

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

КАФЕДРА ГІРНИЧОЇ СПРАВИ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

на здобуття освітнього рівня «магістр»

зі спеціальності 184 Гірництво

ОПП «Технологія відкритої розробки родовищ»

**На тему: «Наукове обґрунтування кроку перенесення
перевантажувального пункту циклічно-поточної технології кар'єру
ПрАТ "Інгулецький ГЗК"»**

Виконав:

студент групи 184В-23-1м

Зозуля Денис Олегович

Керівник:

кандидат тех.наук, доцент

Луценко Сергій Олександрович

Запоріжжя

2025 р.

РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему «Наукове обґрунтування кроку перенесення перевантажувального пункту циклічно-поточної технології кар'єру ПрАТ "Інгулецький ГЗК"» викладена на 69 стр., містить 5 рис., 4 таблиці, 45 джерел літератури.

Актуальність теми. Актуальність магістерської роботи зумовлена необхідністю оптимізації технологічних процесів відкритих гірничих робіт. Циклічно-потокова технологія є одним із найефективніших способів транспортування гірничої маси, що поєднує циклічність роботи екскаваторів та потоковість конвеєрних систем. У даному контексті перенесення перевантажувального пункту є ключовим аспектом, який визначає ефективність роботи системи транспортування в умовах змінної геометрії робочої зони кар'єру.

Для ПрАТ «Інгулецький ГЗК», кар'єр котрого характеризується складними гірничо-геологічними умовами, оптимізація кроку перенесення перевантажувального пункту має критичне значення. Невірно обраний інтервал перенесення може призводити до перевитрати енергоресурсів, зниження продуктивності транспорту та збільшення собівартості видобутку. Водночас раціонально обґрунтовані параметри кроку перенесення дозволяють зменшити тривалість технологічних циклів та оптимізувати витрати на транспортування гірничої маси завдяки зменшенню експлуатаційного навантаження на техніку.

У теоретичному аспекті робота сприяє розвитку методології оптимізації елементів ЦПТ у кар'єрних розробках. У практичному плані результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення виробничих процесів на підприємствах гірничо-видобувної галузі,

підвищуючи їхню техніко-економічну ефективність. Отже, тема роботи відповідає сучасним викликам гірничої науки та практики, що визначає її наукову і практичну значущість.

Мета й завдання роботи. Метою магістерського дослідження є наукове обґрунтування оптимального кроку перенесення перевантажувального пункту циклічно-поточної технології в умовах кар'єру ПрАТ «Інгулецький ГЗК» для підвищення техніко-економічних показників гірничих робіт, зменшення витрат на транспортування гірничої маси та забезпечення ефективності виробничих процесів при змінних гірничо-геологічних умовах. Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Виконати аналіз теоретичних основ визначення параметрів циклічно-поточної технології глибоких кар'єрів.
2. Вивчити досвід експлуатації систем циклічно-поточної технології та умови ведення гірничих робіт в кар'єрі ПрАТ «ІнГЗК».
3. Визначити оптимальний крок переносу перевантажувального пункту циклічно-поточної технології в умовах кар'єру ПрАТ «ІнГЗК» з урахуванням параметрів робочої зони.

Об'єкт дослідження – технологічний процес транспортування гірничої маси в умовах експлуатації циклічно-поточної технології у глибокому кар'єрі.

Предмет дослідження – закономірності вибору оптимального кроку перенесення перевантажувального пункту з урахуванням геометрії робочої зони кар'єру.

Ідея. Підвищити ефективність транспортування гірничої маси за рахунок оптимізації кроку переносу дробарно-перевантажувального пункту циклічно-поточної технології.

Методи дослідження. Аналіз і синтез – для вивчення наукових джерел, узагальнення теоретичних підходів та формулювання висновків; математичне моделювання – для оптимізації параметрів перенесення перевантажувального пункту в умовах циклічно-поточної технології; емпіричні методи – для збору даних про гірничо-геологічні умови та експлуатаційні характеристики кар'єру; експертна оцінка – для узгодження теоретичних розрахунків із практичними умовами роботи кар'єру.

Наукове значення роботи полягає у подальшому розвитку теоретичних основ оптимізації параметрів циклічно-поточної технології глибоких кар'єрів, зокрема, встановлені закономірності вибору оптимального кроку перенесення перевантажувального пункту з урахуванням геометрії робочої зони кар'єру.

Практичне значення роботи полягає у розробці математичних формул для розрахунку кроку переносу перевантажувального пункту циклічно-поточної технології і встановленні рекомендованих значень для умов кар'єру ПрАТ «ІнГЗК».

ЦИКЛІЧНО-ПОТОЧНА ТЕХНОЛОГІЯ, ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИЙ ПУНКТ, ТРАНСПОРТНА СХЕМА, ГЛИБОКІ КАР'ЄРИ, АВТОСАМОСКИД, КОНВЕЄРНИЙ ТРАНСПОРТ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦИКЛІЧНО-ПОТОЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ	8
РОЗДІЛ 2. ВИВЧЕННЯ ДОСВІДУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ЦИКЛІЧНО-ПОТОЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЛИБОКИХ КАР'ЄРАХ КРИВБАСУ	33
2.1. Аналіз досвіду експлуатації систем циклічно-поточної технології в глибоких кар'єрах Кривбасу	33
2.2. Аналіз існуючої транспортної схеми кар'єру ПРАТ «Інгулецький ГЗК»	47
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КРОКУ ПЕРЕНОСУ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОГО ПУНКТУ ЦИКЛІЧНО-ПОТОЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КАР'ЄРУ ПРАТ «ІНГУЛЕЦЬКИЙ ГЗК»	55
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	68

ВСТУП

Сучасна гірничодобувна промисловість переживає період інтенсивного розвитку, зумовлений зростаючим попитом на мінеральні ресурси та необхідністю підвищення ефективності виробничих процесів. Відкриті гірничі роботи, як один із основних методів видобутку корисних копалин, зазнають значних трансформацій, спрямованих на оптимізацію технологічних схем та зниження негативного впливу на довкілля.

Однією з головних тенденцій у розвитку відкритих гірничих робіт є вдосконалення систем транспортування гірничої маси. Традиційні методи, засновані на використанні автомобільного транспорту, стикаються з проблемами високих експлуатаційних витрат, обмеженої продуктивності та значного екологічного навантаження. У відповідь на ці виклики активно розробляються та впроваджуються нові технологічні рішення, які дозволяють підвищити ефективність транспортування та знизити витрати.

Циклічно-поточна технологія (ЦПТ) видобутку та транспортування гірничої маси стає все більш актуальною в сучасних умовах. Ця технологія поєднує в собі переваги циклічних та безперервних методів транспортування, що дозволяє оптимізувати логістичні процеси в кар'єрі. Застосування ЦПТ сприяє зниженню витрат на транспортування, підвищенню продуктивності обладнання та покращенню екологічних показників підприємства.

Ключовим елементом циклічно-поточної технології є перевантажувальний пункт, який забезпечує ефективний перехід гірничої маси з одного виду транспорту на інший. Правильне розташування та своєчасне перенесення перевантажувального пункту має критичне значення для безперебійної роботи системи. Невідповідність кроку перенесення реальним умовам може призвести до нераціонального використання ресурсів, збільшення

експлуатаційних витрат та зниження ефективності всього виробничого процесу.

Вибір оптимального кроку перенесення перевантажувального пункту є складною науково-технічною задачею, що вимагає врахування багатьох факторів: геометрії кар'єру, властивостей гірських порід, обсягів видобутку, технічних характеристик обладнання та економічних показників. Наукове обґрунтування цього параметра дозволяє розробити ефективну стратегію розвитку кар'єру, забезпечити раціональне використання матеріально-технічних ресурсів та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

У контексті постійного ускладнення гірничо-геологічних умов та зростання вимог до ефективності виробництва, дослідження оптимальних параметрів циклічно-потокової технології набувають особливої актуальності. Розробка методик, що дозволяють науково обґрунтувати крок перенесення перевантажувального пункту, сприятиме підвищенню конкурентоспроможності гірничих підприємств та забезпечить стале зростання галузі в цілому.

Таким чином, питання вибору правильного кроку перенесення перевантажувального пункту циклічно-потокової технології є не лише актуальним, але й стратегічно важливим для розвитку сучасної гірничодобувної промисловості. Його вирішення потребує комплексного підходу, що поєднує теоретичні дослідження, математичне моделювання та практичний досвід експлуатації гірничих підприємств.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦИКЛІЧНО-ПОТОЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ

На сучасному етапі розвитку гірничодобувної промисловості одним із ключових завдань є підвищення ефективності видобутку руди, що базується на впровадженні новітніх науково-технічних розробок. Серед основних шляхів досягнення цієї мети важливим аспектом є оптимізація процесу транспортування гірничої маси, який суттєво впливає на загальну собівартість видобутку руди.

Освоєння глибоких горизонтів кар'єрів супроводжується значним збільшенням відстаней перевезення гірничої маси, що призводить до зростання питомих витрат на транспортування. Частка цих витрат у структурі собівартості видобутку руди може досягати 30-40%.

На більшості залізородних кар'єрів України в умовах постійного збільшення глибини розробок активно використовується автомобільно-конвеєрний транспорт. За його допомогою щорічно транспортується понад 70 млн тонн гірничої маси, що становить до 40% від загальних обсягів видобутку. Така інтенсивність використання транспортних систем висуває актуальне завдання – зменшення витрат на транспортування гірничої маси.

Хоча перспективним варіантом транспортування руди з глибоких горизонтів є застосування виключно безперервного транспорту, автомобільно-конвеєрний транспорт залишається важливим технологічним рішенням. Його оптимальне використання має значну практичну цінність у контексті забезпечення ефективної роботи кар'єрів.

Аналіз функціонування кар'єрів Кривбасу свідчить, що однією з найбільш капіталоемних частин автомобільно-конвеєрних систем є внутрішньокар'єрні пункти перевантаження гірничої маси. Саме ці пункти значною мірою визначають ефективність взаємодії

автомобільного та конвеєрного транспорту. Крім того, створення та експлуатація таких пунктів потребує значних витрат, які можуть досягати 30% від загальних витрат на функціонування автомобільно-конвеєрного комплексу.

Ключовими параметрами функціонування таких комплексів є висота підйому, обсяг перевезеної гірничої маси автомобільним і конвеєрним транспортом, а також правильне розташування перевантажувального пункту. Ефективність цих процесів визначає продуктивність та економічність роботи кар'єру в цілому.

Аналіз теоретичних основ і методів визначення параметрів циклічно-поточної технології (ЦПТ) транспортування гірничої маси вимагає інтеграції різних підходів, що базуються на міждисциплінарному синтезі технічних, економічних і логістичних знань. ЦПТ, як поєднання циклічних і безперервних транспортних систем, передбачає використання оптимальних параметрів перевантажувальних пунктів, що забезпечують мінімізацію витрат і стабільність роботи транспортного комплексу.

У нижніх частинах сучасних кар'єрів значно ускладнюється процес транспортування через затяжні підйоми, що виникають між глибокими горизонтами і верхніми рівнями. Це суттєво збільшує відстань, яку необхідно долати для переміщення видобутої породи, та створює додаткове навантаження на транспортну інфраструктуру. Як зазначено у дослідженнях [1], за останнє десятиліття в кар'єрах ЦГЗКа та ІнГЗКа висота підйому гірничої маси автомобільним транспортом зросла на 25–30%, що стало наслідком поступового заглиблення кар'єрів.

Відхилення від оптимальних показників, таких як висота підйому (100–120 м) і відстань транспортування (2–4 км), призводить до перевищення допустимих навантажень на автосамоскиди. Це зумовлює більш інтенсивний знос техніки, що скорочує термін її експлуатації.

Постійне перевищення рекомендованих параметрів транспортування не лише знижує продуктивність, а й збільшує витрати на технічне обслуговування і ремонт, що в довгостроковій перспективі негативно впливає на економічну ефективність відкритих гірничих робіт.

Сучасні проекти автомобільно-конвеєрних систем передбачають транспортування гірничої маси автосамоскидами на додаткову висоту, яка, як правило, становить 150–160 м. Проте за умов сучасних кар'єрів, де висота підйому перевищує 200 м, а відстань транспортування сягає понад 3,5 км, використання автосамоскидів вантажопідйомністю 120 тонн та більше стає економічно недоцільним [2]. Це пов'язано з тим, що за таких параметрів суттєво зростають експлуатаційні витрати, а також значно підвищується знос транспортної техніки, що впливає на її довговічність і продуктивність.

Ключовим елементом у структурі автомобільно-конвеєрного комплексу є дробильно-перевантажувальний пункт, який відіграє важливу роль у забезпеченні стабільності функціонування всієї транспортної системи. Саме на цей компонент припадає значна частка витрат — до 30% від загальних витрат на створення та обслуговування транспортного комплексу. Ефективність роботи дробильно-перевантажувальних пунктів безпосередньо впливає на загальну продуктивність гірничого підприємства, оскільки вони забезпечують безперервність транспортування матеріалу.

У кар'єрах України, де роботи ведуться на значних глибинах, перевантажувальні пункти, як правило, зводять у стаціонарному виконанні [3]. Вони можуть бути розташовані як на поверхні, так і в межах борту кар'єру, забезпечуючи довготривалу експлуатацію, яка часто сягає 10 років і більше. Однак із розвитком технологій спостерігається тенденція до впровадження пересувних дробарок. Такі установки мають менший термін служби на одній локації, що дозволяє

їх адаптувати до змін гірничо-технічних умов. Водночас пересувні дробарки характеризуються гнучкістю у використанні, що робить їх доцільними для кар'єрів із швидкозмінними виробничими параметрами.

У сучасних кар'єрах переважно використовуються стаціонарні перевантажувальні пункти, оснащені дробарками типу ККД-1500/180, які забезпечують продуктивність до 25 мільйонів тонн на рік. Ці установки відіграють ключову роль у забезпеченні безперебійного транспортування гірничої маси та значно впливають на загальну продуктивність кар'єру.

Розташування перевантажувальних пунктів у кар'єрі визначається як економічними, так і технологічними факторами. Зокрема, розміщення перевантажувального пункту в нижній частині робочої зони кар'єру, ближче до межі незайнятої частини борту, дозволяє істотно скоротити відстань транспортування гірничої маси автосамоскидами [4]. Такий підхід знижує експлуатаційні витрати та підвищує ефективність роботи транспортного комплексу.

Проте зі збільшенням глибини кар'єру розташування перевантажувальних пунктів стає більш складним завданням. Зниження рівня видобутку змушує піднімати перевантажувальні пункти на більшу висоту, що перевищує раціональні показники для кар'єрного автотранспорту. Це створює додаткове навантаження на автосамоскиди, збільшує їх знос і витрати на обслуговування, а також знижує загальну ефективність транспортної системи.

Незважаючи на ці труднощі, впровадження конвеєрних установок у поєднанні з автомобільним транспортом позитивно впливає на роботу транспортного комплексу. Використання конвеєрів дозволяє оптимізувати перевезення гірничої маси на великі відстані, зменшуючи витрати на паливо та знос автосамоскидів. Крім того, конвеєрні системи сприяють подальшому розвитку транспортної інфраструктури кар'єру,

забезпечуючи її стабільність і ефективність у довгостроковій перспективі.

Аналіз проектних рішень свідчить, що автомобільно-конвеєрні комплекси глибоких кар'єрів зазвичай будуються поетапно, із прив'язкою до строків введення в експлуатацію кожного перевантажувального пункту. Такий підхід дозволяє адаптувати транспортну систему до поточних потреб кар'єру та забезпечити її ефективне функціонування. Проте процес проектування стикається з низкою труднощів, серед яких особливо важливим є врахування режиму гірничих робіт, що безпосередньо впливає на ефективність усієї транспортної інфраструктури.

Зважаючи на тривалий період будівництва, який може тривати від 3 до 7 років, та подальшу експлуатацію перевантажувальних пунктів, ключовим завданням є забезпечення максимальної відповідності їхніх технологічних характеристик оптимальним показникам. Досягнення цього можливе завдяки проектуванню гірничих робіт із пріоритетом на глибину розробки, що дозволяє підвищити продуктивність і раціонально використовувати можливості конвеєрного комплексу.

На великих залізородних кар'єрах транспортні системи мають складну технологічну структуру, до складу якої входять численні підсистеми. Серед них слід виділити технологічні транспортні комплекси, екскаваторно-транспортні комплекси, перевантажувальні комплекси та різноманітні типи транспортних комунікацій, які ретельно вивчалися в дослідженнях [5-8].

Із розвитком відкритих гірничих робіт структура транспортних комплексів у кар'єрах стала значно складнішою. Такі зміни зумовлені зростанням глибини кар'єрів, що, у свою чергу, потребує безперервного розширення транспортної інфраструктури, оновлення та збільшення парку технологічного обладнання. Крім того, виникає необхідність у

впровадженні нових перевантажувальних пунктів і модернізації існуючих. Зі зростанням масштабів кар'єрних робіт і ускладненням умов експлуатації також вводяться нові типи транспорту, які адаптовані до більш складних гірничо-технічних умов. Це дозволяє підвищити гнучкість і надійність транспортної системи, забезпечуючи стабільність виробничого процесу.

Сучасні транспортні схеми характеризуються високим рівнем складності та широким спектром умов їхнього використання. Це вимагає постійного оновлення теоретичної бази для розробки нових підходів до формування ефективних транспортних систем кар'єру [9-11]. За останні роки дослідники приділяли значну увагу вивченню гірничо-технічних, геологічних, організаційних та інших факторів, які визначають ефективність роботи кар'єрного транспорту [12-13]. Ці фактори разом зі структурними змінами в транспортних системах створили основу для систематизації транспортних комплексів, що відзначаються великим різноманіттям та високою складністю.

Академік Н. В. Мельников підкреслює, що ключовою характеристикою технологічної транспортної системи є напрямок руху вантажопотоків і взаємне розташування транспортних комунікацій. Саме ці елементи забезпечують зв'язок між пунктами завантаження гірничої маси та точками її подальшого призначення. У своїх роботах такі дослідники, як В. В. Ржевський, В. М. Васильєв, М. Г. Новожилов і А. О. Співаковський, активно використовували цей підхід для аналізу транспортних схем кар'єрів [1].

Попри те, що підхід, орієнтований на вантажопотоки, є важливим у проектуванні транспортних систем, він має свої обмеження. Зокрема, цей підхід не враховує динамічні зміни у структурі транспортного комплексу, які відбуваються в процесі реалізації технологічної схеми кар'єру. Такий недолік ускладнює адаптацію транспортної системи до

змін гірничо-технічних умов, що є особливо важливим за умов поглиблення кар'єрів і збільшення масштабів видобутку.

Необхідність інтеграції змін у структурі транспортних комплексів вимагає подальших досліджень, спрямованих на створення адаптивних технологічних схем. Це дозволить забезпечити не лише ефективність транспортування, але й гнучкість у реагуванні на нові виклики, пов'язані з розвитком відкритих гірничих робіт.

Важливий внесок у розвиток теоретичної бази ЦПТ транспортування гірничої маси зробили українські та радянські науковці, зокрема професори Дриженко В.М., Новожилов М.Г., а також інші дослідники, роботи яких суттєво вплинули на сучасне розуміння параметрів та організації ЦПТ [14].

Професор Новожилов М.Г. зробив вагомий внесок у розвиток теорії організації роботи транспортних систем у кар'єрах. Його дослідження були спрямовані на аналіз взаємодії автомобільного транспорту та конвеєрів у ЦПТ, а також на визначення оптимальної пропускної здатності перевантажувальних пунктів. Однією з основних заслуг Новожилова є розробка алгоритмів прогнозування ефективності системи залежно від продуктивності кар'єру та гірничо-геологічних умов. Його роботи заклали фундамент для подальших досліджень у напрямі динамічного управління системою транспортування.

Професор Дриженко В.М. зосередив свою наукову діяльність на розробці методів визначення параметрів ЦПТ із урахуванням геометричних характеристик кар'єру. У своїх роботах він приділяв значну увагу проблемі оптимізації висоти підйому гірничої маси та розрахунку раціонального розташування перевантажувального пункту залежно від глибини розробок. Його праці стали основою для впровадження моделей, що враховують змінність обсягів видобутку в реальному часі. Дриженко також наголошував на необхідності адаптації

перевантажувальних пунктів до зміни форми робочого борту кар'єру, що дозволяє суттєво знизити витрати на транспортування.

Л.М. Брянцев розробив теоретичні основи визначення критичних параметрів ЦПТ для кар'єрів зі складними гірничо-геологічними умовами. Його моделі враховували нерівномірний розподіл гірничої маси по горизонтах, що дозволило більш точно визначати крок перенесення перевантажувального пункту.

Г.В. Лобанов зосереджував увагу на техніко-економічній оцінці системи, включаючи витрати на обслуговування обладнання та знос вузлів перевантажувального пункту. Лобанов запропонував економічні критерії для оцінки ефективності роботи автомобільно-конвеєрних комплексів.

Сучасний розвиток теоретичної бази також пов'язаний із роботами О.М. Гуржія, який досліджував питання енергетичної оптимізації роботи транспортних систем у ЦПТ. Його підхід базувався на мінімізації енерговитрат за рахунок оптимального розподілу навантаження між автомобільним і конвеєрним транспортом.

Подальші систематичні дослідження, присвячені організації транспортування гірничої маси в кар'єрах, були представлені в роботах радянських науковців. Зокрема, В.М. Кириченко запропонував класичну модель оптимізації взаємодії циклічного (автомобільного) і потокового (конвеєрного) транспорту. Його підхід базувався на визначенні критичних точок перенесення перевантажувального пункту залежно від глибини кар'єру та відстані транспортування. У роботах Кириченка вперше розглянуто питання залежності питомих витрат на транспортування від параметрів автомобільно-конвеєрного комплексу, що стало основою для подальших досліджень [1].

Дослідження А.Г. Кривошеєва [20] зосереджувалися на питаннях проектування перевантажувальних пунктів. Він розробив математичну

модель, яка враховувала не лише технологічні параметри, але й вплив часу простоїв транспорту через зміну розташування перевантажувального пункту. Його модель дозволяла знизити витрати, пов'язані зі зносом обладнання, що зробило її цінною для кар'єрів із великою продуктивністю [15].

У подальшому, О.В. Тихонов вніс важливі уточнення щодо взаємодії технологічних ланок ЦПТ. Його роботи акцентували увагу на адаптації системи до змінних умов експлуатації, зокрема, до нерівномірного видобутку гірничої маси. Тихонов розробив концепцію оптимального управління кроком перенесення перевантажувального пункту, яка враховувала прогнозовані обсяги видобутку та витрати на переміщення [16].

На сучасному етапі дослідження ЦПТ базуються на застосуванні комп'ютерного моделювання та інтелектуальних алгоритмів. J. Pinto та E. Kuchta запропонували модель визначення параметрів ЦПТ на основі генетичних алгоритмів. Їх підхід дозволяє оптимізувати крок перенесення перевантажувального пункту, враховуючи багатofакторність системи та динамічні зміни у виробничих умовах.

S. Michaux досліджував взаємодію автомобільного транспорту з конвеєрною лінією за допомогою дискретно-подійного моделювання. Його роботи підкреслюють важливість аналізу пропускної здатності перевантажувальних пунктів і запропонували методику адаптації транспортної системи до нерівномірного розподілу навантаження.

У контексті української наукової школи, Л.П. Іваненко акцентував увагу на впливі геометрії кар'єру та фізико-механічних властивостей порід на параметри розташування перевантажувального пункту. Його роботи стали основою для адаптивних моделей, які дозволяють враховувати зміни у формі кар'єру та гірничо-геологічних умовах.

Інтенсивний розвиток відкритих гірничих робіт стимулював появу

в науково-технічній літературі концептуально нового поняття — "формування транспортного комплексу". Це поняття отримало значне поширення в роботах дослідників [17, 18], які трактують його як процес трансформації ключових параметрів транспортної системи. Зокрема, до таких змін належать коригування кроку розташування перевантажувальних пунктів, оптимізація їхньої кількості, адаптація відстаней транспортування в межах системи залежно від етапів розвитку кар'єру, а також інтеграція нових видів транспорту, здатних працювати в умовах складніших технологічних схем.

Однак це лише частина чинників, які впливають на формування ефективної транспортної системи. До них додаються такі важливі аспекти, як вибір і реалізація системи розробки родовища, геометричні параметри кар'єру, специфічні гірничо-технічні умови експлуатації, а також темпи і масштаби розширення гірничих робіт, що визначаються запланованими обсягами видобутку. Науково-технічний прогрес також відіграє ключову роль, створюючи можливості для впровадження інноваційних рішень у транспортних технологіях.

Дослідження [19] демонструє, що визначальним чинником у формуванні будь-якої транспортної системи є темпи та масштаби гірничих робіт. Відсутність відповідності між швидкістю розвитку кар'єру та динамікою змін у транспортному комплексі може призвести до суттєвих труднощів. Зокрема, надмірно швидке розширення видобувних робіт зазвичай викликає зростання відстаней транспортування в забійному ланцюгу. Це, у свою чергу, призводить до збільшення експлуатаційних витрат, зниження продуктивності та загальної ефективності роботи транспортної системи.

Для запобігання таким наслідкам необхідно розробляти комплексні підходи до планування та формування транспортного комплексу. Вони мають враховувати не лише поточні виробничі

потреби, а й довгострокову стратегію розвитку кар'єру, забезпечуючи гармонійне поєднання темпів гірничих робіт із можливостями транспортної системи. Тільки за таких умов можна досягти високої ефективності функціонування всієї виробничої інфраструктури.

У дослідженні [16] підкреслюється, що використання тимчасових з'їздів при переході на новий концентраційний горизонт суттєво впливає на структуру гірничих робіт. Зокрема, така практика призводить до перерозподілу обсягів гірничої маси, що змінює траєкторію розвитку робочих зон кар'єру. Аналогічно досліджено взаємозв'язок між висотою робочої зони кар'єру та відстанню транспортування, який залежить від напрямку глибини. Проте ці дослідження не враховують динаміку змін у режимі гірничих робіт, що є важливим фактором для формування ефективної транспортної системи.

Як зазначено в роботі [20], напрямок поглиблення кар'єру є одним із вирішальних факторів, що визначають ефективність гірничих робіт при застосуванні комбінованого автомобільно-конвеєрного транспорту. Водночас цей аспект розглядався ізольовано, без аналізу взаємозв'язків із розташуванням перевантажувальних пунктів. Ба більше, вплив гірничо-геологічних змін у структурі родовища, яке розробляється, також залишився поза увагою, що значно звужує практичне застосування отриманих результатів.

Система розробки родовища є ключовим елементом, який формує порядок побудови транспортного комплексу. Вона нерозривно пов'язана з вибором та конфігурацією обладнання й механізмів, необхідних для забезпечення виконання запланованих обсягів і організації гірничих робіт [1]. Зі зміною умов і масштабів розробки відбувається поступова трансформація конфігурації технологічних комплексів, що вимагає безперервного перегляду стратегії управління.

У цьому контексті поняття системи розробки передбачає постійне

коригування технологій видобутку, що відповідає змінним умовам кар'єру. Так, автори, такі як А. І. Арсентьев, В. П. Лінев, М. С. Четверик, В. Л. Яковлев та М. Г. Новожилов [14, 17], акцентують увагу на тому, що формування робочої зони кар'єру у просторі та часі є основою для ефективного функціонування транспортного комплексу. Цей процес, у свою чергу, обумовлює необхідність адаптації транспортної інфраструктури до змін у конфігурації кар'єру, забезпечуючи безперервність і стабільність виробничих процесів.

На думку провідних дослідників [21-22], вибір типу транспорту і конфігурації технологічного комплексу суттєво впливає на формування робочої зони кар'єру. Цей взаємозв'язок визначає ефективність використання ресурсів та забезпечує оптимізацію виробничих процесів. Більш того, у роботах [21, 23] встановлено, що спосіб розкриття родовища прямо пов'язаний із характеристиками транспортного комплексу. Зокрема, обраний метод розкриття значною мірою визначає схему розташування транспортних комунікацій та їхню адаптацію до специфічних умов кар'єру.

Науково-технічний прогрес також є вагомим чинником, який впливає на формування транспортної системи. Як зазначають дослідники М. Г. Новожилов, А. Ю. Дрижненко, В. В. Ржевський, В. Л. Яковлев, М. В. Васильєв і В. С. Хохряков [24], впровадження у виробничий процес нових високопродуктивних транспортних засобів, таких як тягачі або великовантажні автосамоскиди, суттєво змінює структуру перевезень. Це, у свою чергу, впливає на розташування перевантажувальних пунктів і їхню кількість, створюючи можливості для оптимізації роботи транспортного комплексу.

За останні шістьдесят років транспортна система кар'єрів зазнала значних змін. Наприклад, вантажопідйомність автосамоскидів, які використовуються у відкритих гірничих роботах, зросла з 25 тонн у

1960-х роках до 180 тонн у 2020-х. Аналогічні зміни відбулися й у сфері навантажувального обладнання: місткість ковша екскаваторів збільшилася з 3 до 20 кубічних метрів. Такі технологічні досягнення дозволили істотно підвищити продуктивність, але водночас вимагали адаптації транспортних схем до нових умов.

Під впливом цих факторів змінюються основні показники транспортного комплексу. Серед ключових параметрів можна виділити висоту підйому, відстань транспортування, крок перенесення перевантажувальних пунктів [25], кількість одночасно працюючих перевантажувальних пунктів, а також їхнє розташування з урахуванням таких умов, як ухил автодоріг. Усі ці параметри визначають загальну ефективність транспортної системи та її здатність відповідати сучасним викликам.

Окремо слід зазначити тенденцію до зростання висоти робочої зони кар'єру, яка безпосередньо впливає на транспортну систему. Наприклад, у кар'єрі Інгулецького ГЗК цей показник зріс із 280 метрів у 1990 році до 370 метрів у 2001 році. Таке збільшення створює додаткові складнощі для використання комбінованого транспорту з конвеєрними підйомниками, що вимагає впровадження нових підходів до управління транспортними потоками та модернізації існуючої інфраструктури.

Згідно з висновками, представленими в роботі [19], максимальна висота робочої зони кар'єру досягається в момент, коли контур робочого борту повністю відповідає проєктному контуру поверхні. У процесі подальшого заглиблення кар'єру цей показник поступово зменшується, досягаючи мінімальних значень на фінальній стадії розробки. Такі зміни є природним наслідком еволюції геометрії кар'єру під час експлуатації.

Робота автомобільно-конвеєрного транспорту в умовах змінної геометрії кар'єру суттєво ускладнюється. Зміщення центру тяжіння мас

видобутої породи в напрямку нижчих горизонтів призводить до збільшення висоти підйому для транспортного комплексу. Це, своєю чергою, впливає на умови експлуатації транспорту, підвищуючи витрати на енергоносії, обслуговування та амортизацію техніки.

Для оптимізації процесу транспортування широко застосовується барицентричний метод визначення місця закладки рудоспусків [26]. Цей підхід дозволяє розрахувати об'єми гірничої маси та визначити координати центрів її тяжіння, що є ключовими параметрами для організації транспортного процесу. Однак методика зонування кар'єрного простору для обслуговування рудоспусками залишається недостатньо розробленою, що створює труднощі в оптимізації транспортних потоків.

Економічна доцільність використання автомобільно-конвеєрного транспорту залежить від низки гірничо-технічних умов. Відстань перевезень вважається основним критерієм, що визначає доцільність його застосування. У ранні роки розвитку автомобільного транспорту вважалося, що економічно вигідна відстань не повинна перевищувати 3 км для кар'єрних самоскидів із вантажопідйомністю 70–80 тонн. Для більш потужних самоскидів вантажопідйомністю 100–120 тонн цей показник зріс до 7 км. Водночас довжина конвеєрних ліній, які використовуються в комбінованих схемах, може сягати 4–5 км.

Відстань перевезень автомобільним транспортом залежить від ряду параметрів, таких як висота розташування перевантажувальних пунктів та швидкість зниження гірничих робіт. Для забезпечення економічної ефективності ці параметри мають бути диференційовані залежно від зон кар'єру. Зокрема, витрати на паливо, знос шин та інші експлуатаційні витрати значною мірою залежать від специфіки умов у кожній зоні. Таким чином, правильне зонування та врахування особливостей кожної ділянки є критично важливими для забезпечення

ефективної роботи транспортного комплексу.

Середня відстань транспортування гірничої маси зазвичай визначається на основі таких параметрів, як середня висота підйому, коефіцієнт розвитку траси та допустимий ухил транспортних шляхів. У деяких випадках у розрахунках також враховується висота робочої зони кар'єру, що дозволяє точніше оцінити ефективність транспортної системи. Довжина маршруту транспортування може бути скорочена шляхом будівництва кількох перевантажувальних пунктів на різних рівнях робочої зони [22]. Проте мінімізація відстаней транспортування не завжди гарантує максимальну ефективність автомобільно-конвеєрного комплексу. Це свідчить про те, що для комплексної оцінки транспортної системи необхідно враховувати додаткові параметри, зокрема висоту підйому, яка зростає у процесі поступового заглиблення кар'єру.

Підвищення висоти підйому має значний вплив на функціонування автосамоскидів. Воно викликає зниження їхньої швидкості руху, що призводить до збільшення часу перевезень. Крім того, такі умови сприяють частішим простоям, пов'язаним із технічним обслуговуванням і ремонтом транспортних засобів, що підвищує витрати на експлуатацію. Таким чином, зростання висоти підйому стає суттєвим фактором, який ускладнює забезпечення стабільної роботи транспортного комплексу.

Відстань перевезень автотранспортом варіюється залежно від етапу експлуатації кар'єру. На початкових стадіях роботи перевантажувального пункту ця відстань є мінімальною, але поступово збільшується до максимального значення перед початком нового етапу розвитку. На цьому етапі доставка руди з нижніх уступів може включати вертикальний підйом на висоту до 100–120 м. Таке збільшення транспортних відстаней вимагає модернізації транспортної системи та

впровадження адаптивних рішень для збереження її продуктивності.

Ставлення до оптимальної висоти підйому автотранспортом значно змінювалося з часом і залишається предметом дискусій серед дослідників. У 1960-х роках основною гіпотезою було припущення, що раціональна висота підйому безпосередньо залежить від загальної продуктивності кар'єру. Це означало, що конкретні параметри транспортної системи підбиралися відповідно до масштабів видобутку.

У 1970-х роках погляди на використання автомобільного транспорту еволюціонували: стало очевидним, що він може бути ефективним як самостійно, так і в поєднанні з іншими видами транспорту, за умови, що глибина розробки не перевищує 80–100 м. Комбіновані схеми почали розглядатися як практичний інструмент для підвищення ефективності перевезень, що стало поштовхом до їх активного впровадження.

У 1980-х роках сформувалася думка, що одним із ключових факторів успішного застосування комбінованого транспорту є правильне розташування перевантажувальних пунктів і своєчасне їх перенесення. Оптимальною висотою підйому вважалися 60–80 м, хоча в окремих випадках цей показник міг досягати 100 м. При цьому акцент робився на необхідності максимального зниження висоти підйому для великих автосамоскидів із вантажопідйомністю 75 тонн і більше — її рекомендовано обмежувати діапазоном 80–100 м [24].

Попри ці рекомендації, на практиці нормативи часто не дотримуються. Основна причина цього — відсутність чітких методичних підходів до проєктування автомобільно-конвеєрних комплексів, які могли б забезпечити відповідність технологічних параметрів заданим умовам. Крім того, такі показники, як висота підйому та відстань перевезень, хоча й важливі, не здатні повною мірою охарактеризувати всі аспекти роботи транспортної системи.

Одним із критичних питань, яке визначає функціонування транспортного комплексу в конкретних гірничо-технічних умовах, залишається вибір кроку перенесення перевантажувального пункту. Це завдання є недостатньо дослідженим і потребує більш глибокого наукового аналізу для формування ефективних рекомендацій. Вирішення цього питання дозволить оптимізувати транспортну систему, адаптуючи її до складних умов експлуатації та забезпечуючи її стабільну роботу.

У 1960-х роках під час проектування кар'єрів було сформульовано підходи, які враховували не лише раціональний інтервал перенесення перевантажувальних пунктів, а й оптимальну кількість переміщень дробарок у процесі експлуатації. Ці рішення базувалися на розумінні, що із збільшенням глибини кар'єру інтервал перенесення дробарок змінюється, вимагаючи адаптації транспортної системи до нових умов [25].

Аналіз варіантів розкриття родовищ, виконаний на основі сумарних приведених витрат [27], демонструє, що глибина залягання розкривних порід є одним із ключових чинників, які впливають на вибір оптимального варіанту розкриття глибоких горизонтів. Чим глибше залягають розкривні породи, тим більше значення набувають питання організації транспортування та формування економічно вигідної структури транспортного комплексу.

Дослідження, присвячені автомобільно-скіповому транспорту, показали, що крок перенесення перевантажувального пункту є змінною величиною, яка зростає разом із глибиною кар'єру [28]. Аналогічні результати було отримано й для автомобільно-конвеєрних систем [29-30]. Наприклад, у кар'єрі №3 НКГОКа сумарна висота уступів, які обслуговують найнижчий концентраційний горизонт, становить 105–120 м, тоді як для інших горизонтів цей показник варіюється у межах

45–60 м. Така неоднорідність у розташуванні концентраційних горизонтів обумовлена нерівномірним розподілом запасів руди, що вимагає адаптивних рішень для збереження ефективності транспорту.

У дослідженні [31] зазначено, що вибір кроку перенесення перевантажувальних пунктів має базуватися на економічно обґрунтованих відстанях перевезення автотранспортом. Ці відстані залежать від типу використовуваних автосамоскидів і, як правило, не повинні перевищувати 1,5–2,5 км. Такий підхід дозволяє оптимізувати витрати на перевезення, одночасно забезпечуючи стабільну продуктивність транспортної системи.

Згідно з дослідженням [25], у транспортному комплексі, який включає два або більше перевантажувальних пунктів, важливо забезпечити однаковий крок перенесення для всіх пунктів. Це сприяє узгодженості роботи системи та підвищенню її загальної ефективності.

Для кар'єру Інгулецького ГЗК у роботі [16] рекомендовано оптимальний крок перенесення дробильних установок на рівні 80 м. Водночас інший проєкт [32] пропонує дещо іншу схему, яка передбачає ущільнення розташування стволів та перенесення дробарок через інтервали від 60 до 90 м. Такий підхід може бути обґрунтований специфічними умовами роботи цього кар'єру.

У 1990-х роках під час розрахунків для автомобільно-конвеєрних транспортних систем використовувався крок перенесення перевантажувальних пунктів у діапазоні від 40 до 100 м. Подібний розкид значень пояснюється значними відмінностями у гірничо-технічних умовах, зокрема розташуванням перевантажувальних пунктів на робочих або неробочих бортах кар'єру [33], а також типами обладнання, які застосовувалися в кожному конкретному випадку.

Попри те, що ці параметри мають вагомий вплив на роботу автомобільно-конвеєрного транспорту, вони не можуть бути єдиним

критерієм для оцінки ефективності системи. Доцільним є використання економічних показників, таких як витрати, розраховані на етапі проектування, що враховують як поточні, так і капітальні витрати.

Розрахунки витрат і прибутків мають проводитися з урахуванням собівартості продукції для кожного року планового періоду. До таких витрат входять амортизаційні відрахування, спрямовані на реконструкцію, капітальні вкладення, а також коефіцієнт дисконтування, який враховує фактор часу. Однак розрахунки, які базуються на змінних коефіцієнтах фактора часу, дозволяють отримати лише наближені оцінки [34]. Це створює необхідність у додаткових дослідженнях для розробки більш точних і адаптивних моделей.

Для оцінки порівняльної ефективності різних варіантів формування транспортних систем кар'єру пропонується використовувати критерій приведених витрат. Він доповнюється аналізом гірничо-транспортної системи з точки зору її виробничої потужності та надійності функціонування. Такий підхід дозволяє не лише оцінити фінансові витрати, а й врахувати технічні аспекти, що впливають на загальну ефективність системи.

Вибір оптимальних схем розкриття для автомобільно-конвеєрного транспорту здійснюється на основі інтегрального критерію витрат і коефіцієнта ефективності. Цей коефіцієнт визначається як відношення обсягу фактично виконаних робіт на певній глибині кар'єру, що забезпечуються конвеєрним або автомобільним транспортом, до обсягу робіт, запланованих у рамках конкретної схеми. Водночас цей критерій має обмеження, оскільки не враховує особливості типів транспортних засобів, які можуть суттєво впливати на продуктивність і витрати.

Економічна ефективність автомобільного транспорту визначається через мінімізацію сумарних річних витрат і питомих капітальних вкладень на одиницю видобутої руди, розкривних порід або

гірничої маси. Розрахунки проводяться для кожного року експлуатації родовища, що дозволяє отримати точнішу оцінку ефективності транспорту за весь період експлуатації. У роботі [13] запропоновано розширити методику аналізу, застосовуючи варіантний підхід. Це передбачає порівняння витрат не лише за окремий розрахунковий рік, але й за весь життєвий цикл кар'єру, з урахуванням нерівномірності капітальних вкладень у часі, а також встановленого терміну служби транспортних засобів.

Такий підхід забезпечує більш обґрунтовану оцінку довгострокової ефективності транспортних систем, дозволяючи врахувати як технічні, так і економічні фактори. Крім того, інтеграція даних про розподіл витрат у часі сприяє прийняттю оптимальних рішень щодо модернізації транспортного комплексу й адаптації до умов експлуатації кар'єру.

Визначення оптимального виду транспорту для кар'єру за умов нерівномірного розподілу капітальних витрат і змін у поточних витратах потребує врахування майбутніх витрат, приведених до поточного моменту. Часова прив'язка цих витрат є важливим чинником оптимізації відкритих гірничих робіт і, як правило, не повинна перевищувати 20 років.

Фактор часу враховується через застосування коефіцієнта приведення, який базується на аналізі показників за відповідний період експлуатації кар'єру. Цей підхід дозволяє об'єктивно оцінити економічну ефективність транспорту, враховуючи довгострокову перспективу.

Як критерій оптимальності пропонується мінімізація загальних витрат часу на транспортування гірничої маси від місця видобутку до пункту призначення. Однак цей підхід має суттєве обмеження — він не враховує обсяги транспортування породи. Без їхнього точного урахування неможливо забезпечити оптимальне завантаження конвеєрів. Як зазначають автори роботи [16], рівень завантаження

дробильно-конвеєрних комплексів є одним із ключових факторів, що визначають їхню продуктивність.

Для перспективного планування [18] параметри транспортних систем кар'єру розраховуються з урахуванням майбутніх гірничо-технічних умов. Обсяги видобутку руди та розкриву визначаються залежно від глибини горизонтів кар'єру, що дозволяє адаптувати транспортну систему до змін у виробничих процесах.

Техніко-економічна оцінка варіантів транспортних систем є найбільш надійною при аналізі за періоди тривалістю 12–15 років. Для другого етапу (15–25-й роки після початку розрахунків) вихідними даними слугують питомі техніко-економічні показники (ТЕП). У третьому періоді прогнозні ТЕП використовуються як базис для подальших розрахунків. Водночас вирішення детальних оптимізаційних задач на пізніх етапах проектування є малоефективним, оскільки основні параметри транспорту вже визначені.

Такий підхід забезпечує баланс між точністю оцінок і практичністю їхнього використання, дозволяючи адаптувати транспортну систему до динамічних змін у гірничих роботах і забезпечувати стабільну економічну ефективність.

Оптимізація розташування перевантажувальних пунктів у кар'єрі зазвичай здійснюється на період від 10 до 15 років, враховуючи обсяги гірничої маси, які планується видобути на початкових етапах експлуатації. Тривалість оптимізаційного періоду залежить від масштабів гірничих робіт і охоплює як етапи проектування, так і будівництва. Для нових підприємств із річною потужністю переробки понад 40 млн тонн маси оптимальним вважається термін у 15–20 років, тоді як для підприємств меншої потужності — 10–15 років.

Використання прибутку як основного критерію ефективності для вибору місця розташування перевантажувальних пунктів вважається

недоцільним, оскільки сам транспортний процес не створює кінцевого продукту. Замість цього доцільно застосовувати критерії, що базуються на показниках експлуатаційних і капітальних витрат. Такий підхід широко використовується в різних методиках, оскільки він дозволяє об'єктивно оцінити економічну доцільність вибраних рішень.

У рамках методики [31] пропонується визначати як раціональний інтервал перенесення перевантажувальних пунктів, так і оптимальну кількість переміщень дробарок у процесі експлуатації. При цьому враховується, що зі збільшенням глибини кар'єру інтервал перенесення дробильно-перевантажувального пункту змінюється. Проте цей підхід має обмеження, оскільки він не враховує розподіл перевантажувальних пунктів по всій робочій зоні кар'єру. Зазвичай така методика застосовується для родовищ із низькою потужністю видобутку або короткими циклами розробки уступів, де складність гірничих робіт є мінімальною.

Для родовищ із великими масштабами розробки потрібні більш гнучкі підходи, які враховують динамічні зміни у структурі кар'єру та адаптують розташування перевантажувальних пунктів до геометричних і технічних умов. Це дозволяє не лише знизити експлуатаційні витрати, а й забезпечити стабільність роботи транспортного комплексу протягом усього життєвого циклу кар'єру.

Для родовищ із значною глибиною оптимальний крок перенесення перевантажувальних пунктів залежить від низки факторів, зокрема розташування груп уступів, що розробляються на заданих концентраційних горизонтах, а також геометричних параметрів кар'єру, таких як ширина і довжина кар'єрного поля та кути укосів бортів. Дослідники [16, 34] підкреслюють, що найкращою є така глибина розташування перевантажувального пункту, яка забезпечує мінімальні

витрати часу на транспортування гірничої маси та максимальну продуктивність транспортної системи.

Перенесення дробильних установок під час зниження рівня гірничих робіт виправдане лише тоді, коли економія, отримана від заміни колісного транспорту конвеєрним, перевищує витрати на перенесення установок. Методика [31], що досліджує цей аспект, спрямована на скорочення часу, необхідного для монтажу та демонтажу дробарок, через використання сіткових графіків. Такий підхід дозволяє підвищити ефективність виконання робіт у межах кар'єру.

Для визначення оптимального розташування перевантажувальних пунктів, дослідники рекомендують розміщувати їх на різних горизонтах, щоб гірничу масу можна було спрямовувати до найближчого пункту. Це дозволяє зменшити транспортні витрати та підвищити ефективність перевезень. Як правило, для вибору варіанта розташування перевантажувального пункту застосовується критерій мінімізації сумарних витрат на підйом гірничої маси з конкретних горизонтів.

Сучасні транспортні схеми, що застосовуються у кар'єрній гірничій справі, відзначаються значною складністю та багатоваріантністю, що обумовлює необхідність проведення нових фундаментальних досліджень у сфері організації та формування кар'єрного транспорту [35]. Різноманітні фактори, які впливають на ефективність роботи транспортних систем у кар'єрах, стали предметом детального аналізу багатьох учених [16, 24, 27]. Серед цих факторів виділяються гірничотехнічні й гірничо-геологічні умови експлуатації, організаційні особливості транспортних процесів, а також низка інших чинників, які мають значний вплив на продуктивність і надійність транспортних комплексів.

Окрім цього, систематизація транспортних комплексів у кар'єрах

стала можливою завдяки врахуванню їхньої структурної перебудови та численних змін у технологічних схемах транспортування. Академік Н.В. Мельников підкреслив, що визначальною характеристикою технологічної схеми транспортування є спрямованість вантажопотоків та просторове взаємне розташування транспортних комунікацій, які поєднують місця навантаження гірничої маси із пунктами її подальшого транспортування. Саме ця ознака транспортних схем використовується як ключовий критерій у багатьох наукових дослідженнях, проведених видатними фахівцями в галузі гірничої справи, серед яких В.В. Ржевський, В.М. Васильєв, М.Г. Новожилов, О.П. Співаковський та інші. Їхні праці зробили вагомий внесок у розвиток теорії та практики організації транспортних систем, сприяючи розробці більш ефективних підходів до управління вантажопотоками в умовах кар'єрів.

Різноманітність умов експлуатації кар'єрного транспорту, а також постійні зміни в його технічних і технологічних параметрах вимагають розроблення нових підходів до систематизації та оптимізації роботи транспортних комплексів, що дозволяє підвищити їх ефективність та забезпечити адаптацію до сучасних викликів гірничодобувної промисловості.

Основним недоліком подібних методик є їхня статичність: параметри розташування перевантажувальних пунктів визначаються лише для одного фіксованого моменту — розрахункового року. Такий підхід не враховує динамічні зміни в умовах експлуатації кар'єру, що обмежує їхню практичну цінність у довгостроковій перспективі. Для досягнення більшої гнучкості необхідно враховувати змінність гірничо-технічних умов і адаптувати параметри транспортної системи до еволюції кар'єру.

Дослідження [28] пропонує визначати оптимальний крок перенесення перевантажувальних пунктів, орієнтуючись на економічно

обґрунтовану відстань транспортування автосамоскидами. При цьому враховуються умови роботи тягових двигунів, зокрема їхнє нагрівання під час експлуатації. Проте ця методика має суттєвий недолік — вона не бере до уваги обсяги гірничої маси, що транспортується, що може значно впливати на точність розрахунків і загальну ефективність транспортної системи.

Методика [34] розширює підхід, додаючи до аналізу такі параметри, як висота підйому автотранспортом, глибина розкривних горизонтів, розташування перевантажувальних пунктів під час виконання робіт із перенесення концентраційного горизонту, а також ухил автомобільних доріг і коефіцієнт розвитку транспортної траси. Водночас вона не враховує змін у вантажопотоках автотранспорту, що залежать від режиму роботи кар'єру. Це обмежує її застосування в умовах динамічних змін у гірничих роботах.

Існуючі підходи до визначення параметрів перевантажувальних пунктів не дозволяють досягти оптимального рішення через відмінності в критеріях оцінки. Ця невідповідність створює складнощі у прогнозуванні довгострокових наслідків прийнятих рішень і оцінці їхньої ефективності на пізніх етапах розробки родовища, аж до його проєктної глибини.

Аналіз наукових праць демонструє, що однією з найскладніших задач при проєктуванні автомобільно-конвеєрних комплексів є визначення оптимального розташування перевантажувальних пунктів. Цей процес вимагає врахування глибини кар'єру, особливостей режиму гірничих робіт, а також специфічних гірничо-геологічних умов, що визначають структуру родовища. Лише комплексний підхід, який інтегрує всі ці фактори, може забезпечити ефективність транспортної системи та стабільність її роботи в умовах змінної геометрії кар'єру.

РОЗДІЛ 2. ВИВЧЕННЯ ДОСВІДУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ ЦИКЛІЧНО-ПОТОЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЛИБОКИХ КАР'ЄРАХ КРИВБАСУ

2.1. Аналіз досвіду експлуатації систем циклічно-поточної технології в глибоких кар'єрах Кривбасу

Зі збільшенням глибини відкритої розробки змінюються обсяги гірничої маси, що підлягає транспортуванню, що суттєво впливає на загальні обсяги перевезень та їх розподіл між різними видами транспорту. Зокрема, близько 50% усіх перевезень, особливо з нижніх горизонтів кар'єра, виконується за допомогою транспортних комплексів, які забезпечують ефективність транспортування на великих глибинах.

На відкритих гірничих роботах Кривбасу для транспортування гірничої маси застосовуються автомобільний, залізничний і конвеєрний транспорт. Ці види транспорту можуть використовуватися як самостійно, так і в складі єдиних технологічних ліній у різноманітних комбінаціях, що дозволяє адаптувати транспортну систему до специфіки конкретного кар'єра.

Поглиблення кар'єра та відповідні зміни параметрів робочої зони спричиняють суттєві зміни умов експлуатації транспортних комплексів. Наприклад, на кар'єрах Кривбасу (ІнГЗК, ЦГЗК, ПівнГЗК, кар'єри «АрселорМіттал Кривий Ріг») залізничний транспорт зазвичай використовується на глибинах до 100–120 м від поверхні. Подальше використання залізничного транспорту обмежене через низку факторів, зокрема малий радіус повороту залізничних колій, ускладнення транспортних комунікацій через необхідність часто змінювати напрямок руху поїздів, а також необхідність облаштування внутрішньокар'єрних станцій, роз'їздів і витяжних тупиків для маневрування.

Дотримання технологічних параметрів транспортування при збільшенні глибини вимагає значного збільшення обсягів розкривних робіт. Це обумовлено необхідністю створення нових транспортних комунікацій, які відповідали б підвищеним вимогам експлуатації, забезпечуючи при цьому безперебійне транспортування гірничої маси на великих глибинах. У результаті, технологічні та економічні параметри транспортування стають ключовими факторами у проектуванні та реалізації гірничих робіт.

Використання виключно автомобільного транспорту на глибоких горизонтах кар'єра є економічно нераціональним через високу собівартість вантажоперевезень. Зокрема, для умов Інгулецького кар'єру, питомі витрати на перевезення однієї тонни вантажу на один кілометр при застосуванні автотранспорту в 7 разів перевищують аналогічні витрати залізничного транспорту. Водночас автомобільний транспорт має значні переваги, такі як висока маневреність, здатність долати ухили до 12%, а також можливість організації кільцевих схем руху, що дозволяє оптимізувати маршрути в межах робочої зони.

Досягнення максимальної ефективності розробки кар'єра стає можливим завдяки комбінуванню різних видів транспорту, що дозволяє використовувати переваги кожного з них. На сучасних залізничних кар'єрах Кривбасу (табл. 2.1) широко застосовуються такі комбінації транспортних систем: залізнично-конвеєрна, автомобільно-залізнична та автомобільно-конвеєрна.

Залізнично-конвеєрний транспорт має широке поширення переважно на потужних родовищах, які мають синклінальну геологічну форму. В Україні такі умови характерні лише для кар'єра Південного ГЗК, де активно експлуатується цей вид транспортного комплексу. Однак залізнично-конвеєрний транспорт має низку недоліків, характерних для залізничних систем, таких як складність у забезпеченні

маневреності, значна вартість інфраструктурних рішень та висока капіталоємність, що суттєво обмежує сферу його застосування.

Таблиця 2.1 – Орієнтовні параметри комплексів транспортування гірничої маси глибоких залізрудних кар'єрів

Параметри, що характеризують область застосування комплексу	Вид транспорту	
а) залізнично-конвеєрного		
	Думпкари вантажопідйомністю 120 т	
Обсяг перевезень, млн. т	10-20	
Висота підйому залізничного транспорту, м	50-100	
Відстань перевезень залізничним транспортом, км	5-10	
б) автомобільно-залізничного		
	Автосамоскиди вантажопідйомністю 120 т	
Обсяг перевезень, млн. т	10-50	
Висота підйому залізничного транспорту, м	60-120	
Відстань перевезень залізничним транспортом, км	1,6-3,8	
в) автомобільно-конвеєрного		
	Конвеєри з шириною стрічки	
	1600 мм	2000 мм
Обсяг перевезень, млн. т	16-18	20-22
Висота підйому залізничного транспорту, м	60-120	130-200
Відстань перевезень залізничним транспортом, км	70-135	90-150

Іншим поширеним видом комбінованого транспорту є поєднання автомобільного та залізничного транспорту, яке використовується практично на всіх кар'єрах України. Дослідження [35-37], техніко-економічні розрахунки та багаторічна практика експлуатації автомобільно-залізничного транспорту підтвердили, що його

ефективність безпосередньо залежить від геометричних параметрів кар'єра. Зокрема, з урахуванням того, що проектна глибина багатьох кар'єрів сягає 500–700 м, максимальна глибина введення залізничного транспорту, яка зазвичай становить 100–150 м, є недостатньою.

Залізнично-конвеєрний транспорт знаходить своє застосування переважно на потужних родовищах, які мають синклінальну геологічну форму. В Україні такі умови характерні лише для кар'єра Південного ГЗК, де активно експлуатується цей вид транспортного комплексу. Однак залізнично-конвеєрний транспорт має низку недоліків, характерних для залізничних систем, таких як складність у забезпеченні маневреності, значна вартість інфраструктурних рішень та висока капіталоемність, що суттєво обмежує сферу його застосування.

Іншим поширеним видом комбінованого транспорту є поєднання автомобільного та залізничного транспорту, яке використовується практично на всіх кар'єрах України. Наукові дослідження техніко-економічні розрахунки та багаторічна практика експлуатації автомобільно-залізничного транспорту підтверджують, що його ефективність безпосередньо залежить від геометричних параметрів кар'єра. Зокрема, з урахуванням того, що проектна глибина багатьох кар'єрів сягає 500–700 м, максимальна глибина введення залізничного транспорту, яка зазвичай становить 100–150 м, є недостатньою.

Через ці обмеження залізничний транспорт може ефективно використовуватися лише на верхніх горизонтах кар'єра. Це зумовлено значним збільшенням капітальних витрат на будівництво траншей, залізничних колій та інших комунікацій на більших глибинах. Крім того, експлуатаційні витрати також різко зростають із поглибленням кар'єра, що робить цей вид транспорту менш привабливим для використання на глибоких горизонтах. Таким чином, комбінування автомобільного та залізничного транспорту є доцільним лише за певних умов і вимагає

ретельного техніко-економічного обґрунтування з урахуванням глибини кар'єра та особливостей його геометрії.

На сьогодні найбільш перспективним рішенням для транспортування гірничої маси на глибоких кар'єрах є використання автомобільно-конвеєрного транспортного комплексу. Застосування цієї системи зазвичай обмежується зверху зоною дії автомобільно-залізничного транспорту, а знизу — дном кар'єра. Основною перевагою автомобільно-конвеєрного транспорту, що забезпечує його широке впровадження на кар'єрах України, є можливість поступового переміщення перевантажувальних пунктів у відповідності зі зниженням центру гірничих робіт.

Ця властивість дозволяє адаптувати транспортний комплекс до змінюваних умов експлуатації, що особливо важливо при розробці глибоких горизонтів. Використання конвеєрного підйому в таких умовах має ряд важливих переваг, серед яких зменшення відстані перевезень автомобільним транспортом та зниження загальної вартості транспортування. Завдяки цьому автомобільно-конвеєрний транспорт дозволяє підвищити ефективність роботи гірничо-транспортної системи, забезпечуючи оптимальне співвідношення між витратами на транспортування та продуктивністю процесу.

Аналіз собівартості перевезення гірничої маси на кар'єрах Кривбасу дозволив провести порівняння ефективності різних транспортних комплексів. Зокрема, впровадження конвеєрного підйомника на кар'єрі №1 Центрального ГЗК зробило можливим транспортування розкривних порід із найглибших горизонтів. При цьому собівартість перевезення 1 тонни гірничої маси автомобільно-конвеєрно-залізничним транспортом виявилася порівняною зі собівартістю транспортування автомобільно-залізничним комплексом, що свідчить про конкурентоспроможність такого підходу.

Об'єктивна оцінка ефективності транспортних комплексів базується на вартості транспортування 1 тонни гірничої маси на 1 метр висоти підйому. Найнижча вартість підйому була зафіксована на кар'єрі Південного ГЗК при використанні залізнично-конвеєрного комплексу, а також на кар'єрі №1 ЦГЗК для автомобільно-конвеєрного транспорту [35]. Ці результати підкреслюють ефективність комбінованих транспортних систем у залежності від гірничотехнічних умов.

Однак проблеми з продуктивністю конвеєрних підйомників, наприклад, на Інгулецькому ГЗК, де фактична продуктивність становила лише 28 млн тонн порівняно з проектними 36 млн тонн, призводять до суттєвого підвищення собівартості транспортування 1 тонни руди. Така невідповідність між проектними й фактичними показниками продуктивності підкреслює важливість оптимізації роботи транспортних систем і вдосконалення експлуатаційних процесів для забезпечення економічної ефективності гірничих підприємств.

Порівняльний аналіз собівартості експлуатації конвеєрних підйомників за основними статтями витрат (таблиця 2.2) показав, що найбільша частка витрат припадає на амортизаційні відрахування та заміну конвеєрної стрічки, особливо у випадку конвеєрного підйомника кар'єру №1 ЦГЗК [38]. Основною причиною цього є недосягнення проектної продуктивності конвеєрного підйомника, що суттєво підвищує питомі витрати на транспортування 1 тонни гірничої маси. Відсутність повного завантаження потужностей призводить до нерівномірного розподілу витрат і знижує загальну економічну ефективність експлуатації.

Результати аналізу свідчать, що переваги конвеєрних підйомників порівняно із залізничним транспортом стають більш очевидними при транспортуванні гірничої маси з нижніх горизонтів кар'єра, особливо за умов значної висоти підйому. У таких випадках

витрати на транспортування за допомогою конвеєрних підйомників можуть бути зіставними із витратами на одиницю продукції залізничним транспортом, водночас забезпечуючи вищу продуктивність та більшу стабільність роботи на значних глибинах. Це підкреслює важливість оптимізації параметрів експлуатації конвеєрних підйомників для максимального розкриття їх економічних переваг.

Таблиця 2.2 – Порівняння основних статей витрат на доставку гірничої маси конвеєрним транспортом

Параметри	Інгулецький ГЗК	Центральний ГЗК	Північний ГЗК	Південний ГЗК
Витрати електроенергії, %	13,9	17,25	6,47	14,50
Фонд заробітної плати, %	4,8	5,10	3,33	3,20
Витрати поточного ремонту, %	13	9,40	25,61	33,28
Оновлення конвеєрної стрічки, %	11,9	13,61	11,20	13,55
Амортизаційні відрахування, %	49,8	52,40	54,35	39,22
Інше, %	3,1	8,10	4,43	2,38
Похила відстань транспортування, км	3	1,7	2,9	2,5
Вертикальний підйом, м	235	234	145	140

Дослідження показали, що основними причинами високої собівартості транспортування за допомогою конвеєрних підйомників є низький рівень використання їх проектної потужності, нерівномірність

подачі навантажених автосамоскидів та зниження годинного завантаження конвеєрів. У деяких випадках продуктивність напочатку та в кінці зміни становить лише 25–47% від середньої годинної продуктивності, що значно впливає на ефективність роботи транспортного комплексу [38].

Практика експлуатації родовищ демонструє, що коефіцієнт використання конвеєрного транспорту є відносно високим і коливається в межах 0,72–0,85. Водночас годинна продуктивність конвеєрів залишається на рівні 30–50% від технічної потужності, за винятком Південного ГЗК, де цей показник досягає 80%. Річна продуктивність конвеєрних підйомників також не завжди відповідає проєктній: на кар'єрах Інгулецького ГЗК та Північного ГЗК фактична продуктивність становить 75–83% від проєктної, тоді як на Південному ГЗК фактичні показники перевищують проєктні, а середній коефіцієнт використання в часі сягає 0,8.

Щодо надійності конвеєрних підйомників, вони значно перевершують автосамоскиди та локомотиви. Наприклад, показники безвідмовної роботи та коефіцієнт готовності окремих конвеєрних установок у півтори рази вищі, ніж у автотранспорту чи залізничного транспорту. Це свідчить про високий рівень технологічної надійності конвеєрів, що робить їх важливим компонентом транспортної системи, особливо на глибоких горизонтах кар'єрів. Однак для досягнення повної економічної ефективності необхідно підвищити рівень завантаження та усунути нерівномірності у їх роботі.

Основні показники кар'єрного транспорту, такі як обсяги перевезень, продуктивність і ступінь використання рухомого складу, відіграють ключову роль при визначенні місця розташування перевантажувальних пунктів. Ці параметри є базовими для оптимізації транспортних систем і забезпечення ефективності роботи комплексу.

Вперше комбінація конвеєрного транспорту з автомобільним збиральним транспортом була передбачена в проектах, розроблених у період 1965–1967 років. Така схема вперше була впроваджена саме на кар'єрі Інгулецького ГЗК, а згодом знайшла застосування на кар'єрі №1 ЦГЗК, кар'єрах №2 і №3 НКГЗК, а також на Ганнівському кар'єрі Північного ГЗК. Ця комбінація виявилася перспективною завдяки можливості поєднання високої маневреності автомобільного транспорту з економічною ефективністю конвеєрного підйому.

Для порівняння проектних і фактичних економічних показників циклічно-поточної технології найбільш репрезентативним є період 1980–1990 років. Це пов'язано з тим, що більшість проектів з поглиблення конвеєрних підйомників були виконані саме в цей час.

Поглиблення кар'єрів призводить до значного збільшення висоти підйому гірничої маси, довжини конвеєрів і, відповідно, складності доставки руди до збагачувальних фабрик і розкривних порід на відвали. Ці фактори створюють додаткові технічні та економічні виклики, що потребують перегляду існуючих транспортних схем і розробки нових підходів для забезпечення стабільності та ефективності гірничо-транспортних процесів у глибоких кар'єрах.

Дослідження покують, що впровадження конвеєрних підйомників на глибоких кар'єрах значно підвищує ефективність гірничих робіт. Зокрема, продуктивність праці зростає у 1,5–2 рази, а собівартість видобутку знижується на 15–20%. Це досягається навіть з урахуванням того, що вартість конвеєрних комплексів може становити до 35% від загальної вартості всього гірничого і транспортного обладнання.

Загальний обсяг перевезень конвеєрними підйомниками на таких кар'єрах досягає 70 млн тонн, що складає 30–50% від проектних обсягів гірничої маси, що транспортується з використанням конвеєрів. Частка руди, яка подається через конвеєрні підйомники, становить 60–80%, що

підкреслює їхню ключову роль у транспортній системі глибоких кар'єрів. Серед основних переваг конвеєрних підйомників виділяються безперервність і автоматизованість процесів, високі швидкості переміщення матеріалів, а також висока продуктивність, яка робить цей вид транспорту оптимальним для роботи на великих глибинах.

Продуктивність запроєктованих конвеєрних ліній становить від 15 до 30 млн тонн на рік, залежно від гірничотехнічних умов і конфігурації кар'єра. Швидкість руху стрічкових конвеєрів може досягати 2–3 м/с при ширині стрічки 2000 мм та здатності транспортувати до 5000 тонн матеріалу на годину.

Щодо розміщення конвеєрів, вони зазвичай встановлюються в галереях на борту кар'єра або в похилому стволі. Проте розташування конвеєра в галереї на борту кар'єра має певний недолік: воно вимагає наявності неробочого борту кар'єра, що необхідний для розміщення конвеєрного підйомника, а також проходки траншеї. Це обмеження ускладнює використання інших видів транспорту на цьому борту кар'єра, знижуючи гнучкість транспортної системи [20]. У зв'язку з цим розташування конвеєрів має ретельно враховувати геометрію кар'єра та вимоги до сумісності різних видів транспорту.

Розміщення конвеєрного ставу у похилому стволі має низку суттєвих переваг. По-перше, це забезпечує більшу гнучкість у розвитку гірничих робіт, дозволяючи одночасно використовувати інші види транспорту в межах кар'єра. По-друге, таке розташування забезпечує ефективніший захист конвеєрів від впливу кліматичних факторів, що підвищує їх надійність і знижує витрати на технічне обслуговування. Проте головним недоліком цього підходу є високі капітальні витрати та значний термін будівництва похилого стовбура і самого конвеєрного комплексу.

У зв'язку з цим виникає необхідність визначення параметрів, які дозволяють мінімізувати сукупні витрати на спорудження та експлуатацію як конвеєрного, так і складального автомобільного транспорту. Основними елементами транспортного комплексу, що впливають на техніко-економічні показники роботи конвеєрної ланки, є довжина конвеєрів, висота підйому, а для автомобільного транспорту – довжина транспортування та висота підйому. Оптимізація цих параметрів є ключовою для забезпечення економічної доцільності комбінованих транспортних систем.

На глибинах понад 100–150 м автомобільний транспорт зазвичай використовується як складальний, працюючи у комбінації з конвеєрним транспортом. Такий підхід має певні відмінності від самостійного використання автомобільного транспорту. Зокрема, складальний автомобільний транспорт орієнтований на короточасні перевезення у межах робочої зони та забезпечення своєчасної подачі гірничої маси до перевантажувальних пунктів. Ці особливості впливають на продуктивність та витрати, що робить важливим ретельне проектування транспортних схем із урахуванням специфіки кожного виду транспорту.

Досвід експлуатації автотранспорту на глибоких залізородних кар'єрах свідчить, що найменші відстані перевезень спостерігаються в межах верхньої та середньої зон кар'єра, де вони зазвичай становлять 3–5 км. Водночас у нижній частині кар'єра, де з глибоких горизонтів доводиться виконувати зтяжні підйоми, відстань транспортування суттєво збільшується, що ускладнює роботу транспортного комплексу.

Відомо, що протягом десятирічного періоду висота підйому автотранспортом на кар'єрах Інгулецького ГЗК та Центрального ГЗК зросла на 25–30%. Зростання висоти перевезення перевищує оптимальні параметри для автотранспорту, які становлять 100–120 м

для висоти підйому та 2–4 км для відстані транспортування. Це створює надмірні навантаження на автосамоскиди, значно ускладнює їх експлуатацію, спричиняє прискорений знос і збільшення експлуатаційних витрат. Незважаючи на ці труднощі, у сучасних проектах, що передбачають використання автомобільно-конвеєрних транспортних систем, допускається доставка гірничої маси автотранспортом на висоту, що досягає 150–160 м.

Однак у нинішніх умовах, коли висота підйому гірничої маси на кар'єрах перевищує 200 м, а відстані транспортування сягають понад 3,5 км, автономне використання автотранспорту, навіть самоскидів вантажопідйомністю понад 120 тонн, вважається економічно необґрунтованим. Це зумовлено не лише високими експлуатаційними витратами, але й обмеженнями технічних характеристик автотранспорту на великих глибинах. За таких умов доцільним є перехід до комбінованих транспортних систем, де автотранспорт використовується як складальний засіб, а конвеєрні лінії виконують основну функцію транспортування, що дозволяє мінімізувати витрати та підвищити ефективність гірничо-транспортного процесу.

Однією з ключових складових автомобільно-конвеєрного транспортного комплексу є дробильно-перевантажувальний пункт, який відіграє вирішальну роль у забезпеченні працездатності всієї транспортної системи. Цей елемент відповідає за значну частину витрат на створення та експлуатацію транспортного комплексу, які можуть досягати 30% від загальної вартості системи.

На кар'єрах України, з урахуванням досягнутих глибин розробки, дробильно-перевантажувальні пункти зазвичай будуються у стаціонарному виконанні. Вони розташовуються або на поверхні поблизу борту кар'єра, або всередині його робочої зони і розраховані на тривалий термін експлуатації, що може сягати 10 років і більше.

Однак останніми роками спостерігається перехід до використання пересувних дробарок, які мають менший термін роботи на одному місці. Це зумовлено необхідністю адаптації транспортної системи до змінюваної конфігурації кар'єра та пошуком способів зменшення експлуатаційних витрат.

На більшості сучасних кар'єрів України переважають стаціонарні перевантажувальні пункти, обладнані потужними дробарками типу ККД-500/180, що забезпечують продуктивність до 25 млн тонн гірничої маси на рік. Їхнє впровадження сприяє ефективному транспортуванню матеріалів із великих глибин, що є критично важливим для економічно вигідної розробки родовищ.

Розташування дробильно-перевантажувальних пунктів залежить від схеми розвитку та технології відпрацювання кар'єра, які визначаються економічними міркуваннями. Наприклад, розміщення перевантажувального пункту в нижній частині робочої зони кар'єра, особливо якщо розкривні роботи і поглиблення здійснюються вздовж неробочого борту, дозволяє значно скоротити відстані транспортування автосамоскидами. Це зменшує витрати на перевезення гірничої маси, оптимізує використання автотранспорту і підвищує загальну ефективність гірничо-транспортної системи.

Зі збільшенням глибини кар'єрів висота розташування перевантажувальних пунктів часто перевищує раціональні значення для ефективного використання складального автотранспорту. Це відбувається внаслідок постійного зниження рівня гірничих робіт, що ускладнює транспортування та зменшує загальну продуктивність транспортної системи. Водночас впровадження конвеєрних установок безпосередньо в межах кар'єра значно покращує ефективність використання складального автотранспорту і сприяє формуванню більш ефективного транспортного комплексу.

Аналіз проектних рішень щодо автомобільно-конвеєрних транспортних систем виявив, що такі комплекси не споруджуються одноразово, а вводяться в експлуатацію поступово, поетапно. Етапи введення визначають часові інтервали між запуском чергових перевантажувальних пунктів, які можуть тривати кілька років. Процес проектування ускладнюється необхідністю врахування великої кількості факторів, які впливають на ефективність роботи транспортної системи. Серед них особливе значення має режим гірничих робіт, що визначає напрямок і швидкість поглиблення кар'єра.

Через тривалий термін будівництва перевантажувальних пунктів, який може складати від 3 до 7 років, а також їхній значний термін експлуатації, надзвичайно важливо максимально наблизити технологічні показники роботи пунктів до оптимальних. Це можливо за умови ретельного врахування в процесі проектування режиму гірничих робіт і напрямку поглиблення кар'єра. Такий підхід дозволяє забезпечити більш ефективне використання конвеєрного комплексу, підвищуючи його продуктивність і знижуючи витрати на транспортування гірничої маси.

Дослідження досвіду експлуатації циклічно-поточної технології транспортування гірничої маси представлено у дослідженнях науковців-практиків, які зробили вагомий внесок у цю галузь.

S. Bukeikhanova, S. Kulniyaz та S. Lysenko розробили та проаналізували три варіанти освоєння родовищ із використанням ЦПТ, рекомендувавши перший варіант, що передбачає застосування ЦПТ на північній ділянці з 30% м'яких порід та 70% циклічної технології з використанням простого автомобільно-залізничного транспорту [39].

A.V. Glebov, A.V. Semenkin, G.D. Karmaev та V.A. Bersenev запропонували фундаментальні положення щодо вибору механізації в схемах ЦПТ, визначивши тенденції зміни оціночних показників залежно

від річного обсягу транспортування та висоти підйому гірничої маси конвеєрами [40].

V.A. Sumina провела огляд застосування циклічно-поточної технології в конвеєрно-автомобільному транспорті на відкритих розробках, оцінюючи споживання матеріалів та енергії залежно від обсягів транспортування гірничої маси та глибини розташування дробильно-перевантажувальної станції в кар'єрі [41].

A.V. Glebov та V.A. Bersenev дослідили ефективність циклічно-поточної технології в умовах глибоких кар'єрів, обґрунтовуючи розташування дробильно-перевантажувальних станцій для великих відкритих розробок [42].

Ці дослідження суттєво розширили розуміння параметрів та ефективності ЦПТ, сприяючи оптимізації транспортування гірничої маси в різних умовах експлуатації.

2.2. Аналіз існуючої транспортної схеми кар'єру ПРАТ «Інгулецький ГЗК»

Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат було зведено на основі Інгулецького родовища магнетитових залізистих кварцитів та введено в експлуатацію у період 1961–1966 років. Під час першої черги будівництва було досягнуто проектної річної потужності на рівні 18,0 млн тонн сирої руди.

У 1967–1970 роках проведено реконструкцію та розширення комбінату до річної потужності 30 млн тонн сирої руди (друга черга будівництва), зберігши автомобільний транспорт для доставки розкривних порід на відвали №1 і №2 [43].

У 1975 році завершено третю чергу розширення комбінату до 36,4 млн тонн сирої руди та 15,5 млн тонн концентрату на рік.

Відповідно до робочого проєкту, окрім автомобільного транспорту для відвалу №1, передбачено використання залізничного та автомобільно-залізничного транспорту для відвалів №2 і №3.

У 1986 році наказом Мінчормету СРСР затверджено проєкт першої черги розкриття та розробки нижніх горизонтів кар'єра Інгулецького ГОКу, що тимчасово знизив річну продуктивність до 34,5 млн тонн руди та 14,1 млн тонн концентрату.

У 1997 році розроблено "Комплексний проєкт реконструкції Інгулецького ГОКу до 2010 року". Проєкт передбачав варіанти транспортних схем доставки розкриву з використанням автомобільно-конвеєрного та автомобільно-скіпового транспорту. Обрано автомобільно-конвеєрну схему.

У 2004–2006 роках було розроблено "Комплексний проєкт поетапного розвитку гірничих робіт і переробки мінеральної сировини до завершення розробки Інгулецького родовища", який передбачав підтримання виробничих потужностей на рівні 14 млн тонн концентрату на рік [44].

Розробка пухких покриваючих порід здійснюється на горизонтах 66 ... -45 м, тоді як скельні розкривні породи відпрацьовуються на горизонтах 26 ... -300 м. Видобуток руди ведеться на горизонтах -30 ... -420 м. Висота уступів у пухких породах становить 12–14 м, у скельних породах – 15 м. На кінцевих контурах кар'єра використовуються здвоєні уступи в скельних породах із висотою до 30 м. У якості основного обладнання для виїмки та навантаження використовуються екскаватори моделей ЕКГ-8И, ЕКГ-10 і Hitachi EX-2500-6. Скельна гірнична маса розпушується буровибуховим способом. Для буріння вибухових свердловин застосовуються станки шарошкового буріння СБШ-250МН.

Навантаження гірничої маси здійснюється екскаваторами у автосамоскиди БелАЗ-7513 (вантажопідйомністю 130 т), БелАЗ-7514 (вантажопідйомністю 120 т) та думпкари 2ВС-105.

Розкриття верхніх горизонтів кар'єра здійснено вздовж східного борту за допомогою внутрішніх залізничних траншей, прокладених до горизонту -60 м. На південному та західному бортах розробка виконана з використанням постійних внутрішніх автомобільних траншей та системи похилих підземних конвеєрних підйомників.

Для розкриття нижніх горизонтів застосовуються тимчасові автомобільні з'їзди, які здебільшого розташовані на північному борту кар'єра.

На кар'єрі використовується комбінована транспортна система, що включає автомобільно-конвеєрний та автомобільно-залізничний транспорт. Для транспортування руди з кар'єра на фабрику побудовано підземний комплекс циклічно-поточної технології (ЦПТ), який складається з двох конвеєрних ліній: «Західної» та «Східної» [45].

Розкривні породи з верхніх горизонтів (до рівня -60 м) завантажуються безпосередньо в залізничний транспорт і транспортуються на відвал №2. З нижніх горизонтів кар'єра розкривні породи вивозяться автосамоскидами на внутрішньокар'єрні перевантажувальні пункти, розташовані на горизонтах -45/-60 м, -30/-45 м, -15/-30 м і 0/-15 м. Там породи перевантажуються у думпкари, які залізничним транспортом доставляють матеріал на відвал №2 [45].

Руду з кар'єра транспортують на збагачувальну фабрику із застосуванням циклічно-поточної технології. В кар'єрі експлуатувалися дробильно-перевантажувальні пункти, розташовані на концентраційних горизонтах -60 м, -180 м, -240 м та -300 м. Тут відбувається первинне дроблення за допомогою дробарок ККД 1500/180. Далі руда переміщується підземними конвеєрними лініями «Західною» і

«Східною» на подальшу обробку. Конвеєрний тракт «Західний» забезпечує транспортування руди на другу-четверту стадії дроблення, після чого матеріал подається на збагачувальну фабрику №1. Тракт «Східний» спрямовує руду безпосередньо до секцій самоподрібнення збагачувальної фабрики №2 [45].

Транспортна схема кар'єру наведена на рис. 2.1.

Відповідно до відпрацювання кар'єру Інгулецького ГЗК в межах ліцензійної площі, виймання розкривних порід обмежуються горизонтом -810 м, а об'єми виймання наведені в таблиці 2.3.

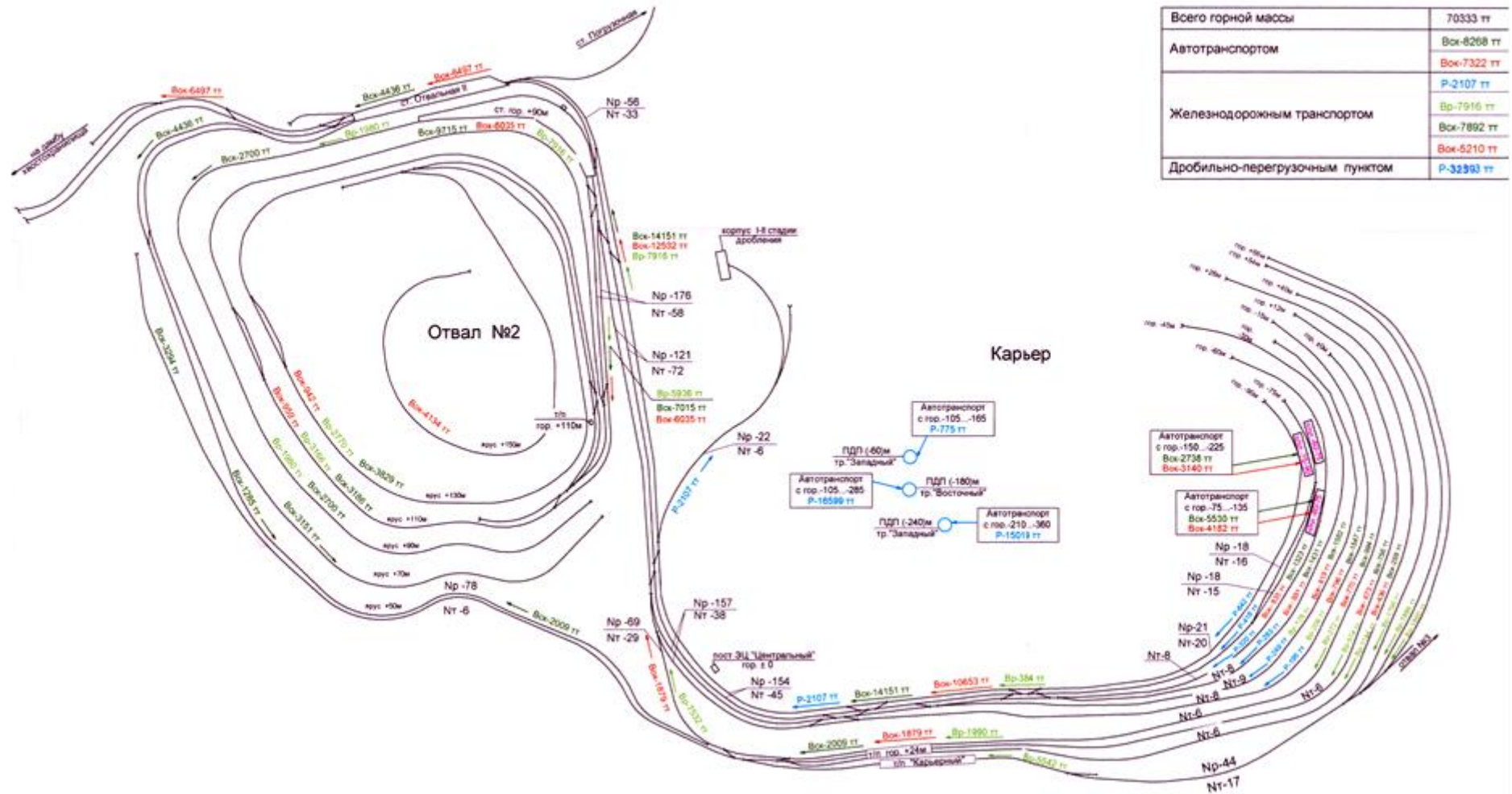


Рис. 2.1 – Транспортна схема Інгулецького ГЗК [45]

Таблиця 2.3 – Об'єми розкривних порід, що виймаються з кар'єру ПРАТ «Інгулецький ГЗК» в межах ліцензійної площі [45]

Розріз	Об'єми виймання по горизонтах, тис. м ³												Разом
	ДП... -15 м	-15м... -60м	-60м... -90м	-90м... -120м	-120м... -180м	-180м... -240м	-240м... -300м	-300м... -390м	-390м... -480м	-480м... -570м	-570м... -660м	-660м... -810м	
МО 38	670	522	441	232	66	152	24						2 106
МО 40	994	800	763	354	193	224	336						3 665
МО 42	1 246	1 021	1 193	598	413	342	733						5 547
МО 44	1 404	1 122	1 509	949	511	361	573	149	30				6 607
МО 46	1 481	1 183	1 621	1 240	694	356	329	217	77				7 198
МО 48	1 507	1 253	1 831	1 461	1 066	499	504	701	298				9 120
МО 50	1 763	1 492	2 146	1 649	1 252	646	984	1 094	209				11 237
МО 52	2 250	1 574	2 449	2 067	1 478	984	1 112	597	392	263			13 165
МО 54	2 237	1 749	2 607	2 562	1 907	1 353	1 278	641	695	374			15 403
МО 56	2 410	2 106	2 777	2 833	2 497	1 687	1 707	828	248	27			17 120
МО 60	5 643	4 020	5 991	6 407	6 877	5 454	5 846	3 212	1 253	515	82		45 298
МО 66	9 695	6 945	10 905	12 870	14 473	13 165	15 219	10 719	7 130	4 134	582	417	106 256
МО 70	9 594	6 622	10 595	12 055	11 926	10 675	12 838	9 702	6 860	3 140	473	294	94 773
МО 76	22 599	14 612	25 435	25 714	23 226	20 162	23 772	15 588	9 481	3 508	199	150	184 445
МО 84	45 876	25 512	41 783	38 585	35 553	31 401	38 586	24 702	12 897	4 847	63	15	299 821
МО 90	51 161	22 481	30 069	27 129	24 626	21 537	26 564	17 754	7 517	1 186	47		230 072
Профіль 10	43 343	18 317	20 677	16 708	13 170	8 697	6 172	4 138	1 458				132 680
Профіль 12	42 717	15 507	11 410	5 361	3 535	1 355							79 885
3 відвалу №1													9 700
РАЗОМ	246 591	126 838	174 205	158 776	143 461	119 049	136 575	90 041	48 546	17 995	1 446	876	1 274 099

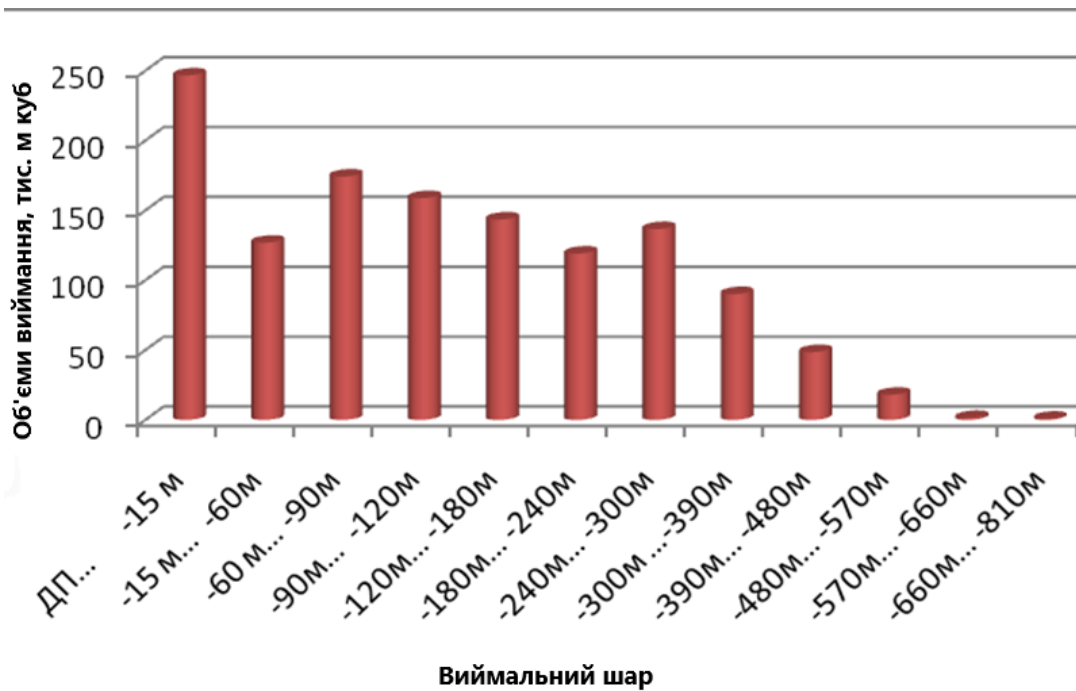


Рис. 2.2 – Розподіл обсягів виймання розкривних порід по горизонтах кар'єру ПРАТ «Інгулецький ГЗК» [45]

Графік обсягів виймання гірничої маси за різними виїмковими шарами демонструє суттєвий вантажопотік навіть з нижніх горизонтів. Враховуючи конфігурацію рудного тіла родовища, запаси руди на нижніх горизонтах значно більші. Хоча обсяги виймання на цих горизонтах поступово знижуються, вони залишаються достатньо значними для обґрунтування використання ЦПТ.

Переміщення гірничої маси конвеєрами з цих горизонтів дозволить уникнути високих витрат на роботу автотранспорту на великих глибинах і суттєво розвтажить робочу зону на нижніх горизонтах.

Схематичне зображення розвитку циклічно-поточної технології при поглибленні гірничих робіт наведено на рис. 2.3.

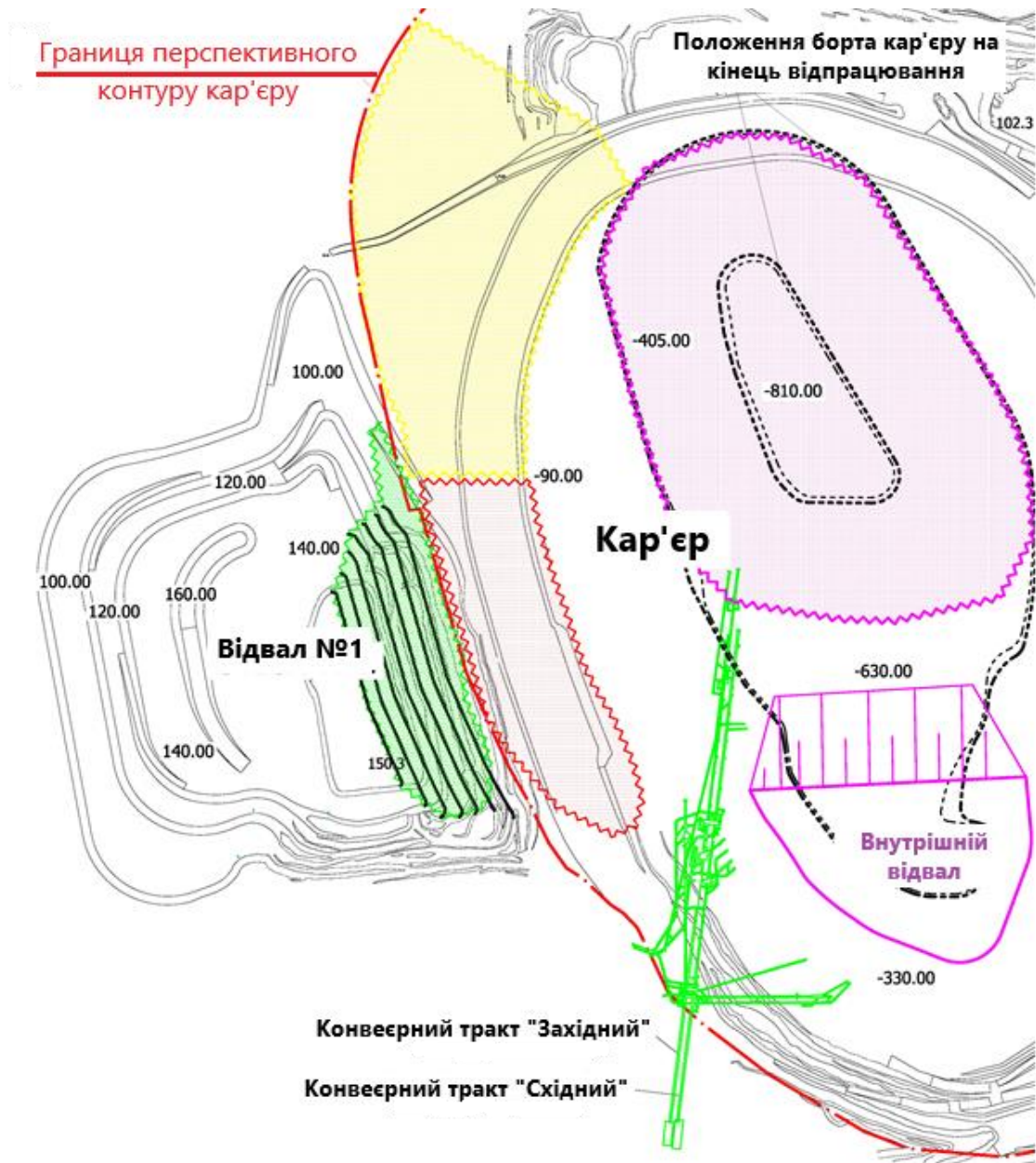


Рис. 2.3 – Схема перспективного розвитку циклічно-поточної технології при розвитку гірничих робіт на кар'єрі ПРАТ «Інгулецький ГЗК»

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КРОКУ ПЕРЕНОСУ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОГО ПУНКТУ ЦИКЛІЧНО-ПОТОЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КАР'ЄРУ ПРАТ «ІНГУЛЕЦЬКИЙ ГЗК»

На основі аналізу вищезазначених джерел основними характеристиками транспортного комплексу, що визначають його ефективність і продуктивність, є висота підйому, відстань транспортування, величина кроку перенесення перевантажувальних пунктів, кількість одночасно задіяних перевантажувальних пунктів, їх просторове розташування у групі уступів, а також ухил автодоріг та інші параметри. Кожен із цих факторів має вирішальний вплив на організацію та функціонування транспортної системи в умовах відкритої розробки родовищ.

Висота робочої зони кар'єра є одним із найважливіших параметрів, який постійно змінюється у процесі експлуатації. Наприклад, на кар'єрі ПРАТ «Інгулецький ГЗК» цей показник зріс із 280 м у 1990 році до 420 м у 2020 році. Такий ріст є критичним фактором для транспортних систем, зокрема для комбінованого транспорту, що включає конвеєрний підйом, які дозволяють ефективно здійснювати транспортування гірничої маси з великих глибин [44].

Дослідження, проведені в роботі [34], показують, що максимальна висота робочої зони досягається в момент, коли робочий борт кар'єра досягає проектного контуру на поверхні. У подальшому, зі збільшенням глибини кар'єра, висота робочої зони поступово зменшується, досягаючи мінімального значення наприкінці експлуатації, коли відпрацьовуються залишкові запаси.

Автомобільно-конвеєрний транспорт виявляється економічно доцільним лише за певних гірничотехнічних умов, які забезпечують оптимальне співвідношення між витратами на транспортування та ефективністю роботи транспортного комплексу. Одним із ключових

параметрів, що визначають такі умови, є відстань перевезення. У ранні періоди застосування автомобільного транспорту в гірничій справі вважалося, що економічно вигідна відстань транспортування не повинна перевищувати 3 км для кар'єрних самоскидів вантажопідйомністю 70-80 тонн, а для більш потужних автомобілів із вантажопідйомністю 100-120 тонн – до 7 км. При цьому для конвеєрних ліній допустима довжина могла становити 4-5 км.

Відстань транспортування автомобільним транспортом залежить від низки факторів, серед яких найважливішими є висота розташування перевантажувального пункту та темпи зниження гірничих робіт. Ці параметри мають значну варіативність у різних зонах кар'єра, що обумовлює необхідність їх диференційованого врахування. Залежно від них змінюються такі експлуатаційні показники, як витрати дизельного палива, зношення шин та інші складові транспортних витрат.

Середня відстань транспортування розраховується на основі середньої висоти підйому, коефіцієнта розвитку траси та керівного ухилу дороги. У деяких випадках також враховується висота робочої зони. Для скорочення середньої відстані транспортування можливим є розташування декількох перевантажувальних пунктів на різних рівнях робочої зони, що дозволяє оптимізувати транспортні маршрути. Водночас висока ефективність автомобільно-конвеєрного комплексу не завжди забезпечується мінімальною відстанню транспортування [32], оскільки цей параметр не вичерпно характеризує всю систему.

Додатково необхідно враховувати висоту підйому, яка постійно збільшується у процесі інтенсивного зниження гірничих робіт, зокрема і в кар'єрі Інгулецького ГЗК. Аналіз гірничотехнічних умов залізородних кар'єрів підтверджує, що саме ці параметри – висота підйому, відстань транспортування та темпи зниження гірничих робіт – є найбільш динамічними, що вимагає постійного їхнього моніторингу та корекції для

підтримання ефективності транспортної системи.

Дослідження показують, що серед усіх параметрів, які впливають на експлуатаційні характеристики автосамоскидів та їх технічний стан, визначальним є висота підйому гірничої маси. Цей параметр займає провідне місце у системі факторів, що впливають на продуктивність і довговічність транспортного обладнання. Висота підйому, своєю чергою, є функцією кількох змінних: прийнятої системи розробки родовища, глибини кар'єра, рівня виконання гірничих робіт, а також просторового положення перевантажувального пункту на конкретний етап експлуатації.

При цьому висота розташування перевантажувального пункту визначається як відстань по вертикалі між рівнем його встановлення і нижньою межею робочої зони, що перебуває у розробці. Цей показник відображає не лише технологічні особливості транспортування, але й впливає на витрати палива, зношення шин та загальну ефективність транспортної системи. Врахування висоти підйому є критично важливим для оптимізації роботи автосамоскидів у кар'єрі, особливо в умовах постійно змінюваної геометрії кар'єрного простору.

Автомобільно-конвеєрні транспортні системи працюють у динамічно змінюваному геометричному просторі кар'єра, що безпосередньо впливає на умови їх експлуатації. У процесі розробки кар'єра центр ваги маси гірських порід, які підлягають транспортуванню, переміщується вниз. Це зумовлює поступове збільшення висоти підйому гірничої маси транспортним комплексом, що, своєю чергою, викликає зміну технологічних і експлуатаційних умов роботи транспортної системи. Такий розвиток подій вимагає постійної адаптації транспортних комплексів до змінних умов для забезпечення їх максимальної ефективності.

Відстань транспортування гірничої маси значною мірою залежить

від висоти розташування дробарно-перевантажувального пункту, зокрема при переході від діючої до наступної схемах розкриття робочих горизонтів.

Розкриття робочих горизонтів у межах відкритої розробки родовищ корисних копалин виконують із дотриманням визначеного кроку переміщення дробильно-перевантажувального пункту. Такий підхід забезпечує досягнення мінімальних транспортних відстаней, що є важливим з погляду зниження експлуатаційних витрат. Водночас, якщо висотне положення дробильно-перевантажувального пункту при переході до виконання робіт відповідно до діючої або чергової схеми розкриття перевищує допустимий рівень, це призводить до збільшення транспортних відстаней. У таких умовах розробку родовища на відповідних етапах доводиться здійснювати з перевищенням мінімально розрахованих параметрів транспортування, що може впливати на загальну ефективність гірничо-транспортної системи. Це можна наочно простежити на представленій ілюстрації (рис. 3.1), яка демонструє взаємозв'язок параметрів висотного розташування дробильно-перевантажувального пункту, схем розкриття та відстаней транспортування.

Під час розробки кар'єра із застосуванням дробильно-перевантажувального пункту 1, який спочатку передбачалося розташувати на висоті H_y , планувалося відпрацювання частини кар'єра, обмеженої положенням робочих зон 5 і 6. Проте фактична розробка здійснювалася при розташуванні пункту на висоті H'_y , де ($H'_y > H_y$). У результаті відпрацьована частина кар'єра охопила зони, обмежені положеннями робочих зон 3 і 4. Глибина між робочими зонами 5 і 6 та зонами 3 і 4 відповідає кроку перенесення дробильно-перевантажувального пункту.

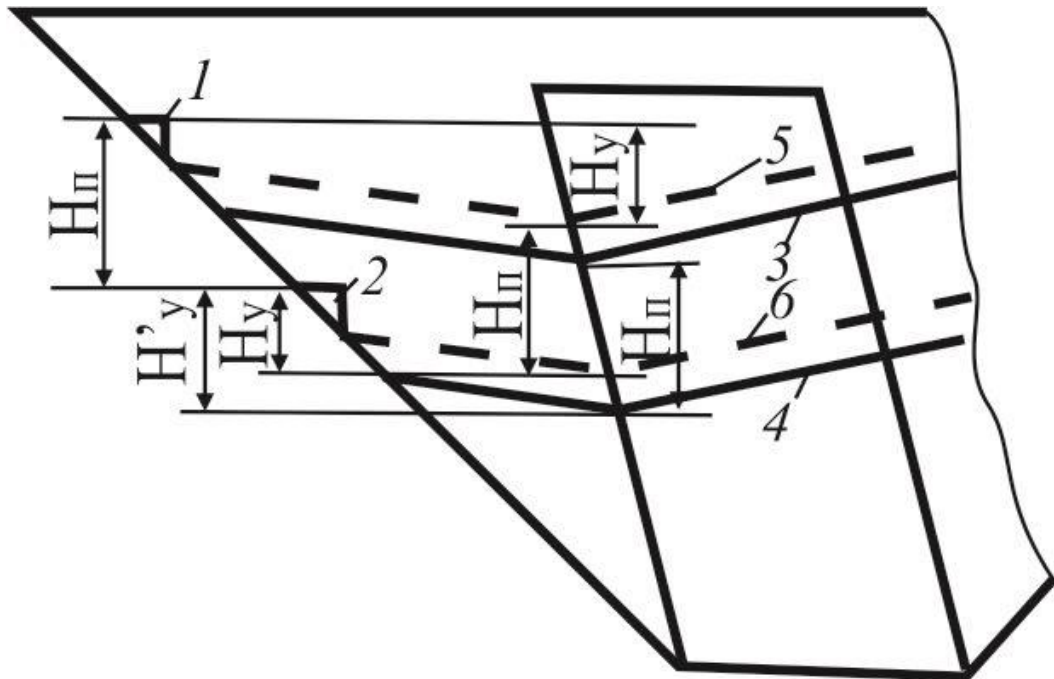


Рис. 3.1 – Ескіз динаміки робочої зони кар'єру, що ілюструє вплив висотного положення дробильно-перевантажувального пункту та величини кроку його переміщення на зміну транспортних відстаней під час пониження гірничих робіт

Однак через те, що частина кар'єра, обмежена зонами 3 і 4, розроблялася при більшій висоті розташування пункту H'_y , ніж передбачалося, та за більшої глибини кар'єра, відстань транспортування матеріалу до дробильно-перевантажувального пункту 1 збільшилася пропорційно різниці висот ($H'_y - H_y$). Така ситуація може значно вплинути на ефективність транспортних операцій і загальні витрати на перевезення.

Глибину, що визначається різницею між положенням нижнього горизонту робочої зони на початку виконання робіт за прийнятою схемою розкриття та положенням нижнього горизонту після завершення робіт за тією ж схемою, приймаємо як глибину розкриття горизонтів. Крок перенесення дробильно-перевантажувального пункту

буде еквівалентним цій глибині, за умови, що висота розташування пунктів залишатиметься незмінною при переході від поточної до наступної схеми розкриття горизонтів.

Отже, для забезпечення ефективної організації гірничих робіт і мінімізації транспортних відстаней, необхідно коректно встановити висоту розташування дробильно-перевантажувального пункту при переході до виконання робіт за черговою схемою розкриття, а також визначити оптимальний крок його переміщення. Ці параметри розраховуються з урахуванням умов забезпечення мінімальних транспортних відстаней на кожному етапі розкриття горизонтів.

Дробарно-перевантажувальний пункт під час організації гірничих робіт за черговою схемою розкриття зазвичай розташовують у нижній частині робочої зони, що дозволяє забезпечити оптимальні умови для подальшого виконання технологічних операцій. Перед перенесенням пункту, його розташування, як правило, визначається у верхній частині робочої зони, що зумовлює зміну відстаней транспортування за параболічною залежністю. Зокрема, на початковій стадії виконання робіт, відповідно до прийнятої схеми розкриття, транспортні відстані характеризуються найбільшими значеннями через необхідність перевезення матеріалів із значних висотних відміток. У процесі пониження робіт ці відстані поступово зменшуються, досягаючи мінімального значення в середній частині етапу розкриття. В подальшому, у зв'язку з поглибленням кар'єру та зміною конфігурації фронту робіт, транспортні відстані знову починають зростати.

З огляду на зазначені особливості, висота розташування дробильно-перевантажувального пункту на момент переходу до виконання робіт за черговою схемою розкриття має бути визначена таким чином, щоб забезпечити максимальне значення відстаней транспортування у початковий період. Подібний підхід дозволить не

лише стабілізувати процес транспортування, але й створити умови для більш раціонального планування подальших етапів гірничих робіт, мінімізуючи нерівномірність навантажень на транспортну інфраструктуру кар'єру.

У подальшому, із розвитком гірничих робіт і поглибленням кар'єра, відстань транспортування поступово зменшується, досягаючи мінімального значення, коли дробильно-перевантажувальний пункт розташований у середній частині робочої зони. Проте зі зміщенням пункту до верхньої частини робочої зони відстань транспортування знову збільшується і, досягнувши свого максимального значення, стає критичною для продовження робіт у межах поточної схеми розкриття. У цей момент необхідно здійснити перехід до виконання гірничих робіт за наступною, черговою схемою розкриття горизонтів.

Висота розташування дробильно-перевантажувального пункту при переході до виробництва робіт за черговою схемою розкриття визначається на основі середньозваженої відстані транспортування L_p гірничої маси до пункту, яка враховує розподіл висот робочої зони. Розрахунок цього параметра забезпечує оптимізацію транспортних операцій, дозволяючи мінімізувати сукупні витрати на транспортування та підтримувати стабільну продуктивність гірничо-транспортного комплексу.

$$L_p = \left(\frac{H_y^2}{h_p} - H_y + \frac{h_p}{2} \right) \frac{k_p}{i_a} \quad (3.1)$$

де h_p – вертикальна відстань між межами робочої зони, м;

K_p – коефіцієнт горизонтального подовження траси.

$$H_y = 0,5h_p - \sqrt{\left(\frac{L_p i_a}{K_p} - 0,25h_p\right) h_p} \quad (3.2)$$

де i_a – керівний ухил, ‰.

Тоді величина шагу переукладки дробильно-перевантажувального пункту становитиме:

$$H_{\Pi} = 2 \sqrt{\left(\frac{L_p i_a}{K_p} - 0,25h_p\right) h_p} \quad (3.3)$$

Середня дальність транспортування протягом періоду ведення гірничих робіт за прийнятою схемою розкриття визначається як середньозважене значення довжин транспортних маршрутів з урахуванням висоти робочої зони та коефіцієнта розвитку траси може бути подана у вигляді:

$$L_{cp} = \frac{K_p}{H_{\Pi} i_a} \int_{H_y}^{H_y + H_{\Pi}} \left(\frac{H_{y.\Pi}^2}{h_p} - H_{y.\Pi} + \frac{h_p}{2} \right) dH_{y.\Pi} \quad (3.4)$$

де $H_{y.\Pi}$ – висота розташування дробарно-перевантажувального пункту, що переглядається, м

В результаті математичної інтерпретації виразу (3.4) отримаємо вираз (3.5):

$$L_{cp} = \frac{K_p}{i_a} \left[\frac{(H_n + H_y)^2}{3h_p} + \left(\frac{H_y}{3h_p} - \frac{1}{2} \right) (2H_y + H_n) - \frac{h_p}{2} \right] \quad (3.5)$$

Таблиця 3.1 містить значення висоти розташування дробильно-перевантажувального пункту та величини кроку його переміщення під час розташування в межах робочої зони кар'єра. Ці дані ілюструють взаємозв'язок між висотним положенням пункту, кроком його

перенесення та характеристиками виконання гірничо-транспортних операцій, що є важливими для оптимізації процесу розкриття горизонтів і мінімізації транспортних витрат.

Таблиця 3.1 – Крок переукладання дробильно-перевантажувального пункту і відповідні значення глибин їх розміщення по висоті

Величина робочої зони, м	Дальність транспортування автотранспортом, м					
	менше 1 км		від 1 до 2 км		більше 2 км	
	Крок, м	Висота, м	Крок, м	Висота, м	Крок, м	Висота, м
90	60	15				
150			90	30		
210			120	30		
від 210					160	30

Для більш ґрунтовної ілюстрації взаємозв'язку висоти робочої зони та середньозваженої відстані транспортування гірничої маси на рисунку 3.2 представлено тривимірний графік, що демонструє характер змін цих величин у процесі виконання гірничо-транспортних операцій.

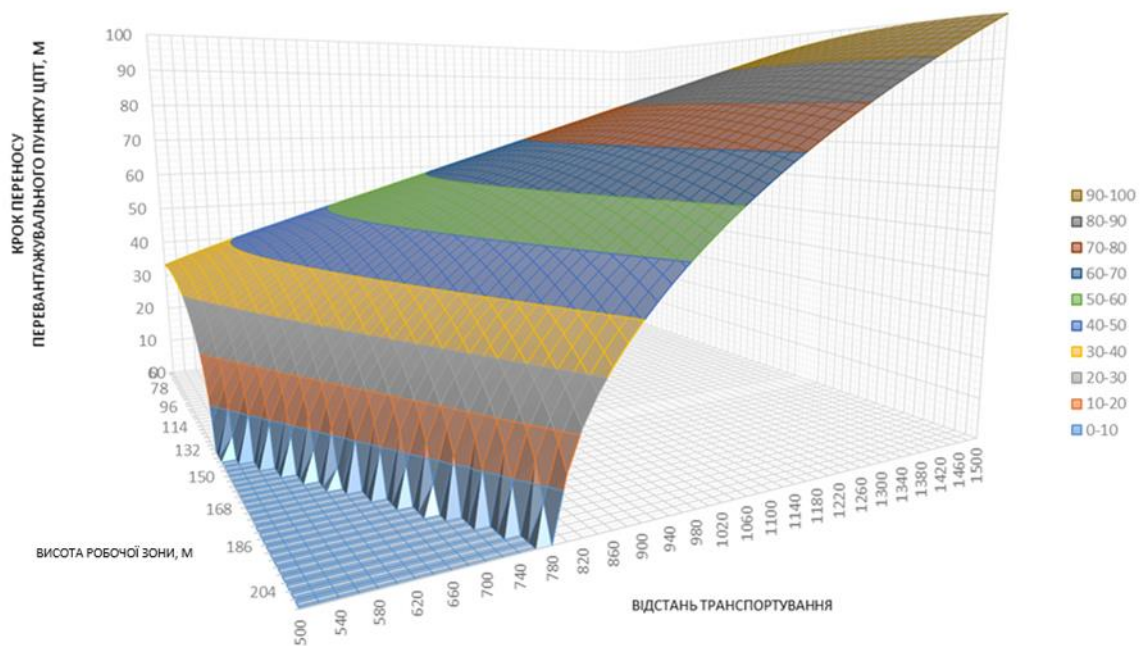


Рис. 3.2 – Тривимірний графік впливу відстані транспортування автомобільним транспортом і висоти робочої зони на крок перенесення дробарно-перевантажувального пункту циклічно-поточної технології

Графік відображає взаємозв'язок між висотою розташування робочої зони, середньозваженою відстанню транспортування та коефіцієнтом розвитку траси, що дозволяє виявити ключові закономірності, які впливають на ефективність організації транспортних робіт.

При цьому на графіку виділено область значень, у якій відстань транспортування перестає відповідати реальним параметрам висоти робочої зони. Ця область представлена у вигляді плоскої поверхні, що є важливим візуальним елементом для розуміння меж коректного застосування розрахункових залежностей. Візуалізація такого типу підкреслює необхідність врахування особливостей реального профілю траси та висотних характеристик робочої зони, що дозволяє

забезпечити точність планування і мінімізувати відхилення від оптимальних параметрів гірничо-транспортного процесу.

Таким чином, згідно проведеного математичного моделювання для умов кар'єра Інгулецького ГЗК при середній відстані транспортування автомобільним транспортом понад 2 км і висоті активної робочої зони 210 м, ЦПТ мінус 240 м необхідно було переносити на горизонт в майбутньому необхідно переносити на горизонт мінус 360 м (крок переносу 120 м).

Однак при обґрунтуванні горизонту розташування дробарно-перевантажувального пункту до уваги мають прийматися й інші фактори, що не були враховані у пропонованій моделі.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Питаннями визначення параметрів транспортних схем глибоких кар'єрів займалися видатні вчені: Арсентьев О.О., Ржевський В.В., Бизов В.Ф., Блізнюков В.Г., Тартаковський Б.М., Новожилов М.Г., Четверик М.С., Дриженко О.Ю., Слободянюк В.К., Максимов І.І., Собко Б.Ю. та багато інших видатних українських і закордонних вчених.

В результаті виконано аналізу, а також проведених аналітичних досліджень, можна зробити наступні висновки:

1. Для родовищ із великими масштабами розробки потрібні більш гнучкі підходи, які враховують динамічні зміни у структурі кар'єру та адаптують розташування перевантажувальних пунктів до геометричних і технічних умов. Це дозволяє не лише знизити експлуатаційні витрати, а й забезпечити стабільність роботи транспортного комплексу протягом усього життєвого циклу кар'єру.

2. Для родовищ із значною глибиною оптимальний крок перенесення перевантажувальних пунктів залежить від низки факторів, зокрема розташування груп уступів, що розробляються на заданих концентраційних горизонтах, а також геометричних параметрів кар'єру, таких як ширина і довжина кар'єрного поля та кути укосів бортів.

3. Перенесення дробильних установок під час зниження рівня гірничих робіт виправдане лише тоді, коли економія, отримана від заміни колісного транспорту конвеєрним, перевищує витрати на перенесення установок.

4. Для досягнення більшої гнучкості необхідно враховувати змінність гірничо-технічних умов і адаптувати параметри транспортної системи до еволюції кар'єру.

5. Серед кар'єрів Кривбасу Інгuleцький кар'єр має найбільшу висоту конвеєрного підйому при найбільшій похилій відстані

транспортування, а перспективні об'єми відпрацювання гірничої маси сягають відмітки -810 м, що робить питання оптимізації кроку його переносу найбільш актуальним серед інших гірничодобувних підприємств.

6. Запропоноване аналітичне вирішення задачі визначення оптимального кроку переносу дробильно-перевантажувального пункту, яке враховує динамічні параметри робочої зони та параметри траси автомобільних траншей.

7. Для умов кар'єру Інгулецького ГЗК відповідно до отриманої математичної залежності було визначено крок переносу і горизонти розміщення дробарно-перевантажувального пункту. згідно проведеного математичного моделювання для умов кар'єра Інгулецького ГЗК при середній відстані транспортування автомобільним транспортом понад 2 км і висоті активної робочої зони 210 м, ЦПТ мінус 240 м необхідно було переносити на горизонт в майбутньому необхідно переносити на горизонт мінус 360 м (крок переносу 120 м).

Отримані наукові і практичні результати можуть бути використані для проектування транспортної схеми Інгулецького кар'єру, а ґрунтуючись на методичних принципах – і інших глибоких кар'єрів, що розробляють крутоспадні родовища. Подальші наукові дослідження будуть направлені на удосконалення математичної моделі визначення параметрів циклічно-поточної технології глибоких залізородних кар'єрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Транспортні комплекси кар'єрів: навч. посіб. / Л.Н. Ширін, О.С. Пригунов, О.В. Денищенко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2015. – 241 с.
2. Четверик М.С. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров при комбинированном транспорте. — К.: Наукова думка, 1986. - 186 с.
3. Четверик М.С. Параметры схем вскрытия горизонтов при комбинированном автомобильно-конвейерном транспорте // Горный журнал. 1985.-№7.-С. 44-47.
4. Chanda E. Stochastic Optimization for Long-Term Planning of a Mining Complex // Springer. 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://link.springer.com>
5. Дубінкін, Д.М. Дослідження процесу транспортування розкривних порід та вугілля на розрізах / Д.М. Дубінкін, В.Ю. Садівець, Г.О. Котієв, А.В. Карташов // Техніка и технологія гірничої справи. – 2019. – №3. – С. 50-66.
6. Блізнюков В.Г., Луценко С.О., Пижик А.М. Гірнична справа: Навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О. 2014, 412 с.
7. 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.
8. Відкриті гірничі роботи: підручник / А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Д.: НГУ, 2014. – 590 с.
9. Ренгевич О.О. Експлуатаційні розрахунки транспортних комплексів кар'єрів: навч. посіб. / О.О. Ренгевич, О.В. Денищенко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2005. – 99 с.

10. Diekmeyer P. Vale hauling in a new direction / P. Diekmeyer // CIM Magazine – 2012. – Vol. 6, № 8.– P. 32 – 33.
11. Chadwick J. In depth news / J. Chadwick // International mining. – 2011. – № 10. – P. 34 – 47.
12. Demirel N., Ta Q.B. Optimization of the Excavator-and-Dump Truck Complex at Open Pit Mines // E3S Web of Conferences. 2018. № 41. C. 01006. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101006>
13. Nehring M., Andrews C. Optimization of Cycle Time for Loading and Hauling Trucks in Open-Pit Mines // Academia. 2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.academia.edu>
14. Новожилов М.Г., Дриженко А.Ю., Маевский А.М. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров //Горный журнал. - 1981. - №4. - С. 38-42.
15. Bell J., Chanda E. Application of Optimisation Techniques in Open-Pit Mining // Springer. 2016. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://link.springer.com>
16. Слободянюк В.К., Максимов І.І., Кравчук Р.В. Визначення раціональної точки зведення гірничої маси при плануванні кар'єрів // Вісник ЖДТУ. – 2017. – №2 (80). – С. 202–207.
17. Четверик М.С. Вскрытие глубоких горизонтов при циклично-поточной технологии //Горный журнал. - 1982. - №4. - С. 22-26.
18. Савенко Р.Г., Лисенко М.В. Оперативне управління потужними гірничо-транспортними комплексами в залізорудних кар'єрах // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – 2016. – Вип. 1 (46). – С. 287–294.
19. Собко Б.Ю., Вінівітін Д.В. Обґрунтування технологічних принципів оперативного планування відкритих гірничих робіт // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2018. – №54. – С. 107–117.
20. Кривошеев А.В. Пути повышения эффективности разработки

горизонтов карьера Ингулецкого ГОКа. – *Металлургическая и горнорудная промышленность*, №4, 1991. С. 10-12.

21. Barve S., Demirel N. Optimization-Based Dispatching Policies for Open-Pit Mining // Springer. 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://link.springer.com>

22. Samanta B., Barve S. Smart Truck Distribution in Open-Pit Mining // *International Open Technologies and Practices Engineering Journal (IOTPE)*. 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iotpe.com>

23. Шилин А.Н. Эффективность ЦПТ на карьерах Кривбасса // *Горный журнал*. -1983. — №6. — С. 31-33.

24. Новожилов М.Г., Дриженко А.Ю., Маевский А.М. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров // *Горный журнал*. - 1981. - №4. - С. 38-42.

25. Юматов В.П., Шубодеров В.И. Определение оптимального числа переносов дробильно-перегрузочных пунктов при комбинированном транспорте // *Горный журнал*. - 1965. - №12. - С. 25-27.

26. Тартаковский Б.Н., Гаврилюк И.И., Бро С.М., Четверик М.С. и др. Основные результаты исследований, состояние и задачи по внедрению циклично-поточной технологии на глубоких карьерах Кривбасса. – *Совершенствование техники и технологии открытой разработки месторождений*. Вып. 3, Киев: Наукова думка, 1972, с. 7 – 17.

27. Ресурсозберігаючі технології видобутку корисних копалин на кар'єрах України / А.Г.Шапар, А.Ю.Дриженко, В.Ф.Бизов и др.; Під ред. А.Г. Шапаря. - К.: Наук, думка, 1998. - 87 с.

28. Дриженко А.Ю. Кар'єрні технологічні гірничотранспортні системи: монографія. – Дніпропетровськ: НГУ, 2011. – 200 с.

29. 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..

30. Бизов В.Ф. Основи технології гірничого виробництва. – Т. V “Технологічні засоби”: Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком “Гірництво”. - Кривий Ріг: Мінерал, 2000. – 270 с. з іл.

31. Четверик М. С. Временные методические рекомендации по выбору схем вскрытия и определению их экономической эффективности при комбинированном автомобильно-конвейерном транспорте на глубоких карьерах. - Днепропетровск: ИГТМ, 1985. - 45 с.

32. Близнюков В.Г., Дейнега И.И. Оптимизация развития горных работ с учетом динамики объемов горной массы и расстояния ее транспортирования // Разработка рудных месторождений. - К.: Техника, 1981. -С 17-20.

33. Повышение эффективности циклично-поточной и поточной технологии на карьерах Кривбасса / В.Ф.Монастырский, Р.Ф.Кирия, А. Д. Кукушкин и др. // Горный журнал. - 1995. - №12. - С. 43-44.

34. Адамчук А.А., Шустов О.О., Панченко В.В., Сливенко М.М. Обґрунтування методики встановлення граничних контурів кар'єра із урахуванням параметрів транспорту // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2019. – №59. – С. 21–32.

35. Короленко М.К., Перегудов В.В., Федін К.А., Романенко А.В., Протасов В.П. Удосконалення транспортних схем видачі руди для умов ВАТ «Південний ГЗК». – Кривий Ріг: Діоніс, 2012. – 150 с.

36. Малигін О.М., Шеметов П.А., Лашко В.Т. Improvement of cyclic-flow technology in deep mining open pits. Fan, Tashkent, 2002. 136 с.

37. Транспорт на гірничих підприємствах: підруч. для вузів / під ред. проф. М.Я. Біліченка; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 3-тє вид. – Д. : НГУ, 2005. – 636 с.
38. ПАО «Центральный горно-обогатительный комбинат». Вскрытие и разработка глубоких горизонтов Глееватского карьера № 1 (IV-я очередь углубки карьера № 1) (1-й этап), Кривбасспроект, 2011.
39. Bukeikhanova, S., Kulniyaz, S., & Lysenko, S. (2014). Principles of Cyclic-Flow Technology in the Development of Mineral Deposits. In Mine Planning and Equipment Selection (pp. 53–60). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02678-7_7
40. Glebov, A.V., Semenkin, A.V., Karmaev, G.D., & Bersenev, V.A. (2014). Fundamental Statements for the Selection of Mechanization Structures in Cyclic-Flow Technology. In Mine Planning and Equipment Selection (pp. 61–68). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02678-7_8
41. Sumina, V.A. (2016). Application of Cyclic-Flow Technology in Conveyor-Automobile Transport in Open-Pit Mining. Journal of Mining Science, 52(1), 17–25. <https://doi.org/10.1134/S1062739116010174>
42. Glebov, A.V., & Bersenev, V.A. (2016). Efficiency of Cyclic-Flow Technology in Deep Pits. Journal of Mining Science, 52(1), 26–33. <https://doi.org/10.1134/S1062739116010186>
43. ПАО «ИнГОК». Комплексный проект реконструкции ИнГОКа на период до 2010 года. Книга 1. Реконструкция транспортной технологической схемы глубоких горизонтов. Кривбасспроект, 1997.
44. ПАО «ИнГОК». Комплексного проекта поэтапного развития горных работ и переработки минерального сырья до конца отработки. Кривбасспроект, 2006.
45. ПАО «ИнГОК». Расширение карьера ПАО «ИнГОК» в юго-восточном направлении. Кривбасспроект, 2010.