалося розробити довгострокову програму реконструкції вантажно-транспортної системи кар'єру ПАТ «ПівдГЗК», здійснення якої дозволить ефективно відпрацювати балансові запаси родовища.

Перший етап реконструкції вантажно-транспортної системи кар'єру «ПАТ «ПівдГЗК», що полягав у проектуванні та будівництві напівтраншеї глибокого введення залізничного транспорту, дозволив збільшити пропускну спроможність рудного тракту на 3 млн. тонн сирової руди на рік, що суттєво покращило техніко-економічні показники роботи кар'єру.

Розділ 4

ПОТЕНЦІЙНО АДАПТИВНІ ДО УМОВ КАР'ЄРУ ПАТ «ПівдГЗК» ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСКАВАТОРНОГО ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ ТА ЇХ РАНЖУВАННЯ

4.1. Типові ознаки комплексів екскаваторно-автомобільного відвалоутворення потужних рудних кар'єрів та вугільних розрізів

На першому етапі виконаного в даній роботі дослідження аналізувалися основні характеристики відвальних комплексів потужних рудних кар'єрів та вугільних розрізів зі схожими з відкритими розробками Кривбасу умовами й огляд досліджень щодо вдосконалення їх роботи за рахунок оптимізації розподілу автотранспорту за пунктами навантаження, включаючи:

- аналіз технологічних рішень екскаваторно-бульдозерного зовнішнього відвалоутворення при автомобільному транспорті для порівняння з залізничним;
- структурні схеми багатоярусних відвалів на різних основах, включаючи обводнені, аналогом яких в умовах ПівдГЗК є шламосховища;
- можливості використання гідровідвалів для вторинного улаштування на їх територіях відвалів порід розкриву;
- виробничий досвід формування екскаваторних відвалів на намитих площах для оцінки можливості їх адаптації до умов Південного ГЗК;
- можливі шляхи адаптації відібраних технологій до умов Кривбасу.

Загальний аналіз параметрів та стану комплексів екскаваторно-автомобільного відвалоутворення показав, що вони переважно характеризуються великою різноманітністю парків екскаваторів (від 2 до 11 типорозмірів на одному кар'єрі) та однорідністю парків кар'єрних самоскидів (від 1 до 3 типо-розмірів).

Також було проведено параметричний опис з аналізом технологічних можливостей запропонованої дворівневої моделі функціонування такого комплексу в зазначених умовах (рис. 4.1).

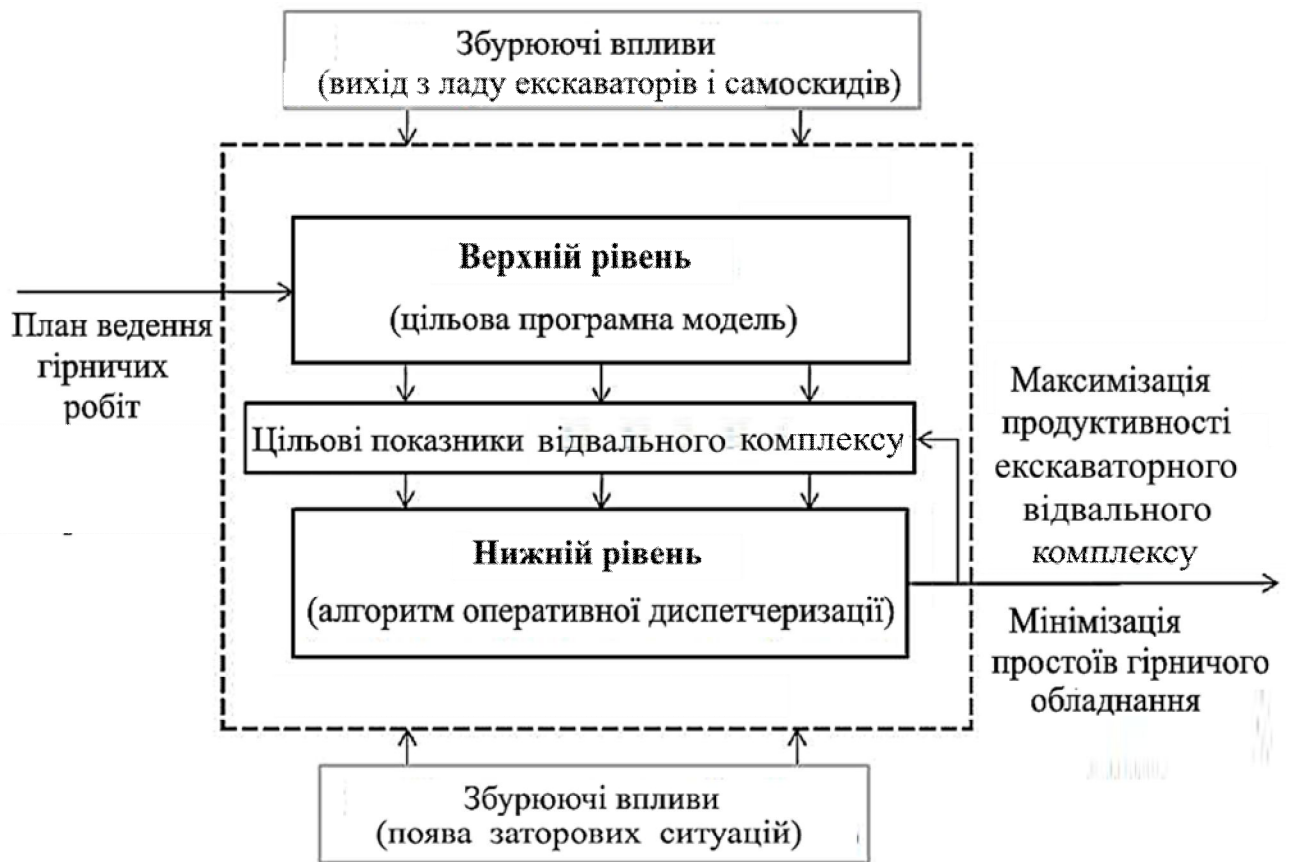


Рис. 4.1. Схема дворівневої моделі функціонування комплексів екскаваторно-автомобільного відвалоутворення

4.2. Робота відвального автотранспорту по традиційному закритому циклу (із закріпленням самоскидів за екскаваторами)

Виявлено, що робота відвального автотранспорту по традиційному закритому циклу (із закріпленням самоскидів за екскаваторами) призводить до значних простоїв кар'єрних самоскидів (подекуди ці простої складають близько 30%); знижується рівень використання механізмів. З'ясовано, що основні резерви скорочення простоїв – у підвищенні ефективності диспетчеризації автотранспорту в комплексах екскаваторно-автомобільного відвалоутворення й удосконаленні складу технологічних комплексів рудників у цілому.

Верхній рівень являє собою лінійну програмно-цільову модель (ПЦМ) визначення цільових показників продуктивності (виробки) екскаваторів і є основою короткострокового планування роботи комплексів екскаваторно-автомобільного відвалоутворення. Критерієм ефективності *на верхньому рівні* є виконання всіма екскаваторами плану навантаження (перевантаження) гірничої маси, що відповідає оптимальному рішення ПЦМ.

Загальний план навантаження та перевезень для рудника на робочу зміну, що задається для верхнього рівня системи диспетчеризації, може бути обмежений мінімально- та максимально можливим змінним виробленням діючого екскаваторного парку підприємства.

Сумарну змінну експлуатаційну продуктивність (виробіток) екскаваторного парку можна визначити за формулою (т):

$$\sum_j Q_j = 3600 \frac{\rho_n \cdot E_{kj}^E \cdot k_{нк}}{t_{цj}^E \cdot k_p} \cdot k_{п} \cdot k_{упр} \cdot k_{кл} \cdot n_j \cdot T_{см} \cdot k_{ЕП}^{EAK}, \quad (4.1)$$

де ρ_n - щільність гірничої маси в цілику, т/м; E_{kj}^E - геометричний об'єм ковша екскаватора j -ї моделі, м³; $t_{цj}^E$ - тривалість циклу екскаватора j -ї моделі, с; $k_{нк}$ - коефіцієнт наповнення ковша; k_p - коефіцієнт розпушування гірничої маси; k_n - коефіцієнт втрат гірничої маси, що завантажується; $k_{упр}$ - коефіцієнт управління, що враховує невідповідність паспортних та фактичних параметрів вибою, кваліфікацію машиніста тощо; $k_{кл}$ - коефіцієнт впливу клімату; n_j - кількість екскаваторів j -ї моделі у складі діючого парку екскаваторів; $T_{см}$ - тривалість робочої зміни, год ($T_{см} \min = 9$ год., $T_{см} \max = 12$ год.); $k_{ЕП}^{EAK}$ - коефіцієнт експлуатаційної продуктивності комплексу.

Коефіцієнт експлуатаційної продуктивності $k_{ЕП}^{EAK}$ є відношенням часу чистої роботи екскаваторів і самоскидів до тривалості зміни з урахуванням всіх регламентованих і непланових простоїв. Після перетворень він може бути поданий як:

$$k_{\text{ЕП}}^{\text{ЕАК}} = 1 - \frac{\sum_1^{N_c} t_{\text{пр}}^c + \sum_1^{N_E} t_{\text{пр}}^E}{T_{\text{см}}(N_c + N_E)}, \quad (4.2)$$

де

$$\sum_1^{N_c} t_{\text{пр}}^c, \sum_1^{N_E} t_{\text{пр}}^E$$

є сумарними простоями в роботі всіх N_E екскаваторів і N_c самоскидів протягом робочої зміни відповідно, год.

Сумарне вироблення $\sum_j Q_j$ з вивозом гірничої маси на n_k відвалів складає змінний план навантаження та перевезень для кар'єру.

Якщо позначити через q_{jk} кількість тонн гірничої маси, що вивозиться від екскаватора i на відвал k , тоді ПЦМ матиме такий вигляд:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{mn_j} \sum_{k=1}^{n_k} l_{ik} \cdot q_{ik} \rightarrow \min; \\ \sum_{i=1}^{mn_j} q_{ik} = Q_k, k = 1, 2, \dots, n_k; \\ \sum_{k=1}^{n_k} q_{ik} = \sum_j Q_j, i = 1, 2, \dots, n_j; \\ q_{ik} \geq 0, i = 1, 2, \dots, mn_j; k = 1, 2, \dots, n_k, \end{cases} \quad (4.3)$$

де l_{ik} - відстань транспортування від i -го екскаватора до k -го відвалу, що виступає в якості транспортних витрат, км; m - число моделей екскаваторів; Q_k - місткість k -го відвалу, тис. м³.

На нижньому рівні, з використанням імітаційного моделювання, будується алгоритм оптимального розподілу кар'єрних самоскидів між екскаваторами в реальному масштабі часу на основі оптимального рішення, отриманого на верхньому рівні. Зворотним зв'язком між нижнім та верхнім рівнями є перевірка після кожного розподілу виконання плану навантаження кожним екскаватором. Екскаватор, який недовиконує план найбільшою мірою, використовується неефективно, й імовірність того, що наступний самоскид буде направлений до цього екскаватора, зростає.

4.3. Визначення критерію прийняття рішень щодо розподілу кар'єрних самоскидів за пунктами навантаження-розвантаження

На наступному кроці визначається критерій прийняття рішень щодо розподілу кар'єрних самоскидів за пунктами навантаження та розвантаження і розроблено імітаційну модель екскаваторно-транспортного комплексу рудника.

Критерій розподілу кар'єрних самоскидів на нижньому рівні розробленої моделі пропонується наступний: мінімум сумарних простоїв екскаваторів і самоскидів з урахуванням їх вагомостей та пріоритетності різних екскаваторів і відповідних їм маршрутів транспортування гірничої маси.

В остаточному вигляді він виглядає так:

$$J = \arg \min_j \frac{(C_c + C_{Ej}) \cdot (T_{ocb}^E - t_{н.см} - T_{дв}^C)_+ + \delta}{x_j}, \quad (4.4)$$

де J – номер екскаватора, до якого потрібно буде відправити самоскид; C_c , C_e – вартість (значимість) простою застосовуваного у цій групі типу самоскидів та j -го типу екскаваторів відповідно, грн./год; T_{ocb}^E – очікуваний час «звільнення» (закінчення останнього завантаження) j -го екскаватора, включаючи самоскиди, що вже стоять у черзі біля нього, а також перебувають на шляху до нього, год; $t_{н.см}$ – поточний час, що минув з початку зміни, год; $T_{дв}^C$ – очікуваний час руху самоскида, що розподіляється, до j -го екскаватора, год; x_j – параметр пріоритетності j -го екскаватора та відповідного йому маршруту транспортування; δ – довільне мале число, що дозволяє у разі відсутності простоїв при можливості відправки самоскида на кілька напрямків вибрати пріоритетний.

Оскільки вартість простоїв екскаваторів і самоскидів – неоднакова, як критерій ефективності розробленого алгоритму (критерію оптимізації) пропонується використовувати наступний:

$$C_{\text{пр}} = \sum_j C_{\text{Еj}} \cdot t_{\text{прj}}^{\text{Е}} + \sum_j C_{\text{с}} \cdot t_{\text{прj}}^{\text{с}} \rightarrow \min, \quad (4.5)$$

де $C_{\text{пр}}$ - втрати від простоїв обладнання, грн.; $t_{\text{прj}}^{\text{Е}}$, $t_{\text{прj}}^{\text{с}}$ - очікуваний сумарний час простою екскаваторів і самоскидів відповідно (за зміну), год.

Вартість простоїв кожного виду обладнання можна приблизно визначити за наступною формулою (грн/год.):

$$C = \frac{t_{\text{пр}} \cdot P_{\text{ч}}}{k_{\text{вскр}}} \cdot C_{\text{у}}, \quad (4.6)$$

де $t_{\text{пр}}$ - час простою одиниці техніки, год; $P_{\text{ч}}$ - середня годинна продуктивність одиниці техніки по розкриву, м³/год; $k_{\text{вскр}}$ - плановий коефіцієнт розкриву, м³/т; $C_{\text{у}}$ - середня вартість видобутої сировини за її реалізації, грн./т.

Залежність (4.5) одночасно є оцінкою ефективності організаційної моделі на нижньому рівні. За таку оцінку може бути використаний і коефіцієнт експлуатаційної продуктивності (4.2).

Робота екскаваторно-транспортного комплексу по закритому циклу (із закріпленням самоскидів за екскаваторами), призводить до утворення черг самоскидів біля окремих екскаваторів, тоді як інші екскаватори простоюватимуть. Загальні простої вантажно-транспортного обладнання – максимальні. Однак робота комплексу і за відкритим циклом (без закріплення взагалі) може не принести очікуваної вигоди через неоднорідність парків екскаваторів та самоскидів.

Тому роботу екскаваторно-транспортного комплексу пропонується організовувати по комбінованому (відкрито-закритому) циклу з поділом вантажно-транспортної техніки на «групи диспетчеризації» (ГД). У групи зводяться екскаватори, що працюють з одним типом гірничої маси, розташовані на одній ділянці гірничих робіт і пов'язані маршрутами вивезення гірничої маси з одним відвалом. У групах рекомендується використовувати однотипні кар'єрні самоскиди, оскільки це дозволить звести до мінімуму простої в

очікуванні навантаження. Усередині цих груп самоскиди працюють за відкритим циклом.

Встановлено, що традиційні детерміновані та марківські моделі для дослідження процесів екскаваторно-транспортного комплексу – непридатні. Їх використання призводить або до заниження, або до завищення експлуатаційної продуктивності (для умовного кар'єру на 31% і 21,4% відповідно). Неадекватність цих моделей усувається застосуванням імітаційного моделювання.

У термінах теорії масового обслуговування була розроблена дискретно-подійна імітаційна модель з просуванням часу від події до події, сформований її алгоритм та програма (програмний комплекс), до складу якого входять база даних «Екскаваторно-автомобільний комплекс кар'єру» та програма «Імітаційна модель роботи екскаваторно-автомобільного комплексу кар'єру».

У процесі проектування бази даних було визначено об'єкти (сутності) та їхні властивості (атрибути), які мають зберігатися у ній. Інформація умовно поділена на первинну, довідкову та розрахункову. До первинної відноситься отримана з хронометражних даних і статистично оброблена інформація про час виконання технологічних операцій, а також про періодичність відмов і часу ремонту обладнання. До довідкової відноситься інформація про діючі на розрізі ділянках гірничих робіт; пунктах навантаження, розвантаження та перезміни; кар'єрні і відвальні екскаватори та самоскиди, що завантажують і перевозять гірничу масу; про актуальні маршрути перевезень, а також про групи диспетчеризації, до яких зведені ці маршрути. Виходячи з цього, можна виділити такі основні сутності БД: «Пункти», «Тимчасові параметри», «Дільниці», «Екскаватори», «Самоскиди», «Час навантаження», «Напрями», «Підгрупи» (рис. 4.2).

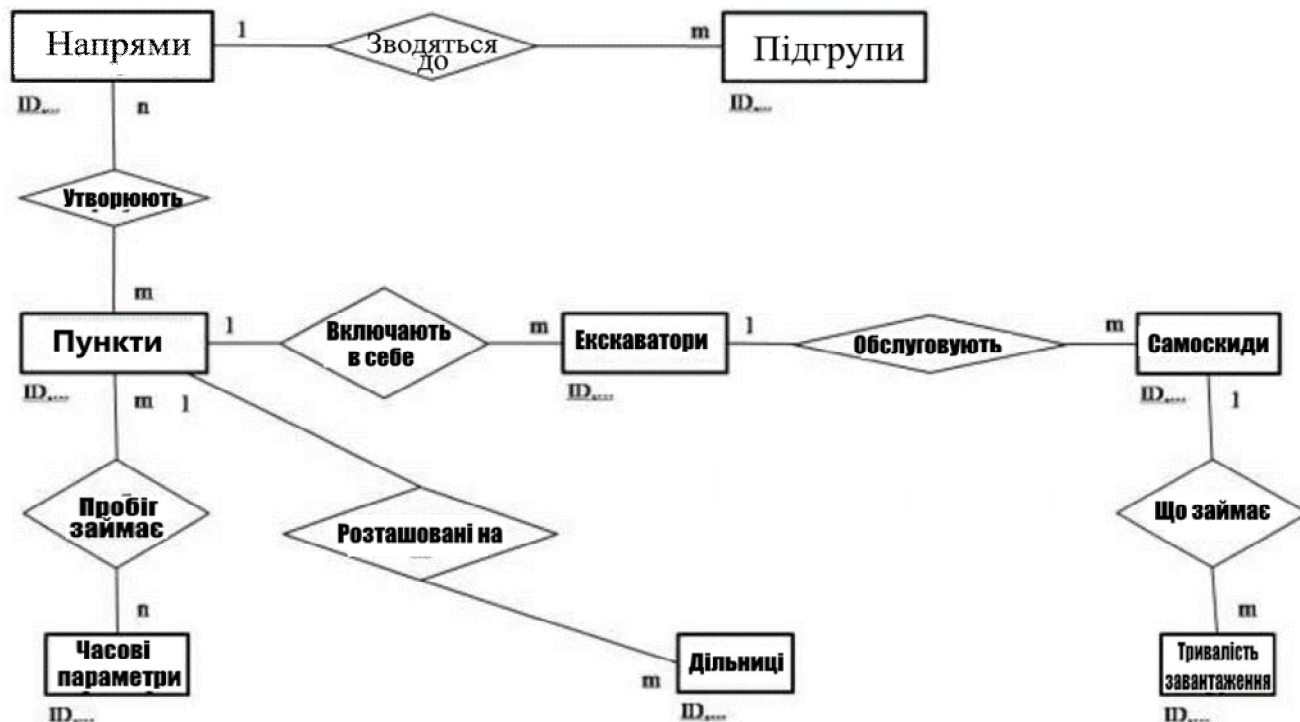


Рис. 4.2. ER-діаграма бази даних

Крім первинної та довідкової інформації, в базі даних зберігається розрахункова (вторинна) інформація: очікувані простой екскаваторів і самоскидів за зміну, очікувана кількість рейсів, що виконуються за зміну від кожного екскаватора, параметри пріоритетності маршрутів транспортування гірничої маси, а також оптимальне розподілення самоскидів між чотирма екскаваторами в закритому циклі та втрати від простоїв у результаті цього розподілу.

Основне завдання програмного комплексу – проведення оптимізації роботи устаткування без закріплення кар'єрних самоскидів за пунктами навантаження. До другорядних завдань відноситься визначення простоїв вантажно-транспортного обладнання, параметрів пріоритетності маршрутів тощо.

Алгоритм оптимізації (рис. 4.3) складається з наступних етапів:

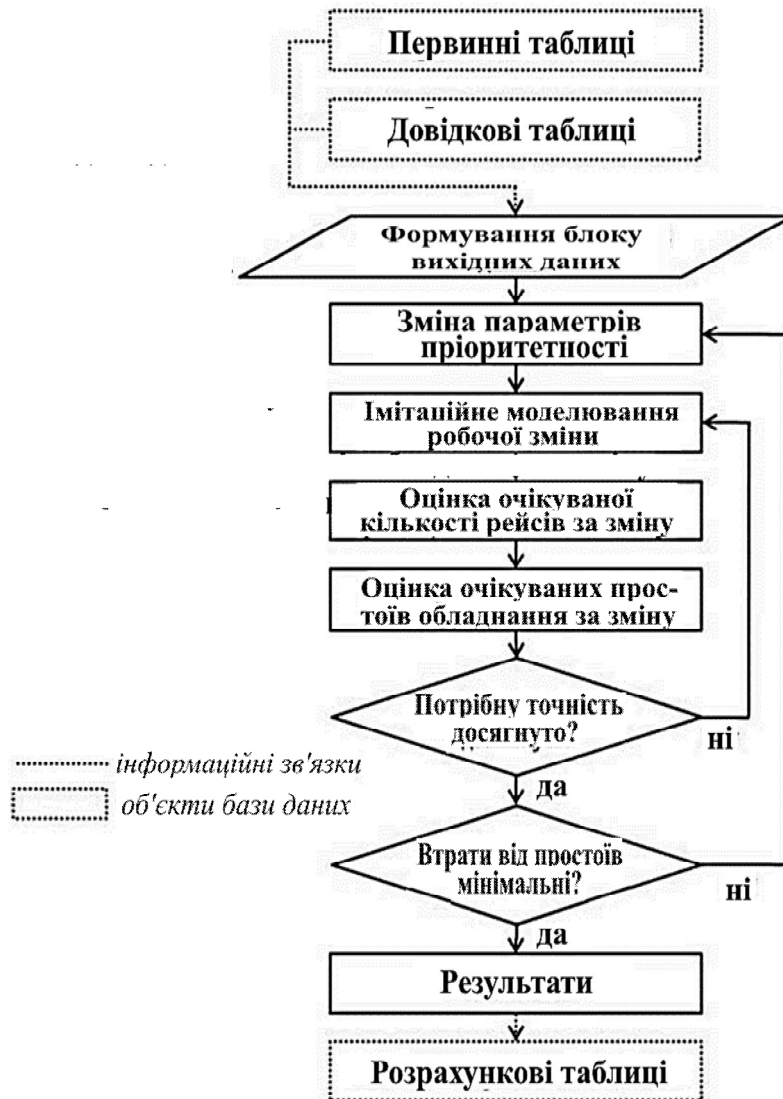


Рис. 4.3. Блок-схема алгоритму оптимізації

1-й етап – збір довідкової та первинної інформації про ЕАК, поміщення їх у базу даних, коригування помилкової інформації.

2-й етап – формування блоку вихідних даних на основі інформації з таблиць "Пункти", "Тимчасові параметри", "Дільниці", "Екскаватори", "Самоскиди", "Час навантаження", "Напрями диспетчеризації", "Підгрупи диспетчеризації".

3-й етап – визначення набору параметрів пріоритетності, що використовуватиметься під час моделювання.

4-й етап – імітаційне моделювання робочої зміни ЕАК кар'єру.

5-й етап – оцінка очікуваної кількості рейсів, що виконуються парком самоскидів за зміну.

6-й етап – оцінка очікуваних змінних простоїв вантажно-транспортного обладнання у складі ЕАК.

7-й етап – вирішення математичних завдань оптимізації роботи ЕАК за критерієм мінімуму грошових втрат від простоїв обладнання.

8-й етап – оцінка результатів оптимізації: визначення кількості рейсів, змінних простоїв обладнання та параметрів пріоритетності маршрутів, що відповідають варіанту з мінімальними втратами від простоїв.

Розроблений програмний комплекс можна використовувати, як для моделювання різних ситуацій (зміни числа працюючих самоскидів, характеристик маршрутів тощо.), так і оптимізації. Алгоритм оптимізації не враховує вимоги до якості гірничої маси, тому програмний комплекс можна застосовувати для оптимізації роботи устаткування тільки на розрізах. Подальше вдосконалення комплексу можливе завдяки розробці математичних моделей, що враховують вимоги до якості гірничої маси.

Запропоновані у цій роботі параметри пріоритетності екскаваторів (маршрутів) x_j визначаються чисельно внаслідок багатокритеріального імітаційного моделювання різних ситуацій; розрахунок проводиться один раз (наприклад, перед початком кожної зміни) для всіх можливих комбінацій екскаваторів і самоскидів шляхом деякої кількості «прогонів» імітаційної програми. Після досягнення необхідної точності (довірча ймовірність для скорочення часу розрахунків прийнята рівною 90%) імітаційна програма вибирає такий набір параметрів x_j , який найкращим чином задовольняє критерій (5). При важливій зміні конфігурації сукупності гірничих машин або розрізу в цілому ці параметри переоцінюються.

В імітаційну модель закладаються фактичні значення часу виконання технологічних операцій на конкретному кар'єрі, в яких відбиваються всі фактори, що впливають на ефективність функціонування сукупності гірничих машин. Для прийнятих у цій роботі критеріїв найважливіші чинники такі: потужність екскаваторів (що впливає на швидкість завантаження); відповідність самоскида тому чи іншому екскаватору; відстань транспортування; швидкісні характеристики самоскидів, що залежать, у тому

числі, від їх технічного стану та кваліфікації водіїв; можливість та закономірності виходу з ладу та відновлення працездатності обладнання; показники зовнішнього гірничого середовища. Може виявитися, що за інших рівних умов облік параметра пріоритетності матиме вирішальне значення для напрямку самоскида саме до цього екскаватора. До того часу параметр пріоритетності в умовах прийняття диспетчерських рішень щодо розподілу кар'єрного автотранспорту не враховувався.

Для опису стохастичних часових характеристик вантажно-транспортного процесу переважним є гамма-розподіл, що підтверджено оцінкою за критерієм згоди χ^2 . Незначні розбіжності між модельними і фактичними значеннями порівнюваних показників кількості рейсів самоскидів за зміну (1,65%), та часу їх простоїв (5,2%) свідчить про адекватність розробленої імітаційної моделі.

4.4. Аналіз результатів імітаційного моделювання вантажно-транспортного процесу рудника за відібраним алгоритмом

На наступному кроці було проаналізовано результати імітаційного моделювання вантажно-транспортного процесу рудника за відібраним алгоритмом, а також сформульовано рекомендації щодо реалізації розробленого програмного комплексу, підкріплені економічним обґрунтуванням.

Для розглянутих умов пропонується виділяти дві групи диспетчеризації. Це група №1 у складі екскаваторів ЕКГ-15 №42 та ЕКГ-12ус №12, та група №2 у складі екскаваторів Р&Н-2800 №152 та ЕКГ-12ус №9, які працюють на відвал «Центральний». Відмінність ГД №1 і №2 у тому, що у ГД №1 екскаватори близькі за потужністю, а ГД №2 – істотно різняться. Вартість 1 години простою кар'єрних екскаваторів для кар'єрі: Р&Н-2800 – 136,7 тис. грн.; ЕКГ-15 – 70,8 тис. грн.; ЕКГ-12ус – 53,3 тис. грн.; кар'єрних самоскидів БелАЗ-75306 – 17,5 тис. грн. Якість розподілу машин оцінювалося за критеріями (4.5) та (4.2).

Підтверджено перевагу комбінованого циклу порівняно із закритим та відкритим циклами. Втрати від простоїв у ГД №1 за оптимальної кількості самоскидів порівняно із закритим циклом скорочуються на 3,1% (рис. 4.4, а).

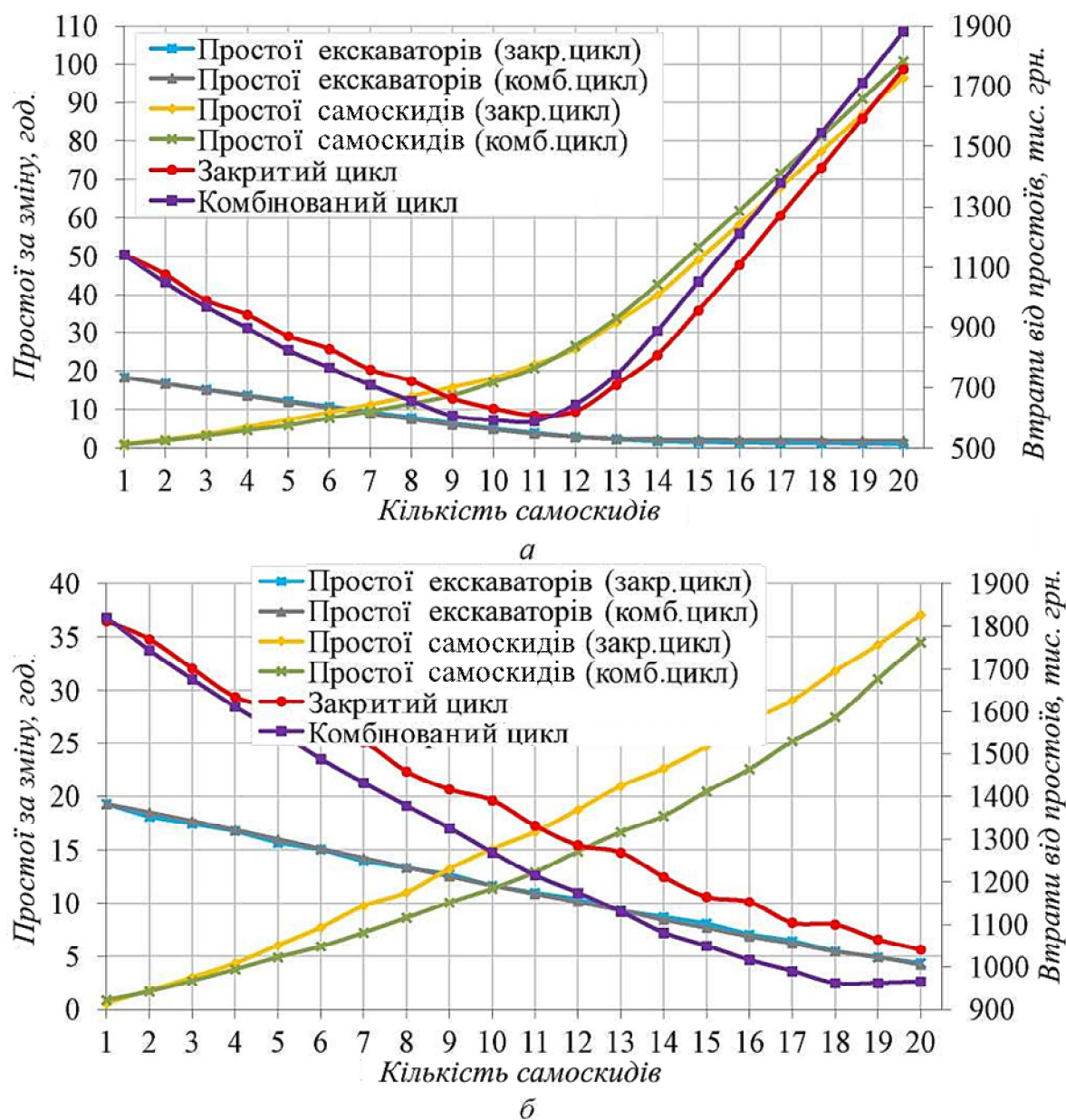


Рис. 3.4. Залежність фінансових втрат від кількості самоскидів при закритому та комбінованому циклах роботи (а - для ГД №1; б - для ГД №2)

Оцінка за коефіцієнтом експлуатаційної продуктивності комплексу (4.2) дає його збільшення ГД №1 на 0,94%. У ГД №2 (рис. 4.4, б) поліпшення є значним: за простоями – на 12,6%; за кЕПЕАК – на 2,65%. Порівняно з відкритим, комбінований цикл скорочує втрати від простоїв на 3,7%.

Як видно з графіків, наведених на рис. 4.4, залежності втрат за зміну в комплексі завжди мають мінімум. Зліва від мінімуму розташована зона недовантаженості комплексу самоскидами; справа – перевантаженості.

Дослідження пріоритетності екскаваторів (маршрутів) показують, що більшою пріоритетністю володіють, як правило, екскаватори більш продуктивні, навіть поза залежністю від стоянки транспортування. З цього випливає, що потужність екскаватора є головним фактором, який впливає на поточний розподіл самоскидів. Приклад зміни параметрів пріоритетності для ГД №2 показано на рис. 4.5.

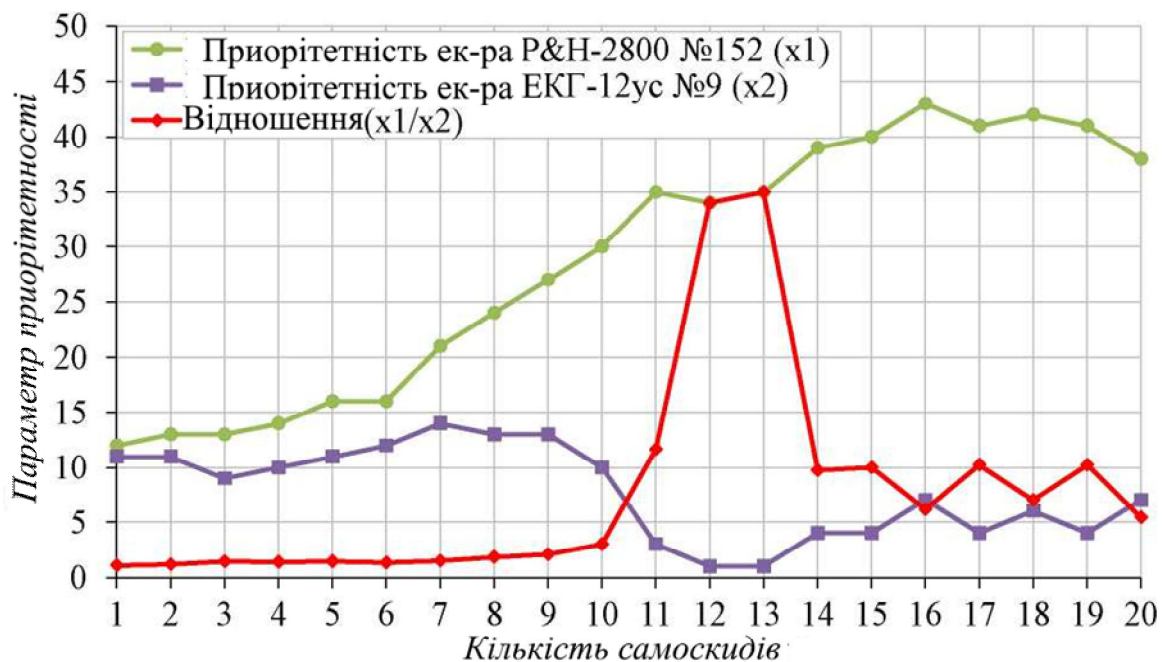


Рис. 4.5. Залежність пріоритетності маршрутів від кількості самоскидів при комбінованому циклі роботи для ГД №2

Оптимальний склад парку працюючих самоскидів не завжди досягається на практиці, оскільки на підприємстві може не бути в наявності необхідної кількості самоскидів необхідного типорозміру, що змушує обмежуватися кількістю машин, що забезпечують виконання мінімально необхідного змінного виробітку, який приблизно відповідає реальній продуктивності екскаваторів (рис. 4.6).

Отже, у випадку відсутності термінових замовлень на сировину має сенс не підвищувати продуктивність комплексу, а скоротити витримку.

Оцінка, запропонована організацією роботи розрізу «Кедровський» і чисельність парку кар'єрних самоскидів проводиться за наступних умов. Розглядають базовий варіант, коли комплекс працює по закритому циклу з кількістю самоскидів у групах, працюючих фактично («базовий»), що забезпечує виконання мінімального змінного заданого завантаження та вивезення гірничої маси за комбінованим циклом («проект»).

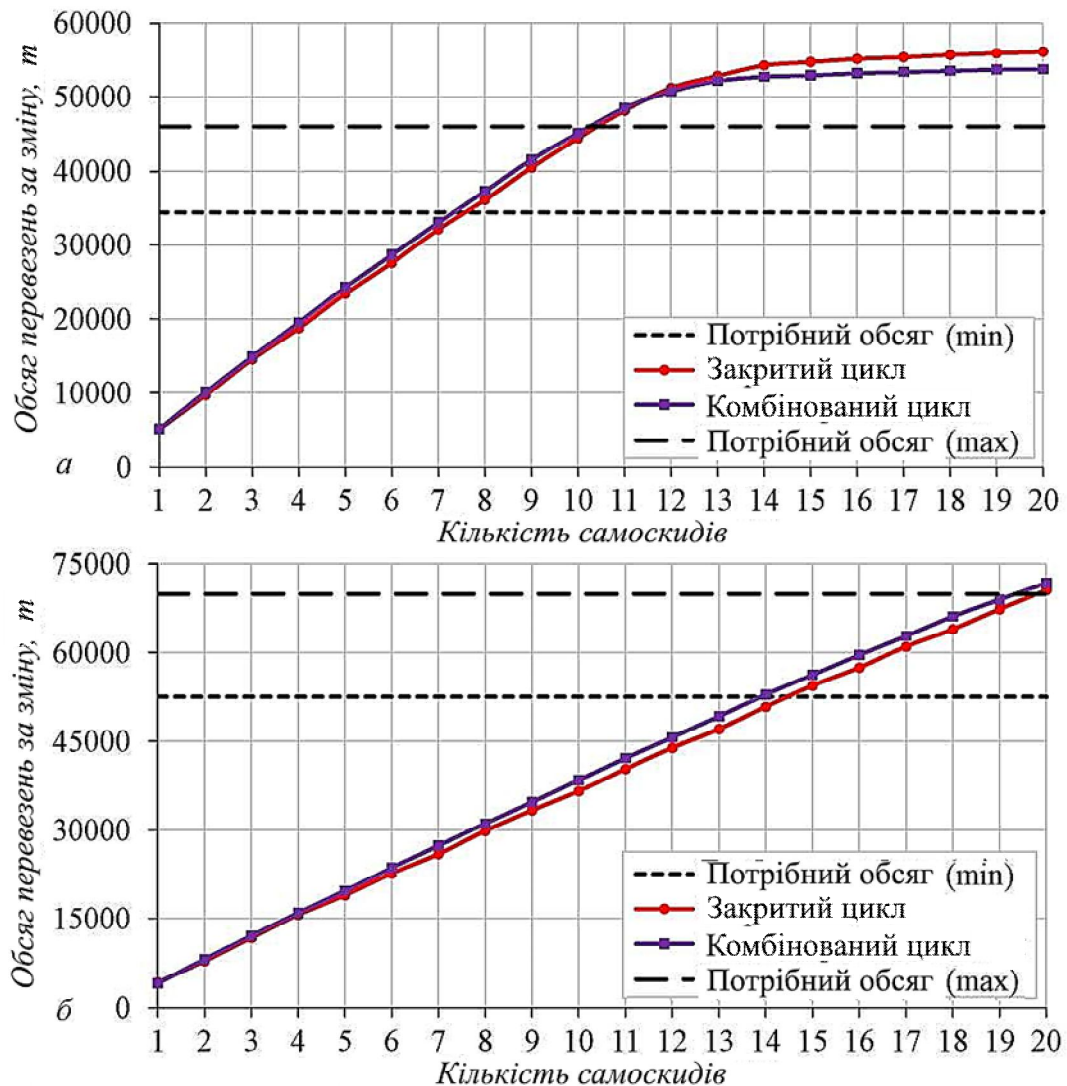


Рис. 3.6. Залежність змінної виробки від кількості самоскидів при закритому та комбінованому циклах роботи (а – для ГД №1; б – для ГД №2)

$$E = (C_{\text{пр}}^{\text{баз}} - C_{\text{пр}}^{\text{проект}}) \cdot N_{\text{см}}^{\text{пер}}, \quad (4.7)$$

де

$C_{\text{пр}}^{\text{баз}}$, $C_{\text{пр}}^{\text{проект}}$ - втрати від простоїв за базовим і проектним варіантам відповідно, грн./зміну; $N_{\text{зм}}^{\text{пер}}$ - кількість робочих змін за розглянутий період часу.

Економічний ефект від упровадження комбінованого циклу вираховується за наступною формулою:

$$E_{\text{упр.}} = E - \frac{C_0 \cdot N_c^{\text{норм.}}}{T_{\text{ок}}^{\text{норм}}}, \quad (4.8)$$

де C_0 - вартість нового кар'єрного самоскида з урахуванням доставки, грн. (для БелАЗ-75306 за даними підприємства рівно 67,438 млн. грн.); $N_c^{\text{норм.}}$ - кількість самоскидів, які потрібні для виконання умов проектного варіанту; $T_{\text{ок}}^{\text{норм}}$ - нормативний термін окупності капітальних вкладень, міс.

Величина наробітку на 90%-й ресурс для самоскида БелАЗ-75306, згідно з паспортом заводу-виробника, становить 800 тис. км (тобто $T_{\text{ок}}^{\text{норм}}$ становить приблизно 7 років або 84 місяця). Найбільш адекватним періодом є 1 місяць, оскільки група диспетчеризації навряд чи буде залишатися в незмінному складі протягом малого (неділі) або більшого (року) періоду. Кількість робочих змін $N_{\text{зм}}^{\text{пер}}$ при цьому становить 60.

Для обох ГД, коли за варіантом «проекту» вивільняється один самоскид, і якщо вважати, що його можна реалізувати за ціною нового, або не приймати при оновленні парку, економічний ефект можна визначити наступним чином:

$$E_{\text{упр.}} = E - \frac{C_0 \cdot N_c^{\text{норм.}}}{T_{\text{ок}}^{\text{норм}}}, \quad (4.9)$$

Результати розрахунків наведено в табл. 4.1.

Вивільнення одного самоскида в ГД №1 приводить до невеликого скорочення втрати від простоїв кар'єрного обладнання, але зменшення витрат на експлуатацію додаткового самоскида робить економічний ефект більш значним. Очікуваний ефект від використання проектного варіанту складає 14,95 млн. грн. в рік. В ГД №2 скорочення парку самоскидів дає значну економію в плані потенціалу від простоїв, яка ще більше збільшується завдяки виключенню з групи додаткового самоскида. Річний економічний ефект від використання проектного варіанту, як очікується, складає 70,14 млн. грн.

Основні техніко-економічні показники роботи ГД №1 і №2

Показатель	ГД №1		ГД №2	
	Базовий	Проект	Базовий	Проект
Кількість самоскидів в групі, шт.	9	8	15	14
Втрати від простоїв $C_{пр}$, тис. грн./змін	663,929	656,545	1165,141	1081,104
Економія E , тис. грн./міс		443,04		5042,22
Економічний ефект $E_{унр.}$, тис. грн./міс.		1245,873		5845,053

Таким чином, комбінований цикл (режим) роботи вантажно-транспортного комплексу рудника здатний дати економічний ефект не тільки за рахунок скорочення втрат від простоїв, але й завдяки скороченню кількості використовуваних самоскидів.

Висновки за розділом 4

1. Установлено, що експлуатаційна продуктивність екскаваторно-транспортного комплексу сучасного кар'єру залежить від ефективності використання кар'єрних екскаваторів і самоскидів, яка визначається часом їх простоїв протягом зміни в очікуванні роботи. Основні резерви скорочення цих простоїв містяться в підвищенні ефективності застосовуваної системи координації автотранспорту в складі зазначеного комплексу.

2. Розроблено дворівневу диспетчерську модель екскаваторно-транспортного комплексу, на верхньому рівні якої встановлюється оптимальний план завантаження і перевезень, що є цільовою установкою для нижнього рівня. На нижньому рівні застосовується оптимальний алгоритм розподілу кар'єрних самоскидів для досягнення установки верхнього рівня. У якості критерію прийняття рішень щодо розподілу пропонується комплексний критерій, який враховує різну вартість простою кар'єрного вантажно-

транспортного обладнання, а також різну пріоритетність екскаваторів і відповідних їм маршрутів транспортування гірничої маси.

3. Обґрунтовано, що традиційні детерміновані та марківські методи дослідження процесів у кар'єрних комплексах є неприйнятними. Неадекватність цих методів усувається за допомогою імітаційного моделювання з урахуванням дискретно-подійного й імовірнісного характеру навантажувально-транспортного процесу, а також підпорядкованості ймовірнісних розподілів часових характеристик цього процесу гамма-закону. На основі імітаційної моделі розроблено програмний комплекс, який дозволяє моделювати різні ситуації щодо навантажувально-транспортного процесу, визначати прості вантажно-транспортного обладнання та пріоритетність екскаваторів (маршрутів), на основі чого оптимізувати розподіл кар'єрних самоскидів по пунктам завантаження-розвантаження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Основні наукові та практичні результати виконаного в даній магістерській роботі аналізу за напрямом її теми полягають у наступному.

1. Підвищення ефективності зовнішнього відвалоутворення є можливим за рахунок більш повного використання площ під відвали із застосуванням безтранспортної технології переміщення порід у багатоярусні відвали.

2. Аналіз науково-дослідних та проектних робіт стосовно відсипання «сухих» порід на площах старих гідровідвалів (якими є і шламосховища збагачувальних фабрик), дозволяє зробити висновки щодо придатності їх алаптації до умов гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу.

3. Перший етап реконструкції вантажно-транспортної системи кар'єру Південного ГЗК, що полягав у проектуванні та будівництві напівтраншеї глибокого введення залізничного транспорту, суттєво покращив техніко-економічні показники роботи комбінату.

4. Для підвищення точності прийняття рішень по поточному розподілу кар'єрних самоскидів рядом дослідників пропонуються параметри пріоритетності екскаваторів (маршрутів), які справляють суттєвий вплив на розподіл самоскидів за пунктами завантаження і визначаються в результаті багатокритеріального імітаційного моделювання, враховуючи потужність екскаваторів, відповідність їх і самоскидів, стоянки транспортування, швидкісні характеристики самоскидів, можливість і закономірності відмов та відновлення працездатності обладнання, показники зовнішнього гірничого середовища.

5. Доведено, що роботу навантажувально-транспортних комплексів доцільно організовувати по комбінованому відкрито-закритому циклу з розділенням обладнання на групи диспетчеризації за принципом розміщення екскаваторів на одній ділянці гірничих робіт і однорідності парку працюючих з ними самоскидів – з вивозом гірничої маси на один відвал.

6. Встановлено, що втрати від простоїв при роботі навантажувально-транспортних комплексів по комбінованому циклу в умовах розрізу «Кедровський» суммарно є на 15,7% нижчими, ніж по закритому, і на 3,7% –

чим по відкритому циклу. Експлуатаційна продуктивність при комбінованому циклі в сумі – на 4,2% вища, чим при закритому, що становить близько 2600 т/зміну.

7. Порівняння варіантів роботи комплексу по комбінованому циклу з необхідною кількістю самоскидів (8 і 14 машин по групам диспетчеризації; «проект»), а також закритим циклом і фактичною кількістю самоскидів (9 і 15 машин відповідно; «базовий»), показало, що комбінований цикл здатний дати економічний ефект не тільки за рахунок скорочення кількості працюючих самоскидів, але й за скорочення кількості працюючих самоскидів. Очікуваний економічний ефект від використання проектного варіанту складе для умовного розрізу «Кедровський» в середньому 42,5 млн. грн. за рік у порівнянні з базовим варіантом.

Рекомендації та ідеї щодо подальшого розвитку досліджень вбачаються нами в розширенні області застосування розглянутої моделі за рахунок уведення в її функції контролю якості гірничої маси.

Бібліографія.

1. Шапар А.Г. Методичні підходи до вибору та обґрунтування критеріїв і показників сталого розвитку різних ландшафтних регіонів України / А. Г. Шапар [й ін.] ; За науков. ред. А.Г. Шапара ; Нац. академія наук України, Ін.-т проблем природокористування та екології. - 2-е вид., перероб. і доп. - Дніпропетровськ : Поліграфіст, 2002. - 98 с. - ISBN 966-684-025-1.
2. Андреев Б.М. Обґрунтування річної продуктивності відпрацювання запасів Васіновського родовища [Електронний ресурс] / Б.М. Андреев, Д.В. Бровко, В.В. Хворост, В.В. Кононенко, О.В. Романенко // Вісник Криворізького національного університету. - 2021. - Вип. 52. - С. 119-124. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu_2021_52_24.
3. Бизов В.Ф., Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи. Т. XIII «Виробничі процеси» : підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво». - Кривий Ріг: Мінерал. 2004. - 341 с.
4. Бакка М.Т., Гуменик І.Л., Редчиць В.С.. Екологія гірничого виробництва: Навчальний посібник. – Житомир: ЖДТУ, 2004. – 307 с.
5. Завсєгдашній В.О. Система економіко-статистичного аналізу прогнозування показників гірничодобувних підприємств / В.О. Завсєгдашній // Відомості Академії гірничих наук України. – Кривий Ріг: Мінерал, 1997. – Вип. 2. – С. 6–7.
6. Новожилов М.Г. Высокопроизводительные глубокие карьеры / М.Г. Новожилов, А.Ю. Дриженко, А.М. Маевский. – М.: Недра, 1984. – 188 с.
7. Ржевский В.В. Научные основы проектирования карьеров / В.В. Ржевский, М.Г. Новожилов, Б.П. Юматов. – М.: Недра, 1971. – 600 с.
8. Ракішев Б.Р. Проектування кар'єрів / Б.Р. Ракішев. – Алмати, 2013. - 298 с.
9. Хохряков В.С. Метод роздільного математичного моделювання кар'єрів на родовищах складної форми при календарному плануванні за допомогою ЕОМ / В.С. Хохряков, А.З. Яшкін // Вісті вузів. Гірничий журнал. – №4. – 1971. – С. 13–19.

10. Трубецкой К.М. Розвиток принципів управління режимом гірничих робіт на глибоких кар'єрах при комплексному освоєнні родовищ / К.М. Трубецкой, О.О. Пешков // Розвиток теорії відкритих гірничих робіт. 1991. - С. 15-22.
11. Аністратов Ю.І. Проектування кар'єрів: Навчальний посібник для ВУЗів / Ю.І. Аністратов. – М.: Гемос Лімітед, 2002. – 176 с.
12. Холодняков Г.А. Определение основных параметров открытой разработки комплексных месторождений / Г.А. Холодняков. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. – 160 с.
13. Саканцев М.Г. Обоснование границ карьеров при проектировании разработки сложноструктурных рудных месторождений. Дис. на соискание степени д-ра техн. наук. / М.Г. Саканцев. – Екатеринбург, 2006. – 285 с.
14. Alarie and M. Gamache, Overview of solution strategies used in truck dispatching systems for open pit mines, Int. J. Min. Reclam. Environ. 16 (1) (2002), pp. 59–76. doi:10.1076/ijsm.16.1.59.3408.
15. C. Burt, L. Caccetta, L. Fouché, and P. Welgama, An MILP approach to multi-location, multi-period equipment selection for surface mining with case studies, J. Ind. Manage. Optim. 12 (2) (2016), pp. 403–430. doi:10.3934/jimo.2016.12.403.
16. Kolesnikov V.F. Research and development of technology of multi-tier dumps formation by motor transport in open pit mines. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-1-40-70. Journal of mining and geotechnical engineering, 2023, 1(20): 40. ISSN 2618-7434. Pp 40-70.
17. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Донбас, 2004. - Т. 1 : А - К. - 640 с. - ISBN 966-7804-14-3.
18. Горная энциклопедия: в 5 т. / Гл. ред. Е.А.Козловский. Ред. колл. М.И. Агошков, Н.К. Байбаков, А.С. Бондырев [и др.] - М.: Советская энциклопедия. Т4. - 1989. - 623 с.
19. Hustrulid W. A. Open Pit Mine Planning and Design, Two Volume Set & CD-ROM Pack. V. 1. Fundamentals / W. A. Hustrulid, M. Kuchta, R. K. Martin. – 3rd edition. – CRC Press, 2013. – 1308 p. – ISBN 978-1466575127

20. Kennedy Bruce A. Surface Mining / Bruce A. Kennedy. – 2nd edition. – Society for Mining Metallurgy & Exploration, 1990. – 1206p. – ISBN 978-0873351027.

21. Dowd P.A. Optimizing open pit design and scheduling / P.A. Dowd, A.H.Onur // 23rd APCOM. – 1992. – P. 411–422.

22. Kolesnikov V.F. Research and development of technology for the formation of multi-tiered dumps for automobile transport in open pit mines // Mining engineering and technology. 2023. №1 (20). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-i-razrabotka-tehnologii-formirovaniya-mnogoyarusnyh-otvalov-pri-avtomobilnom-transporte-na-razrezah>

23. Aleksandrov G.A., Protasov A.I. Efficiency of using draglines on automobile waste dumps of the Sibirginsky open-pit mine // Open-pit coal mining: Ref. collection TsNIEUgol'. 1974. - № 10. - S.3-5.

24. Новиков А.М., Тимошин В.И. Из опыта совершенствования автомобильного отвалообразования // Открытая угледобыча в Кузбассе. Опыт, проблемы, перспективы/ К-т «Кемеровоуголь», Кузнецкий филиал НИИОГР. Кемерово: НИИОГР, 1976. - С. 215-223.

25. Мельников М.М. Теорія та принципи механізації відвалоутворення на кар'єрах // М.: Наука, 1968. - 108 с.

26. Maleev N.G., Kotrovsky M.N. Schemes for the construction and formation of multi-tiered dumps // Modern technologies for the development of mineral resources. Collection of scientific papers. Issue 1 . // Krasnoyarsk: Publishing house of KSUCMIZ.- 2003. - С. 140-144.

27. Molotilov S.G., Vasiliev E.I., Kortelev O.B., Norri V.K., Levenson S.Ya., Gendlina L.I., Tishkov A.Ya. Intensification of loading and transport operations in quarries. - Novosibirsk: Publishing House of the Sib. Branch of the RA of Sciences. 2000.

28. Кортелев О.Б., Ческидов В. И., Молотиллов С. Г., Норри В. К. Внешнее отвалообразование на карьерах. - Новосибирск: РИЦ «Золотые слова», 2009.

29. Кутепов, Ю.І. Прогноз формозмінення наливних масивів гідровідвалів при складуванні на них відвальних насипів / Ю.І. Кутепов, Н.А. Кутепова, М.А. Карасев, Ю.Ю. Кутепов // Гірничий журнал. - 2016. - № 12. - С. 23-27.

30. <https://ir.nmu.org.ua/server/api/core/bitstreams/d56d597e-b2fe-482f-b617-404201370a13/content>

31. Яковлев В.Л. Теорія і практика вибору транспорту глибоких кар'єрів. - Новосибірськ: Наука, 1989. - 240 с.

32. Удосконалення транспортних схем видачі руди для умов ПАТ «Південний ГЗК» //Протасов В.П., Федін К.А. й ін.// Вид-во «Діоніс», Кривий Ріг, 2012, - 342 с.

33. Перегудов В.В., Гамалинський І.А., Романенко О.В., Федін К.А. Сучасна методологія формування гірничотранспортної системи кар'єру з використанням ГІС K-MINE на прикладі кар'єру «Південний ГЗК» // Металургійна та гірничорудна промисловість. - Дніпропетровськ: Укрметалургінформ, №7, 2013, - С. 126-130.

34. Реконструкція кар'єру у зв'язку з його поглибленням для підтримки потужності комбінату. II черга (до 2020 року) / ВАТ «Укрдїпроруда» / - Харків, 2010.

35. Визначення параметрів бурових і вибухових робіт при виконанні будівництва траншеї //Звіт про НДР // Наук. кер. проф. Несмашний Є.О// - Кривий Ріг, КТУ, -2009.

36. Визначення параметрів вибухових робіт, що забезпечують сейсмічну безпеку об'єктів, які охороняються навколо кар'єра ПівдГЗК з урахуванням використання сучасних вибухових речовин та засобів вибуху. // Звіт про НДР// Наук. кер. проф. Несмашний Є.О. -Кривий Ріг, КТУ, -2008.

37. Кар'єр Південного ГЗК Кривого Рогу. - Режим доступу: https://rest.guru.ua/krivoj_rog/places/1030-kar_er_yugoka/

38. Фрагмент робочого борту кар'єра «ПівдГЗК» - Режим доступу: https://www.turpravda.com/places/ua/krivoy_rog/ZHelezorudnyj_karer_JUGOK-s5519/#_

39. Залізорудний кар'єр ПівдГЗК Кривого Рогу. - Режим доступу: https://www.turpravda.com/places/ua/krivoy_rog/ZHelezorudnyj_karer_JUGOK-s5519/#_
40. Драглайни та мехлопати СЕ-3 на розкривних роботах кар'єру ПівдГЗК - Режим доступу: <https://kryvyi-rih.name/ru/eternal-1820-istoriya-karera-yugok-v-krivom-roge>
41. Залізничний транспорт кар'єру Півд ГЗК - Режим доступу: <https://kryvyi-rih.name/ru/eternal-1820-istoriya-karera-yugok-v-krivom-roge>
42. Будівництво траншеї глибокого введення залізничного транспорту // Робочий проект // Т.1. Загальна пояснювальна записка // ВАТ «Південдіпруд» // - Харків, 2008, 36 с.
43. Екскаваторно-автомобільний комплекс кар'єру «ПівдГЗК» - Режим доступу: <https://www.ugok.com.ua/about/structure.php?lang=ua>
44. Транспортування порід з кар'єру на відвали «ПівдГЗК» - Режим доступу: <https://travels.in.ua/object/3772/karyer-yuzhnogo-gorno-obogatityelnogo-kombinata>
45. Право- та лівобережний відвали ВАТ «Південний ГЗК» - Режим доступу: <https://wikimapia.org/10889705/>
46. Транспортні комунікації відвалу ВАТ «Південний ГЗК» - Режим доступу: <https://veskr.com.ua/krivorozhskie-gorodskie-novosti/37545-pochti-klassika-kak-formiruyutsya-krivorozhskie-otvaly-foto.html>
47. Формування породного відвалу ВАТ «Південний ГЗК» - Режим доступу: <https://veskr.com.ua/krivorozhskie-gorodskie-novosti/37545-pochti-klassika-kak-formiruyutsya-krivorozhskie-otvaly-foto.html>
48. Єдині правила безпеки під час вибухових робіт. - Київ: Норматив. 1992, - 172 с.
49. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки. ДСТУ-4704:2008. - Київ, Держспоживстандарт України, 2008. - 16 с.
50. Соболев В.В. Технологія та безпека виконання підривних робіт : навч. посіб. для ВНЗ / В.В. Соболев, Р.М. Терещук, О.Є. Григор'єв ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2017. – 314 с.