

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Гірничо-металургійний факультет  
Кафедра гірничої справи

*«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП*

Ольга БОГОМАЗ

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

за підсумками виконання  
освітньо професійної програми  
«Відкрита розробка родовищ»  
за спеціальністю 184 Гірництво

**на тему «Вдосконалення системи транспорту глибоких кар'єрів  
для підвищення ритмічності відкритих гірничих робіт»**

Керівник роботи

Ігор ГРИГОР'ЄВ

Консультант від  
бази практики

Дмитро ПАЛІЙ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають  
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Дмитро БЕРЕКЕТ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Ігор ТОНЄВ

Запоріжжя 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет гірничо-металургійний

Кафедра гірничої справи

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 184 Гірництво

ОПП Відкрита розробка родовищ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

\_\_\_\_\_ Ольга БОГОМАЗ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

**Берекет Д.В.**

1. Тема роботи Вдосконалення системи транспорту глибоких кар'єрів для підвищення ритмічності відкритих гірничих робіт  
Керівник роботи: Григор'єв Ігор Євгенійович, к.т.н., доцент  
затверджені наказом Університету № 41 від 23.02.2026
2. Термін подання роботи: 16.06.2026
3. Вихідні дані до роботи: сучасний стан гірничих робіт в кар'єрі, парк основного гірничого устаткування, дані хронометражу продуктивності транспортного обладнання
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань): Анотація. Зміст. Вступ. Розділ 1. Аналіз теорії і практики експлуатації екскаваторно-автомобільних комплексів. Розділ 2. Аналіз транспортної схеми першотравневого кар'єру ПРАТ "Північний ГЗК". Розділ 3. Дослідження параметрів системи транспорту для підвищення ритмічності роботи першотравневого кар'єру ПРАТ «Північний ГЗК». Загальні висновки. Бібліографія.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): результати аналізу ринку гірничого обладнання із роботизованим керуванням; порівняння коефіцієнтів використання екскаваторів при різних вантажопідйомностях самоскидів; порівняння коефіцієнтів використання автосамоскидів при різних типорозмірах екскаваторів.
6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються
 

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Григор'єв І.Є., доцент кафедри
Розділ 2	Палій Д.С., провідний гірничий інженер
Розділ 3	Григор'єв І.Є., доцент кафедри
7. Дата видачі завдання 19.05.2026 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та аналіз вихідних даних, огляд літератури	24.05.2026	
2	Аналіз сучасного стану транспортного обладнання та технологій відкритих гірничих робіт	02.06.2026	
3	Дослідження ефективності використання обладнання з дистанційним керуванням для підвищення ритмічності відкритих гірничих робіт	05.06.2026	
4	Аналіз транспортної схеми Першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК»	09.06.2026	
5	Дослідження параметрів системи транспорту для підвищення ритмічності роботи першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК»	12.06.2026	
6	Формулювання висновків, оформлення пояснювальної записки	16.06.2026	
7	Подання роботи на перевірку та підготовка до захисту	16.06.2026	
8	Підготовка презентаційних матеріалів	18.06.2026	

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ	8
1.1 Теоретичні основи формування схем комплексної механізації	8
1.2 Аналіз особливостей вибору параметрів екскаваторно- автомобільних комплексів глибоких кар'єрів	13
1.3 Вивчення світового досвіду транспортування гірської маси в глибоких кар'єрах	16
1.4 Дослідження ефективності використання обладнання з дистанційним керуванням для підвищення ритмічності відкритих гірничих робіт	23
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНОЇ СХЕМИ ПЕРШОТРАВНЕВОГО КАР'ЄРУ ПРАТ "ПІВНІЧНИЙ ГЗК"	30
2.1. Загальна характеристика і геологічна будова родовища	30
2.2. Аналіз сучасного стану гірничих робіт	39
2.3 Аналіз транспортної схеми Першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК»	41
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РИТМІЧНОСТІ РОБОТИ ПЕРШОТРАВНЕВОГО КАР'ЄРУ ПРАТ «ПІВНІЧНИЙ ГЗК»	44
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

## АНОТАЦІЯ

Берекет Д.В. Вдосконалення системи транспорту глибоких кар'єрів для підвищення ритмічності відкритих гірничих робіт. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 184 Гірництво, ОПП «Відкрита розробка родовищ» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

**Мета роботи** – підвищення ефективності транспортування гірничої маси в глибоких кар'єрах за рахунок обґрунтування раціональних параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу.

**Об'єкт дослідження** – процеси виймально-навантажувальних і транспортних робіт глибоких кар'єрів.

**Предмет дослідження** – параметри екскаваторно-автомобільного комплексу глибоких кар'єрів.

### **Зміст роботи:**

У першому розділі виконано аналіз основи формування схем комплексної механізації, особливостей вибору параметрів екскаваторно-автомобільних комплексів глибоких кар'єрів, а також вивчення світового досвіду транспортування гірської маси в глибоких кар'єрах.

У другому розділі проаналізовано сучасний стан транспортної схеми першотравневого кар'єру ПрАТ "Північний ГЗК".

У третьому розділі виконано дослідження параметрів системи транспорту для підвищення ритмічності роботи першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК».

**Ключові слова:** виймально-навантажувальні роботи, екскаватор, автосамоскид, екскаваторно-автомобільний комплекс, місткість ковша, вантажопідйомність.

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку гірничодобувної промисловості характеризується постійним зростанням глибини відкритих гірничих робіт, ускладненням гірничо-геологічних умов та підвищенням вимог до ефективності функціонування гірничотранспортних систем. У провідних гірничих регіонах світу, зокрема і в Криворізькому залізрудному басейні, глибина кар'єрів вже перевищує 400–500 м і має тенденцію до подальшого збільшення. Це обумовлює істотне зростання транспортних витрат, які в структурі собівартості видобутку корисних копалин можуть досягати 50–70 %, а також ускладнення організації виробничих процесів.

Основною проблемою розробки глибоких кар'єрів є забезпечення стійкої та ритмічної роботи гірничого підприємства в умовах збільшення довжини транспортних комунікацій, погіршення умов експлуатації транспортного обладнання та зростання впливу випадкових факторів. Традиційні транспортні системи, що базуються переважно на автомобільному транспорті, при значних глибинах кар'єру втрачають свою ефективність через збільшення часу циклу перевезення, витрат пального, зносу техніки та залежності від організаційних затримок. Водночас впровадження комбінованих та циклічно-поточних технологій, що також базуються на експлуатації екскаваторно-автомобільного комплексу як її основи, потребує науково обґрунтованого підходу до їх інтеграції у діючі виробничі системи.

Важливим аспектом функціонування гірничотранспортних систем є ритмічність відкритих гірничих робіт, яка визначає стабільність постачання сировини на збагачувальні фабрики, рівномірність завантаження обладнання та загальні техніко-економічні показники підприємства. Порушення ритмічності призводить до

простоїв, перевитрат ресурсів, зниження якості усереднення корисної копалини та погіршення економічних результатів. У глибоких кар'єрах ці проблеми набувають особливої гостроти через складну взаємодію транспортних потоків, змінну структуру вантажопотоків та динамічний характер гірничих робіт.

Актуальність теми даної кваліфікаційної роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності транспортних систем глибоких кар'єрів як ключового елемента виробничого процесу. Вдосконалення організації транспорту дозволяє не лише зменшити витрати, але й забезпечити стабільність виробництва, що є критично важливим в умовах нестабільної зовнішньої економічної кон'юнктури та зростаючих вимог до якості продукції. Особливої актуальності набуває пошук рішень, спрямованих на підвищення ритмічності роботи шляхом оптимізації параметрів транспортних систем.

Таким чином, дослідження, спрямоване на вдосконалення системи транспорту глибоких кар'єрів для підвищення ритмічності відкритих гірничих робіт, є своєчасним, науково обґрунтованим та має важливе практичне значення для розвитку підприємств гірничодобувної галузі, зокрема для залізорудних кар'єрів групи Метінвест.

## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ**

### **1.1 Теоретичні основи формування схем комплексної механізації**

Сучасні глибокі кар'єри вимагають від інженерів не просто випадкового набору машин, а цілісної комплексної механізації та автоматизації всіх процесів, оскільки з кожним метром пониження гірничих робіт умови їх ведення стають дедалі складнішими. Формування схем комплексної механізації базується на створенні гармонійних технологічних ланцюгів, де кожен елемент відповідає іншому за своїми техніко-технологічними параметрами. У такій схемі транспортна система відіграє вирішальну роль, оскільки вона безпосередньо визначає режим роботи виймально-навантажувальних комплексів, визначає контури та обсяги буропідривних робіт і в подальшому впливає на стратегію розкриття родовища в цілому.

Аналізуючи історичний досвід формування наукових поглядів у цій сфері, виділимо кілька ключових етапів розвитку теорії, які дозволили перейти від емпіричних спостережень до системного аналізу.

На першому етапі (у 1930–1950-х роках) дослідження мали здебільшого прикладний характер, а різні види транспорту розглядалися як повністю незалежні елементи. Важливою віхою стали праці професора Е. Ф. Шешка, який у 1950 році першим запропонував наукові критерії взаємозв'язку між параметрами навантажувального та транспортного обладнання для створення ефективного робочого фронту [1].

Згодом, у 1960–1970-х роках, відбувся перехід до комплексно-механізованого гірничого виробництва, з'явилися перші схеми

комбінованого транспорту (автомобільно-залізничний, автомобільно-конвеєрний). Наукові праці М. В. Васильєва у 1961 році заклали фундамент для проектування кар'єрного автотранспорту, давши нам чітке розуміння технологічної взаємодії в системі «екскаватор – автосамоскид – збагачувальна фабрика». Подальші дослідження Б. В. Фаддєєва щодо конвеєризації гірничих робіт та А. Н. Шиліна щодо підготовки скельних порід до транспортування конвеєрами значно розширили межі знань [1-2].

Для даного дослідження фундаментальне значення має теорія формування транспортних систем глибоких кар'єрів В. Л. Яковлєва (1978), який запропонував дивитися на транспортну систему як на динамічний організм, що безперервно змінюється у просторі та часі. Цей підхід дозволив розробляти оптимальні алгоритми переходу з одного виду транспорту на інший у процесі заглиблення кар'єру. На третьому етапі (1980–1990 рр.) теорія збагатилася математичним моделюванням складних стохастичних систем. Праці А. А. Кулєшова (1982) з оптимізації структури автопарків, В. А. Галкіна (1988) з планування вантажопотоків та В. П. Смірнова (1990) з багатофакторного аналізу транспортних циклів великовагових самоскидів стали фундаментальними працями, на які ми спираємося при оптимізації роботи екскаваторно-автомобільних комплексів. Сьогодні, на четвертому етапі, ми маємо справу з переходом до цифровізації, роботизації та взаємної адаптації підсистем у реальному часі [2-3].

Щоб краще продемонструвати еволюцію наукових методів, узагальнимо ретроспективний аналіз розвитку теорії кар'єрного транспорту у таблиці 1.

Таблиця 1.1 – Етапи розвитку теорії формування комплексів механізації [1-3]

Етап	Період	Провідні вчені	Основна методологія та підходи	Критерії оптимізації транспортних схем
I етап (Емпіричний)	1930–1950 рр.	Е. Ф. Шешко	Функціональний підхід, хронометраж, промисловий експеримент	Максимальне використання обладнання при найменшому обсязі гірничих робіт
II етап (Системний)	1960–1970 рр.	М. В. Васильєв, Б. В. Фаддєєв, В. Л. Яковлєв	Системний підхід, графоаналітичні методи моделювання перехідних процесів	Мінімум приведених витрат, визначення раціональних меж застосування різних видів транспорту
III етап (Математичний)	1980–2000 рр.	В.Ф. Бизов, А. А. Кулєшов, В. А. Галкін, В. П. Смірнов, А.Ю. Дриженко	Теорія складних систем, теорія масового обслуговування, стохастичне моделювання	Мінімум транспортних витрат, оптимізація структури парку машин та вантажопотоків
IV етап (Цифровий)	З 2000-х рр. по теперішній час	К. Ю. Аністратов, А. В. Глебов	Програмно-цільовий підхід, адаптація систем, штучний інтелект, GPS-диспетчеризація <sup>2</sup>	Динамічна рівновага структури і параметрів, мінімізація простоїв у реальному часі

В процесі формування комплексу механізації слід пам'ятати, що робота екскаваторно-автомобільних комплексів супроводжується величезною кількістю випадкових чинників. Час навантаження постійно змінюється через різний рівень розпушення породи, виникають випадкові затримки в дорозі, черги біля екскаваторів та на пунктах розвантаження. Саме тому для моделювання роботи такого комплексу набула широкого поширення теорія масового обслуговування. У цій моделі комплекс представляється як замкнута система, де екскаватори та перевантажувальні пункти є обслуговуваними пристроями (серверами), а кар'єрні автосамоскиди – клієнтами, що очікують та проходять обслуговування.

У межах даного дослідження статичну структуру цієї системи можна описати за допомогою орієнтованого графа. Вершини цього графа відповідають екскаваторам та пунктам розвантаження, а дуги моделюють транспортні шляхи. Динамічний стан системи під час робочої зміни визначається через реальні маршрути перевезень та кількість самоскидів, що під'їжджають до кожного конкретного екскаватора. Головним прагненням при цьому є забезпечення безперервної роботи техніки: пошук рішення, яке б мінімізувало простій екскаваторів та одночасно звело до мінімуму час очікування самоскидів у чергах.

Також можуть бути використані методи математичної статистики для обробки емпіричних даних про тривалість рейсів. Важливо правильно оцінити стабільність транспортного циклу. Для цього визначається оптимальна кількість інтервалів групування даних (застосовуючи метод логарифмування обсягу вибірки), розрахунок розмаху вибірки (як різницю між максимальним та мінімальним часом циклу) та амплітуду цих інтервалів. Розрахунок нижньої та верхньої меж інтервалів дозволяє нам прибрати крайові ефекти, а побудова довірчого інтервалу дає можливість оцінити межі коливань середнього

часу циклу через статистичну похибку та дисперсію. Це дозволяє забезпечити надійне планування і ритмічність роботи усього комплексу.

Оскільки транспортні шляхи глибоких кар'єрів пролягають на різних горизонтах, для об'єктивного порівняння різних варіантів маршрутів застосовують показник приведеної (еталонної) відстані транспортування. Вертикальний підйом вимагає значно більшої роботи двигуна самоскида, ніж рух по горизонталі. Показник приведеної відстані перетворює різницю висот та горизонтальні ділянки на різних майданчиках у єдину умовну метрику. Для цього горизонтальна відстань сумується з висотою підйому, помноженою на ваговий коефіцієнт (який становить 10 при відстані до 3 кілометрів та 11,6 при відстані понад 3 кілометри), а також з довжиною горизонтальних ділянок на запобіжних майданчиках та підшві кар'єру з відповідними множниками та додаванням постійної константи (зазвичай 500 метрів).

Таким чином, ми бачимо, що формування схем комплексної механізації вимагає узгодження двох взаємозалежних частин великої гірничотехнічної системи.

Перша частина – це технологічна підсистема, що охоплює капітальні та розрізні траншеї, робочі уступи, транспортні берми та з'їзди.

Друга частина – технічна підсистема, яка включає машини і комплекси обладнання (екскаватори, автосамоскиди, перевантажувальні пункти та конвеєри). Мета інженера тут полягає в тому, щоб забезпечити їхню взаємну адаптацію та динамічну рівновагу. Тільки за умов, коли продуктивність навантаження узгоджується з пропускною здатністю доріг та приймальних пунктів, можливо ліквідувати простої та досягти високої ритмічності відкритих гірничих робіт.

## 1.2 Аналіз особливостей вибору параметрів екскаваторно-автомобільних комплексів глибоких кар'єрів

Аналіз особливостей вибору параметрів екскаваторно-автомобільних комплексів у глибоких кар'єрах потребує системного підходу, оскільки такі комплекси функціонують в умовах суттєвого ускладнення гірничо-технічних і транспортних факторів із наростанням глибини розробки. На відміну від кар'єрів малої та середньої глибини, де параметри обладнання можуть підбиратися за відносно стабільних умов, у глибоких кар'єрах визначальними стають динамічні зміни довжини транспортних комунікацій, зростання поздовжніх ухилів, обмеження робочих просторів та підвищення вимог до ритмічності роботи.

Передусім слід зазначити, що вибір параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу (ЕАК) базується на забезпеченні узгодженості продуктивності основних його елементів – виймально-навантажувального обладнання та транспортних засобів. Ключовим є досягнення раціонального співвідношення між місткістю ковша екскаватора та вантажопідйомністю автосамоскида, що визначає кратність завантаження та безпосередньо впливає на тривалість циклу навантаження. У глибоких кар'єрах це співвідношення ускладнюється необхідністю врахування втрат продуктивності екскаватора через обмеженість фронту робіт і маневреного простору [4].

Суттєвою особливістю є зростання транспортної складової в загальній структурі витрат часу циклу. Із поглибленням кар'єру різко збільшується довжина транспортних плечей, а також час руху автосамоскидів як у вантажному, так і в порожньому напрямках. Це обумовлює необхідність детального врахування швидкісних характеристик машин на різних ділянках траси, включаючи

горизонтальні відрізки, підйоми та спуски. Важливим параметром стає питома потужність автосамоскида, яка визначає його здатність ефективно працювати на значних ухилах без суттєвого зниження швидкості.

Окремої уваги потребує вибір раціональної кількості транспортних одиниць у складі комплексу. Недостатня кількість автосамоскидів призводить до простоїв екскаватора, тоді як їх надлишок – до утворення черг під навантаженням і зниження коефіцієнта використання транспорту. У глибоких кар'єрах ця проблема загострюється через нерівномірність руху, викликану складною конфігурацією транспортних комунікацій та можливими заторами на підйомах. Тому визначення необхідної кількості автосамоскидів здійснюється з урахуванням коефіцієнтів нерівномірності та резервування [5].

Важливим чинником є також технічний стан і надійність обладнання. Із зростанням глибини збільшується інтенсивність навантаження на транспортні засоби, що прискорює їх зношування та підвищує ймовірність відмов. Це вимагає врахування коефіцієнта технічної готовності при розрахунках параметрів комплексу, а також передбачення резервних потужностей для компенсації простоїв.

Складні гірничо-геологічні умови, зокрема змінна міцність порід і неоднорідність масиву, впливають на вибір типу екскаватора (канатного чи гідравлічного), його робочих параметрів та продуктивності. У глибоких кар'єрах часто перевага надається високопродуктивним машинам великої місткості, однак їх ефективність може обмежуватися умовами робочого майданчика.

Не менш важливим є врахування організаційних факторів, зокрема режиму роботи підприємства, структури змінності, а також вимог до ритмічності видобутку. Саме ритмічність визначає стабільність роботи всього гірничого підприємства, і параметри ЕАК

мають підбиратися таким чином, щоб мінімізувати коливання виробничих показників у часі.

Таким чином, вибір параметрів екскаваторно-автомобільних комплексів у глибоких кар'єрах є багатофакторною задачею, що потребує комплексного врахування технічних, технологічних і організаційних аспектів. Оптимізація цих параметрів спрямована на забезпечення максимальної продуктивності при мінімальних витратах та високому рівні ритмічності гірничих робіт, що є ключовою умовою ефективної експлуатації глибоких кар'єрів [6].

### 1.3 Вивчення світового досвіду транспортування гірської маси в глибоких кар'єрах

Світова практика розробки родовищ корисних копалин відкритим способом демонструє, що автомобільний транспорт є найбільш гнучким, але водночас найбільш витратним елементом кар'єрної логістики. Питома вага витрат на транспортування у собівартості видобутку на глибоких горизонтах досягає 50–60%, що зумовлює жорстку необхідність детального аналізу та оптимізації ритмічності його роботи [5]. Оскільки збільшення глибини гірничих робіт супроводжується подовженням транспортних комунікацій та геометричним зростанням висоти підйому, це призводить до падіння продуктивності автосамоскидів, утворення черг у зонах навантаження та порушення загальної ритмічності технологічного циклу. Дослідження передового світового досвіду провідних гірничодобувних країн – США, Австралії, Німеччини, країн Африканського континенту та Китаю – дозволяє виявити ключові закономірності стабілізації роботи екскаваторно-автомобільних комплексів (ЕАК).

*Досвід США: витоки комп'ютерної диспетчеризації та перші оптимізаційні алгоритми*

Історично перші спроби вирішення проблеми неритмічності роботи кар'єрного автотранспорту шляхом автоматизованого розподілу рейсів було здійснено в США. У травні 1980 року на мідному кар'єрі Tyrone (компанія Phelps Dodge, нині Freeport-McMoRan) у Нью-Мексико було впроваджено першу у світі комп'ютеризовану систему управління парком DISPATCH від компанії Modular Mining Systems. До впровадження цієї системи розподіл самоскидів здійснювався візуально диспетчером, що призводило до систематичного накопичення машин у чергах біля одних екскаваторів при

простоюванні інших. Встановлено, що перехід на математичні алгоритми динамічного перепризначення в реальному часі забезпечив миттєве зростання продуктивності ЕАК на 10–11% за рахунок усунення хаотичності руху та мінімізації часу очікування під навантаженням [6].

Сучасний досвід США орієнтований на повну автономізацію та підвищення механічної надійності транспортних одиниць. На мідному кар'єрі Bagdad в Аризоні реалізовано проект переобладнання парку з 30 важких самоскидів на повністю безпілотний режим роботи. Встановлено, що ритмічність безпілотного транспорту лімітується надійністю ключових вузлів, зокрема силових установок. Заміна двигунів на Cummins QSK60 дозволила покращити показник середнього часу між відмовами (MTBF) на 43% та скоротити середній час ремонту (MTTR) на 69%, що практично усунуло випадкові стохастичні збої у транспортній мережі кар'єру [6-7]. Крім того, на глибокому золоторудному кар'єрі Goldstrike (Невада) було успішно апробовано системи тролейного підйому (Trolley Assist) для важких самоскидів Komatsu 630E, що дозволило стабілізувати швидкість руху на виїзних рампах та скоротити загальний час транспортного циклу.

*Досвід Австралії: впровадження автономних транспортних систем (AHS) та їхній вплив на стабільність циклу*

Австралійські залізорудні гіганти (BHP, Rio Tinto) у регіоні Пілбара (родовища South Flank, Mt. Whaleback та ін.) є світовими лідерами за рівнем інтеграції автономних транспортних систем (Autonomous Haulage Systems – AHS). Станом на сьогодні в Австралії експлуатується найбільший у світі парк безпілотних машин, де домінують платформи Komatsu FrontRunner (понад 406 одиниць) та Caterpillar MineStar Command [7].

Аналізом експлуатаційних показників австралійських кар'єрів визначено такі переваги автономного транспорту в контексті підвищення ритмічності:

- Зростання стабільності та консистентності тривалості транспортного циклу на 15–20% завдяки усуненню людського фактора (варіація стилю водіння, нерівномірне прискорення та гальмування).
- Збільшення експлуатаційної готовності та доступності обладнання до 85–90% порівняно з 75% для традиційного транспорту з водіями.
- Ліквідація непродуктивних простоїв під час перезмін, обідніх перерв та фізіологічних зупинок персоналу, що забезпечує додатково понад 1000 годин корисної роботи кожної машини на рік.
- Скорочення кількості позапланових аварійних ремонтів на 30% завдяки плавному комп'ютерному контролю навантажень на трансмісію та шини.

*Досвід країн Африки: застосування систем тролейвозного транспорту (Trolley Assist) для підвищення швидкості на підйомах*

На глибоких кар'єрах Африки, де висота підйому гірської маси є критичною, головний акцент у підвищенні ритмічності зроблено на електрифікації транспорту. Найбільш репрезентативним є досвід мідного кар'єру Lumwana (Замбія), залізорудного Sishen (ПАР) та уранового Rössing (Намібія). На цих підприємствах круті виїзні рампи обладнуються повітряними лініями постійного струму, аналогічними до залізничних.

Експлуатаційні випробування дизель-електричних самоскидів надважкого класу (таких як Liebherr T 284 вантажопідйомністю 363 тонни) підтвердили такі результати:

- Швидкість руху завантаженої машини на підйомі крутизною 10% зростає з 10.4 км/год до 18–21 км/год завдяки отриманню додаткової потужності безпосередньо з промислової енергомережі.
- Тривалість подолання рампової ділянки скорочується на 42% (з 3.24 хв до 1.88 хв).

– Споживання дизельного палива безпосередньо на рампах знижується на 94% (з 31.8 літрів до 1.8 літра за рейс), оскільки двигун самоскида переходить у режим холостого ходу [8].

– У межах повного рейс-циклу загальна економія палива становить 26%, а сумарна погодинна продуктивність зростає на 4.5% порівняно з чистим дизельним приводом.

Зниження теплового навантаження на мотор-колеса та двигун під час роботи під тролеем подовжує міжремонтний ресурс вузлів, що мінімізує випадкові відмови техніки на підйомах. Швидке вивільнення рампових шляхів за рахунок високої швидкості тролейвозів дозволяє суттєво скоротити розрахунковий розмір транспортного парку, уникнути заторів та підвищити ритмічність видачі руди на поверхню.

*Досвід Китаю: інтеграція технологій 5G-Advanced, супутникової навігації та інтелектуального управління*

На сучасному етапі Китай демонструє найвищі темпи впровадження високотехнологічних рішень для стабілізації роботи кар'єрного транспорту. На залізорудному кар'єрі Qidashan (Ansteel Group) протягом року було впроваджено інтелектуальну систему диспетчеризації на базі мереж 4G/5G, супутникового позиціонування BeiDou та Інтернету речей (IoT), інтегровану з процесом динамічного усереднення якості руди (dynamic ore blending) [9]. Система автоматично координує рух машин так, щоб забезпечити безперебійне постачання сировини заданого класу на збагачувальну фабрику. Встановлено, що понад 70% рейсів виконувалися за автоматичними приписами системи, річна продуктивність кожної машини зросла з 3,79 до 4 млн т·км, а загальна логістична ефективність ЕАК покращилася на 5.5%.

Ще більш масштабним технологічним проривом став досвід вугільного розрізу Yimin (Внутрішня Монголія, компанія Huaneng), де введено в експлуатацію найбільший у світі парк із 100 повністю

автономних електричних кар'єрних самоскидів Huaneng Ruichi вантажопідйомністю 90 тонн, які працюють без кабіни водія [8-9].

Встановлено, що безпілотні електросамоскиди успішно функціонують в умовах екстремального холоду (до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), демонструючи на 120% вищу комплексну ефективність порівняно з традиційними машинами під керуванням водіїв. Для забезпечення ритмічності в цій багатоартеріальній системі розроблено стратегію управління з фіксованими інтервалами контролю. Система в реальному часі аналізує потоки на фіксованих часових відрізках, прогнозує виконання плану доставки та оперативно перерозподіляє машини між забоями. Це дозволило різко знизити частоту непотрібних перепризначень, мінімізувати простой екскаваторів та стабілізувати вантажопотоки глибокого кар'єру.

Узагальнені результати аналізу світового досвіду впровадження передових технологій кар'єрного транспорту та їхнього впливу на ритмічність роботи ЕАК наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Порівняльний аналіз світових технологій підвищення ритмічності ЕАК [5-9]

Гірничодобувний регіон / Родовище	Технологічна концепція	Ключове обладнання та цифрові платформи	Вплив на ритмічність та ефективність гірничих робіт
<b>Австралія</b> (Пілбара: BHP, Rio Tinto)	Повна автономізація важкого автотранспорту (AHS)	Безпілотні самоскиди Komatsu FrontRunner, Caterpillar MineStar Command; високоточна навігація RTK-GPS	Зростання стабільності транспортного циклу на 15–20%; підвищення доступності парку до 85–90%; зниження обсягів позапланового ремонту на 30%
<b>США</b> (мідні кар'єри Tyrone, Bagdad, Goldstrike)	Комп'ютеризована диспетчеризація (FMS), безпілотний ретрофіт, тролейні лінії	Платформа DISPATCH (Modular Mining); двигуни Cummins QSK60; тролейні системи AC Drive	Збільшення загальної продуктивності на 10–11% за рахунок ліквідації черг; покращення показника MTBF на 43% та скорочення MTTR на 69%
<b>Південна Африка</b> (Sishen, Lumwana, Rössing)	Електрифікація рампового підйому (Trolley Assist)	Самоскиди Liebherr T 284 з пантографами; повітряні лінії постійного струму Siemens	Збільшення швидкості на підйомі з 10 до 18–21 км/год; скорочення тривалості

			підйому по рампі на 42%; зниження витрати пального на підйомі на 94%
<b>Німеччина</b> (Бременський університет / TZI)	Децентралізоване мультиагентне управління (MAS)	Інтелектуальні агенти техніки; протокол контрактної мережі Contract Net Protocol	Зниження сумарних логістичних витрат на 20% в середньому; динамічне самостійне усунення заторів та черг у реальному часі
<b>Китай</b> (Qidashan, вугільний розрізд Yimin)	Інтегровані мережі 5G-Advanced, BeiDou та хмарне управління CVADCS	100 безкабінних електросамоскидів Huaneng Ruichi; хмарні алгоритми FC strategy	Досягнення 120% ефективності порівняно з ручним керуванням при температурах до -40 °C; підвищення продуктивності на 5.5% при стабілізації якості руди

## **1.4 Дослідження ефективності використання обладнання з дистанційним керуванням для підвищення ритмічності відкритих гірничих робіт**

Починаючи з 2000-х років, геоінформаційні системи поступово перетворилися на один із ключових інструментів удосконалення роботи екскаваторно-автомобільних комплексів. Їх впровадження дало змогу об'єднати в єдиному інформаційному середовищі просторові дані, цифрові моделі кар'єру та відомості про технічний стан гірничого обладнання. У результаті стало можливим формувати цілісне уявлення про перебіг гірничих робіт і більш обґрунтовано керувати ними. Особливо важливо, що сучасні ГІС дозволяють відображати виробничі процеси в режимі, максимально наближеному до реального часу, що відкриває можливість оперативно змінювати транспортні маршрути та коригувати параметри видобутку відповідно до поточної ситуації в кар'єрі [9-10].

Паралельно з цим значний розвиток отримали системи оперативного управління, які забезпечують узгоджену роботу екскаваторів і автосамоскидів. Їх застосування дає змогу суттєво скоротити непродуктивні простоя техніки, підвищити злагодженість виконання технологічних операцій і загалом покращити організацію виробничого процесу. Завдяки таким рішенням з'являється можливість більш точно відстежувати продуктивність екскаваторів, раціональніше витрачати паливо та уникати перевантажень машин, що безпосередньо впливає на їх довговічність і економічні показники роботи підприємства [10-11].

Із початку 2010-х років у дослідженнях, присвячених оптимізації відкритої розробки родовищ корисних копалин, дедалі ширше почали застосовуватися методи «machine learning» та інструменти «big data». Використання таких підходів дозволяє системам не просто виконувати

задані алгоритми, а поступово «навчатися» на основі накопиченого досвіду. Алгоритми машинного навчання ефективно застосовуються для прогнозування потреби в техніці, оцінювання можливих ризиків і раціонального розподілу виробничих ресурсів.

Застосування концепції великих даних суттєво підвищує точність моделей, які використовуються при визначенні раціональних параметрів екскаваторно-автомобільних комплексів. Це досягається завдяки глибокому аналізу взаємозв'язків між окремими технологічними процесами, що раніше часто залишалися поза увагою. У підсумку гірничі підприємства отримують можливість приймати більш зважені та обґрунтовані управлінські рішення як у частині планування гірничих робіт, так і при організації використання наявних ресурсів [11].

Раціональне визначення параметрів екскаваторно-автомобільного комплексу є однією з базових умов ефективного планування та організації відкритих гірничих робіт. Головною метою такої оптимізації є забезпечення максимально повного використання технічного потенціалу обладнання при одночасному зниженні витрат і гарантуванні безперебійного постачання корисної копалини на збагачувальні підприємства.

Одним із визначальних принципів у цьому контексті виступає узгодження продуктивності екскаваторів із пропускнуою здатністю автомобільного транспорту. Досягнення такого балансу потребує обґрунтованого підбору як кількісного, так і типового складу техніки з урахуванням конкретних умов розробки родовища. При цьому враховуються такі фактори, як відстані транспортування, взаємне розташування забоїв і пунктів розвантаження, а також геометричні параметри виробленого простору.

Не менш важливим є завдання скорочення холостих пробігів автотранспорту та простоїв екскаваторів, оскільки саме ці втрати істотно знижують загальну економічну ефективність виробництва.

Досягти цього можна за рахунок впровадження адаптивних систем керування транспортними потоками, а також шляхом раціонального розміщення техніки в межах кар'єру. Важливу роль тут відіграють сучасні інформаційні технології, які забезпечують можливість постійного контролю роботи обладнання, швидкого виявлення відхилень від запланованих показників і своєчасного внесення коригувань у виробничий процес.

Окрему увагу слід приділити забезпеченню гнучкості функціонування екскаваторно-автомобільного комплексу. Така гнучкість дозволяє оперативно пристосовуватися до змін умов експлуатації, зокрема до коливань обсягів видобутку, впливу погодних факторів або зміни технічного стану обладнання. Використання математичного моделювання та сучасних методів оптимізації створює передумови для визначення найбільш ефективних режимів роботи комплексу. Зокрема, у складних багатофакторних умовах доцільним є застосування генетичних алгоритмів, які дозволяють знаходити близькі до оптимальних рішення навіть за наявності значної невизначеності.

У сучасній гірничодобувній галузі провідні компанії активно впроваджують дистанційно керовану техніку. Зокрема, значного розвитку досягли кар'єрні автосамоскиди, створені компанією Komatsu, яка робить акцент на інтеграції електроніки та автоматизованих систем у конструкцію машин.

Досить цікавим і взірцевим є досвід китайської добувної компанії China Molybdenum (рис. 1.1). Введений високошвидкісна приватна безконтактна мережа зв'язку дозволяє використовувати обладнання з дистанційним керуванням, коли працівники знаходяться віддалено у комфортних умовах праці.



Рис. 1.1. Віддалене управління екскаваторно-автомобільним комплексом кар'єру (Китай)

Одним із ключових напрямів є розробка повністю автономного самоскида. Важливим досягненням стала система автоматичного керування рухом, здатна забезпечувати безпечне пересування машини кар'єрними дорогами, включаючи складні ділянки з ухилами. Такі рішення застосовуються на самоскидах середнього класу вантажопідйомністю до 80 т [10].

Особлива увага приділяється надійності та безпеці. У разі виникнення перешкод або відхилення від маршруту система самостійно знижує швидкість або повністю зупиняє машину. Практичні випробування підтвердили зменшення витрат праці та підвищення рівня виробничої безпеки.

Однак очевидно, це не єдиний зразок використання такої техніки. На рисунку 1.2 представлена схема ринку обладнання з дистанційним керуванням, на якому особливо виділяються такі відомі виробники як Liebherr, Sandvik, Aichi Steel, Epiroc.

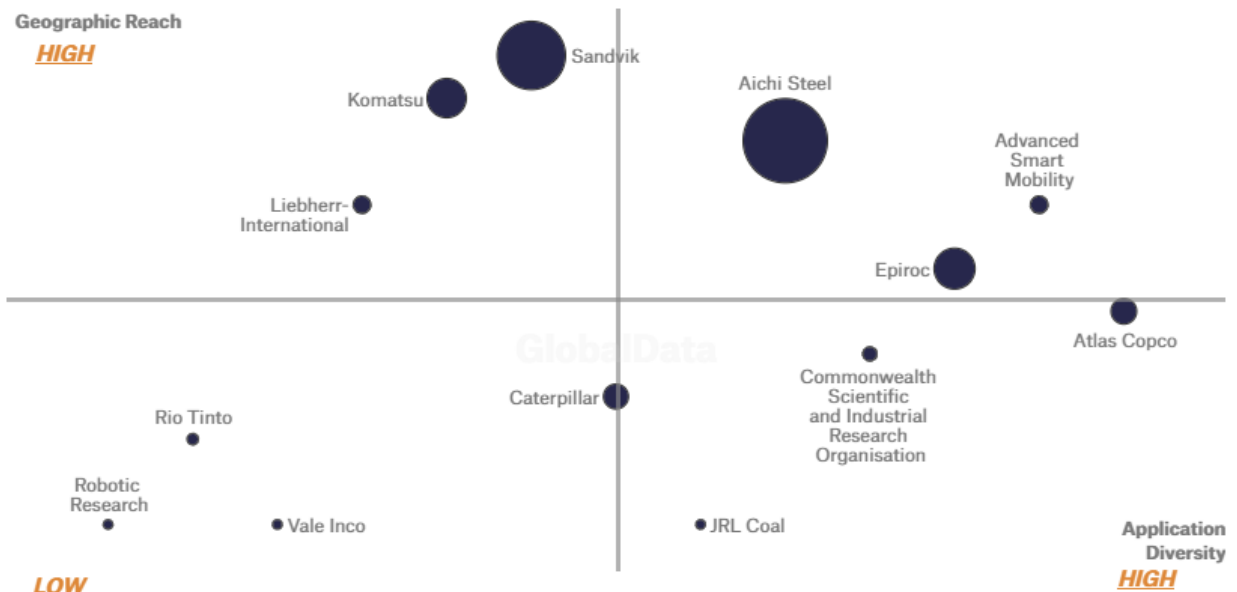


Рис. 1.2. Схема ринку гірничого обладнання з дистанційним керуванням [12]

Автономний комплекс може працювати у трьох режимах: автоматичному, дистанційному та ручному. В автоматичному режимі реалізуються всі основні операції — рух за маршрутом, регулювання швидкості та розвантаження [12].

Функціонування системи забезпечується сукупністю взаємопов'язаних підсистем: моніторингу, навігації, виявлення перешкод і контролю технічного стану. Вони відповідають за стабільність руху, дотримання траєкторії, уникнення зіткнень і своєчасне реагування на несправності.

Зокрема, навігаційний блок забезпечує утримання машини на заданому маршруті за допомогою датчиків положення, гіроскопа та лазерних орієнтирів. Контроль пройденої відстані здійснюється через обертання коліс, а маршрут формується під час попереднього проходження та зберігається в пам'яті системи.

У процесі руху всі відхилення оперативно фіксуються та автоматично коригуються. Найчастіше вони виникають через

погіршення зчеплення коліс із дорогою або складні погодні умови, що враховується при роботі системи.

Використання обладнання з дистанційним керуванням дозволяє не тільки підвищити безпеку праці, а й збільшити продуктивність і ритмічність роботи обладнання. Сімейство кривих для різної початкової швидкості ручного управління, наведене на рисунку 1.3, ілюструє цю залежність.

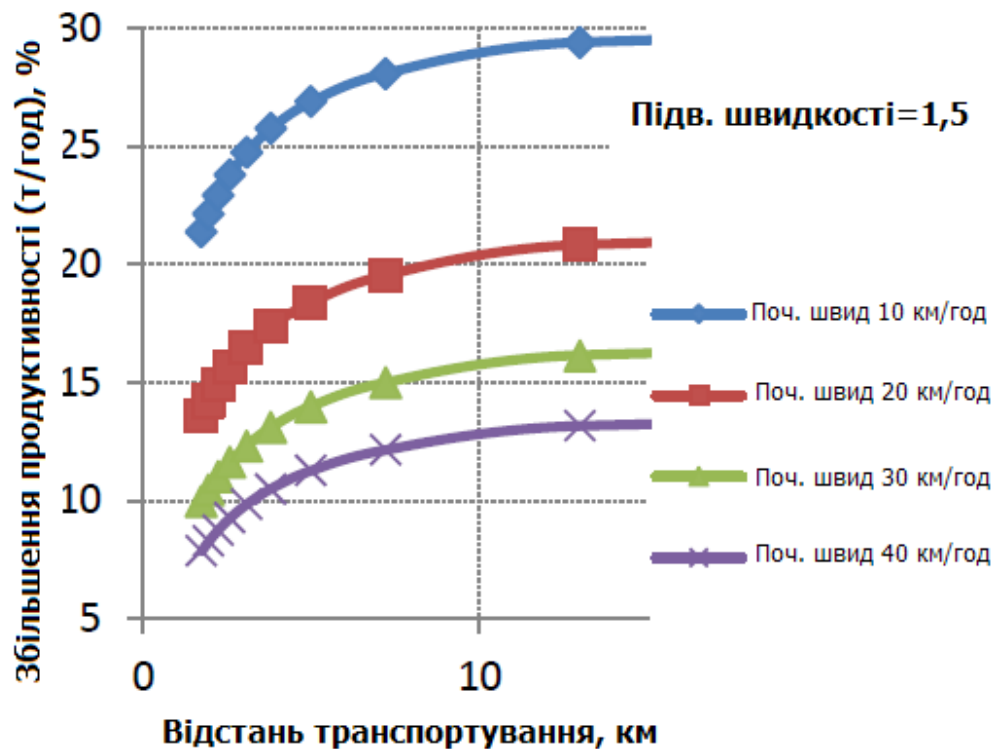


Рис. 1.3. Розрахунок зростання продуктивності роботизованих автосамоскидів за рахунок збільшення швидкості їх руху [12]

Крім того, введення в експлуатації подібних комплексів дозволить виключити зупинки самоскидів для перезмінки операторів. Як наслідок, це призведе до збільшення продуктивності автосамоскидів відповідно до залежностей, наведених на рис. 1.4.

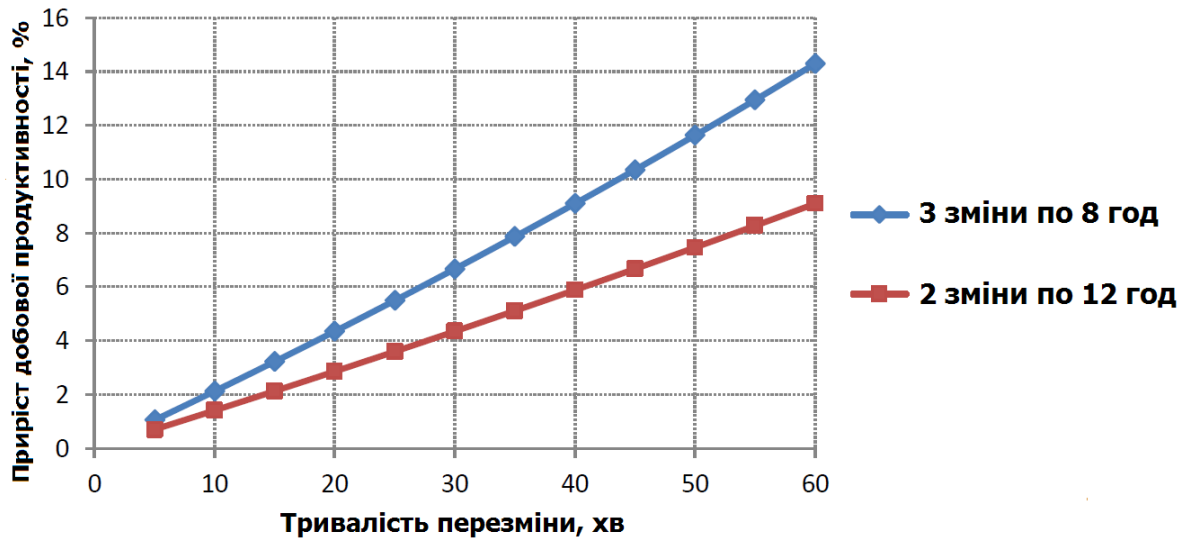


Рис. 1.4. Графік залежності приросту продуктивності автосамоскиду в залежності від тривалості перезмінки водія для 8-годинної і 12-годинної зміни

Таким чином, досвід експлуатації і розрахунки підприємств-аналогів дозволяють зробити висновок, що за системами дистанційного керування майбутнє, оскільки вони не тільки покращують умови праці гірників, а й суттєво підвищують ритмічність роботи виймально-навантажувального і транспортного обладнання.

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНОЇ СХЕМИ ПЕРШОТРАВНЕВОГО КАР'ЄРУ ПРАТ "ПІВНІЧНИЙ ГЗК"

### 2.1. Загальна характеристика і геологічна будова родовища

Забезпечення виробничих потужностей ПрАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» первинними ресурсами здійснюється за рахунок розробки Першотравневого родовища залізистих кварцитів. Зазначений об'єкт надрокористування територіально локалізований у межах Тернівського адміністративного району міста Кривого Рогу, формуючи ключовий сегмент сировинного потенціалу промислового комплексу.

Товарний асортимент підприємства представлений стратегічно важливою для металургійної галузі сировиною. Зокрема, технологічний цикл передбачає випуск залізорудного концентрату з масовою часткою корисного компонента на рівні 66 %, а також залізорудних окатишів із градацією вмісту заліза від 60,3 % до 63,5 % [13].

У масштабах загальнонаціонального гірничо-металургійного комплексу ПрАТ «Північний ГЗК» утримує провідні позиції. Ринкова частка підприємства становить близько 20 % від сукупного обсягу виробництва вітчизняного залізорудного концентрату та сягає 45 % у сегменті виготовлення залізорудних окатишів в Україні [13].

Фундаментом видобувного процесу виступає Першотравневий кар'єр, який за своїми масштабами належить до найбільших відкритих гірничих виробок на території держави. На сучасному етапі експлуатації геометричні параметри кар'єру досягли понад 3 км у довжину та близько 2,5 тис. метрів у ширину.

Поточний стан та перспективні показники розробки:

- Фактична глибина відпрацювання: 400 м;
- Позначка нижнього експлуатаційного горизонту: –285 м;

– Гранична проектна глибина гірничих робіт: 650 м.

Розташування Першотравневого кар'єру на карті Кривбасу наведено на рис. 2.1.



Рис. 2.1 – Розміщення Першотравневого родовища на геологічній карті Криворізького залізорудного басейну

Забезпечення виробничих потужностей ПрАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» первинними ресурсами здійснюється за рахунок розробки Першотравневого родовища залізистих кварцитів, яке територіально локалізоване в межах Тернівського адміністративного району міста Кривого Рогу, причому балансові запаси об'єкта офіційно закріплені за зазначеним комбінатом, а його промислова експлуатація відкритим способом реалізується з грудня 1960 року. Товарний асортимент підприємства представлений стратегічно важливою для металургійної галузі сировиною, включаючи залізорудний концентрат із масовою часткою корисного компонента на рівні 66 % та залізорудні окатиші з градацією вмісту заліза від 60,3 % до 63,5 %, що дозволяє ПрАТ «Північний ГЗК» утримувати провідні позиції на загальнонаціональному ринку, забезпечуючи близько 20 % від сукупного обсягу вітчизняного виробництва залізорудного концентрату та сягаючи 45 % у сегменті виготовлення залізорудних окатишів в Україні. Фундаментом видобувного процесу виступає Першотравневий кар'єр, який належить до найбільших відкритих гірничих виробок на території держави, маючи поточні геометричні параметри понад 3 км у довжину, близько 2,5 тис. метрів у ширину, фактичну глибину відпрацювання 400 м із позначкою нижнього експлуатаційного горизонту на рівні –285 м та граничною проектною глибиною гірничих робіт 650 м.

У геоструктурному відношенні зазначене родовище локалізоване в межах північного флангу Криворізького залізорудного басейну в зоні сочленування Саксаганської та Східно-Ганнівської субмеридіональних синклінальних структур, де в результаті їхньої взаємодії сформувався інтенсивний поперечний флексурний вигин, відомий у плані як Першотравнева синкліналь широтного простягання.

Геологічне середовище об'єкта відзначається складною складчасто-блоковою тектонікою, унаслідок якої рудний масив

диференційований розривними порушеннями на значну кількість відокремлених блоків площею від десятків до кількох тисяч квадратних метрів з індивідуальною просторовою орієнтацією та специфікою речовинного складу порід, причому самі диз'юнктивні зони деструкції потужністю від 0,2 до 50–70 м виповнені брекчіюваним матеріалом і послужили сприятливими каналами для інтенсивних метасоматичних процесів на тлі високого ступеня метаморфізму руд та вміщуючих пластів. В архітектоніці родовища беруть участь метаморфізовані утворення чотирьох послідовних свит Криворізької серії, що нарощуються в напрямку знизу вгору від сланцево-амфіболітової через нижню аркозо-філітову  $K_1$  та середню залізородну  $K_2$  до верхньої сланцевої  $K_3$ , де в структури домінують породи середньої залізородної свини  $PR_1sx$ , розріз якої детально диференційований на серію літостратиграфічних одиниць, що включають перший, второй, третій-п'ятий і сьомий сланцеві горизонти, які перешаровуються з першим, другим, п'ятим, шостим і сьомим залізистими горизонтами [14].

Промислове значення як продуктивні пласти мають лише залізисті кварцити п'ятого та шостого залізистих горизонтів, які безпосередньо використовуються для фабричного збагачення, причому п'ятий залізистий горизонт  $PR_1sx^5f$  утворює ізольовані тектонічні блоки в північно-східному секторі кар'єрного поля і представлений переважно джеспілітоподібними залізистими кварцитами з різким переважанням магнетитових різновидів до 90 % від загального обсягу, середнім вмістом загального заліза 39,01 %, вмістом заліза, пов'язаного з магнетитовою фазою, на рівні 32,9 % та граничною горизонтальною потужністю в окремих блоках до 100 м. Водночас метаморфічні комплекси сланцево-амфіболітової та нижньої аркозо-філітової свит локалізовані у східній частині родовища, характеризуються сукупною потужністю 700–800 м і значною літологічною різноманітністю, будучи представленими амфіболітами,

аркозовими пісковиками, слюдистими кварцитами, а також кварц-серицитовими, хлорит-тальковими та тальк-карбонатними сланцями, коефіцієнт тривкості яких за шкалою професора М. М. Протодьяконова коливається від  $f = 5-8$  до  $f = 10-12$ , що визначає їхню значну геомеханічну стійкість до механічного руйнування при проведенні гірничих робіт [14].

У межах досліджуваного родовища середня залізородна свита K2 зазнає тричленного літостратиграфічного поділу, внаслідок чого в її структурі чітко виділяються нижня, середня та верхня підсвити. Кожен із зазначених підрозділів характеризується специфічним речовинним складом, унікальними геомеханічними властивостями та просторовим розміщенням.

Нижня сланцево-кварцитова підсвита сформована літологічними різновидами першого та другого сланцевих і залізистих горизонтів. Ці геологічні утворення локалізовані в північно-східному та південно-східному секторах, фіксуючись у вигляді єдиної безперервної лінійної смуги, яка внаслідок пізніших тектонічних процесів виявляється диференційованою на окремі ізольовані блоки. З точки зору петрографічного складу сланцеві горизонти складені переважно хлорит-біотитовими та хлорит-серицит-біотитовими метаморфічними сланцями, які мають коефіцієнт тривкості  $f = 5-6$  за шкалою Протодьяконова. Залізисті горизонти цієї підсвити представлені міцнішими магнетит-кумінгтонітовими кварцитами з локальними фаціальними переходами в кумінгтоніт-магнетитові різновиди, де міцність порід істотно зростає і досягає значень  $f = 12-14$ . Сукупна вертикальна потужність нижнього підсвітного комплексу варіюється в діапазоні 230–260 м [14].

Середня підсвита об'єднує в собі єдину товщу сланцевих горизонтів K2 3-4-5. Її речовинна база представлена гранат-хлорит-серицитовими, ... гранат-біотит-серицитовими та біотит-кварц-

кумінгтонітовими сланцевими комплексами, в архітектоніці яких подекуди фіксуються малопотужні прошарки безрудного кварциту завтовшки до 4 см. Породи, що формують п'ятий-третій сланцевий горизонт, виконують роль лежачого боку і просторово обмежують головну продуктивну товщу родовища, представлену п'ятим і шостим залізистими горизонтами, з північно-східного, східного та південно-східного флангів. Потужність цього обмежувального горизонту становить від 60 до 200 м, а показник механічної міцності відповідає інтервалу  $f = 5-8$  [14].

Головний промисловий інтерес становить верхня підсвіта, яка включає п'ятий, шостий, сьомий залізисті та сьомий сланцевий горизонти, формуючи рудну основу родовища. На сучасному етапі розробки зазначена товща інтенсивно відпрацьовується кар'єрним простором, а її глибокі горизонти верифіковані мережею розвідувальних свердловин на глибинних відмітках порядку 500–600 м.

П'ятий залізистий горизонт репрезентований тонкошаруватими джеспілітоподібними силікат-магнетитовими кварцитами сіросмугастої текстури. У стратиграфічній колонці цей комплекс займає вище положення відносно нерозчленованих відкладів третього-п'ятого сланцевих горизонтів. Просторово дані кварцити найбільш повно розвинені у східному та північно-східному крилі складки. Натомість у південному та південно-східному напрямках вони втрачають свою суцільність і фіксуються спорадично у формі малопотужних, геометрично невитриманих блокових сегментів. Така деструкція первинного залягання є прямим наслідком їхнього зрізання диз'юнктивними тектонічними порушеннями.

Параметри п'ятого залізистого горизонту:

- Горизонтальна потужність товщі: від 2 до 100 м;
- Коефіцієнт міцності порід:  $f = 12-16$ ;

– Масова частка загального заліза: 33,0–42,4 % (середній показник — 39,02 %);

– Концентрація магнетитового заліза: 28,0–35,0 % (середнє значення — 31,86 %) [14].

Шостий залізистий горизонт виступає домінуючим промисловим типом руд на родовищі, концентруючи в собі близько 97 % від сукупного обсягу розвіданих запасів. У структурі рудного тіла він диференційований на дві самостійні гілки — західну та східну товщі, розділені між собою літологічним бар'єром у вигляді кварцитів сьомого сланцевого горизонту. Дублювання шостого горизонту в геологічному розрізі зумовлене інтенсивними тектонічними дислокаціями скидового типу. Ця продуктивна товща відзначається високим ступенем просторової та мінералогічної гетерогенності, виявляючи значні варіації як за речовинним складом, так і за структурно-текстурними ознаками [14].

У межах зазначеного горизонту виділяють такі літолого-петрографічні відміни:

– Силікат-магнетитові кварцити тонко-, середньо- та грубошаруватої текстури;

– Магнетит-силікатні кварцити середньо- та грубошаруватого типу;

– Залізисто-силікатні сланцеві утворення;

– Продукти інтенсивних метасоматичних перетворень, представлені кумінгтоніт-магнетитовими та гематит-магнетитовими кварцитами [14].

Сумарна потужність усього літологічного комплексу шостого горизонту досягає значних масштабів — від 500 до 700 м. Показники механічної міцності його порід зазнають варіацій від  $f = 10$ –12 до  $f = 15$ –16. Вміст загального заліза в рудній масі варіюється в широкому діапазоні від 22,5 % до 46,0 %, фіксуючись на середньому рівні 34,91 %, тоді як магнетитова форма заліза становить 16,0–34,5 % при

середньому значенні 27,53 %. Важливо зазначити, що силікатно-магнетитові кварцити повсюдно характеризуються різною мірою диз'юнктивної тріщинуватості, а також є інтенсивно зім'ятими у складчастій структури різноманітної морфологічної конфігурації [14].

Літологічний склад сьомого сланцевого горизонту представлений переважно магнетит-силікатними кварцитами, що містять підпорядковані малопотужні інтеркаляції метаморфічних сланців. У просторовому плані цей стратиграфічний елемент фіксується у формі витриманої верстви, яка виконує роль роздільного бар'єра між західною та східною товщами шостого залізного горизонту в південно-західному секторі родовища. Натомість у північно-східній частині його морфологія змінюється на відокремлені блоки неправильної геометричної конфігурації [14].

В межах північного флангу товща повністю зрізана диз'юнктивними дислокаціями. Вздовж площин розривних структур спостерігаються значні амплітуди переміщення окремих блоків відносно один одного на значні відстані. Геометрична потужність горизонту зазнає суттєвих коливань, варіюючись від 40 до 440 м, за коефіцієнта тривкості порід  $f = 12-14$  [14].

#### **Геохімічні показники сьомого сланцевого горизонту:**

– Масова частка загального заліза: від 12 до 31 % (із домінуванням значень на рівні 19,23 %);

– Вміст магнетитового заліза: у межах 8–20 % (найбільш характерний показник — 10,13 %).

Сьомий залізистий горизонт зведений до смугастих магнетит-силікатних кварцитів. У стратиграфічній колонці дані утворення підстилаються червоно-смугастими силікат-магнетитовими кварцитами західної товщі шостого залізного горизонту, а в покрівлі перекриваються метаморфічними комплексами верхньої свити. У південно-західній зоні об'єкта цей горизонт простежується у формі

дискретних блокових сегментів, тоді як на північному напрямку він повністю нівелюється під дією поздовжніх розривних порушень. Лінійна потужність пласта змінюється в діапазоні 100–400 м при фізико-механічній стійкості  $f = 12–14$  [15].

Верхня свита КЗ локалізована вздовж західної периферії родовища, структурно формуючи його висячий бік. Крім крайового залягання, метаморфіти верхньої свити виявляються затиснутими всередині полів розвитку середньої свити у вигляді відокремленого тектонічного блока з первинною потужністю до 150 м, який із заглибленням диференціюється на серію просторово роз'єднаних дрібніших сегментів.

Петрографічний спектр порід КЗ відзначається високою літологічною різноманітністю. Тут діагностовано:

- Безрудні кварцити з нерівномірною вкрапленістю магнетитової мінералізації;
- Хлоритові та хлорит-біотитові сланцеві утворення;
- Специфічні графітовмісні та карбонатні сланцеві диференціати;
- Гетерогенні кварц-силікат-карбонатні породи.

Сукупна потужність утворень цієї свити сягає 600 м за коефіцієнта тривкості в межах  $f = 8–14$ . Характерною рисою родовища є масштабний розвиток зон тектонічних брекчій, приурочених до площин диз'юнктивних розривів. Потужність цих деструктивних областей вкрай нестабільна й коливається від часток сантиметра до 30–50 м, утворюючи чисельні морфологічні роздуви, лінії стоншення та просторові апофізи. Геомеханічні параметри брекчійованого матеріалу переважно відповідають значенням  $f = 8–10$ , проте на окремих ділянках вторинної консолідації їхня міцність зростає до  $f = 16$  [14-15].

На досліджуваній площі фіксується інтенсивний розвиток площинної кори вивітрювання, що репрезентує зону вторинного гіпергенного окиснення корінних порід, які безпосередньо підстилають

кайнозойський чохол. Потужність зони окиснення у межах шостого залізного горизонту в середньому становить 22,6 м (при амплітуді варіацій від 5,0 до 61 м), тоді як для п'ятого залізного горизонту аналогічний показник дорівнює 18,9 м із діапазоном коливань від 8,5 до 30,5 м. Схожі за масштабами та глибиною проникнення параметри вторинних перетворень зафіксовані для сьомого сланцевого і залізного горизонтів, а також для нижніх (першого та другого) стратиграфічних елементів рудної товщі [14-15]..

Метаморфічні кристалічні породи фундаменту перекриваються субгоризонтальною товщею пухких кайнозойських осадів із проявом чіткої кутової незгоди. Цей чохол представлений неконсолідованими відкладами палеогенового, неогенового та четвертинного періодів. Сукупна середня потужність пухких кайнозойських утворень становить 22 м, змінюючись залежно від палеорельєфу в широких межах від 2 до 48 м [14-15].

У межах поточного контуру виїмки Першотравневого кар'єру до складу корисного компонента промислового вилучення входять два провідні технологічні типи мінеральної сировини: силікат-магнетитові кварцити первинного залягання та їхні брекчійовані тектонічні аналоги.

## **2.2. Аналіз сучасного стану гірничих робіт**

Сучасний стан просторового розвитку кар'єрного простору відзначається наявністю значних зон тимчасово неробочих бортів, що стало прямим наслідком систематичного відставання від календарних графіків виконання розкривних операцій. Зокрема, у погашеному стані наразі перебувають північний та північно-західний сектори борту, оскільки основний вектор видобувних робіт був пріоритетно

концентрований на південному, східному та південно-східному флангах родовища. Натомість на північному та західному бортах через високі значення поточного коефіцієнта розкриву та незадовільні якісні характеристики рудної маси було здійснено тимчасову консервацію уступів, на бермах яких розгорнули перевантажувальні пункти та стаціонарні транспортні комунікації. Подібна деформація технологічної схеми призвела до суттєвого ускладнення загальних гірничотехнічних умов, зумовивши дефіцит лінійної протяжності активного фронту робіт і критичне звуження робочих майданчиків. З метою подолання цих деструктивних чинників гірниче підприємство, спираючись на чинні проєктні рішення, щорічно реалізує комплекс стабілізаційних робіт для поетапного повернення елементів кар'єру до нормативних параметрів.

Виробничий процес на підприємстві базується на класичній транспортній системі розробки, яка передбачає експлуатацію інтегрованих логістичних схем — комбінованого автомобільно-залізничного та автомобільно-конвеєрного видів транспорту. Складування та довгострокове розміщення відвальних мас розкриву має гетерогенну структуру, поєднуючи використання зовнішніх відвальних відводів та внутрішньокар'єрного виробленого простору.

Розкриття та виїмка скельного масиву здійснюється технологічними уступами заввишки 15 м, тоді як під час відпрацювання м'яких розкривних товщ та зон інтенсивного гіпергенного вивітрювання висота робочого уступу зменшується до 12 м. Парк виймально-навантажувального устаткування у вибоях та на перевантажувальних майданчиках представлений кар'єрними екскаваторами ЕКГ-8І, ЕКГ-10, ЕКГ-12К та високопродуктивними гідравлічними лопатами Hitachi EX-3600-6; натомість на відвальних роботах задіяні машини серій ЕКГ-8І та ЕКГ-10. Слід зауважити, що значна частина механізованого парку зазнала тривалої експлуатації (понад 15 років), у зв'язку з чим під час моделювання річної продуктивності обладнання впроваджується

коефіцієнт старіння  $K_{ст} = 0,55$ . Підготовка тривких скельних порід до екскавації вимагає їхнього попереднього руйнування буровибуховим способом, де спорудження вибухових свердловин покладається на шарошкові бурові верстати типу СБШ-250, Ferdinand та Atlas Copco DM 75, а формування нормативного кута укусу уступів на граничному контурі виробки забезпечується спеціалізованою установкою Flexi ROC D60.

Автомобільний сегмент внутрішньокар'єрної логістики укомплектований великовантажними технологічними самоскидами БілА3-75131 вантажопідйомністю 130 т та Caterpillar CAT-789 вантажомісткістю 180 т, для стабільного функціонування яких зведено постійну автодорожню артерію вздовж східного борту. Залізничний комплекс підприємства оперує магістральними тепловозами ТЕ10М та промисловими тяговими агрегатами ОПЕ1А в технологічному зчепленні з вагонами-самоскидами (думпкарами) моделі 2ВС-105 вантажопідйомністю 105 т. На сучасному етапі розвитку транспортних горизонтів рейкові колії заведені вглиб кар'єрного простору до позначки  $-25$  м.

### **2.3 Аналіз транспортної схеми Першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК»**

Транспортування видобутої залізистої сировини з вибоїв до збагачувального комплексу ДЗФ-1 диференційоване за кількома альтернативними схемами:

– **Основний рудний потік:** безпосередньо з вибоїв сировина перевозиться автотранспортом до приймальних споруд комплексу ЦПТ на горизонт  $-193$  м. Цей вузол виконує роль інтермодальної

ланки між автомобільним та залізничним транспортом, здійснюючи конвеєрний підйом подрібненої руди на поверхню для подальшого відправлення на ДЗФ-1. Обсяги подачі маси в межах цієї схеми жорстко лімітуються поточною пропускною здатністю конвеєрів;

– **Пряма комбінована схема:** мінеральна сировина доставляється автосамоскидами на рудні перевантажувальні пункти, де перевантажується в залізничні состави для подальшого вивезення на фабрику;

– **Резервна стабілізація (шихтування):** у разі виникнення аварійних простоїв екскаваторного парку або порушень календарних графіків оперативного планування, регулювання якісних параметрів руди здійснюється шляхом залучення запасів із тимчасових внутрішньокар'єрних буферних складів.

Важливим інфраструктурним ядром циклічно-поточної технології (ЦПТ) виступає дробарно-перевантажувальний комплекс, розташований на відмітці –193 м південного борту. Його приймальні пристрої інтегровані з двома паралельними похилими конвеєрними галереями відкрито-підземного типу, сукупна проектна потужність яких сягає 40 млн т гірничої маси на рік.

Переміщення та утилізація розкривних порід у зовнішні та внутрішні відвальні відводи реалізується в рамках таких технологічних напрямків:

– Пряме залізничне вивезення розкривних мас із верхніх робочих уступів безпосередньо на зовнішні відвали;

– Комбінована схема з автомобільним підвезенням порід із вибоїв до скельних перевантажувальних пунктів та їх подальшим транспортуванням залізницею на зовнішні майданчики;

– Комбінована потокова схема з доставкою розкриву автотранспортом до приймальних пристроїв комплексу ЦПТ і наступним залізничним вивезенням;

-Пряме автомобільне транспортування пухких та скельних мас на відвал «Західний».

Попутно вилучений скельний розкритт раціонально утилізується для виробництва будівельного щебеню на потужностях власного щебеневого заводу, розташованого в безпосередній близькості до Південної в'їзної траншеї.

### **РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РИТМІЧНОСТІ РОБОТИ ПЕРШОТРАВНЕВОГО КАР'ЄРУ ПРАТ «ПІВНІЧНИЙ ГЗК»**

Обґрунтування раціональних параметрів транспорту, які б забезпечували максимальну ритмічність роботи комплексу обладнання, розглянемо на прикладі двох вантажопотоків:

1. доставки самоскидами руди на перевантажувальні пункти;
2. доставка скельних розкривних порід на відвал «Західний».

Ефективність функціонування екскаваторно-автомобільних комплексів у Першотравневому кар'єрі ПРАТ «Північний ГЗК» безпосередньо залежить від точного узгодження параметрів виймально-навантажувального та транспортного обладнання. На підприємстві впроваджується поетапний перехід на гірничу техніку підвищеної одиничної потужності, зокрема застосовуються потужні гідравлічні екскаватори Hitachi з місткістю ковша  $15 \text{ м}^3$ , що працюють у поєднанні з великовантажними автосамосвалами. Встановлено, що продуктивність нових екскаваторів є в 1,5 раза вищою порівняно з машинами меншої місткості, забезпечуючи річний обсяг відвантаження до 4 млн  $\text{м}^3$  гірської маси. Однак максимальний рівень використання цього потенціалу лімітується ступенем відповідності між параметрами місткості кузова автосамосвалів та ковша екскаваторів. Невідповідність же цих параметрів призводить до простоїв екскаваторів, неповного використання потенціалу обладнання і, відповідно, зниження ритмічності роботи підприємства [16].

При виборі параметрів обладнання екскаваторно-автомобільних комплексів ключовою умовою стабілізації технологічного потоку є дотримання раціонального співвідношення місткості кузова автосамосвала до місткості ковша екскаватора. Було визначено, що

порушення цього балансу суттєво дестабілізує ритмічність відкритих гірничих робіт. Якщо вказане співвідношення падає нижче 4, автосамосвал заповнюється занадто швидко, що веде до надмірної частоти маневрових операцій та зростання частки допоміжного часу. У випадках, коли відношення перевищує 8, процес навантаження стає надто тривалим, що викликає утворення черг автосамоскидів та призводить до простоїв екскаваторів в очікуванні транспорту. Оптимізація цього показника дає змогу збалансувати робочі цикли навантажувальних та транспортних одиниць, мінімізувати сумарний час очікування машин під навантаженням та розвантаженням, що безпосередньо підвищує коефіцієнт використання екскаваторів за часом і продуктивністю.

Для радикального підвищення коефіцієнта використання обладнання та забезпечення безперебійності транспортних процесів в умовах Першотравневого кар'єру має бути обґрунтовано доцільність застосування автосамосвалів із дистанційним та автономним керуванням. Коефіцієнт технічної готовності та доступності обладнання при переході на безпілотний режим зростає до 85–90 % порівняно зі звичайними 75 % для пілотованої техніки. Основним чинником зростання коефіцієнта використання за часом є повноцінна ліквідація простоїв під час перезмін, обідніх перерв та фізіологічних зупинок водіїв, що забезпечує понад 1000 додаткових годин корисної роботи кожної машини на рік. Крім того, застосування дистанційно керованої техніки дозволяє підвищити безпеку ведення гірничих робіт на глибоких горизонтах Першотравневого кар'єру в зонах зі складними геотехнічними умовами та крутими укосами уступів, виключаючи перебування людей у потенційно небезпечних зонах кар'єру та підтримуючи високу інтенсивність розробки.

Далі для кожного із вантажопотоків встановимо раціональну вантажопідйомність самоскида для трьох типів екскаваторів: ЕКГ-10, ЕКГ-15 та Hitachi EX3600.

*При навантаженні екскаваторами ЕКГ-10:*

1. «Визначення часу рейсу самоскиду за виразом:

$$T_{\text{рейс}} = t_n + t_p + t_m + t_{\text{чек}} + t_{\text{рух}}, \text{хв} \quad (3.1)$$

де  $t_n$  - час навантажування самоскиду:

$$t_n = t_u \cdot n_k \quad (3.2)$$

$n_k$  - число ковшів, які завантажуються в самоскид» [17];

2. «Час навантаження автосамоскида

- у першому випадку час навантажування визначається вантажопідйомністю машини  $Q$ :

$$t_n = \frac{Q \cdot \kappa_p}{E \cdot \rho \cdot \kappa_n} t_u, \text{сек} \quad (3.3)$$

де  $Q$  - вантажопідйомність самоскиду, т;

$E$  - ємкість ковша, м<sup>3</sup>;

$\rho$  - щільність породи;

$\kappa_p$  - коефіцієнт розпушення» [5]

$$\text{I В} \quad t_{\text{II}} = \frac{110 \cdot 1,4}{8 \cdot 3,35 \cdot 0,75} 30 = 199,2 \text{сек}$$

$$\text{II В} \quad t_{\text{II}} = \frac{110 \cdot 1,3}{8 \cdot 3 \cdot 0,85} 30 = 182,3 \text{сек}$$

- «у другому випадку час навантажування визначається місткістю кузова автосамоскида  $V_a$ :

$$t_n = \frac{V_a \kappa_p}{E \cdot \kappa_n} \cdot t_u, \text{сек}, \quad (3.4)$$

де  $Q$  - вантажопідйомність самоскиду. т;  $E$  - місткість ковша екскаватора, м<sup>3</sup>;  $V_a$  - місткість кузова з "шапкою", яка по розрахунках складає 1,05÷1,25 геометричної місткості кузова, м<sup>3</sup>» [17].

$$I B \quad t_H = \frac{45,5 \cdot 1,4}{8 \cdot 0,75} \cdot 30 = 276 \text{ сек}$$

$$II B \quad t_H = \frac{45,5 \cdot 1,3}{8 \cdot 0,85} \cdot 30 = 226,2 \text{ сек}$$

«З двох значень приймаємо менше тобто» [18]

$$I B \quad t_H = 199,2 \text{ сек.}$$

$$II B \quad t_H = 182,3 \text{ сек.}$$

3. «Час чекання визначаємо по формулі:

$$t_{чек} = 0,5(t_H + t_p), \quad (3.5)$$

де  $t_p$  - час розвантаження,  $t_p = 90 \text{ сек}$ » [18].

$$I B \quad t_{чек} = 0,5(199,2 + 90) = 144,6$$

$$II B \quad t_{чек} = 0,5(182,3 + 90) = 136,2$$

4. «Час руху самоскидів визначиться:

$$t_{рух} = 60 \frac{2 \cdot L_{mp}^s}{V_{cp}}, \text{ хв.} \quad (3.6)$$

де  $L_{mp}^s$  - відстань транспортування за відповідними вантажопотоками, км;

$V_{cp}$  - середня швидкість руху (для самоскида БелАЗ 75121 середня швидкість складає 20 км/годину).

Час руху самоскидів складе» [18]:

$$I B \quad t_{рух} = 60 \frac{2 \cdot 2}{20} = 12 \text{ хв.} = 720 \text{ сек}$$

$$II B \quad t_{рух} = 60 \frac{2 \cdot 1,5}{20} = 9 \text{ хв.} = 540 \text{ сек}$$

5. «Час на маневри складає 110 сек.

Час рейсу самоскиду за вантажопотоками складе» [18]:

$$I B \quad T_{рейс} = 199,2 + 90 + 144,6 + 110 + 720 = 1263 \text{ сек} = 21,1 \text{ хв}$$

$$II B \quad T_{рейс} = 182,3 + 90 + 136,2 + 110 + 540 = 1058 \text{ сек} = 17,6 \text{ хв}$$

6. «Визначимо кількість рейсів автосамоскиду протягом зміни:

$$N_p = \frac{60 \cdot T_{зм}}{T_{рейс}} \times k_{вик}, \text{ рейсів} \quad (3.7)$$

де  $T_{зм}$  – тривалість зміни, 12 годин;

$k_{вик}$  – коефіцієнт використання автосамоскидів у часі,  $k_{вик} = 0,75$ »

[18].

тоді

$$\text{I В } N_p = \frac{60 \cdot 12}{21,1} \times 0,75 = 25,6 \approx 26 \text{ рейсів}$$

$$\text{II В } N_p = \frac{60 \cdot 12}{17,6} \times 0,75 = 30,7 \approx 31 \text{ рейс}$$

7. «Визначимо середню експлуатаційну продуктивність автосамоскидів:

$$P_{зм} = (N_p \cdot Q) / \rho, \text{ м}^3/\text{зміну} \quad (3.8)$$

де  $Q$  – вантажопід'ємність автосамоскиду;

$\rho$  – питома вага,  $\text{т}/\text{м}^3$ » [5].

$$\text{I В } P_{зм} = (26 \cdot 110) / 3,35 = 853,7 \text{ м}^3/\text{зміну}$$

$$\text{II В } P_{зм} = (31 \cdot 110) / 3,0 = 1136,7 \text{ м}^3/\text{зміну}$$

8. «Визначимо добову продуктивність автотранспорту:

$$P_{доб} = P_{зм} \cdot n_{зм}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (3.9)$$

де  $n_{зм}$  – кількість змін на добу,  $n_{зм} = 2$ » [18].

$$\text{I В } P_{доб} = 853,7 \cdot 2 = 1707,5 \text{ м}^3/\text{добу}$$

$$\text{II В } P_{доб} = 1136,7 \cdot 2 = 2273,3 \text{ м}^3/\text{добу}$$

9. «Річна продуктивність автотранспорту визначається за формулою:

$$P_{річ} = P_{доб} \cdot T_p, \text{ м}^3/\text{рік} \quad (3.10)$$

де  $T_p$  - число робочих днів у році, днів» [19]

$$\text{I В } P_{річ} = 1707,5 \cdot 350 = 597612 \text{ м}^3/\text{рік}$$

$$\text{II В } P_{річ} = 2273,3 \cdot 350 = 795655 \text{ м}^3/\text{рік}$$

10. «Кількість автомашин, що обслуговують один екскаватор:

$$N_{авт} = \frac{T_p}{t_n}, \text{ машин} \quad (3.11)$$

Знаючи потрібну кількість автосамоскидів на один екскаватор, можна визначити робочий парк автосамоскидів, необхідних для перевезення заданого обсягу гірської маси в цілому по кар'єру» [19].

$$\text{I В} \quad N_{авт} = \frac{1263}{199,2} = 6,34 \approx 7, \text{ машин}$$

$$\text{II В} \quad N_{авт} = \frac{1058}{182,3} = 5,8 \approx 6, \text{ машин}$$

«Робоча кількість визначається за формулою:

$$N_p = N_{авт} \cdot n_{екс}, \text{ шт} \quad (3.12)$$

де  $n_{екс}$  - кількість екскаваторів, шт» [19],

$$\text{I В} \quad N_p = 7 \cdot 4 = 28 \text{ шт}$$

$$\text{II В} \quad N_p = 6 \cdot 6 = 36 \text{ шт}$$

11. «Інвентарний парк самоскидів складе:

$$N_{инв} = \frac{\sum N_{роб}}{\tau}, \text{ шт} \quad (3.13)$$

де  $\tau$  - коефіцієнт технологічної готовності самоскидів,  $\tau = 0,7-0,9$ » [20, 21];

$$\text{I В} \quad N_{инв} = \frac{28}{0,8} = 35 \text{ шт.}$$

$$\text{II В} \quad N_{инв} = \frac{36}{0,8} = 45 \text{ шт.}$$

Аналогічні розрахунки виконаємо для автосамоскида БелАЗ 75121 (110 т) і екскаваторів ЕКГ-15 та Hitachi EX3600. Результати зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Визначення показників експлуатації екскаваторно-автомобільного комплексу для варіанту з автосамоскидом БелАЗ 75121 (110 т)

Показник	ЕКГ-10		ЕКГ-15		Hitachi EX3600	
	ВП 1	ВП 2	ВП 1	ВП 2	ВП 1	ВП 2
Інвентарний парк екскаваторів, од	9		7		5	
Час навантаження, с	183	167	147	134	117	108
Час очікування, с	137	129,2	115,2	108,8	92	86
Тривалість рейсу, хв	20,7	17,2	19,7	16,4	17,9	15,8
Експлуатаційна продуктивність самоскиду, м <sup>3</sup> /зміну	887	1181	1200	1207	1464	1489
К-сть самоскидів на екскаватор, од	7	6	8	7	9	8
Інвентарний парк самоскидів, од	38	35	40	26	39	27
Кількість ковшів на самоскид	7	6	4	3	4	3
Коефіцієнт використання екскаватора	0,57	0,56	0,56	0,55	0,56	0,56
Коефіцієнт використання автосамоскида	0,89	0,87	0,90	0,89	0,91	0,91

Можна спостерігати, що для даної моделі самоскида підвищення ємності ковша екскаватора призводить до зменшення його коефіцієнта використання, а коефіцієнт використання самоскида навпаки – збільшується.

Проведемо аналогічні розрахунки для автосамоскиду БелАЗ 75215 (180 т) і зведемо результати в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Визначення показників експлуатації екскаваторно-автомобільного комплексу для варіанту з автосамоскидом БелАЗ 75215 (180 т)

Показник	ЕКГ-10		ЕКГ-15		Hitachi EX3600	
	ВП 1	ВП 2	ВП 1	ВП 2	ВП 1	ВП 2
Інвентарний парк екскаваторів, од	9		7		5	
Час навантаження, с	302	276	241	220	107	102
Час очікування, с	211	198	181	170	88	78
Тривалість рейсу, хв	24,7	21,1	23,2	19,7	16,9	16,1
Експлуатаційна продуктивність самоскиду, м <sup>3</sup> /зміну	1174	1535	1250	1645	1464	1489
К-сть самоскидів на екскаватор, од	5	5	6	6	8	7
Інвентарний парк самоскидів, од	21	24	24	18	22	20
Кількість ковшів на самоскид	10	9	7	6	4	3
Коефіцієнт використання екскаватора	0,59	0,58	0,57	0,56	0,55	0,57
Коефіцієнт використання автосамоскида	0,86	0,84	0,87	0,86	0,91	0,92

Аналізуючи результати розрахунків, бачимо, що при збільшенні вантажопідйомності самоскида коефіцієнт його використання майже не змінився, а коефіцієнт використання екскаватора – дещо виріс. Це пояснюється збільшенням частки навантаження по відношенню до очікування самоскида.

Аналіз розділу 1 показав, що в світі існує стійкий тренд на роботизацію і віддалене управління. Тому далі виконаємо такі ж розрахунки, але для автосамоскиду БелАЗ 75215 (180 т) із дистанційним керуванням. Таке порівняння дасть змогу врахувати саме фактор віддаленого управління, а не інші технічні відмінності моделей. Результати зведемо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Визначення показників експлуатації екскаваторно-автомобільного комплексу для варіанту з автосамоскидом із дистанційним керуванням БелАЗ 75215 (180 т)

Показник	ЕКГ-10		ЕКГ-15		Hitachi EX3600	
	ВП 1	ВП 2	ВП 1	ВП 2	ВП 1	ВП 2
Інвентарний парк екскаваторів, од	9		7		5	
Час навантаження, с	302	276	241	220	107	102
Час очікування, с	142	134	122	115	62	55
Тривалість рейсу, хв	21,0	17,9	19,7	16,7	16,2	14,4
Експлуатаційна продуктивність самоскиду, м <sup>3</sup> /зміну	1350,1	1765,25	1437,5	1891,75	1683,6	1712,35
К-сть самоскидів на екскаватор, од	4	4	5	5	8	7
Інвентарний парк самоскидів, од	21	24	24	18	22	20
Кількість ковшів на самоскид	10	9	7	6	4	3
Коефіцієнт використання екскаватора	0,68	0,67	0,66	0,66	0,63	0,65
Коефіцієнт використання автосамоскида	0,89	0,88	0,90	0,89	0,94	0,94

Результати моделювання показують, що використання диспетчеризації суттєво впливає на час очікування, а це вже призводить до суттєвого зростання коефіцієнта використання екскаватора і в меншій мірі – самоскида.

Результати моделювання зведемо в діаграму на рис. 3.1.

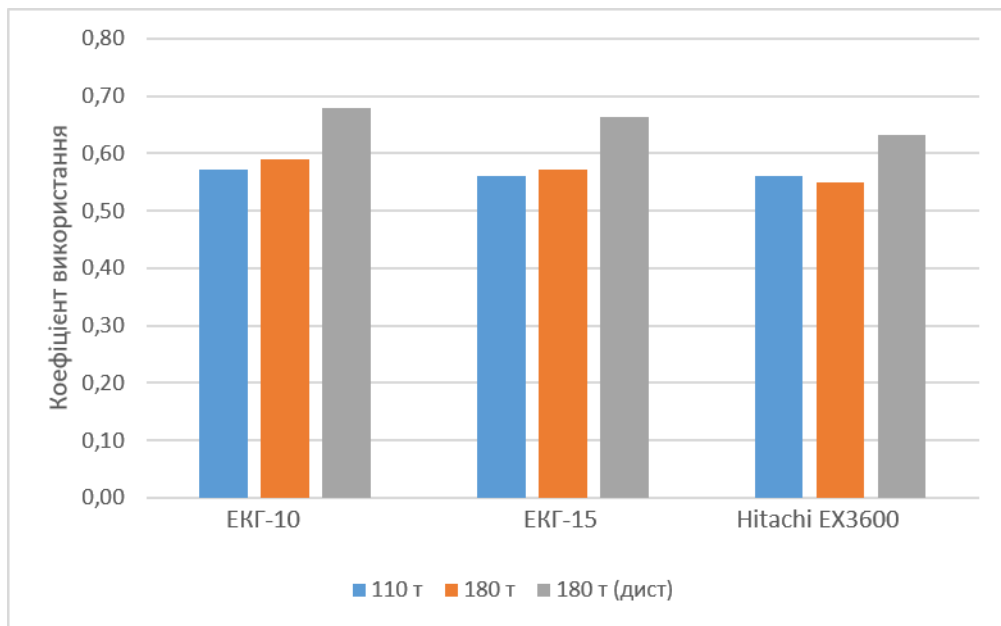


Рис. 3.1 – Порівняння коефіцієнтів використання екскаваторів при різних вантажопідйомностях самоскидів

З іншого боку, проаналізуємо коефіцієнт використання автосамоскідів і зведемо результати на рис. 3.2.

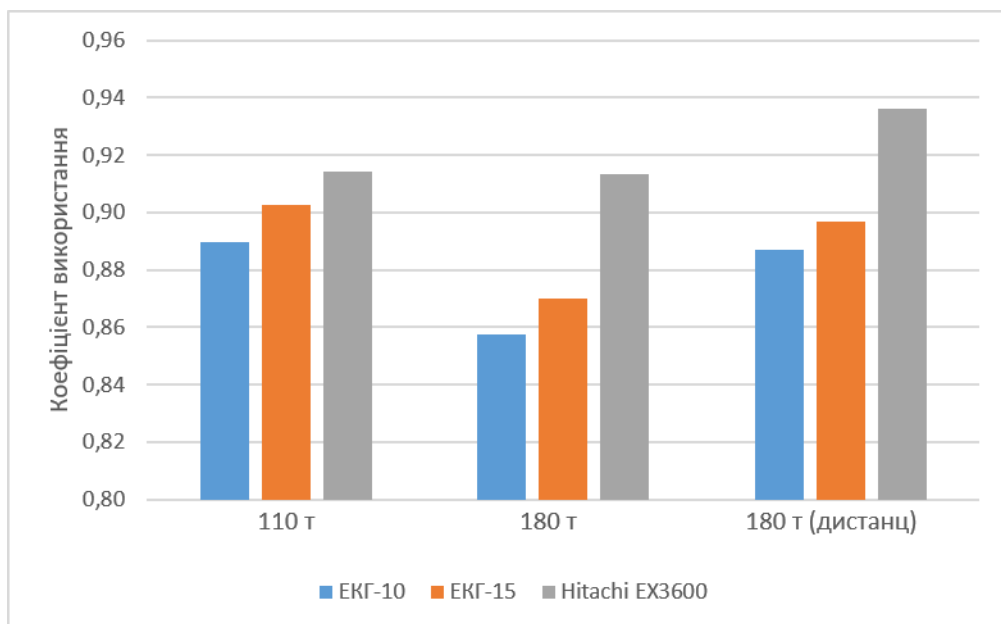


Рис. 3.2 – Порівняння коефіцієнтів використання самоскидів при різних ємностях ковша екскаватора

Аналіз отриманих статистичних даних та побудованих на їхній основі графічних залежностей дозволяє зробити низку важливих наукових і практичних висновків.

По-перше, при переході від автосамоскидів вантажопідйомністю 110 т до важчих машин вантажопідйомністю 180 т в умовах класичного ручного керування не відбувається суттєвого покращення показників використання навантажувальної техніки. Так, для екскаваторів ЕКГ-10 коефіцієнт зростає лише на 0,02 (з 0,57 до 0,59), для ЕКГ-15 – на 0,01 (з 0,56 до 0,57), а для найбільш потужного екскаватора Hitachi EX3600 спостерігається навіть зниження показника з 0,56 до 0,55. Це підтверджує, що просте збільшення одиничної вантажопідйомності транспортних засобів без системної перебудови процесу диспетчеризації призводить до дестабілізації ритмічності, збільшення часу очікування та утворення черг у затиснених зонах глибоких горизонтів кар'єру.

По-друге, впровадження дистанційно керованих (автономних) автосамоскидів вантажопідйомністю 180 т (модель Д180) забезпечує різке зростання ефективності роботи виймально-навантажувального сегмента. Показник підвищується до 0,68 для ЕКГ-10, до 0,66 для ЕКГ-15 та до 0,63 для Hitachi EX3600. Це демонструє збільшення коефіцієнта використання екскаваторів у середньому на 14,5–15,8 % порівняно з ручним варіантом керування аналогічним за вантажопідйомністю транспортом. Такий приріст є прямим результатом усунення регламентних та організаційних простоїв (перезміни, перерви, людський фактор), що забезпечує безперервний характер обслуговування вибоїв.

По-третє, аналіз використання самого автотранспорту свідчить про аналогічні позитивні тенденції. При ручному керуванні перехід з 110 т на 180 т супроводжується зниженням коефіцієнта для ЕКГ-10 (з 0,89 до 0,86) та ЕКГ-15 (з 0,90 до 0,87) через дисбаланс у часі

навантаження великого кузова відносно менш продуктивних екскаваторних ковшів. Однак перехід на дистанційне керування (Д180) нівелює ці втрати: коефіцієнт повертається до рівня 0,89–0,90 для канатних екскаваторів, а при взаємодії з гідравлічним екскаватором Hitachi EX3600 досягає рекордного значення 0,94.

## ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра на основі аналізу теорії та практики експлуатації екскаваторно-автомобільних комплексів глибоких кар'єрів, а також детальних розрахунків параметрів роботи обладнання Першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК», було отримано такі науково-практичні результати та висновки.

Обґрунтовано, що підвищення ритмічності відкритих гірничих робіт у міру заглиблення кар'єрів потребує зміни концепції проектування з ізолюваного вибору машин на систему динамічної взаємної адаптації технологічної та технічної підсистем.

Визначено, що найважливішим чинником стабілізації циклу є дотримання раціонального співвідношення місткості кузова автосамоскида та ковша екскаватора в межах від 4 до 6–8. Будь-які порушення цього діапазону ведуть до різкого зниження ефективності: при відношенні менше 4 зростають допоміжні втрати часу на маневрування, а при відношенні понад 8 формуються затяжні черги транспорту.

Систематизація передових рішень провідних гірничодобувних країн показала, що в умовах глибоких кар'єрів стабільність та ритмічність ЕАК забезпечується переважно впровадженням цифрових технологій.

На основі змодельованих даних та графічних залежностей показників використання обладнання встановлено наступне:

1. Просте збільшення вантажопідйомності самоскидів зі 110 т до 180 т в умовах класичного ручного керування не веде до суттєвого зростання ефективності ЕАК. Коефіцієнт використання екскаваторів підвищується вкрай незначно (на 0,01–0,02) для ЕКГ-10 та ЕКГ-15, а

для Hitachi EX3600 навіть знижується з 0,56 до 0,55 через некероване накопичення машин у чергах на глибоких горизонтах.

2. Впровадження дистанційно керованих та автономних самоскидів дозволяє повністю усунути організаційні простої, пов'язані з людським чинником (перезміни, обідні перерви, варіація стилю водіння), забезпечивши стабільне зростання коефіцієнта на 14,5–15,8 %: для ЕКГ-10 до 0,68, для ЕКГ-15 до 0,66, для Hitachi EX3600 до 0,63.

3. Коефіцієнт використання автотранспорту підтверджує негативний вплив дисбалансу місткостей при ручному керуванні 180 т машинами (зниження до 0,86–0,87), проте перехід на дистанційне відновлює його до 0,89–0,90 для канатних екскаваторів та виводить на рівень 0,94 у парі з гідравлічним екскаватором Hitachi EX3600.

Для забезпечення максимальної ритмічності, усунення нераціональних простоїв та зниження собівартості транспортування на глибоких горизонтах Первомайського кар'єру доцільно формувати навантажувально-транспортні комплекси на базі високопродуктивних гідравлічних екскаваторів типу Hitachi EX3600 та роботизованого автотранспорту вантажопідйомністю 180 т із дистанційним керуванням.

Таким чином, отримані результати доводять, що найбільш ефективним і ритмічним варіантом для умов Першотравневого кар'єру є формування комплексу на базі гідравлічного виймального обладнання надвисокої продуктивності (класу Hitachi EX3600) та роботизованого автотранспорту з дистанційним керуванням. Така інтегрована система забезпечує максимальне взаємне узгодження навантажувально-транспортних циклів, зводячи простої до мінімуму та гарантуючи високу ритмічність гірничих робіт на глибоких горизонтах. Результати досліджень можуть бути корисними для проектних установ і технічних відділів, зокрема, глибоких залізородних кар'єрів групи Метінвест.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дриженко А. Ю. Відкриті гірничі роботи : підручник. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2014. 590 с.
2. Особливості застосування циклічно-потоккової технології на глибоких залізородних кар'єрах / О. М. Собко та ін. Гірничий вісник. 2022. № 16 (4). С. 120–128.
3. Фролов О. О., Косенко Т. В. Відкриті гірничі роботи. Ч. I. Процеси відкритих гірничих робіт : навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 151 с.
4. Сучасні підходи до оптимізації взаємодії екскаваторів і кар'єрних самоскидів на сучасних щебеневих кар'єрах / О. Пігнастий та ін. Журнал технічних наук. 2025. № 2 (96). С. 360–365.
5. Zhang Y., Zhao Z., Bi L., Wang L., Gu Q. Determination of truck–shovel configuration of open-pit mine: A simulation method based on mathematical model. Sustainability. 2022. Vol. 14, No. 19. Art. 12338. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141912338>
6. Wang X., Dai Q., Bian Y., Xie G., Xu B., Yang Z. Real-time truck dispatching in open-pit mines. International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2023. Vol. 37, No. 7. P. 504–523. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2023.2201120>
7. An Agent-based System for Truck Dispatching in Open-pit Mines / G. I. Ahumada et al. Dynamics in Logistics. 2020. P. 1–12.
8. Reducing Machine Downtime in Mining / Cummins Inc. 2021. URL: <https://www.cummins.com/en-na/news/2021/03/23/reducing-machine-downtime-mining>
9. World's First Fleet of 100 5G-A Autonomous Electric Mining Trucks Launches in Hulunbuir / Huawei Technologies Co., Ltd. 2025. URL: <https://www.huawei.com/en/news/2025/5/yimin-huaneng-intelligent-mining>

10. Fortescue Metals implements new Caterpillar autonomous mining solution // View-point: perspectives on modern mining (a publication of Caterpillar Global Mining). – 2013 (Is-sue 10). – P. 2-3.

11. Iron ore miner CSN Mineracao gains productivity with remote control dozing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://im-mining.com/2020/04/15/iron-ore-miner-csn-mineracao-gains-productivity-remote-control-doizing>

12. Robotics and remote mining vehicles innovators. Mining Technology. – Режим доступу: <https://www.mining-technology.com/data-insights/innovators-robotics-remote-mining-vehicles-mining/?cf-view>

13. Офіційний сайт ПрАТ «Північний ГЗК». URL: <https://sevgok.metinvestholding.com/ua>

14. Паранько І. С., Плотніков М. І. Залізорудні родовища Криворізького басейну. Кривий Ріг : КНУ, 2005.

15. Геологічна будова та сучасні геолого-економічні й екологічні умови експлуатації родовищ залізистих кварцитів Криворізького басейну: монографія / Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України. К., 2015. 144 с.

16. Блізнюков В. Г., Луценко С. О., Пижик А. М. Гірнична справа: підручник для вузів. 3-е вид., перероб. і доп. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д. О. 2014. 424 с.

17. Бизов В. Ф. Основи технології гірничого виробництва. Кривий Ріг: Мінерал, 2000. Т. 4: Виробничі процеси. 246 с.

18. Дриженко А. Ю., Шустов О. О. Відкриті гірничі роботи: терміни та їх визначення : навч. посіб. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2010. 167 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/bitstreams/3daa92f8-d39b-4d7a-bf35-7f8ac0e83e6c/download>

19. Відкриті гірничі роботи: Ч. І. Процеси відкритих гірничих робіт: навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво»/ О.О.Фролов,

Т.В.Косенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 151 с.

20. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина 1. Гірничі роботи, ліквідація гірничодобувних підприємств. Техніко - економічна оцінка та показники. Київ, «Міністерство промислової політики України», 2007.

21. Промисловий транспорт: СП 37.13330.2012. Актуалізована редакція СНиП 2.05.07-91. - 2012. – 196 с.