

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

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП «Відкрита розробка корисних  
копалин»

Ольга БОГОМАЗ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

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

**на тему** «Удосконалення комбінованих автозалізничних транспортних  
схем постачання залізородного концентрату на прикладі ПРАТ «ІНГЗК»

Керівник роботи

Світлана САХНО

Консультант від  
бази практики

Роман ХОЛОД

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

Здобувач

Павло БУЛАВКА

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

Голова ЕК

Ігор ТОНЄВ

Запоріжжя 2026



## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та аналіз інформації, аналіз літературних джерел	Лютий 2026 р.	Виконано
2	Аналіз методичних підходів до оцінки схем транспортування при відкритій розробці родовищ	Березень 2026 р.	Виконано
3	Аналіз сучасного стану гірничих робіт ПРАТ "Інгулецький ГЗК" і його транспортної схеми	Квітень 2026 р.	Виконано
4	Удосконалення транспортного ланцюга виробництва залізорудного концентрату на кар'єрі ПРАТ «ІНГЗК»	Травень 2026 р	Виконано
5	Оформлення розділу з охорони праці, формування загальних висновків та списку джерел	Травень 2026 р	Виконано
6	Передзахист роботи та подання роботи керівнику	Червень 2026 р.	На захист

Керівник роботи

Світлана САХНО

Здобувач

Павло БУЛАВКА

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНКИ СХЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ПРИ ВІДКРИТІЙ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ	9
1.1 Аналіз загальноприйнятих критеріїв оцінки проєктних	9
1.2 Вивчення і оцінка транспортних схем кар'єрів Кривбасу	13
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ГІРНИЧИХ РОБІТ ПРАТ "ІНГУЛЕЦЬКИЙ ГЗК" І ЙОГО ТРАНСПОРТНОЇ СХЕМИ	30
2.1. Загальна характеристика і геологічна будова родовища	30
2.2 Характеристика діяльності підприємства та його транспортної структури	33
2.3 Технічна модернізація та інфраструктурне забезпечення транспортного комплексу ПрАТ «ІнГЗК»	34
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЛАНЦЮГА ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТУ НА КАР'ЄРІ ПРАТ «ІНГЗК»	40
3.1. Інженерний аналіз технологічних підходів	40
3.2. Оцінка впровадження автоматизованого високошвидкісного комплексу навантаження	44
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	50

## АНОТАЦІЯ

Булавка П.П. Удосконалення комбінованих автозалізничних транспортних схем постачання залізородного концентрату на прикладі ПРАТ «ІНГЗК». 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 процесу транспортування вантажів при виготовленні залізородного концентрату на кар'єрі ПРАТ «Інгулецький ГЗК».

**Об'єкт дослідження** – процес транспортування гірничої маси в кар'єрі ПРАТ «Інгулецький ГЗК».

**Предмет дослідження** – параметри транспортної схеми і технічних агрегатів в кар'єрі ПРАТ «Інгулецький ГЗК».

### **Зміст роботи:**

У першому розділі виконано аналіз методичних підходів до оцінки схем транспортування при відкритій розробці родовищ, на основі яких виконана оцінка транспортних схем кар'єрів Кривбасу.

У другому розділі проаналізовано сучасний стан гірничих робіт, геологічну характеристику родовища, а також технічну модернізацію та інфраструктурне забезпечення транспортного комплексу ПРАТ «ІНГЗК»

У третьому розділі розділі проведено інженерний аналіз технологічних підходів щодо удосконалення транспортного ланцюга виробництва залізородного концентрату, на основі якого обґрунтовано доцільність впровадження автоматизованого високошвидкісного комплексу навантаження концентрату.

**Ключові слова:** транспортування кар'єрних вантажів, автосамоскид, залізничний транспорт, вантажопідйомність, критерій, циклічно-поточна технологія.

## ВСТУП

Гірничо-металургійний комплекс України традиційно є однією з ключових галузей національної економіки, яка забезпечує вагомую частку експортного потенціалу країни та формує основу для розвитку суміжних виробництв. У сучасних умовах жорсткої конкуренції на світових ринках залізорудної сировини та значної динамічності економічних процесів особливого значення набуває підвищення ефективності роботи гірничо-збагачувальних підприємств. ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» завжди посідав провідні позиції у вітчизняній залізорудній промисловості, спеціалізуючись на видобутку залізистих кварцитів та виробництві високоякісного залізорудного концентрату.

Стабільна діяльність такого масштабного підприємства безпосередньо залежить від чіткості, надійності та безперебійності роботи логістичної системи, яка пов'язує технологічні процеси видобутку, збагачення та безпосередньої доставки готової продукції споживачам. Проте сьогодні залізорудна галузь змушена функціонувати в умовах серйозних зовнішніх викликів, пов'язаних із вимушеною перебудовою традиційних логістичних маршрутів, обмеженням доступу до глибоководних морських портів та переорієнтацією значної частини експортних потоків на сухопутні кордони, що висуває принципово нові вимоги до гнучкості транспортних систем підприємств.

У структурі собівартості готового концентрату витрати на транспортування становлять вагомую частку, тому будь-яка неефективність на логістичному етапі суттєво знижує конкурентоспроможність продукції комбінату. На ПрАТ «ІНГЗК» історично сформувалася складна комбінована транспортна система, в

якій взаємодіють автомобільний та залізничний транспорт. На сьогоднішній день функціонування цих схем постачання стикається з низкою суттєвих проблем, які потребують невідкладного вирішення. До них належать високий рівень зносу рухомого складу та елементів транспортної інфраструктури, значні витрати енергетичних ресурсів, а також недостатній рівень координації між автомобільним та залізничним сегментами у вузлових пунктах перевантаження. Нерівномірність подачі вагонів, виникнення непродуктивних простоїв техніки в очікуванні вантажних операцій та обмежена пропускна здатність окремих внутрішньозаводських станцій призводять до появи логістичних бар'єрів, які стримують загальний темп відвантаження концентрату.

Крім того, постійне зростання вартості пально-мастильних матеріалів та електроенергії, разом із посиленням екологічних вимог до промислового транспорту в межах міських агломерацій, змушує шукати нові шляхи мінімізації витрат та техногенного навантаження.

З огляду на це, актуальність теми дослідження зумовлена потребою в удосконаленні існуючих комбінованих автозалізничних транспортних схем ПрАТ «ІНГЗК» до мінливих умов внутрішнього та зовнішнього ринків. Оптимізація параметрів взаємодії різних видів транспорту, впровадження раціональних логістичних рішень, узгодження графіків роботи кар'єрного, фабричного та магістрального транспорту дозволять суттєво знизити загальні транспортні витрати, скоротити час перебування продукції в дорозі та підвищити ритмічність її постачання споживачам.

Пошук і наукове обґрунтування внутрішніх резервів ефективності транспортного комплексу підприємства є критично важливим завданням, оскільки від його успішного вирішення залежить стабільність роботи не лише самого комбінату, а й надійність забезпечення сировиною вітчизняних та європейських металургійних

підприємств. Це робить розробку практичних рекомендацій щодо вдосконалення транспортних схем своєчасним і затребуваним кроком для сучасної гірничої науки та практики.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНКИ СХЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ПРИ ВІДКРИТІЙ РОЗРОБЦІ РОДОВИЩ

### 1.1 Аналіз загальноприйнятих критеріїв оцінки проєктних рішень

Підвищення точності при прийнятті проєктних рішень є одним із найважливіших завдань для будь-якої проєктної організації, оскільки від правильності цих розрахунків безпосередньо залежать майбутні техніко-економічні показники підприємства, що проєктується. Вирішити це питання можна через визначення чітких критеріїв, які дозволять оцінити об'єкти найбільш повно та комплексно.

При оцінці проєктних рішень зазвичай вважається, що показник або критерій ефективності обов'язково має відповідати кільком базовим умовам. По-перше, він повинен мати чітке кількісне вираження, тобто можливість точного відображення в цифрах. По-друге, такий критерій має бути чутливим і помітно реагувати на будь-які зміни параметрів, що характеризують робочу операцію. Крім того, важливими вимогами є невелика дисперсія, що означає мінімальне розсіювання отриманих результатів, а також загальна простота і зрозумілість алгоритму для виконання практичних розрахунків.

Сьогодні під час аналізу та порівняння різних технічних і технологічних варіантів у проєктній практиці зазвичай застосовують два основні методи оцінки ефективності. Перший підхід базується на техніко-економічній оцінці прибутку, де головною метою інженерів є його максимізація ( $f \rightarrow \max$ ). Другий метод орієнтований на ретельну оцінку витрат ресурсів і спрямований на їхню максимальну мінімізацію ( $f \rightarrow \min$ ).

Коли розглядають різні варіанти розвитку гірничого проєкту, найчастіше використовують три стандартні критерії техніко-економічної оцінки. До них належать показник чистої теперішньої вартості (NPV), загальний термін окупності капіталовкладень, а також

показник внутрішньої норми прибутковості інвестицій (IRR). Водночас деякі замовники та інвестори висувають додаткові вимоги й просять обов'язково застосовувати критерій оцінки ефективності на одиницю інвестованих коштів, щоб чітко бачити фінансову віддачу від кожної вкладеної гривні.

Застосування показника чистої теперішньої вартості (NPV) дозволяє оцінити сучасну величину економічного ефекту від майбутньої розробки родовища корисних копалин. Цей критерій допомагає зіставити обсяг початкових капітальних вкладень у гірничий проєкт із загальною сумою чистого грошового потоку, який підприємство згенерує за весь час своєї експлуатації [1]. Якщо капітальні інвестиції здійснюються одноразово на початковому етапі, розрахунок показника виконують за такою формулою (1.1):

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+E)^t} - K \quad (1.1)$$

У цьому рівнянні  $K$  означає загальну суму капітальних інвестицій у гривнях,  $CF_t$  показує чистий грошовий потік у конкретному  $t$ -му році (грн),  $E$  виступає прийнятою ставкою дисконту, а  $T$  відображає загальний розрахунковий період роботи проєкту в роках. Якщо отримане за конкретним варіантом значення NPV є позитивним, то такий проєкт вважається економічно вигідним і його доцільно розглядати як перспективний сценарій розвитку виробництва. Від'ємне значення показника свідчить про те, що розрахований варіант є неефективним і принесе збитки [1].

Ще одним важливим індикатором для аналізу є внутрішня ставка прибутковості (IRR), яка є такою ставкою дисконтування, за якої поточна вартість очікуваних грошових потоків повністю зрівнюється з поточною вартістю інвестицій, тобто чиста теперішня вартість дорівнює нулю [1]. Завдяки цьому показнику можна визначити резерви

безпеки проекту, які розраховують як різницю між знайденою внутрішньою ставкою прибутковості та нормативною нормою прибутковості. Чим більшим є цей резерв, тим менш ризикованим та стійкішим є запланований проект розробки. У загальному вигляді внутрішню ставку прибутковості ( $E_{BH}$ ) знаходять за допомогою розв'язання такого рівняння (1.2):

$$\sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+E_{BH})^t} = \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1+E_{BH})^t} \quad (1.2)$$

У даному випадку  $K_t$  означає суму капітальних інвестицій, вкладених у конкретному  $t$ -му році (грн),  $CF_t$  є сумою чистого грошового потоку за цей же рік (грн), а  $T$  показує загальну тривалість реалізації проекту в роках [1].

Оцінка доцільності реалізації інвестиційного проекту на основі внутрішньої ставки прибутковості передбачає її обов'язкове зіставлення із базовим нормативним показником рентабельності капіталу — бар'єрним коефіцієнтом  $HR$ . Залежно від отриманого співвідношення цих величин інженер-проектувальник ухвалює відповідне рішення щодо долі гірничого підприємства [1].

Гірський проект вважається повністю прийнятним і фінансово вигідним, якщо розрахована ставка  $IRR$  перевищує встановлений бар'єрний коефіцієнт  $HR$ . У протилежному випадку, коли рівень  $IRR$  виявляється меншим за  $HR$ , варіант розвитку виробництва оцінюється як неефективний і відхиляється. Якщо ж ці показники є рівними ( $IRR = HR$ ), економічний ефект від реалізації буде нейтральним, тому інвестор може ухвалювати будь-які рішення, спираючись на додаткові нефінансові або соціальні чинники [1].

Разом із тим, практичне використання критерію внутрішньої ставки прибутковості має певні обмеження, які обов'язково слід

враховувать під час інженерних розрахунків. Вони пов'язані з тим, що очікувана вартість капіталу зазвичай не залишається незмінною протягом усього життєвого циклу підприємства, а самі чисті грошові потоки часто є неоднорідними та нерегулярними. Крім того, через математичні особливості розрахунку при змінних грошових потоках може виникати ситуація із безліччю значень *IRR* для одного об'єкта. Варто зауважити: якщо порівняння альтернативних варіантів проекту за критеріями *NPV* та *IRR* призводить до протилежних висновків, перевагу завжди слід віддавати показнику чистої теперішньої вартості, оскільки він точніше відображає абсолютний приріст капіталу [1].

Важливим індикатором швидкості повернення вкладених коштів у гірничій практиці є термін окупності інвестицій. Цей показник визначає часовий період від початкового моменту фінансування проекту до моменту, коли накопичений чистий дохід повністю покриє перші капітальні витрати. Для базових умов, коли річні грошові надходження є стабільними, цей параметр можна розрахувати за такою формулою (1.3):

$$PP = \frac{T}{CF} \quad (1.3)$$

У цій формулі *T* відображає сумарний обсяг капітальних інвестицій у грошовому вираженні (грн), а *CF* показує величину чистого грошового потоку за рік (грн/рік).

Поряд із оцінкою загальної прибутковості, велике значення при порівнянні варіантів має аналіз ефективності використання ресурсів. Для цього застосовують систему питомих критеріїв, серед яких найчастіше виділяють питомі капітальні витрати, питомі експлуатаційні витрати, а також питомі приведені витрати. Усі ці показники вимірюються в грошових одиницях (на тонну або кубічний метр), які

обираються безпосередньо замовником чи інвестором проекту відповідно до вимог технічного завдання.

У загальному математичному вигляді критерій оцінки витрат ресурсів на одиницю продукції можна представити у такому вигляді (1.4):

$$c = \frac{V}{Q} \quad (1.4)$$

де  $V$  відповідає загальним витратам конкретного ресурсу в установлених одиницях, а  $Q$  означає обсяг видобутої або переробленої гірничої маси, виражений у кубічних метрах або тоннах.

## 1.2 Вивчення і оцінка транспортних схем кар'єрів Кривбасу

Визначення однозначної ефективності функціонування конкретної транспортної схеми кар'єру є досить складним науково-практичним завданням, тому в інженерній практиці найчастіше оцінюють саме порівняльну ефективність. Для ілюстрації цього підходу доцільно розглянути питому вагу транспортних витрат у загальній собівартості видобутку на залізородних кар'єрах Криворізького басейну [2]. За наявними статистичними даними, лідером за цим показником є Петровський кар'єр ПрАТ «ЦГЗК», де частка транспорту досягає 69 %. Дещо нижчі, але все одно значні показники фіксуються на Артемівському кар'єрі ПрАТ «ЦГЗК» — 64 %, Первомайському кар'єрі ПрАТ «Північний ГЗК» — 56 % та Глеєватському кар'єрі ПрАТ «ЦГЗК» — 55 %. Найменше значення серед аналізованих підприємств має Ганнівський кар'єр ПрАТ «Північний ГЗК», де транспортні витрати становлять 50 % від загальної собівартості видобутку [2].

Аналізуючи ці цифри, з одного боку, можна зробити висновок про відносно високу ефективність організації логістики на Ганнівському кар'єрі, адже він демонструє мінімальну частку транспортних витрат у

структурі собівартості порівняно з іншими аналогічними підприємствами. Проте, з іншого боку, такий критерій є досить умовним і не може повноцінно відображати якість роботи всього гірничого комплексу. Низька питома вага транспортних видатків не завжди свідчить про їхню реальну оптимізацію, оскільки іноді це є лише наслідком нераціонального ведення гірничих робіт на інших технологічних етапах. Таке неефективне управління штучно роздуває загальну вартість видобутку руди і тим самим автоматично знижує відсоткову частку самого транспорту.

Для більш точної оцінки роботи технологічного транспорту, яка б не залежала від загальних результатів діяльності всього кар'єру, доцільно використовувати інші специфічні індикатори. Першим із них є натуральний показник — вантажообіг транспортного цеху, який вимірюється в тонно-кілометрах і відображає фактичний обсяг виконаної роботи як добуток маси перевезеної гірничої маси в тоннах на відстань її транспортування. Другим виступає вартісний показник, що являє собою сукупні фінансові витрати транспортного підрозділу на ведення своєї виробничої діяльності для забезпечення планового обсягу виробництва. Нарешті, найбільш об'єктивним для порівняння є питомий показник, який визначає витрати транспортного цеху з розрахунку на одну одиницю виконаного обсягу виробництва, тобто собівартість одного тонно-кілометра.

З метою проведення детального порівняльного аналізу доцільно оцінити та зіставити виробничу діяльність транспортних підрозділів Петровського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК» та кар'єру ПрАТ «Інгулецький ГЗК». Головні експлуатаційні та економічні індикатори, які характеризують ефективність їхньої роботи, узагальнено та представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Комплексні показники роботи транспортних цехів Петровського та Інгулецького кар'єрів [3]

Показник	Петровський кар'єр	Інгулецький кар'єр
Обсяг вантажообігу (натуральний показник), млн. ткм:		
- автотранспорт	67,8,6	184,2
- залізничний транспорт	321,7	471,3
Загальні транспортні витрати, млн грн:		
- автотранспорт	114,8	301,5
- залізничний транспорт	188,1	175,4
Питома собівартість доставки:		
- автотранспорт	2,64	2,19
- залізничний транспорт	0,79	0,54

Детальний аналіз наведених у таблиці 1.1 даних дозволяє наочно підтвердити вищу відносну ефективність функціонування залізничного транспорту на підприємстві ПрАТ «ІНГЗК». Слід наголосити, що залізничний цех цього комбінату демонструє найбільш оптимальні експлуатаційні параметри. При виконанні обсягу вантажообігу, який в 1,4 раза перевищує аналогічний виробничий показник залізничного підрозділу Петровського кар'єру, сукупні операційні витрати Інгулецького ГЗК зростають лише на 4 % [3].

Головним чинником формування таких сприятливих показників є успішне впровадження та експлуатація на кар'єрі ПрАТ «ІНГЗК» прогресивнішої електровозної тяги. Натомість логістична схема Петровського кар'єру досі базується на використанні автономного локомотивного парку з дизельними двигунами, тобто тепловозах. Зважаючи на це, можна зробити обґрунтований висновок, що перехід на електрифікацію кар'єрного залізничного сполучення в аналогічних гірничо-геологічних умовах здатний забезпечити суттєве зниження

собівартості транспортування однієї одиниці роботи (1 ткм) орієнтовно на 27 % [3, 4].

Поряд із технологічними чинниками помітну роль у зниженні питомої собівартості відіграє класичний ефект масштабу виробництва. Проте, якщо в основному технологічному циклі з випуску товарної руди або концентрату кожна додатково вилучена й перероблена одиниця корисного компонента генерує прямий супутній дохід, то в межах транспортного цеху збільшення обсягів вантажообігу має зовсім іншу економічну природу. При нарощуванні фізичної маси перевезеної гірської породи зростання тонно-кілометрів відображає корисну й продуктивну роботу логістичної системи. Якщо ж збільшення показника вантажообігу відбувається через подовження траси перевезення внаслідок нераціонального планування транспортних комунікацій чи запізнення розкривних робіт, то такий приріст стає непродуктивним і лише збільшує загальні збитки підприємства.

З огляду на це, використання собівартості одного тонно-кілометра як універсального та єдиного критерію для оцінки якості роботи кар'єрного транспорту є методологічно не зовсім коректним. Його низьке абсолютне значення не завжди свідчить про реальну технологічну оптимальність процесів, і тим паче цей показник не можна розглядати як вичерпну характеристику досконалості самої просторової транспортної схеми відкритої розробки.

Перед безпосереднім аналізом вартісних індикаторів як критеріїв оптимізації виникає потреба чітко розмежувати наукові поняття «ефективність роботи кар'єрного транспорту» та «ефективність транспортної схеми кар'єру». Під першим терміном слід розуміти рівень внутрішньої організації та продуктивності конкретних структурних підрозділів (автомобільного, залізничного цехів) або окремих конвеєрних ділянок комплексу ЦПТ. Цей індикатор за своєю суттю є екстенсивним, оскільки він безпосередньо пов'язаний із

масштабними кількісними трансформаціями в межах наявної інфраструктури [1].

Поетапне підвищення ефективності роботи транспортних цехів переважно залежить від своєчасного впровадження внутрішніх організаційно-технічних заходів. Вони мають бути спрямовані на загальну модернізацію робочих процесів, мінімізацію поточних експлуатаційних витрат та інтенсифікацію використання техніки. До таких рішень належать оптимізація управлінської структури підрозділів із виведенням нерентабельних або непрофільних служб, максимальне підвищення коефіцієнта використання корисної вантажопідйомності машин, суворе нормування витрат паливно-мастильних матеріалів, а також системне оновлення діючого парку сучасними інноваційними зразками гірничої техніки.

Зазначені організаційно-технічні заходи, хоч і покращують поточні показники роботи транспортного підрозділу, зазвичай не приносять докорінних структурних змін у виробництво. Відповідно, їхня практична реалізація не потребує значних капітальних інвестицій і здійснюється у відносно короткі терміни.

Водночас суто кількісний підхід до підвищення ефективності роботи транспорту має свої природні межі й рано чи пізно повністю вичерпує свій потенціал. За певних гірничотехнічних умов навіть максимально оптимізований автомобільний транспорт починає програвати за економічними показниками залізничному, навіть якщо останній організований не на найвищому рівні. Це пояснюється тим, що для кожного окремого виду кар'єрного транспорту існує своя технологічно виправдана зона застосування, а загальна ефективність системи залежить саме від раціонального поєднання цих зон у просторі виробки [1].

Таким чином, під ефективністю транспортної схеми кар'єру слід розуміти досягнення найбільш оптимального поєднання зон роботи

різних видів транспорту. На відміну від звичайного покращення роботи цеху, цей індикатор є інтенсивним, оскільки він безпосередньо відображає глибокі якісні трансформації у видобувній системі.

Рівень такої ефективності напряму залежить від модернізації самої технологічної схеми переміщення гірничої маси та інтеграції нових видів транспорту. Такі зміни можуть мати як локальний характер, наприклад, перенесення перевантажувальних пунктів на нижчі робочі горизонти, так і глобальний масштаб, що передбачає повну відмову від залізничних колій на певній ділянці кар'єру та спорудження натомість сучасного комплексу циклічно-потокової технології (ЦПТ).

У більшості випадків подібні масштабні реструктуризації суттєво переформатовують наявну логістичну інфраструктуру гірничого підприємства. Через це їхнє впровадження завжди пов'язане з великими капіталовкладеннями та тривалим періодом проектування і будівництва об'єктів.

Проте саме якісний підхід до оптимізації має значно більший економічний резерв порівняно з простим кількісним нарощуванням потужностей. Саме тому під час пошуку можливостей для зниження собівартості видобутку руди в міру постійного заглиблення фронту гірничих робіт головну увагу необхідно приділяти саме системній реконструкції всієї транспортної схеми кар'єру.

Чітке розділення термінів «ефективність роботи кар'єрного транспорту» та «ефективність транспортної схеми» дозволяє суттєво спростити процес пошуку оптимального технологічного варіанта переміщення гірничої маси. У межах такого підходу стає можливим абстрагуватися від внутрішніх показників роботи окремих транспортних цехів, прийнявши за умову, що вони вже функціонують на певному базовому рівні оптимальності. Це дозволяє повністю зосередити дослідницьку увагу безпосередньо на логістичних та просторових параметрах самої транспортної схеми кар'єру [5].

Традиційні вартісні індикатори, такі як поточні експлуатаційні витрати автомобільного, залізничного чи конвеєрного транспорту, зазвичай описують діяльність лише окремих структурних підрозділів. Проте для комплексної характеристики всієї транспортної схеми необхідно аналізувати саме сукупність усіх технологічних видатків підприємства на переміщення вантажів. У такому випадку головним критерієм ефективності інтегрованої системи виступає прагнення сумарних транспортних витрат до свого мінімального значення [6].

Водночас для проведення коректного порівняльного аналізу економічних показників різних кар'єрів їх необхідно звести до порівнянного вигляду. Раніше для досягнення цієї мети загальні видатки найчастіше розраховували питома на обсяг видобутої корисної копалини. При цьому безпосередній обсяг вилучених пухких та скельних розкритих порід у знаменнику формули ігнорувалася, хоча фінансові витрати на їхнє переміщення повністю включалися до загальної суми, штучно збільшуючи підсумковий питоми показник. Подібний метод дозволяв оцінювати логістику з позиції загальної раціональності ведення гірничих робіт, де головною метою було максимальне збільшення видобутку руди за мінімальних обсягів вилучення порожньої породи.

Проте під час аналізу ефективності безпосередньо самої схеми транспортування співвідношення між обсягами корисної копалини та розкриття відходить на другий план. За такого підходу першочерговою метою стає завдання перемістити всю витягнуту з надр гірничу масу — як корисну копалину до переробного комплексу, так і порожні породи до місць їхнього складування — з мінімально можливими фінансовими витратами.

Щоб привести транспортні витрати порівнюваних кар'єрів до єдиного знаменника, запропоновано розраховувати їх питому величину відносно сукупного обсягу переміщеної гірничої маси. Такий

методичний підхід дозволяє оцінити чисті витрати на транспортування, враховуючи як корисну копалину, так і розкривні породи. Математично розрахунок собівартості перевезення однієї тонни вантажу виконується за формулою (1.5):

$$C_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{Q_A + Q_v} \quad (1.5)$$

У цьому рівнянні  $C_d$  відображає собівартість транспортування однієї тонни гірничої маси (грн/т), а  $C_i$  означає річні експлуатаційні витрати окремого виду транспорту, наприклад, автомобільного, залізничного чи конвеєрного (грн). Параметр  $n$  показує загальну кількість видів транспорту, що одночасно використовуються на підприємстві, тоді як  $Q_A$  та  $Q_v$  відповідають річним обсягам видобутої руди та вилученої з кар'єру порожньої породи відповідно (т) [1].

Вихідні технологічні показники, необхідні для виконання аналізу, а також підсумкові результати розрахунку собівартості транспортування однієї тонни гірничої маси для Петровського та Інгулецького кар'єрів наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані та результати розрахунку собівартості транспортування гірничої маси [4]

Показник	Петрівський кар'єр	Інгулецький кар'єр
Об'єми рудної маси, млн. т	6,01	35,87
Об'єми розкривних порід, млн. т	11,94	38,97
Об'єм гірничої маси, млн. т	17,95	74,84
Витрати на транспортування, млн. грн	361,14	487,09
Питома собівартість доставки, грн	20,11	6,51

Питома собівартість транспортування гірничої маси є складним агрегованим індикатором, який об'єднує в собі велику кількість різнорідних технологічних та економічних змінних. По-перше, вона залежить від загальних обсягів переміщуваної гірничої маси, які безпосередньо визначаються масштабами видобутку корисної копалини та розкривних робіт. По-друге, на цей показник суттєво впливає внутрішня структура логістичних витрат, яка формується під дією просторового поєднання та взаємодії різних видів кар'єрного транспорту. По-третє, вона враховує сумарні експлуатаційні витрати по кожному окремому транспортному цеху підприємства.

У свою чергу, поточні витрати на функціонування кар'єрного транспорту можна представити у вигляді математичної функції. Вона відображає пряму залежність від відстані відкатки вантажів ( $R$ ), планових обсягів перевезення ( $Q$ ), а також від ринкової вартості споживаних матеріалів, паливно-мастильних ресурсів та електроенергії ( $S$ ). Описана функціональна залежність витрат конкретного виду транспорту (1.6) має такий вигляд:

$$C_i = f(R, Q, S) \quad (1.6)$$

З огляду на це, питому собівартість транспортування однієї тонни всієї гірничої маси доцільно вважати інтегральним критерієм оцінки ефективності діючої транспортної схеми кар'єру. Головною метою під час моделювання та оптимізації цієї логістичної системи є мінімізація сукупних питомих витрат (1.7):

$$C_d \rightarrow \min \quad (1.7)$$

Для наочного порівняння та оцінки ефективності різних логістичних рішень доцільно розглянути фактичні показники

собівартості транспортування однієї тонни гірничої маси на низці видобувних підприємств Криворізького басейну. Найнижчі витрати демонструє кар'єр ПрАТ «ІНГЗК», де цей показник становить 6,97 грн. Дещо вищою є собівартість на об'єктах ПрАТ «Північний ГЗК»: на Ганнівському кар'єрі вона дорівнює 7,05 грн, а на Першотравневому — 8,95 грн [4].

Найменш ефективну ситуацію зафіксовано на Петровському кар'єрі ПрАТ «ЦГЗК», де аналогічні питомі витрати є найвищими і сягають 19,27 грн. Таке суттєве здорожчання процесу переміщення руди та розкриву на Петровському кар'єрі безпосередньо пов'язане з особливостями його технічного оснащення, а саме з повною відсутністю на підприємстві ефективного електрифікованого залізничного транспорту та сучасного конвеєрного комплексу циклічно-потокової технології (ЦПТ) [3-4].

Головною проблемою при використанні вартісних показників є забезпечення порівнянності цін. Коли виникає потреба проаналізувати транспортні витрати за кілька років, обов'язково доводиться враховувати інфляційні процеси. Крім того, ціни на паливо, електроенергію, допоміжні матеріали та сервісне обслуговування можуть суттєво відрізнятись залежно від конкретних постачальників, що безпосередньо впливає на підсумкову собівартість. Додаткові труднощі виникають при зіставленні результатів роботи гірничодобувних підприємств із різних країн, оскільки постійні коливання валютних курсів значно викривляють фінансову звітність. Найбільш оптимальним виходом у такій ситуації є відхід від мінливих грошових індикаторів і перехід до використання стабільних натуральних показників.

За такого підходу раніше розглянуту цільову функцію витрат можна трансформувати та представити у натуральному вираженні (1.8). У цьому випадку грошові видатки замінюються показником

вантажобігу, який відображає роботу транспортного цеху в її чистому фізичному вимірі. Приймається наукове припущення, що головними «витратами» технологічного транспорту є саме обсяг тонно-кілометрів, затрачених на переміщення вилученої з кар'єру гірничої маси:

$$W = f(R, Q) \rightarrow \min \quad (1.8)$$

де  $W$  – вантажобіг транспортного комплексу в натуральному вираженні (ткм),  $R$  – відстань транспортування гірничої маси (км), а  $Q$  – обсяг перевезеного вантажу (т).

Впровадження такого допущення дозволяє об'єктивно порівнювати ефективність транспортних схем різних гірничих підприємств без необхідності складного перерахунку діючих цін, коригування на рівень інфляції чи врахування різниці у валютних курсах. Запропонований методичний підхід суттєво спрощує аналітичні розрахунки, роблячи оцінку проєктних рішень більш точною та незалежною від зовнішніх економічних факторів.

Для практичної оцінки запропонованого підходу доцільно проаналізувати питомий вантажобіг на транспортування однієї тонни гірничої маси, який відображає витрати логістичної системи в натуральному вираженні. Порівняльні дані щодо цього показника для низки провідних гірничорудних підприємств узагальнено та представлено в таблиці 1.3. Цей індикатор дозволяє безпосередньо оцінити геометричну та технологічну складність діючих транспортних схем кар'єрів без прив'язки до мінливих фінансових чинників.

Таблиця 1.3 – Витрати на транспортування однієї тонни гірничої маси

Підприємство	Питома вартість транспортування у натуральних показниках, ткм
Полтавський ГЗК	11,5
Південний ГЗК	11,37
Інгулецький ГЗК	8,40
Ганнівський кар'єр	9,86
Першотравневий кар'єр	11,25
Петровський кар'єр	19,25
Стойленський ГЗК	11,27
Лебединський ГЗК	16,17

У математичному вигляді собівартість транспортування однієї тонни гірничої маси в натуральних одиницях визначається як співвідношення сумарного вантажообігу до загальних обсягів переміщеної породи. Розрахунок за цим підходом здійснюється за такою формулою (1.9):

$$C_n = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Ai} \cdot R_{Ai}) + \sum_{i=1}^n (Q_{Vi} \cdot R_{Vi})}{Q_A + Q_v} = \frac{\sum G}{\sum Q} \quad (1.9)$$

У цьому рівнянні  $C_n$  відображає собівартість транспортування однієї тонни всієї гірничої маси в натуральному вираженні,  $Q_A$  показує загальний обсяг видобутої руди, а  $Q_v$  — обсяг вилучених розкривних порід. Параметри  $Q_{Ai}$  та  $R_{Ai}$  відповідають обсягу та середній відстані перевезення руди  $i$ -тим видом транспорту, тоді як  $Q_{Vi}$  та  $R_{Vi}$  означають обсяг та середню відстань переміщення розкриву цим же видом транспорту. Змінна  $n$  фіксує кількість видів транспорту, що задіяні в кар'єрі, а  $\sum G$  та  $\sum Q$  вказують на сумарний вантажообіг та загальний обсяг залученої гірничої маси відповідно [1, 7].

Аналізуючи структуру виразу (1.9), можна дійти важливого висновку щодо фізичного змісту цього параметра. Питомий вантажообіг, крім відображення роботи транспортного цеху в натуральних одиницях, математично є не чим іншим, як середньозваженою відстанню відкатки вантажів. Цю залежність можна представити у вигляді формули (1.10):

$$C_n = R_{св} \quad (1.10)$$

де  $R_{св}$  — середньозважена відстань доставки в межах кар'єрного поля гірничої маси [1].

Отже, вартість переміщення однієї тонни гірничої маси в натуральних одиницях має двояке трактування. З одного боку, цей індикатор дозволяє оцінити, який саме обсяг транспортної роботи (у тонно-кілометрах) необхідно виконати для перевезення кожної тонни породи. З іншого боку, він прямо вказує на середню відстань, на яку фактично переміщується кожна тонна видобутої руди чи розкриву від вибою до пунктів розвантаження [8].

Таким чином, головним критерієм оцінки ефективності просторової транспортної схеми кар'єру є мінімізація питомої вартості переміщення однієї тонни гірничої маси в натуральних одиницях, що безпосередньо пов'язано з прагненням середньозваженої відстані транспортування до свого мінімуму.

У реальних виробничих умовах кожен вид кар'єрного транспорту найефективніше функціонує у своїх оптимальних технологічних зонах. Через це при великій протяжності вантажопотоків у глибоких кар'єрах виникає об'єктивна потреба в організації проміжних перевантажувальних пунктів. Унаслідок такого повторного транспортування на внутрішньокар'єрних майданчиках загальний

обсяг фактично перевезеної технікою гірничої маси починає відрізнятися від первинного об'єму вилученої з масиву породи.

Оскільки обсяги вилученої та транспортованої гірничої маси через чинник перевалки часто не збігаються, для оцінки якості транспортної схеми кар'єру пропонується використовувати ще один важливий критерій. Він безпосередньо характеризує наявність та масштаб повторних перевантажень у кар'єрі, а його оптимізація спрямована на мінімізацію коефіцієнта повторних перевантажень (1.11):

$$K_{2T} = \frac{\sum Q_T}{\sum Q} \rightarrow \min \quad (1.11)$$

де  $K_{2T}$  – коефіцієнт повторних перевантажень,  $\sum Q_T$  – сумарний обсяг фактично перевезеної автомобільним, залізничним чи конвеєрним транспортом гірничої маси, а  $\sum Q$  – первинний обсяг гірничої маси, що виймається з кар'єру [8].

У процесі аналізу та проектування транспортних систем глибоких кар'єрів коефіцієнт повторних перевалок  $K_{2T}$  виступає ключовим структурним індикатором. Залежно від обраної технологічної схеми та просторового розташування комунікацій, цей показник може набувати різних дискретних значень, кожне з яких має чітке інженерне обґрунтування [8].

При  $K_{2T} = 1$  спостерігається повний збіг обсягів вилученої та фактично перевезеної гірничої маси. Це свідчить про абсолютну відсутність проміжних перевалок у кар'єрному просторі, коли руда чи розкрит транспортуються безпосередньо від робочого вибою до кінцевого пункту складання, відвалу чи збагачувальної фабрики [8].

Значення  $K_{2T} = 2$  вказує на те, що сумарний обсяг виконаних транспортних перевезень удвічі перевищує первинний обсяг видобутку

з масиву. Така ситуація є класичною для комбінованих автомобільно-залізничних схем розробки. У цьому випадку гірнича маса з нижніх горизонтів спочатку доставляється автосамоскидами на проміжні перевантажувальні склади (пункти), де відбувається її тимчасове складування з наступною перевалкою у залізничні состави для підйому на поверхню [8].

Діапазон  $1 < K_{2T} < 2$  переважно фіксується на гірничих підприємствах, які активно впроваджують циклічно-потокową технологію з конвеєрним транспортом, або у випадках, коли лише певна частина загального вантажопотоку кар'єру переміщується за прямою (одноланковою) логістичною схемою. При цьому величина десяткової частини отриманого коефіцієнта чітко відображає реальну відсоткову частку гірничої маси, що зазнає повторного перевантаження на проміжних вузлах [8].

Показник  $K_{2T} > 2$  свідчить про низьку ефективність і надмірну складність діючої транспортної схеми. Така величина фіксується тоді, коли руда або розкрив на шляху до кінцевого пункту призначення проходять через кілька послідовних етапів тимчасового складування та повторних перевалок різними видами транспорту, що суттєво здорожує процес видобутку [8].

Рідкісним та аномальним для гірничої практики є випадок, коли  $K_{2T} < 1$ . Така ситуація теоретично та практично можлива лише на кар'єрах із високим рівнем автоматизації, де пухка або заздалегідь розпушена гірнича маса завантажується безпосередньо виймально-навантажувальними машинами (наприклад, роторними екскаваторами) на вибійні конвеєрні лінії без залучення будь-якого проміжного чи збирального транспорту [8-9].

Для порівняльного аналізу та оцінки ефективності просторової організації логістики різних підприємств у таблиці 1.4 наведено

розраховані значення коефіцієнта повторних перевалок для низки залізорудних об'єктів Кривбасу.

Таблиця 1.4 – Характеристика коефіцієнтів перевантажень по глибоких залізорудних кар'єрах [4]

<b>Кар'єр</b>	<b>Коефіцієнт перевантаження</b>
«Південний ГЗК»	1,37
Петровський кар'єр, ПрАТ «ЦГЗК»	2
«Полтавський ГЗК»	2,08
«Інгулецький ГЗК»	1,39
«Лебединський ГЗК»	1,51
«Михайлівський ГЗК»	1,41

Результати проведеного компаративного аналізу діяльності низки вітчизняних гірничодобувних підприємств переконливо свідчать про високу технологічну та економічну збалансованість транспортної схеми, що діє на Інгулецькому кар'єрі. У ході дослідження було визначено та верифіковано систему найбільш репрезентативних індикаторів, які дозволяють комплексно оцінити якість просторової організації транспортних потоків без викривлення результатів зовнішніми фінансовими чинниками.

Для кар'єру ПрАТ «Інгулецький ГЗК» ці базові оцінювальні параметри мають такі оптимізовані значення.

Питома собівартість транспортування однієї тонни сукупної гірничої маси становить 6,14 грн [4].

Питома вартість переміщення однієї тонни вантажу в натуральному вираженні (середнє значення вантажообігу) дорівнює 8,11 ткм [4].

Розрахунковий коефіцієнт повторних перевалок зафіксовано на рівні 1,39 [4].

Поєднання низької грошової собівартості з мінімальним коефіцієнтом повторних перевалок підтверджує раціональність інтеграції видів транспорту на підприємстві та вказує на правильне просторове розмежування зон роботи автомобільного, залізничного та конвеєрного комплексів у межах кар'єрного поля.

## **РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ГІРНИЧИХ РОБІТ ПРАТ "ІНГУЛЕЦЬКИЙ ГЗК" І ЙОГО ТРАНСПОРТНОЇ СХЕМИ**

### **2.1. Загальна характеристика і геологічна будова родовища**

Геоструктурне положення Інгулецького родовища магнетитових кварцитів визначається його приуроченістю до південного замикання Криворізького залізорудного басейну, де воно просторово та генетично входить до складу Лихманівського (Інгулецького) залізорудного району. Морфологія та просторова орієнтація рудного тіла зумовлені його локалізацією в замковій частині Лихманівської синклінальної складки, а також подальшим північним простеженням її східного крила.

Морфометричні параметри покладу демонструють чітку зональність: від південних флангів, які характеризуються максимальними показниками концентрації магнетитової мінералізації, рудний корпус простежується на відстань 5,3 км уздовж західного берегового схилу річки Інгулець. У північному напрямку спостерігається латеральне звуження покладу від 1,3 до 0,5 км, де відбувається його просторове зчленування з Інгулецьким родовищем багатих гематит-мартитових руд та супутніми дрібномасштабними покладами Лихманівської залізорудної смуги (рис. 2.1). Описана лінійна витягнутість та чітко фіксовані елементи залягання (кути падіння та простягання) виступають ключовими чинниками, що детермінують геометрію відпрацювання уступів та просторову кінематику розвитку фронту гірничих робіт [10].

У літологічному розрізі продуктивної товщі домінують метаморфізовані кварцити та сланцеві утворення з варіативними мінеральними асоціаціями. Петрографічну основу рудної товщі складають слюдисті, амфібол-біотитові та силікатно-магнетитові кварцити, які концентрують головні промислові запаси заліза з

масовою часткою корисного компонента в межах 30–48 %. Інтеркаляції тальк-карбонатних та амфібол-біотитові сланців формують малопотужні прошарки у флексурних і перехідних зонах між кварцитовими тілами, відзначаючись високими пластичними властивостями та суттєвою гетерогенністю механічних параметрів [11].

Зони локального збагачення рудного масиву приурочені до гематит-магнетитових прожилків та джеспілітових пачок. Водночас інтрузивні тіла гранітоїдів і мігматитів відіграють роль природних тектонічних екранів, створюючи складні лабіринтові конфігурації в межах експлуатаційного контуру виїмки [10].

Фізико-механічні випробування корінних порід на одновісний стиск за методикою М.М. Протодьяконова зафіксували показники міцності на рівні 20–25 МПа. Це відповідає нормативним класам міцності IV–V, обумовлюючи сприятливі геомеханічні передумови для високоефективного руйнування масиву [10, 11].

З позицій гірничої інженерної технології, лінійна морфологія покладу та висока літологічна неоднорідність рудовмісної товщі актуалізують необхідність реалізації адаптивного підходу до моделювання робочих уступів. Оптимізація просторово-геометричних параметрів (висоти та довжини кроку відпрацювання уступів) має здійснюватися на основі комплексного врахування просторової орієнтації пластів, просторової мінливості характеристик міцності масиву та чинних геомеханічних полів, включно із впливом ендегенних гідрогеологічних та термальних градієнтів.

Перспективним науково-методичним інструментом прогнозування деформаційних процесів та забезпечення стійкості укосів і бортів кар'єру є цифрове тривимірне геомеханічне моделювання, що базується на дискретизації розрахункових блоків за замкненими ізодинамічними контурами. Крім того, фундаментальне наукове обґрунтування просторової локалізації стартових і фінішних

координат очисних фронтів спирається на граничні аналітичне обмеження нерівності  $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$ .

Зазначене математичне моделювання є критично важливим для гарантування структурної цілісності природних денних покривів та довгострокової стійкості суміжних техногенних масивів.



Рис. 2.1 – Розміщення Інгулецького родовища в геологічній структурі Криворізького басейну [7]

## **2.2 Характеристика діяльності підприємства та його транспортної структури**

ПрАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат» посідає одне з провідних місць у структури гірничо-металургійного комплексу України, виступаючи одним із найважливіших галузевих підприємств держави. Профільна спеціалізація цього виробничого комплексу охоплює повний цикл поводження з мінеральною сировиною, включаючи промисловий видобуток залізистих кварцитів та їхнє наступне фабричне збагачення для отримання високоякісного залізорудного концентрату [3].

Організація матеріальних потоків на підприємстві базується на наскрізному логістично-технологічному циклі, що забезпечує безперервність та системність усього виробництва. Функціонування цього ланцюга починається безпосередньо у кар'єрі, де реалізуються первинні гірничі роботи з вилучення залізорудної сировини з масиву корінних порід.

Надалі видобута руда за допомогою комбінованих видів транспорту переміщується на промисловий майданчик збагачувальної фабрики для подальшої переробки. Безпосередньо на фабричному комплексі здійснюється основна стадія технологічного процесу — подрібнення, сепарація корисного компонента та випуск готового концентрату із заданими якісними параметрами. Фінальним етапом логістичної схеми є складське зберігання та великомасштабне відвантаження готової продукції зовнішнім контрагентам і споживачам, яке стабільно здійснюється через залізничну інфраструктуру станції «Інгулець» [4].

На сучасному етапі промислової експлуатації на ПрАТ «ІНГЗК» реалізовано класичну логістичну модель, в якій чітко розмежовані технологічні функції різних видів транспорту. Внутрішньокар'єрний

автомобільний транспорт зорієнтований переважно на обслуговування внутрішніх операційних потреб гірничого цеху та оперативну доставку матеріально-технічного забезпечення. Водночас залізничне сполучення виступає базовим магістральним каналом, який забезпечує основні обсяги відвантаження та зовнішнього збуту готового залізородного концентрату споживачам [3].

Попри стабільність такої організації потоків, функціонування транспортної системи ускладнюється через кілька критичних проблем, що негативно впливають на загальні техніко-економічні показники комбінату. Суттєвим дестабілізуючим чинником є хронічна нерівномірність подачі порожнього рухомого складу з боку державного оператора залізниці. Такі затримки провокують логістичні дисбаланси та призводять до вимушеного переповнення складських потужностей підприємства.

Не менш важливу проблему становлять високі експлуатаційні витрати, пов'язані з підтриманням працездатності кар'єрного автопарку великої вантажопідйомності, де постійно зростає вартість дефіцитних паливно-мастильних матеріалів та великогабаритних автомобільних шин. Крім того, на фінальному етапі логістичного ланцюга фіксуються відчутні втрати чистої маси готового концентрату, викликані інтенсивним пилоутворенням під час перевантаження залізородної сировини з магістральних конвеєрних ліній безпосередньо у вагони [5].

### **2.3 Технічна модернізація та інфраструктурне забезпечення транспортного комплексу ПрАТ «ІНГЗК»**

Ефективність функціонування комбінованих логістичних схем на гірничому підприємстві безпосередньо корелює з продуктивністю

кар'єрного та магістрального рухомого складу. Технологічна база Інгулецького ГЗК укомплектована високотехнологічним обладнанням провідних світових виробників, що забезпечує стабільність видобувних робіт в умовах значної глибини закладення виробок та високої інтенсивності внутрішньокар'єрних вантажопотоків.

Роль головної сполучної ланки для переміщення підірваної рудної маси, розкритих порід, а також для внутрішнього транспортування збагаченого концентрату виконують кар'єрні самоскиди надвеликої вантажопідйомності.

Організаційну основу сучасного автомобільного парку підприємства становлять кар'єрні автосамоскиди **Caterpillar 785C** та **Caterpillar 789D** (рис. 2.2).



Рис. 2.2 – Загальний вид автосамоскиду Caterpillar 789D

Зазначені транспортні одиниці характеризуються високим рівнем адаптивності до складних геомеханічних та дорожньо-технічних умов

глибокого кар'єру [3]. Їхні базові техніко-експлуатаційні параметри охоплюють корисну вантажопідйомність у діапазоні від 136 до 181 тонн, яка забезпечується потужною силовою установкою Cat 3512B або Cat 3516C потужністю понад 1400 к.с. Важливою конструктивною особливістю цих машин є інтеграція системи автоматичного керування ретардером (ARC), що забезпечує безпеку та стабільність гальмування під час руху самоскида на зтяжних спусках до глибоких робочих горизонтів Інгuleцького родовища.

Поряд із західною технікою для масового логістичного забезпечення гірничих робіт залучаються традиційні автосамоскиди **БелАЗ-75131** вантажопідйомністю 130 тонн. Головною технічною ознакою цих машин є використання електромеханічної трансмісії змінно-постійного струму. У процесі довгострокової експлуатації на комбінаті даний тип техніки продемонстрував високу ремонтпридатність у межах власних механічних майстерень підприємства, а також відносно низькі капітальні витрати на обслуговування порівняно із закордонними аналогами подібного класу [4, 19].

Залізничний транспорт у загальній технологічній схемі ПрАТ «ІНГЗК» виконує дворівневу логістичну функцію. З одного боку, локомотивний парк забезпечує стабільне внутрішньокар'єрне переміщення видобутої залізистої сировини від пунктів перевалки безпосередньо до приймальних бункерів збагачувальної фабрики. З іншого боку, магістральні залізничні колії виступають основним каналом для великомасштабного транспортування готового залізородного концентрату з промислового майданчика підприємства на зовнішню мережу загального користування АТ «Укрзалізниця» [20-21].

Тяговий агрегат ОПЕ1АМ (рис. 2.3) виступає провідною виробничою одиницею залізничного комплексу, орієнтованою на

експлуатацію безпосередньо в контурі кар'єру та на вивізних траншейних шляхах. У технічному плані зазначений агрегат є комбінованою трисекційною системою, яка складається з електровоза керування, автономної дизельної секції та моторного вагона-самоскида (думпкара).



Рис. 2.3 – Загальний вид тягового агрегату ОПЕ1АМ

Основне призначення ОПЕ1АМ полягає в обслуговуванні електрифікованих залізничних ліній із крутими керівними ухилами, що досягають 40–60 ‰. Високі енергетичні та тягові параметри локомотива дозволяють стабільно транспортувати великовагові залізничні состави масою понад 1000 тонн із глибоких виїмкових горизонтів на денну поверхню [15, 18].

Тепловози серії ТЕМ2 та ТЕМ18 виконують маневрові та вивізні функції на промислових майданчиках складів готової продукції підприємства. Головним завданням цього типу техніки є реалізація

маневрових операцій та формування повноскладових поїздів із залізорудним концентратом для їхнього подальшого відправлення на зовнішню залізничну мережу.

Силова установка маневрового тепловоза ТЕМ2 забезпечує номінальну потужність на рівні 1200 к.с. Специфіка будови ходової частини та велика зчпна маса локомотивів гарантують значні показники тягового зусилля. Це дозволяє впевнено переміщувати завантажені вагони на коліях станцій навантаження та оптимізувати тривалість логістичних операцій.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика основних транспортних одиниць ПРАТ «ІНГЗК» [15]

<b>Параметр</b>	<b>Caterpillar 789D</b>	<b>БелАЗ-75131</b>	<b>Тяговий агрегат ОПЕ1АМ</b>
Вид палива/енергії	Дизельне	Дизельне	Електрична / Дизель
Вантажопідйомність / Тяга	181 т	130 т	2300 кН (пускова)
Максимальна швидкість, км/год	54	48	65
Призначення	Доставка руди на верхніх горизонтах	Робота на середніх відстанях	Магістральний вивіз на ЗФ

Процес модернізації та підвищення ефективності комбінованих логістичних схем на підприємстві тісно пов'язаний із розв'язанням проблеми просторової та часової десинхронізації між автомобільними перевезеннями (зокрема, великовантажними самоскидами Caterpillar) та залізничним рухомим складом. Найбільш критичні затримки, відомі як технологічні «розриви» вантажопотоків, локалізовані безпосередньо у вузлах перевалки та перевантаження гірничої маси. Через відсутність оперативного взаємозв'язку між цими суміжними видами транспорту виникає дестабілізація робочого ритму, що призводить до

втрати загальної пропускної здатності навантажувальних пунктів і зниження ритмічності всього виробництва [15].

Задля мінімізації негативного впливу цього чинника та оптимізації взаємодії різних транспортних ланок пропонується інтегрувати сучасну автоматизовану систему диспетчеризації на базі GPS-моніторингу від компанії Modular Mining Systems. Дане програмно-технічне рішення передбачає комплексне оснащення спеціалізованими модулями та датчиками всього парку задіяної кар'єрної техніки. Завдяки отриманню та аналізу телеметричних даних у режимі реального часу з'являється можливість гнучко регулювати швидкісний режим руху автосамоскидів відповідно до фактичного часу підходу та маневрів залізничних потягів. Такий підхід дозволяє практично повністю нівелювати непродуктивні простой навантажувального устаткування в пунктах перевалки та забезпечити збалансоване функціонування транспортної мережі комбінату [15].

## **РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЛАНЦЮГА ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТУ НА КАР'ЄРІ ПРАТ «ІНГЗК»**

### **3.1. Інженерний аналіз технологічних підходів**

Сучасна транспортна схема доставки руди та виробництва концентрату на ПрАТ «ІНГЗК» є класичним прикладом комбінованого залізорудного логістичного ланцюжка, який об'єднує кілька взаємопов'язаних технологічних ланок. На початковому етапі видобута залізна руда збирається безпосередньо у вибоях кар'єру великовантажними кар'єрними автосамоскидами, які транспортують її до приймальних майданчиків циклічно-поточної технології (ЦПТ). Тут сировина вивантажується у потужні напівстаціонарні або стаціонарні дробильні комплекси для первинного подрібнення. Після руйнування великих шматків породи руда потрапляє на магістральний конвеєрний тракт, обладнаний високоміцними гумотросовими стрічками, який піднімає її з глибоких горизонтів на поверхню і транспортує до корпусів крупного дроблення рудозбагачувальної фабрики (рис. 3.1).

На фабриці сировина проходить повний цикл подрібнення, класифікації, магнітної сепарації та зневоднення, в результаті чого отримують готовий залізорудний концентрат. Фінальним етапом схеми є навантаження цього концентрату через спеціальні завантажувальні пристрої безпосередньо у залізничні напіввагони «Укрзалізниця» на внутрішніх коліях підприємства для подальшого транспортування на вітчизняні металургійні заводи або на експорт через сухопутні переходи.

Далі проведемо інженерний аналіз можливих шляхів вдосконалення транспортного ланцюга виготовлення концентрату від забою до кінцевого споживача.

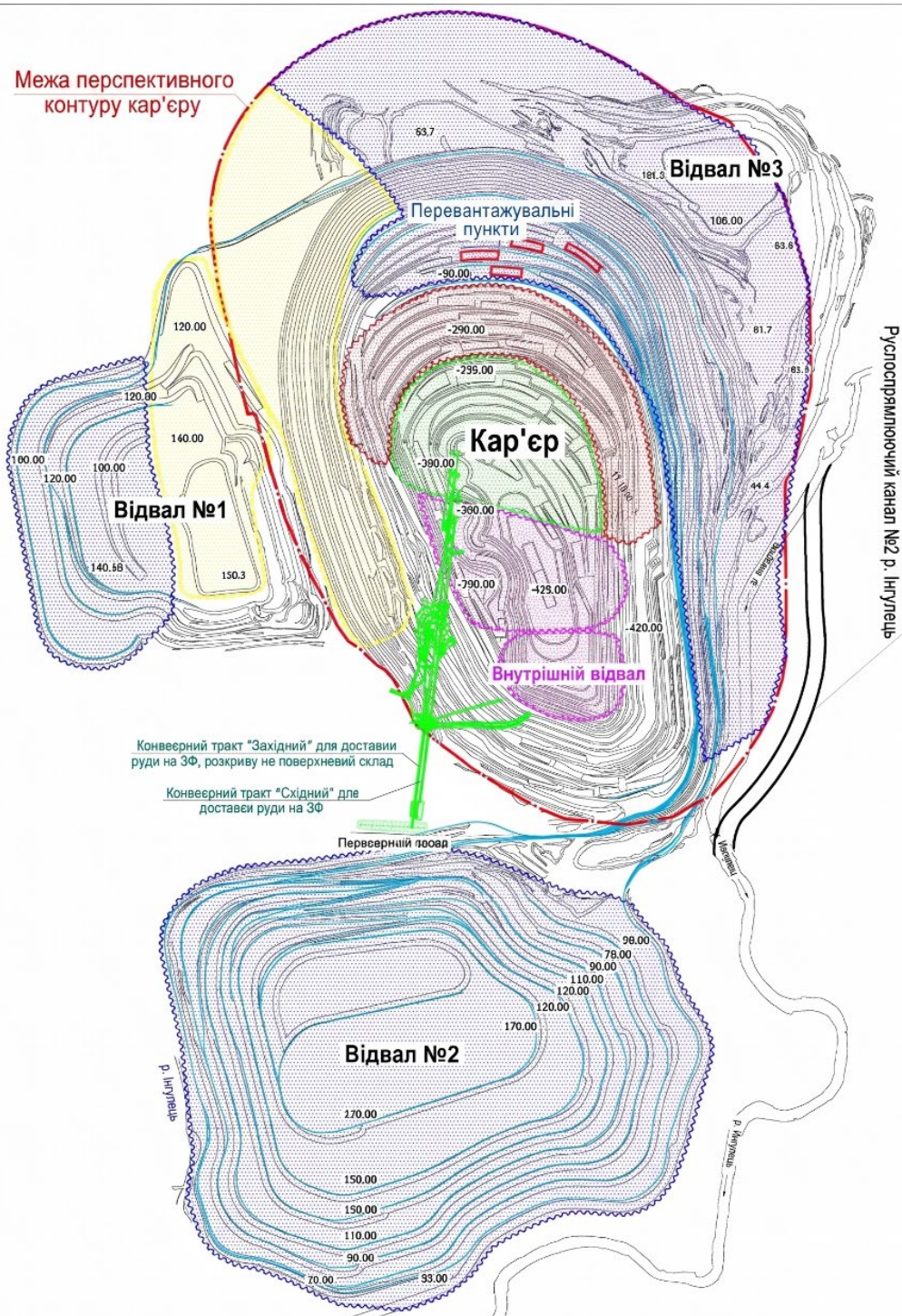


Рис. 3.1. Транспортна схема кар'єру ПрАТ «Інгулецький ГЗК» [3]

Першим перспективним варіантом модернізації цієї транспортної схеми є поетапне перенесення приймально-дробильних пунктів ЦПТ на нижчі горизонти кар'єру в міру поглиблення гірничих робіт. На сьогоднішній день через постійне заглиблення вибоїв відстань відкатки руди автомобільним транспортом суттєво зростає, що призводить до

перевитрати дизельного пального, прискороеного зносу дорогих великогабаритних шин та зниження продуктивності самоскидів. Впровадження проектного рішення щодо заглиблення дробарок та відповідного подовження підйомного конвеєра дозволить радикально скоротити транспортне плече для автомобілів, залишаючи за ними лише короткі рейси в межах нижніх робочих зон, тоді як найбільш енергоємний підйом руди на поверхню здійснюватиметься значно економнішим стрічковим транспортом. Однак, в сучасних умовах стиснена робоча зона кар'єру не дозволяє ще далі поглиблювати перевантажувальні пункти.

Другий варіант полягає в оптимізації управління транспортними потоками на ланці вибій — ЦПТ за рахунок впровадження інтелектуальної автоматизованої системи динамічного диспетчеризування. Зараз рух автосамоскидів часто організований за жорсткими маршрутами, що за умов нерівномірної роботи екскаваторів призводить до виникнення черг біля дробарок або, навпаки, до їхнього простою через відсутність сировини. Пропонована цифрова система за допомогою супутникової навігації та датчиків завантаження аналізуватиме ситуацію в кар'єрі у реальному часі й автоматично перенаправлятиме самоскиди до тих приймальних пунктів, які є вільними на даний момент, що дозволить повністю ліквідувати непродуктивні простої техніки та забезпечити максимальну ритмічність подачі руди на конвеєр.

Третій варіант спрямований на підвищення енергоефективності магістрального конвеєрного тракту, який є одним із найбільших споживачів електричної енергії на комбінаті. Проектне рішення передбачає заміну традиційних приводів конвеєрів на сучасні частотно-регульовані електроприводи, інтегровані з автоматизованою системою контролю завантаження стрічки. Це дозволить гнучко змінювати швидкість руху конвеєра залежно від фактичного обсягу

руди, що надходить із дробарки, уникаючи роботи вхолосту і знижуючи динамічні навантаження на обладнання. Крім того, на ділянках, де конвеєри рухаються на спуск, доцільно впровадити системи рекуперації, які перетворюватимуть кінетичну енергію падаючого вантажопотоку в електричну та повертатимуть її в загальнозаводську мережу.

Четвертим варіантом удосконалення є будівництво автоматизованого буферного складу радіально-штабельного типу на проміжному етапі між виходом конвеєра з кар'єру та приймальними бункерами збагачувальної фабрики. Оскільки руда з різних вибоїв має суттєві коливання за вмістом корисного компонента, міцністю та вологістю, пряма її подача на фабрику часто дестабілізує технологічний процес сепарації. Облаштування такого складу з усереднювальними машинами – стакерами та реклаймерами – дозволить накопичувати необхідний запас сировини, здійснювати її ефективно попереднє шихтування та забезпечувати подачу на збагачення абсолютно однорідного за складом матеріалу, що значно підвищить якість фінального концентрату та виключить технологічні збої на фабриці.

П'ятий варіант передбачає докорінну модернізацію фінальної ланки логістичного ланцюжка – вузла відвантаження готового концентрату в залізничний транспорт. Існуючі методи навантаження часто призводять до нерівномірного розподілу ваги у вагонах, через що виникають небезпечні перевантаження окремих осей або недовантаження рухомого складу, що тягне за собою штрафні санкції від залізниці та загрожує безпеці руху. Замість цього пропонується спорудження автоматизованого високошвидкісного вантажного комплексу, обладнаного системою тензометричних бункерів-дозаторів, який дозволить зважувати точну порцію концентрату ще до підходу вагона і здійснювати автоматичне скидання матеріалу під час

безперервного руху поїзда на низькій швидкості, що суттєво скоротить оборот вагонів і оптимізує взаємодію з магістральним транспортом.

### **3.2. Оцінка впровадження автоматизованого високошвидкісного комплексу навантаження**

Впровадження автоматизованого високошвидкісного комплексу навантаження концентрату з тензометричними бункерами-дозаторами на ПрАТ «ІНГЗК» вирішує три критичні проблеми поточної логістичної схеми:

За класичної схеми поїзд зупиняється під кожним люком, що зумовлює циклічні розгони та гальмування маневрового локомотива, збільшуючи час навантаження одного маршруту до 4–5 годин. Автоматизований комплекс дозволяє вантажити поїзд у безперервному русі, знижуючи час процесу в кілька разів.

Похибка поточного навантаження призводить або до недовантаження вагонів (втрата провізної спроможності), або до їх перевантаження (штрафи від Укрзалізниці та ризик аварійності через зміщення центру мас). Тензометричне зважування порції концентрату безпосередньо у проміжному бункері-дозаторі забезпечує точність до  $\pm 0.2\%$ .

Безперервний рух поїзда з постійною низькою швидкістю мінімізує витрати дизельного пального маневровими локомотивами та зменшує знос колійної інфраструктури підприємства.

Для порівняльного аналізу базового (існуючого) та проектного варіантів приймемо стандартні вихідні параметри функціонування транспортного вузла ПрАТ «ІНГЗК».

#### **Вихідні дані для розрахунку**

Річний обсяг відвантаження концентрату:  $V_{\text{рік}} = 5.5 \cdot 10^6$  т/рік.

Вантажопідйомність одного залізничного напіввагона:  $q_B = 70$  т.

Кількість напіввагонів у одному повноскладовому маршруті (поїзді):  $N_B = 55$  шт.

Довжина одного напіввагона по осях автозчепів:  $l_B = 14$  м.

Середній час навантаження одного вагона за базовою схемою (з урахуванням підтягування):  $t_{\text{баз}} = 4.5$  хв.

Час на додаткові маневрові операції, зважування на статичних вагах та зачищення залізничного маршруту за базовою схемою:  $\Delta t_{\text{баз}} = 60$  хв.

Проектна швидкість руху залізничного складу під вантажним пристроєм без зупинки:  $v_{\text{пр}} = 0.8$  км/год.

Час на підготовчо-заклучні операції за проектною схемою (захід маршруту, налаштування АСУТП):  $\Delta t_{\text{пр}} = 12$  хв.

### **Розрахунок параметрів базового варіанта**

Маса залізничного маршруту (нетто):

$$M_M = N_B \cdot q_B = 55 \cdot 70 = 3850 \text{ т}$$

Загальний час навантаження одного повного маршруту за існуючою технологією:

$$T_{\text{баз}} = N_B \cdot t_{\text{баз}} + \Delta t_{\text{баз}} = 55 \cdot 4.5 + 60 = 307.5 \text{ хв} \approx 5.13 \text{ год}$$

Технічна продуктивність навантажувального вузла в базовому варіанті:

$$Q_{\text{баз}} = \frac{M_M}{T_{\text{баз}}} = \frac{3850}{5.13} \approx 750.5 \text{ т/год}$$

### **Розрахунок параметрів проектного варіанта (безперервне дозоване навантаження)**

Переведемо проектну швидкість руху поїзда в метри за хвилину:

$$v_{\text{пр}} = \frac{0.8 \cdot 1000}{60} \approx 13.33 \text{ м/хв}$$

Загальна довжина залізничного складу, яку необхідно протягнути під бункером-дозатором:

$$L_{\text{СКЛ}} = N_{\text{В}} \cdot l_{\text{В}} = 55 \cdot 14 = 770 \text{ м}$$

Чистий час руху поїзда під час безперервного навантаження:

$$t_{\text{рух}} = \frac{L_{\text{СКЛ}}}{v_{\text{пр}}} = \frac{770}{13.33} \approx 57.8 \text{ хв}$$

Загальний час навантаження маршруту з урахуванням підготовчих операцій:

$$T_{\text{пр}} = t_{\text{рух}} + \Delta t_{\text{пр}} = 57.8 + 12 = 69.8 \text{ хв} \approx 1.16 \text{ год}$$

Технічна продуктивність модернізованого навантажувального комплексу:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{м}}}{T_{\text{пр}}} = \frac{3850}{1.16} \approx 3319 \text{ т/год}$$

### Розрахунок пропускної спроможності та ефективності використання вагонів

Необхідна кількість залізничних маршрутів на рік для забезпечення плану виробництва:

$$n_{\text{марш}} = \frac{V_{\text{рік}}}{M_{\text{м}}} = \frac{5.5 \cdot 10^6}{3850} \approx 1429 \text{ поїздів/рік}$$

Річна економія часу перебування вагонів Укрзалізниці на коліях ПрАТ «ІНГЗК» лише під вантажними операціями:

$$\Delta T_{\text{рік}} = n_{\text{марш}} \cdot (T_{\text{баз}} - T_{\text{пр}}) = 1429 \cdot (5.13 - 1.16) = 1429 \cdot 3.97 \\ \approx 5673 \text{ год/рік}$$

Таблиця 3.1. Техніко-економічне порівняння варіантів завантаження концентрату

Найменування показника	Базовий варіант	Проектний варіант	Зміна, %
Час навантаження одного маршруту (55 вагонів), год	5,13	1,16	-77,4%
Технічна продуктивність вузла, т/год	750,5	3319,0	+342,2%
Точність дозування матеріалу у вагон, %	±2.5	±0.2	-92.0% (зниження)

			похибки)
Середній час навантаження 1 вагона, хв	4,5	1,05	-76,6%

Таким чином, впровадження автоматизованого комплексу з тензометричними дозаторами дозволяє збільшити технічну продуктивність вузла відвантаження з 750.5 т/год до 3319 т/год (майже в 4,4 раза). Скорочення часу навантаження одного поїзда з 5,13 до 1,16 години забезпечує сумарну економію часу обігу рухомого складу в обсязі 5673 год на рік, що суттєво знижує плату за користування вагонами та виключає ризик нарахування штрафів.

## ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

У першому розділі кваліфікаційної роботи виконано детальний аналіз науково-методичних підходів до оцінки транспортних схем при відкритій розробці родовищ корисних копалин. Було розглянуто загальноприйняті техніко-економічні критерії оцінки проектних рішень, що базуються на оптимізації витрат, продуктивності та надійності транспортних ланок. Окрему увагу приділено вивченню та узагальненню досвіду експлуатації комбінованих транспортних схем на глибоких кар'єрах Криворізького залізорудного басейну, що дозволило виявити типові логістичні проблеми взаємодії різних видів транспорту в умовах інтенсивного ведення гірничих робіт.

Другий розділ присвячено комплексному аналізу поточного стану гірничих робіт та існуючої транспортної інфраструктури ПрАТ «Інгулецький ГЗК». У роботі наведено загальну гірничо-геологічну характеристику Інгулецького родовища, а також детально розглянуто діючу комбіновану технологічну схему: збір руди автотранспортом у кар'єрі, її перевалка на пункти прийому циклічно-потокової технології (ЦПТ), підйом конвеєрним транспортом на фабрику та подальше відвантаження готового концентрату у вагони Укрзалізниці. В результаті аналізу було виявлено ключові інфраструктурні «вузькі місця», пов'язані з високим рівнем зносу залізничного комплексу та неефективністю статичного процесу навантаження готової продукції.

У третьому розділі виконано інженерний аналіз перспективних технологічних рішень щодо вдосконалення транспортного ланцюга виробництва залізорудного концентрату на ПрАТ «ІНГЗК». На основі оцінки п'яти альтернативних варіантів модернізації (від поглиблення ЦПТ до автоматизації конвеєрів та диспетчеризації) було обґрунтовано доцільність впровадження автоматизованого високошвидкісного комплексу навантаження концентрату. Проведений

інженерно-технологічний розрахунок підтвердив високу ефективність переходу на технологію безперервного дозованого завантаження вагонів у русі, що дозволяє кардинально покращити взаємодію внутрішньозаводського та магістрального залізничного транспорту.

Встановлено, що існуюча циклічна схема навантаження концентрату на ПрАТ «ІНГЗК» неефективна через високу похибку дозування та простої локомотивів. Технологічно обґрунтованим рішенням є впровадження комплексу безперервного завантаження вагонів у русі.

Завдяки модернізації технічна продуктивність вантажного комплексу зросте з 750 до 3319 т/год або у 4,4 рази, що дозволить оперативно відвантажувати продукцію фабрики без накопичення її на складах.

Час навантаження одного маршруту зменшиться на 77,4%. Це забезпечить сумарну економію часу перебування рухомого складу «Укрзалізниці» на коліях підприємства в обсязі 5673 год/рік.

Рекомендується включити спорудження автоматизованого комплексу до плану технічного переоснащення ПрАТ «ІНГЗК» та інтегрувати його АСУТП з інформаційними системами «Укрзалізниці» для автоматизації обліку та оптимізації графіків подачі поїздів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007 Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина 1. Гірничі роботи. Ліквідація гірничодобувних підприємств. Техніко-економічна оцінка та показники (рос). БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України.

2. Беліков А.С., Шапарь А.Г. Комплексна механізація та автоматизація відкритих гірничих робіт: монографія. Дніпро : ЛізуновПрес, 2018. 312 с.

3. Відпрацювання Інгuleцького родовища кар'єром ЧАО «ІНГД ДПІ «Кривбаспроект»; ГІП Ковальов К.В. Кривий Ріг, 2016. 209 с

4. Будівництво об'єктів обслуговування для відпрацювання Інгuleцького родовища з розширенням кар'єра ПрАТ «ІНГЗК» в межах ліцензійної площі за адресою: Дніпропетровська область, м. Кривий Ріг, вул. Рудна, 47, проммайданчик ПрАТ «ІНГЗК». Т. 1. Пояснювальна записка. Кривий Ріг. 2021. 228 с.

5. Блізнюков В.Г. Гірнича справа / В.Г. Блізнюков, С.О. Луценко, А.М. Пижик 3-е вид., перероб. і доп. Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О. 2014. 424 с., з іл.

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

7. Гуменик І. Л., Корсунський Г. Я., Ложніков О. В. Технологія відкритої розробки пологих родовищ корисних копалин: навч. посіб. Дніпропетровськ: НГУ, 2014. 310 с.

8. Методичні рекомендації з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості. Затверджені наказом Державного

комітету промислової політики України від 09.07.2007 р. № 373. К., 2007.

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

10. Шеремет Є.М. Геологічна будова та залізорудні родовища Криворізького басейну. Донецьк: Ноулідж, 2012. 250 с.

11. 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.

12. Собко Б.Ю. Технологія відкритої розробки родовищ корисних копалин. Ч.1. Розкриття родовищ / Б.Ю. Собко, Г.Д. Пчолкін, Г.Я. Корсунський, О.В. Ложніков // Дніпро: Літограф. 2017. 205 с.

13. Булавка П.П. Звіт з переддипломної практики за освітньо-професійною програмою «Відкрита розробка родовищ» (спеціальність 184 «Гірництво»). Запоріжжя: ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», 2026. 26 с.

14. Кривбасакадемінвест. Будівництво об'єктів обслуговування для відпрацювання Інгулецького родовища з розширенням кар'єру ПрАТ «ІНГЗК» у межах ліцензійної площі. Коригування гірничої частини. Том 1. Пояснювальна записка. Кривий Ріг. ПП «КАІ». – 2021. – 228 с.

15. Дриженко А.Ю., Козенко Г.В., Рикус А.О. Відкрита розробка залізних руд України: стан і шляхи удосконалення: Монографія / ред. А.Ю. Дриженка. Д.: Національний гірничий університет, П.: Полтавський літератор, 2009. 452 с.

16. Симоненко, В.І., Анісімов, О.О., Гриценко, Л.С. (2017). Дослідження впливу гірничодобувних підприємств на навколишнє середовище при розробці нерудних родовищ. Збірник наукових праць НГУ. Дніпро, (52), 114-124.

17. Собко Б. Ю., Ложніков О. В. Технологія та безпека відкритих гірничих робіт : підручник. Дніпро : Журфонд, 2019. 384 с.

18. Анісімов О. О., Собко Б. Ю. Проектування відкритих гірничих робіт : навч. посіб. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2021. 215 с.

19. Відкриті гірничі роботи: Ч. I. 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. Бизов В.Ф. Основи технології гірничого виробництва. Т. IV “Виробничі процеси”: Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком “Гірництво”. Кривий Ріг: Мінерал, 2000. 247 с. з іл.

21. Єдині правила безпеки при розробці родовищ корисних копалин у відкритий спосіб. Київ, 2003. 115 с.