

КЛАСИФІКАЦІЯ ГІРНИЧОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ВІДКРИТОЇ РОЗРОБКИ ТВЕРДИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН

А.Ю. Дриженко, Державний ВНЗ “Національний гірничий університет”, Україна

Наведено класифікацію гірничотранспортних систем відкритої розробки твердих корисних копалин, яка складається з опису суцільних, заглиблювальних і заглиблювально-суцільних груп, що охоплюють глибину кар'єрів у діапазоні 20 – 1000 м. Кут нахилу виймальних шарів у робочій зоні кар'єру з добування корисних копалин класифіковано на рівні 0° ; порід розкриву $0 - 40^\circ$.

Для вивчення показників роботи кар'єрів залежно від комплектації технологічних комплексів і встановлення області ефективного їх застосування пропонується **класифікувати гірничотранспортні системи** за ознаками зміни висоти робочої зони при відповідній глибині кар'єру сумісно з видом механізації виймально-навантажувальних, транспортних і відвальних робіт, а також кутами нахилу виймальних шарів у тих же межах, що і падіння розроблюваних покладів: горизонтальних, пологих і крутопохилих (таблиця) [1].

Запропонована класифікація будується на основі системного аналізу, що розглядає кар'єр як складну сукупність ведення виймальних робіт і транспортування гірських порід на поверхню. Динаміка їх припускає виконання підготовчих, розкривних і добувних робіт з поетапним введенням до експлуатації різних видів транспорту у міру збільшення висоти робочої зони, які спільно забезпечують безпечне, економічне й найбільш повне добування корисних копалин. Основне цільове призначення класифікації – не тільки наочне ознайомлення з можливим варіантом розвитку відкритих гірничих робіт, але й вибір з безлічі сполучень найбільш економічних, які відповідають гірничо-геологічним і гірничотехнічним умовам експлуатації родовища.

Різноманітність гірничо-геологічних умов, у яких будуються й експлуатуються кар'єри, широкий вибір гірничого устаткування з доцільної області його застосування дають можливість вважати обґрунтованим поділ гірничотранспортних систем на три основних групи з виділенням характерних підгруп і рівнів класифікації. Вивчення умов відкритої розробки родовищ показує, що формування робочої зони на повну глибину кар'єру з переміщенням її уздовж шару корисної копалини й утворенням виробленого простору по кінцевій глибині кар'єрного поля відповідає **групі суцільних систем** при відпрацьовуванні в основному пологих родовищ. У той же час є позитивний досвід відпрацьовування похилих і крутих покладів з переміщенням порід розкриву до виробленого простору безтранспортним способом або із застосуванням конвеєрів, автосамоскидів і залізничних поїздів, що відповідає даній групі розробки.

Група заглиблювальних систем характерна тільки для похилих, крутопохилих і крутих родовищ, при розробці яких робоча зона розвивається вглиб кар'єрного поля, а вироблений простір ще повністю несформований. **Змішана група систем** (заглиблювально-суцільна) застосовується в основному при розробці розосереджених покладів складної будови або при виділенні кар'єру першої черги із частковим утворенням первинного виробленого простору. У даних групах кар'єрний транспорт застосовують повсюдно для переміщення як корисних копалин, так і порід розкриву. За таких умов глибина кар'єру є визначальною для класифікації гірничотранспортних систем по видах транспорту. При цьому, залежно від щільності гірських порід, глибини розробки й площі кар'єру, застосовують різноманітні види транспорту як самостійно, так і у різних сполученнях між собою. Залежно від цього застосовують й відповідні конструкції виробок розкриття. Так, застосування автомобільного й залізничного транспорту може бути з прямою формою траси по окремих або групових траншеях тільки на верхніх горизонтах; стрічкових конвеєрів або скіпових підйомників, розмішених у похилих траншеях або шахтних стовбурах, – на глибоких. Складна форма траси характерна

для автомобільного й залізничного транспорту під час руху по загальних траншеях на глибину до 200 – 350 м, а також стрічковим конвеєрам у зигзагоподібних траншеях.

Таблиця

Класифікація систем відкритої розробки родовищ корисних копалин

Індекс групи систем	Групи систем	Індекс підгрупи систем	Підгрупи	Напрямок переміщення (кут нахилу) вихмальних шарів у робочій зоні кар'єру
С	Суцільні з постійною висотою робочої зони	СЕ(Тр)	Суцільні екскаваторні (тракторні) на надто мілких кар'єрах (до 20 м)	Горизонтальне – породи розкриття і корисна копалина Похиłe (до 15°) – корисна копалина
		СЕВ	Суцільні екскаваторно-відвальні на мілких кар'єрах (21 – 50 м)	Горизонтальне – породи розкриття і корисна копалина Похиłe (до 15°) – породи розкриття і корисна копалина
		СЕТ	Суцільні екскаваторно-транспортні на кар'єрах середньої глибини (51 – 100 м)	Горизонтальне – породи розкриття і корисна копалина Похиłe (до 15°) – породи розкриття Круте підшвоуступне (до 80°) - кам'яні блоки
		СК	Суцільні комбіновані на глибоких кар'єрах (101 – 200 м)	Горизонтальне – породи розкриття і корисна копалина Похиłe (до 15°) – породи розкриття
З	Заглиблювальні зі зростаючою висотою робочої зони	ЗЕТ	Заглиблювальні екскаваторно-транспортні на глибоких і надглибоких кар'єрах (до 1000 м)	Горизонтальне – породи розкриття і корисна копалина Крутопохиłe (до 35°) – породи розкриття і корисна копалина Крутопохиłe (до 40°) підшвоуступне з розосередженими по висоті робочими площадками – породи розкриття
ЗС	Заглиблювально-суцільні зі зростаючою й постійною на окремих ділянках висотою робочої зони	ЗСЕТ	Заглиблювально-суцільні екскаваторно-транспортні на глибоких і надглибоких кар'єрах (до 1000 м)	Горизонтальне – породи розкриття і корисна копалина Крутопохиłe (до 40°) підшвоуступне з розосередженими по висоті робочими площадками – породи розкриття

Дослідження й досвід проектування показують, що при відпрацьовуванні крутих родовищ керування режимом розкриття робіт досягається шляхом зміни прямолінійної форми переміщення фронту гірничих робіт на розосереджену або діагональну, переходом з горизонтального пошарового виймання гірничої маси на похиłe з довгостроковою консервацією окремих ділянок або бортів у цілому. Відповідно до цього широко застосовуються системи з підземними виробками розкриття, з'являється можливість постійного внутрішнього відвалоутворення на глибоких кар'єрах [1].

У міру поглиблення фронту гірничих робіт траса виробок розкриття у верхній частині кар'єру залишається без зміни або ж реконструюється, систематично доповнюється відповідним розвитком у глибинній частині. У цьому зв'язку класифікація якісних характеристик кар'єру як складної системи, наведена у вигляді дерева з'єднань елементів (рис. 1). Це дає можливість аналізувати взаємозв'язок між ними на різних рівнях, оцінювати техніко-економічні показники й ефективність спільної експлуатації у цілому. Представлена у такий спосіб класифікація

гірничотранспортних систем кар'єру дає можливість упорядкувати у єдиному дереві сполучення основних елементів гірничих, транспортних і підготовчих робіт, створити методику економіко-математичного моделювання багатоваріантної системи розробки кар'єру. Внаслідок цього суттєво спрощується не тільки інформованість про розвиток кар'єру, але й вибір оптимального напрямку переміщення відкритих розробок при проектуванні й експлуатації протягом усього періоду їх існування.

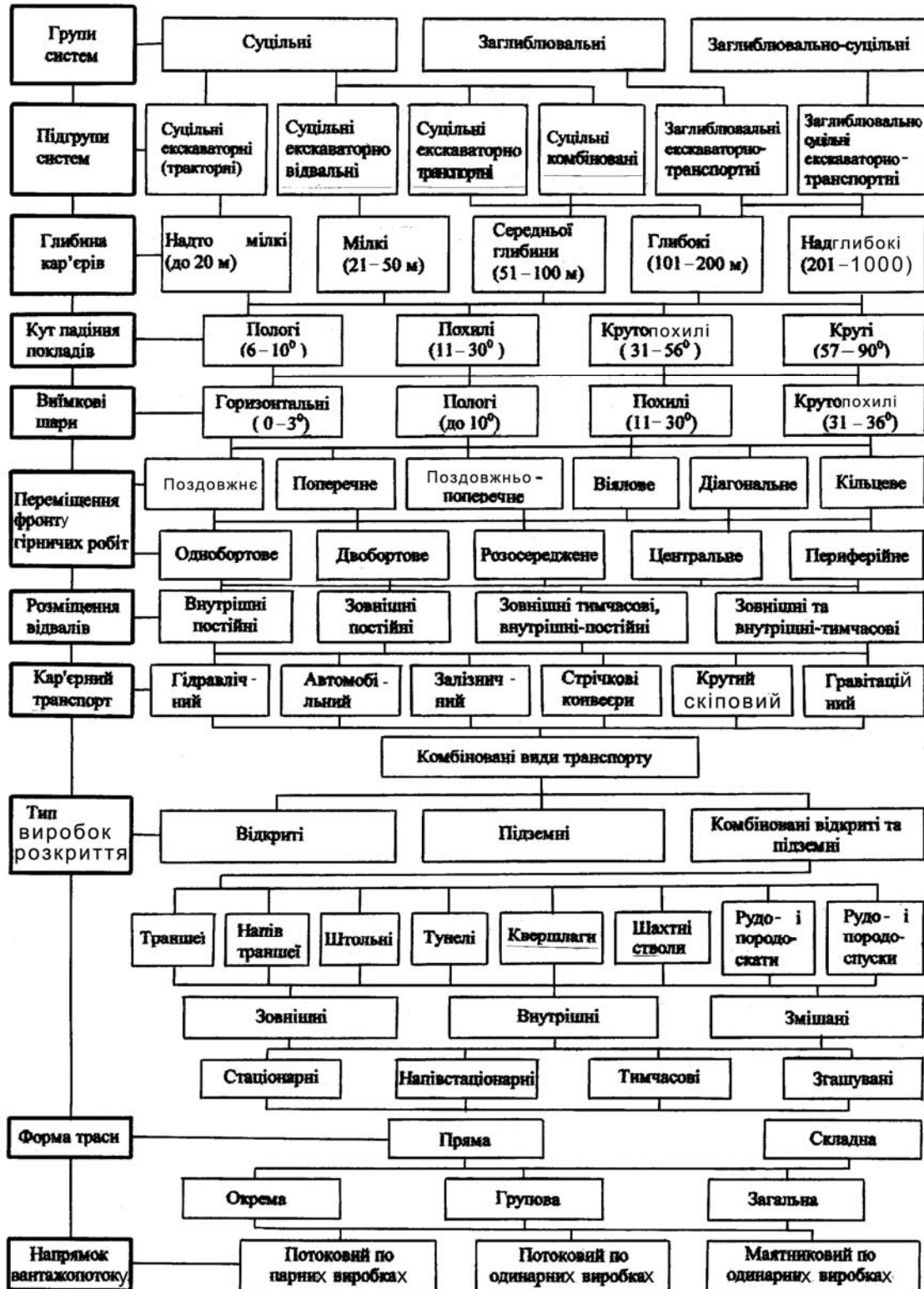


Рис. 1. Взаємозв'язок між елементами гірничотранспортних систем відкритої розробки корисних копалин

Наведена в таблиці класифікація гірничотранспортних систем передбачає вибір і встановлення кількісних залежностей між типами виймально-навантажувального, транспортного й відвального устаткування, способами розкриття робочих уступів, місцем розміщення відвалів пустих порід у кар'єрі, що відповідають виробничій потужності з видобутку гірничої маси протягом усього періоду відпрацьовування кар'єрного поля. Вихідними даними для обґрунтування й дослідження гірничотранспортних систем слугують відомості про родовище корисних копалин, розміри кар'єрного поля й прийнятий режим гірничих робіт. Як критерій доцільності тієї або іншої системи приймають найменші витрати на видобуток корисної копалини з урахуванням заходів щодо компенсації засобів за порушення навколишнього середовища.

Вибір типу виймально-навантажувального устаткування базується на міцності гірських порід і їх потужності. М'які породи досить малої потужності звичайно розробляють бульдозерами й скреперами, великої – одно- і багатоківшовими екскаваторами. В окремих випадках для розробки м'яких порід застосовують гідромонітори, земснаряди й драги, а напівскельних і скельних – породорозпушувальні комбайни, дискові, фрезерні й канатні пили. Напівскельні й скельні породи в основному попередньо розпушують механічним або підривним способами й розробляють одноківшовими екскаваторами. Кількість екскаваторів приймають залежно від співвідношення їхньої експлуатаційної продуктивності до потужності кар'єру з розробки гірничої маси.

Тип транспортних засобів встановлюють залежно від потужності виймально-навантажувального устаткування, абразивності гірських порід, ступеня їхнього подрібнення й розмірів кар'єрного поля. Як правило, у комплексі з одноківшовими екскаваторами експлуатують автосамоскиди й залізничні поїзди, з багатоківшовими – стрічкові конвеєри. Драглайни працюють зі складуванням порід розкриття до внутрішніх відвалів, а корисної копалини – з навантаженням у транспортні засоби, або у навал на верхній площадці уступу. Останнім часом на залізничних кар'єрах у сполученні з автомобільним і залізничним транспортом усе більш широко застосовують стрічкові конвеєри з попереднім подрібненням скельної гірничої маси у дробарках. У кар'єрах зі стиснутим робочим простором поза конкуренцією експлуатується автомобільний транспорт, а на протяжних потужних кар'єрах – залізничний. Область застосування гідравлічного транспорту невелика й обмежена м'якими породами. Способи розкриття кар'єрних полів в основному залежать від виду кар'єрного транспорту, а кількість транспортних одиниць – від їх потужності й відстані переміщення гірських порід.

Механізація відвалування порід розкриття базується в основному на типах кар'єрного транспорту. При автомобільному транспорті для складування порід застосовують в основному бульдозери, при залізничному – одноківшові екскаватори. У комплексі з конвеєрами працюють стрічкові відвалоутворювачі. В окремих випадках можуть бути й інші сполучення зазначеного устаткування. Кількість відвальних машин та їхня потужність повинні забезпечувати нормативне функціонування транспортних засобів.

До елементів гірничотранспортної системи відноситься сукупність геометричних параметрів, що визначають її просторове положення: уступи, фронт роботи уступу, фронт роботи кар'єру, робоча зона кар'єру, робочі й транспортні площадки, берми безпеки; до параметрів – їх кількісне значення та швидкість посунання, темп поглиблення фронту робіт і термін відпрацювання кар'єрного поля.

Обґрунтування раціональних параметрів вантажно-транспортного устаткування в глибоких кар'єрах полягає у визначенні обсягів робіт за видами перевезення, які забезпечують мінімум сумарних капітальних і експлуатаційних витрат, приведених до одного моменту оцінки. У загальному випадку ця задача вирішується шляхом вибору найбільш економічного маршруту. Для його вирішення можуть бути використані методи динамічного програмування й теорії графів.

Задача визначення найбільш економічного маршруту зводиться до завдання вибору найкоротшого шляху між двома відомими пунктами. Вона вирішується за допомогою сіткового графіка (рис. 2), на якому вузли позначають технологічні процеси, а дуги – наведені витрати на їх виконання. *Б, В, Е, Г, Д* – відповідно процеси буріння, підривання, екскавації, грохотіння й дроблення гірничої маси; *Т_а, Г_з, Т_с, Г_к, Г_н* – відповідно процеси транспортування гірничої маси автосамоскидами, залізничними поїздами, скіповими підйомниками, стрічковими конвеєрами, спеціальними видами транспорту; *П_а, П_к, П_с* – відповідно процеси перевантаження гірничої маси при автотранспорті, конвеєрних і скіпових підйомниках; *Ф* – приймальний бункер фабрики першої стадії дроблення; *М, В* – склад дробленої руди й породи відповідно; *З* – станція “Відвальна”; *Q_а, Q_е, Q_к, Q_н* – відповідно процеси відвалоутворення із застосуванням автосамоскидів, екскаваторів, консольних відвалоутворювачів і спеціальних пристосувань; *т* – етапи розробки.

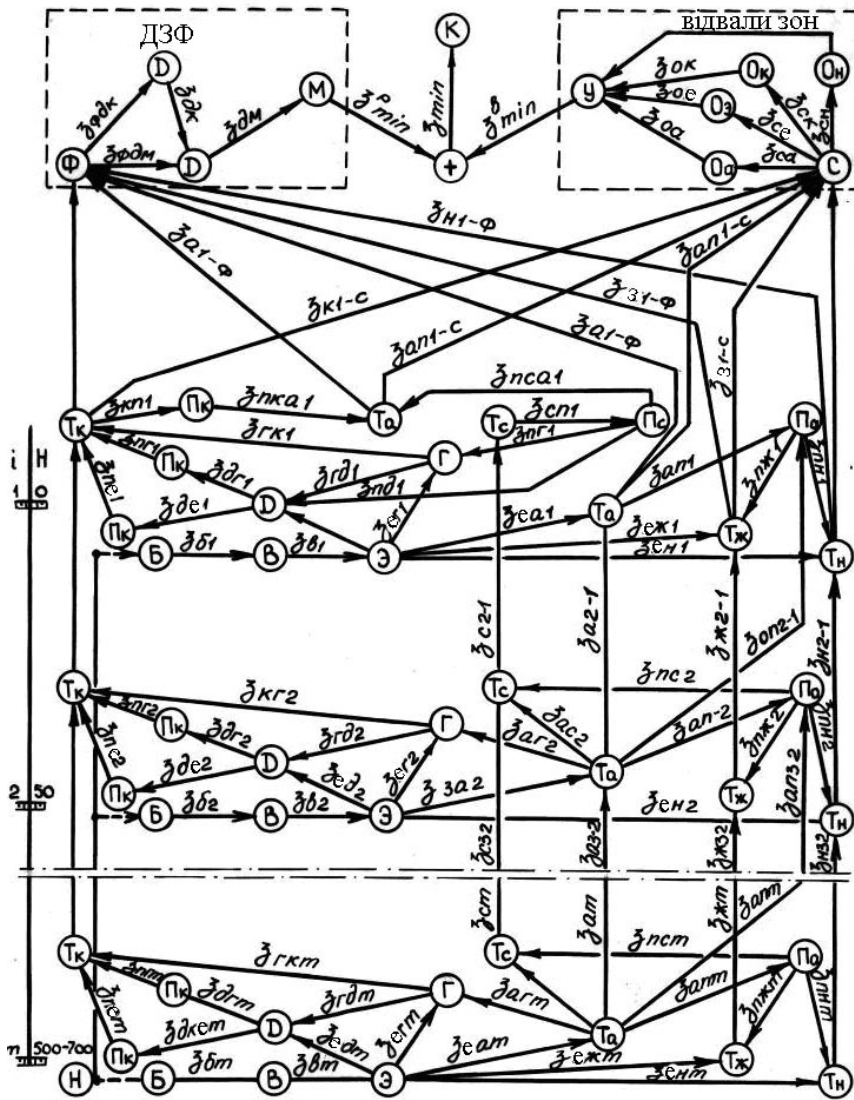


Рис. 2. Сітковий графік до визначення ефективної схеми виймання й транспортування гірничої маси при експлуатації глибоких кар'єрів

Математична модель задачі має вигляд

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^t q_{ij} z_{ij} \rightarrow \min$$

при обмеженнях

$$0 \leq q_{ij} \leq r_{ij},$$

де r_{ij} – пропускна здатність транспортної комунікації або продуктивність устаткування; q_{ij} – об'єм гірничої маси, що виймається на i -му горизонті в j -й період, м³/рік; z_{ij} – питомі наведені витрати.

На сітковому графіку етапи планованої вантажно-транспортної схеми можуть розглядатися через кожні 45 – 60 м по глибині кар'єру. На кожному етапі визначається оптимальна або близька до неї схема розробки розглянутих горизонтів кар'єру. Поточна глибина кар'єру визначається за формулою

$$H_k = T_j h_o,$$

де h_o – плановане річне пониження гірничих робіт, м; T_j – тривалість j -го періоду, роки.

Величину q_{ij} (м³/рік) приймають відповідно до календарного плану роботи кар'єру. На кожному етапі сіткового графіка методом динамічного програмування вибирається оптимальний варіант. При цьому вибір оптимальної схеми кар'єрного транспорту за допомогою теорії графів поділяють на два етапи. Спочатку будують кілька локальних графів (у даній задачі граф розбивають на зони, що відповідають добувним горизонтам), а потім на кожному графі встановлюють шлях з мінімальними витратами.

Алгоритм розрахунку складається з трьох етапів: попередній розрахунок, корегування отриманих значень, визначення найкоротших маршрутів (тобто маршрутів з мінімальними витратами). Розрахунок сіткового графіка виконують методом повного перебору заданих величин, що полягає у виконанні кінцевої кількості кроків з метою вибору найкоротшого шляху від початкової події до кінцевої. Оскільки транспортні витрати значною мірою залежать від глибини розробки, то для досягнення найкращих техніко-економічних показників роботи кар'єру необхідно здійснювати планування всіх технологічних процесів на кожному етапі розробки в оптимальному режимі.

Встановлено [2], що в умовах розробки глибоких кар'єрів України доцільно використовувати комбіновані види транспорту. При цьому область застосування автомобільного транспорту припадає тільки на нижні добувні горизонти сумарною висотою 60 – 90 м. Середня відстань автомобільних перевезень складає 1,2 – 1,5 м. Залізничний електрифікований транспорт з мотор-вагонною тягою ефективний до глибини 300 – 360 м, в основному для перевезень порід розкриву. Ним же переміщуються породи розкриву поверхнею до місця складування у зовнішніх відвалах. З глибини нижче 300 м безперечна перевага у перевезенні корисних копалин належить конвеєрному транспорту. Перевантаження гірничої маси із збірного автомобільного транспорту на магістральний залізничний більш економічно виконувати на бульдозерних пунктах, а на конвеєрний – колісними навантажувачами з акумулюючого складу до дробарок крупного дроблення. Поверхнею корисні копалини до збагачувальних фабрик на відстань до 5 км транспортуються стрічковими конвеєрами, на більшу – залізницею з екскаваторним завантаженням. В окремих випадках доцільно застосовувати крутопохилі стрічково-візкові конвеєри та скіпові підіймачі, які здатні переміщувати рядову гірничу масу з крупністю кусків до 700 мм.

Список літератури

1. Дриженко А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы [Текст]: Моногр. / А.Ю. Дриженко. – Д.: Державний ВНЗ “НГУ”, 2011. – 542 с.
2. Дриженко А.Ю. Открытая разработка железных руд Украины: состояние и пути совершенствования [Текст]: Моногр./ А.Ю. Дриженко, Г.В. Козенко, А.А. Рыкус.; под. ред. А.Ю. Дриженко. – Д.: НГУ, 2009. – 452 с.