

УДК 656.222.3:622.012-047.44

Д. В. ХИЛЬКЕВИЧ^{1*}

^{1*}ТОВ «МЕТІНВЕСТ СІЧСТАЛЬ», Південне шосе, 74, Запоріжжя, Україна, 69008, тел. +38 (096) 337 55 53, ел. пошта: dmitriy.khilkevich@gmail.com, ORCID 0009-0006-5738-7041

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПАРКУ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ГІРНИЧО-ВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. Проведення аналізу розвитку методів розрахунку величини парків залізничного рухомого складу промислових підприємств (зокрема гірничо-видобувних комбінатів) у відповідності з заданими обсягами роботи, пошук проблематики існуючих методів розрахунку парку локомотиво-составів для обслуговування цих підприємств з урахування місцевих умов роботи виробничої транспортної залізничної інфраструктури, а також визначення напрямків удосконалення методики відповідного розрахунку для вирішення задач, що сьогодні стоять перед промисловим залізничним транспортом України. **Методика.** Аналіз існуючих методів визначення парку рухомого складу для забезпечення та оптимізації внутрішніх транспортних потреб гірничо-видобувних комбінатів. Дослідження у цій роботі виконані на підставі обробки літературних джерел бібліотеки Українського державного університету науки та технологій, а також наукометричних баз Scopus та Google Schola. **Результати.** Виявлення недоліків в існуючих методах розрахунку парку рухомого складу залізничного транспорту гірничо-видобувних підприємств та визначення необхідності удосконалення методики розрахунку оптимальної чисельності локомотивів та вагонів, потрібних для обслуговування відповідних промислових комплексів з урахування їх місцевих умов роботи. **Наукова новизна.** На підставі аналізу методів розрахунку парку рухомого складу залізничного транспорту встановлено особливості притаманні прикладним задачам гірничо-видобувних підприємств, визначена необхідність удосконалення методології розрахунку необхідного парку рухомого складу на під'їзних коліях промислових підприємств з більш прогнозованою та точнішою оцінкою їх завантаження, а також виявлена доцільність розробки функціональної моделі залізничної інфраструктури промислового підприємства. **Практична значимість.** Вказана доцільність розвитку методів розрахунку парку рухомого складу залізничного транспорту гірничо-видобувних підприємств. Сформульовані задачі подальших досліджень та обрані методи їх вирішення. Впровадження та практичне використання майбутніх результатів дослідження дозволить суттєво оптимізувати час та мінімізувати похибки при визначенні необхідної кількості парку рухомого складу. Розроблені відповідні методологічні алгоритми можуть бути впроваджені для практичного використання у проєктних організаціях та проєктно-конструкторських підрозділах промислових підприємств для мінімізації поточних витрат по обслуговування цих підприємств з урахування місцевих умов роботи виробничої транспортної залізничної інфраструктури, так і для створення більш точнішої моделі транспортної інфраструктури для обслуговування процесу видобутку та переробки сировини за для оптимізації капітальних інвестицій нового об'єкту будівництва.

Ключові слова: парк рухомого складу, промисловий транспорт, залізнична інфраструктура, транспортна логістика, кар'єрний залізничний транспорт.

Вступ

Залізородна промисловість є однією з основ економіки України, а експорт залізної руди та чорних металів забезпечує значну долю валютних надходжень. Підвищення конкурентоспроможності вітчизняної залізної руди та продуктів її переробки вимагає зниження собівартості їх виробництва. Виробничі процеси на гірничодобувних та металургійних підприємствах включають переміщення значних обсягів сировини, продукції та відходів, які здійснюються за допомогою промислового залізничного транспорту. Умови ринкової економіки вимагають динамічного адаптування транспортних систем

промислових підприємств до мінливих обсягів та характеру виробництва. Тому задача оцінки відповідності пропускну здатності інфраструктури та парку рухомого складу залізничного транспорту потребам промислових підприємств на поточний і майбутній періоди є актуальною.

Постановка задачі

Розробка залізородних родовищ здійснюється в 50-ти країнах світу. Однак більше 91 % світового видобутку залізної руди сконцентровано у десяти країнах до яких входить і Україна.

До середини 2000-х років в залізорудній промисловості України тривали процеси реформування. В той час були сформовані у сучасному вигляді основні підприємства галузі, перелік яких наведено у табл. 1 [1], і розпочалося зростання як видобутку, так і експорту залізорудної сировини.

Динаміка експорту залізної руди з України наведена на рис. 1. У порівнянні з 2000 роком зростання експорту у 2014-2021 роках склало більше ніж у два рази.

Таблиця 1

Основні підприємства України по видобутку залізорудної сировини

Підприємство	Територіальне розміщення	Вид продукції
Підприємства з видобутку та переробки сировини підземним способом		
ПРАТ «Криворізький ГЗК»	м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна	Руда залізна неагломерована
ОАО «Суша Балка»		
ГЗК КГМК «Криворіжсталь»		
ЗАТ «Запорізький ЗРК»		
Підприємства з видобутку та переробки сировини відкритим способом		
ПРАТ «Південний ГЗК»	м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна	Концентрат, агломерат
ГЗК КГМК «Криворіжсталь»		Концентрат, окатиші
ПРАТ «Центральний ГЗК»		
ПРАТ «Північний ГЗК»		
ПРАТ «Інгулецький ГЗК»		Концентрат
ПРАТ «Полтавський ГЗК»	м. Горішні Плавні, Дніпропетровська обл., Україна	Концентрат, окатиші
ТОВ «Єристівський ГЗК»		Концентрат, агломерат

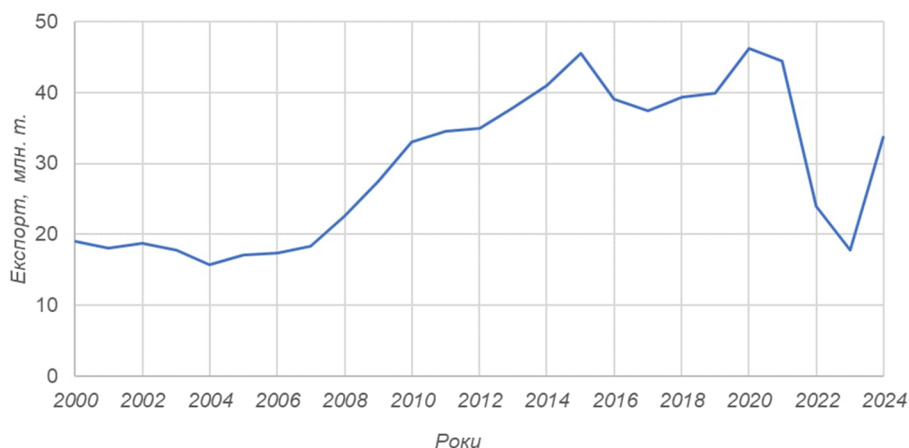


Рис.1. Динаміка експорту залізної руди з України

Від 40 до 50 % видобутої залізної руди експортується. Основними країнами-експортерами є Австралія, Бразилія, Канада, Індія, Україна і Росія. При цьому, лідерами на світовому ринку якісної залізної руди є Австралія та Бразилія. На початку 2000-х років ці дві країни експортували кожна по 157 млн. т. залізорудної сировини [2]. Однак протягом 21 сторіччя Австралійські та Бразильські компанії активно нарощують обсяги продажів руди і, станом на 2021 рік, експорт залізорудної сировини з Австралії склав 876,6 млн. т., а із Бразилії 357,3 млн т. Широке впровадження нових технологій дозволяє компаніям із цих країн зменшувати собівартість виробництва та розширювати свою присутність,

зокрема і на європейському ринку, дедалі більше витісняючи українських виробників.

У 2022 році через початок війни Україна не змогла повною мірою використати свій експортний потенціал. Попри певне зниження світових цін, якби була можливість експортувати залізну руду в обсягах, характерних для попередніх років, це забезпечило б валютні надходження та сприяло наповненню державного бюджету. Однак обмежені транспортні можливості, зокрема блокування морських портів, погіршили економічну ситуацію. Додатковим фактором стало значне скорочення експорту сталі через логістичні труднощі та окупацію частини території, де розташовані металургійні підприємства [8].

На сьогоднішній день стан гірничодобувної галузі характеризується цілою низкою проблем, багато підприємств призупинили свою діяльність, а інші функціонують з великими втратами.

Станом на 2025 р. на тимчасово окупованій території втрачені одні з ключових споживачів залізної руди на ринку України. Водночас, всі підприємства галузі видобутку руди, що знаходяться у Дніпропетровській області, м. Запоріжжі, Полтавській та Кіровоградській областях, продовжують свою роботу. Це свідчить про їхню стійкість та важливість для економіки країни, незважаючи на значні виклики та руйнування, спричинені воєнними діями [9].

Для збереження конкурентоспроможності вітчизняної залізничної сировини на світовому ринку, українській гірничо-добувній промисловості необхідно у короткі терміни переглянути наявні методи виробництва, існуюче обладнання та транспортно-логістичне забезпечення.

У зв'язку з цим проблема визначення потрібного парку залізничного рухомого складу для виконання планових обсягів роботи є актуальним завданням для промислового транспорту гірничо-добувної промисловості.

Мета

Метою цієї статті є проведення аналізу розвитку методів розрахунку величини парків залізничного рухомого складу у відповідності з заданими обсягами роботи, а також визначення напрямків їх удосконалення для вирішення задач, що сьогодні стоять перед промисловим залізничним транспортом України.

Методика

Дослідження у цій роботі виконані на підставі обробки літературних джерел бібліотеки Українського державного університету науки та технологій, а також наукометричних баз Scopus та Google Scholar.

Результати

Визначення парку рухомого складу, необхідного для освоєння заданих обсягів перевезення, є однією з основних задач теорії експлуатації залізниць. Зародження методів її розв'язку відноситься до 19 сторіччя.

У червні 1878 року М. О. Кульжинський опублікував в журналі Міністерства шляхів сполучення формулу для розрахунку потрібного парку вантажних вагонів, яка стала однією з перших спроб нормування парку рухомого складу

залізничного транспорту. Відповідно до [12] формула Кульжинського для розрахунку потрібного парку вагонів n мала такий вигляд:

$$n = 2 \left(2 + \frac{l_{\text{гр}}}{240} \right) \frac{Q}{TP_c}, \quad (1)$$

де $l_{\text{гр}}$ – дальність пробігу вагона з вантажем, верст;

Q – кількість вантажу, що підлягає перевезенню (у вантажному напрямку), пудів;

P_c – середнє навантаження вагона пудів/вагон;

240 – нормативний пробіг вагонів, верст за добу;

T – тривалість періоду перевезень, діб.

Незважаючи на новаторський характер, формула (1) мала певні обмеження оскільки, по-перше, два параметри були прийняті як сталі – пробіг вагона в межах 240 верст за добу та дві доби, необхідні для виконання всіх початкових та кінцевих операцій; по-друге, порожній пробіг прирівнювався до завантаженого. В цілому, формула Кульжинського являє собою аналітичний метод вирішення задачі розрахунку величини парку рухомого складу в детермінованій постановці, тобто при відомих значеннях вихідних даних. Превагою аналітичних методів є їх відносна простота та можливість використання методів диференціального числення для пошуку оптимальних рішень, а недоліком – спрощення реальних процесів, що призводить до погіршення якості отриманих рішень. В подальшому, аналітичний метод удосконалювався як самим Кульжинським, так і іншими авторами. Основним внеском інженера Кульжинського є впровадження комплексного якісного показника роботи транспорту, актуального і сьогодні – обігу рухомого складу. В загальному випадку, обіг рухомого складу є середніми витратами часу на виконання перевізного процесу між обраними для обліку початковими операціями.

Значний внесок у розвиток аналітичного методу зробив у інженер Л. І. Сербінов. Згідно з [12] в останньому десятиріччі 19 сторіччя Сербінов розробив методіку, яка передбачала використання даних про співвідношення завантажених і порожніх рейсів, що дозволяло точніше оцінити потребу в парку вагонів. Він також розробив коригувальні коефіцієнти для розрахунків залежно від характеру вантажопотоків, що враховували нерівномірність вантажопотоків у різні сезони. В цілому праці Сербінова стали основою для більш точного визначення потреб у

рухомому складі на маршрутах з різною інтенсивністю перевезень.

В сучасних умовах аналітичні методи розрахунку використовують при вирішенні задач технічного нормування, розробки технології та проектування залізничного транспорту.

На магістральному залізничному транспорті при вирішенні задач технічного нормування для розрахунку потрібного парку вагонів застосовуються формули.

Як приклади таких формул нижче наведені вирази, що пов'язують величину робочого парку вагонів N :

$$N = U\theta, \quad (2)$$

$$N = \frac{\sum NS}{\bar{S}}, \quad (3)$$

$$N = \frac{Pl_{cg}}{\bar{W}_c}, \quad (4)$$

де θ – оборот вагона, доб.;

\bar{S} – середньодобовий пробіг вагонів, км/доб.;

\bar{W}_c – середньодобова продуктивність вагона, ткм нетто/ваг.;

U – робота парку вагонів (число завантажених та прийнятих завантаженими вагонів підрозділом залізниць), ваг.;

$\sum NS$ – пробіг вагонів, ваг-км;

Pl_{cg} – вантажообіг, т-км нетто.

Для розрахунку парку локомотивів використовуються формули:

а) на підставі планової продуктивності локомотива:

$$M_{ек} = \frac{\sum Q_{бр}L_{л}}{\omega_{л}}, \quad (5)$$

де $\sum Q_{бр}L_{л}$ – плановий обсяг роботи, тис. ткм брутто;

$\omega_{л}$ – продуктивність локомотива, тис. ткм брутто.

б) на підставі планових витрат часу на виконання заданого обсягу роботи:

$$M = \frac{\sum T_{ман}}{(1440\alpha_c - \sum t_{пост})\gamma_{л}}, \quad (6)$$

де $\sum T_{ман}$ – середньодобовий обсяг маневрової роботи, який виражений нормативною витратою локомотиво-хвилин;

α_c – коефіцієнт, який враховує можливі перерви в використанні локомотива через ворожі пересування (приймається рівним 0,93);

$\sum t_{пост}$ – простій маневрового локомотива в зв'язку з його екіпіруванням, заміною бригад і наявністю поїзних пересувань за маршрутами, ворожими маневровим пересуванням, год.;

$\gamma_{л}$ – допустиме завантаження локомотива.

При незначних змінах умов роботи для розрахунку парку рухомого складу, необхідного для освоєння планових обсягів роботи може використовуватись індексний метод:

$$M_{ек} = \frac{M_{ек,ф}\gamma_{л}}{u_{п}^{\phi} + u_{в}^{\phi} + u_{пр}^{\phi} + u_{сд}^{\phi}} \times (u_{п} + u_{в} + u_{пр} + u_{сд}), \quad (7)$$

де $u_{п}^{\phi} + u_{в}^{\phi} + u_{пр}^{\phi} + u_{сд}^{\phi}$ – фактично виконуються відповідно навантаження, вивантаження, приймання і здавання вагонів;

$u_{п} + u_{в} + u_{пр} + u_{сд}$ – планові відповідно навантаження, вивантаження, приймання і здавання вагонів.

Аналогічні за змістом аналітичні вирази застосовуються і для технічного нормування парку рухомого складу для кар'єрного залізничного транспорту.

Так у [4] парк локомотиво-составів для забезпечення планових обсягів роботи визначається на підставі планового обороту за формулою:

$$N_c = \frac{W_c k_{рез} t_p}{n_b q_{ван} T}, \quad (8)$$

де W_c – добовий вантажообіг кар'єру, т;

T – тривалість роботи транспорту за добу, год.;

t_p – тривалість рейсу, год.;

n_b – кількість вагонів у локомотиво-составів;

$q_{ван}$ – маса вантажу, що перевозиться у вагоні, т.;

$k_{рез}$ – коефіцієнт резерву.

Проблеми застосування виразу (8) пов'язані з визначенням тривалості рейсу t_p . Це пов'язано з наступними причинами:

- добові обсяги роботи кар'єрів не є постійними і змінюються у часі;

- локомотиво-состави повинні проходити технічне обслуговування, що змінює напрям слідування та тривалість операцій окремих рейсів;

- в процесі роботи локомотиво-состави можуть змінювати пункти навантаження та вивантаження;

- маршрути слідування локомотиво-составів можуть перетинатися між собою і з маршрутами руху іншого залізничного рухомого складу.

Добові обсяги перевезень на магістральному та промислового залізничному транспорті

підлягають коливанням. Для урахування цих коливань при визначенні розрахункових обсягів роботи звичайно використовують коефіцієнти нерівномірності.

Зокрема у [6] наведено вираз для кількості вагонів, необхідних для оцінки потреби у вагонах для виконання місячного плану перевезень:

$$N = \frac{U_m \theta}{30,4} k_r k_{ir}, \quad (9)$$

де U_m – плановий обсяг завантаження вагонів протягом місяця, ваг.;

30,4 – середня кількість днів на місяці, діб.;

k_r – коефіцієнт, що враховує знаходження вагонів у ремонті;

k_{ir} – коефіцієнт нерівномірності навантаження.

Інший спосіб обліку нерівномірності перевезень наведено в роботі [7], де нерівномірність величини обороту вагона при розрахунку робочого парку враховується за допомогою коефіцієнта варіації:

$$N = \frac{Q}{p_{st} t_c} (1 + CV), \quad (10)$$

де t_c – кількість оборотів вагона протягом планового періоду;

CV – коефіцієнт варіації тривалості обороту вагона.

Вивченню причин коливань обсягів перевезень та оцінці коефіцієнтів нерівномірності присвячені роботи [16-17]. Для дослідження нерівномірності перевезень використовуються методи аналізу часових рядів.

На залізничному транспорті кар'єрів для оцінки нерівномірності також використовуються коефіцієнти нерівномірності. Так у [5] для оцінки кількості локомотивів, необхідних на обслуговуванні групи екскаваторів використовується вираз:

$$n_{л.роб} = \frac{k_{Q_{3M}} T}{60 z m t_{3M} k_B}, \quad (11)$$

де k_B – коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку;

Q_{3M} – змінна пропускна спроможність пунктів навантаження, т;

T – час рейсу, хв;

zm – маса вантажу у локомотиво-составі, т;

t_{3M} – тривалість робочої зміни, год;

k_B – коефіцієнт використання локомотивом змінного часу.

Добові коливання обсягів перевезень на промисловому залізничному транспорті як правило менші ніж на магістральному. У 20-му сторіччі спостерігались сезонне падіння обсягів роботи у

зимові місяці через змерзання породи та зменшення продуктивності екскаваторів навантаження. Однак в сучасних змінах клімату вплив низьких температур зовнішнього повітря на роботу кар'єрів є незначним. Основною причиною коливань обсягів перевезень у кар'єрах є обслуговування технічних засобів вантажних фронтів, а також переукладання тимчасових колій. Застосування коефіцієнтів нерівномірності в умовах наявності на кар'єрі декількох пунктів навантаження та вивантаження аналогічно ситуації, коли усі вантажні фронти одночасно припиняють роботу. Фактично вантажні фронти припиняють роботу по черзі, тому проблема оцінки нерівномірності перевезень на кар'єрному залізничному транспорті вимагає додаткового дослідження.

Тривалість обігу локомотиво-составу згідно з [13] розраховується за формулою:

$$T_{об} = t_{нав} + t'_{тимч} + t'_{ст} + t''_{ст} + t''_{тимч} + t_{оч}, \quad (12)$$

де $t_{нав}$ – час навантаження составу;

$t_{нав}$ – час вивантаження составу;

$t_{вив}$ – час вивантаження составу на відвалі, збагачувальній фабриці або на перевантажувальному пункті;

$t'_{тимч}$ та $t''_{тимч}$ – час руху навантаженого та порожнього складу по тимчасовим коліям;

$t_{оч}$ – час простоїв локомотиво-составів.

При виконанні розрахунків за існуючими методиками витрати часу на рух та вантажні операції приймаються постійними. Очікування виникають в процесі руху через ворожість маршрутів пересувань, а також на пунктах навантаження, вивантаження та технічного обслуговування через обробку інших локомотиво-составів. За діючими методиками тривалість очікувань під час руху приймається в залежності від довжини маршруту, тривалість затримок на пунктах навантаження, вивантаження та технічного обслуговування приймається постійною. Фактично величина затримок визначається рівнем завантаження технічних засобів.

Математичним методом, що дозволяє визначити простої в очікуванні виконання операцій є теорія масового обслуговування. Приклади використання математичного апарату теорії систем масового обслуговування для оцінки тривалості очікувань рухомого складу в чергах представлені в роботах [14, 15].

Окрім того, початок і закінчення зміни повинні відбуватися в пунктах зміни локомотивних бригад. Якщо локомотиво-состав не встигає прийти у такий пункт, то він не повинен

зупинитися у пункті зміни, що викликає непродуктивні простой.

Таким чином, проблемою аналітичних методів розрахунку величини простоїв є те що, поперше, робота кар'єрного залізничний транспорту підлягає обмеженням різного характеру, які не можуть бути враховані в аналітичних моделях; по-друге, системи залізничного транспорту кар'єрів є ергатичними і керуються людиною. В таких системах людина вирішує конфліктні ситуації, що виникають під час перевезень.

В цілому аналітичні методи забезпечують пошук лише нижньої межі кількості локомотиво-составів M , необхідної для виконання заданого обсягу роботи так, що:

$$M \geq M_a, \quad (13)$$

де M_a – кількість локомотиво-составів, визначена аналітичним методом.

Основним методом комплексного аналізу роботи станцій, під'їзних шляхів промислових підприємств, вантажних терміналів як на залізничному транспорті України, так і інших пострадянських держав є графічне моделювання на основі побудови добового плану-графіка [18].

Плани графіки будують з метою узгодження роботи всіх парків станцій, під'їзних шляхів, визначення завантаження основних елементів станцій, скорочення міжопераційних інтервалів і визначення найбільш напружених періодів у роботі станції.

Першою проблемою методу графічного моделювання є його складність і необхідність значних витрат часу на оцінку рішень. Частково цю проблему вирішує застосування спеціалізованих програмних засобів, що дозволяють автоматизувати вирішення задач модифікації та оцінки показників планів графіків [19, 20]. Ефективність використання рухомого складу для перевезень в кар'єрах суттєво залежить від порядку виконання технологічних операцій, який обирає людина.

Тому другою проблемою методів графічного моделювання є суб'єктивний вплив людини, що виконує побудову добових планів-графіків.

Альтернативною та доповненням до графічних методів моделювання роботи залізничного транспорту є методи імітаційного моделювання роботи кар'єрів [21-24] та об'єктів залізничного транспорту [25-30]. Перевагою імітаційних моделей є висока швидкість оцінки у порівнянні з графічними. При цьому вибір пріоритетів при виникненні конфліктних ситуацій здійснює або спеціальний алгоритм, або, як це передбачено у [30], що виконує моделювання.

В цілому графічні та імітаційні методи забезпечують пошук верхньої межі кількості локомотиво-составів M , необхідної для виконання заданого обсягу роботи так, що:

$$M \leq M_g, \quad (14)$$

де M_a – кількість локомотиво-составів, визначена графічним методом.

Ці методи використовуються, як правило, для перевірки можливості виконання планових обсягів роботи за допомогою тієї кількості локомотиво-составів, що встановлена аналітичними методами.

Як правило в сучасних умовах розрахунок парку рухомого складу здійснюється ітераційно:

1. Встановлюється необхідна кількість локомотиво-составів аналітичним методом, де $M = M_a$.

2. Отримане рішення перевіряється методом графічного, або імітаційного моделювання.

3. Якщо виконується умова $M = M_g$, то кінець рішення. Інакше, виконується аналіз результатів моделювання і, або змінюється порядок використання рухомого складу при заданому парку M , або M збільшується на одиницю і виконується повторна перевірка.

Такий ітераційний підхід вимагає значних витрат часу на виконання обчислень та моделювань. Це суттєво збільшує витрати на роботи пов'язані з удосконаленням технології та проектуванням кар'єрів. Через обмеження у часі прийняття рішень при технічному нормуванні роботи залізничного транспорту кар'єрів використовуються лише аналітичні методи, що є джерелом посилок.

У зв'язку з цим для залізничного транспорту кар'єрів актуальною задачею пошуку оптимального порядку використання локомотиво-составів для виконання планового обсягу роботи. Об'єктивними умовами роботи залізничного транспорту на підприємствах є неможливість поділу комплексу операцій на частини; поділ доби на зміни, при цьому зміни бригад повинні відбуватися лише в чітко встановлених місцях; необхідність виконання огляду, екіпірування та технічного обслуговування рухомого складу, при чому в багатьох випадках лише у денну зміну і т.і. В умовах відносно невеликого парку вагонів та локомотивів промислових підприємств в роботі рухомого складу виникають резерви часу, які не можуть бути використані іншими одиницями рухомого складу. Такі задачі відносяться до задач дослідження операцій.

Задачі пошуку оптимального порядку виконання маневрових операцій вирішуються

методами динамічного програмування, гілок і меж та ін. [31, 32, 33]. Перевагою цих методів у порівнянні з аналітичними методами є можливість урахування цілочисельного характеру рішень задачі визначення потрібного парку рухомого складу та можливість урахування експлуатаційних обмежень технологічного процесу. Їх перевагою над методами графічного та імітаційного моделювання є відносна простота та усунення суб'єктивності при прийнятті рішень.

Виконані дослідження показують, що задачі організації роботи кар'єрного залізничного транспорту є типовими для задач теорії експлуатації залізниць, однак мають свої особливості через роботу на обмежених полігонах з відносно невеликим парком рухомого складу.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в ній на підставі аналізу методів розрахунку парку рухомого складу залізничного транспорту встановлено особливості притаманні прикладним задачам гірничо-видобувних підприємств.

Практична значимість результатів полягає в тому, що вони вказують на необхідність розвитку методів розрахунку парку рухомого складу залізничного транспорту гірничо-видобувних підприємств. Виконане дослідження дозволило сформулювати задачі подальших досліджень та обрати методи їх вирішення.

Висновки

1. Залізнична промисловість є однією з основ економіки України, а експорт залізної руди та чорних металів забезпечує значну долю валютних надходжень. Одним із напрямків підвищення конкурентоспроможності вітчизняної залізної руди та продуктів її переробки є зниження собівартості їх виробництва за рахунок удосконалення організації перевезень руди та породи у кар'єрах залізничним транспортом.

2. Методи розрахунку парку рухомого складу залізничного транспорту почали формуватися в кінці XIX сторіччя. До теперішнього часу сформувалися аналітичні, графічні та імітаційні методи вирішення цієї задачі. При цьому аналітичні методи характеризуються простотою розрахунків, але меншою точністю, в той час як графічні та імітаційні методи є більш точними, однак громіздкими.

3. Виконаний аналіз наукових робіт показує, що проблема визначення парку рухомого складу

залізничного транспорту кар'єрів вимагає вирішення наступних задач дослідження:

- аналіз причин та визначення числових характеристик нерівномірності перевезень на залізничному транспорті кар'єрів;

- удосконалення методів визначення затримок в очікуванні на перетинах маршрутів та в очікуванні технологічних операцій на залізничному транспорті кар'єрів;

- удосконалення методу вирішення задачі розрахунку парку рухомого складу з урахуванням її цілочисельного характеру та технологічних обмежень.

Для вирішення поставлених задач дослідження можуть бути використані методи теорії експлуатації залізниць, аналізу часових рядів, систем масового обслуговування, дослідження операцій та імітаційного моделювання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Губіна В. Г., Чорноног С.С. Стан та перспективи розвитку залізничної промисловості України. *Геохімія техногенезу*. 2024. №38. С. 20-27. DOI: 10.32782/GEOTECH2024.38.02.

2. Савчук І. Експорт залізничної сировини з України. *ВІСНИК Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 2017. №1(36). С. 37-41. DOI: 10.17721/1728-2217.2017.36.37-41.

3. Кухарик В. Статистичне дослідження світового ринку залізної руди. *Економіка та суспільство. Міжнародні економічні відносини*. 2022. №39. 7 с. DOI: 10.32782/2524-0072/2022-39-22.

4. Фролов О. О., Косенко Т. В. Відкриті гірничі роботи : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 151 с.

5. Шинін Л. Н., Пригунов О. С., Денищенко О. В. Транспортні комплекси кар'єрів : навч. посіб. Дніпро : Нац. гірн. Ун-т, 2015. 241 с.

6. Kozachenko D., Hnennyi O., Berezovyi N., Malashkin V. Optimization of the company's railcar fleet structure for the transportation of iron ore raw materials. *Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means*, 2021. P. 316-321. URL: <https://crust.ust.edu.ua/handle/123456789/14576>.

7. Young R. R., Swan P. F., Burn R.H. Private Railcar Fleet Operations: The Problem of Excessive Customer Holding Time in the Chemicals and Plastics Industries. *Transportation Journal*. 2002. Vol. 42, No 1. P. 51-59. URL: <https://www.jstor.org/stable/20713515>.

8. Горошкова Л. Прогнозування розвитку залізничної галузі України в умовах війни та повоєнного відновлення країни. *ВІСНИК Київського національного університету імені Тараса Шевченка. ГЕОЛОГІЯ*. 2024. №2(105). С. 83-93.

9. Лижник Ю. Б., Федотова Т. А., Безверха І. В. Особливості кон'юнктури ринку залізних руд України під час повномасштабного вторгнення Росії в Україну. *Торгівля і ринок України*. 2024. №1(55). С. 69-78.
10. Давимука О., Каракуц А., Щедрін Ю. Повоєнне відновлення економіки України : дослідження. Київ : Центр прикладних досліджень, 2022. URL: <https://cpd.com.ua/uk/vidnovlennya-ekonomiky/>.
11. Лаврухін О. В., Доценко Ю.В. Розробка математичної моделі динамічного аналізу елементів обігу вантажного вагона: зб. наук. праць. Донецьк, 2008 : ДонІЗТ. №14. С. 18-26.
12. Повороженко В. В. Прискорення обороту вагона. М. : Державне транспортне залізничне видавництво, 1955. 247 с.
13. Потапов М. Г., Кар'єрний транспорт : підручник для учнів гірничих технікумів. 4-е вид., перероб. та доп., М. : Недра, 1980. 264 с.
14. Кравченко В. Г. Економіко-математична модель змішаного транспортного терміналу. *Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова*. 2003. №1, С. 159-161. URL: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=9lmKl_YAAAAJ&citation_for_view=9lmKl_YAAAAJ:Y0pCki6q_DkC.
15. Калашнікова Т. Ю., Кравченко Д. О., Звягінцев Я. С. Модельовання процесів взаємодії у роботі підсистем технічної станції між собою та з прилеглими дільницями за умов необхідності зважування вагонів. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016. №164. С. 112-117. DOI: 10.18664/1994-7852.164.2016.92531.
16. О. М. Костєнніков, О. Л. Чудна, А. Ю. Барскова. Дослідження сезонної нерівномірності перевезень вантажів та її вплив на організацію місцевої роботи дільниць. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2015. №152. С. 15-21. DOI: 10.18664/1994-7852.152.2015.64979.
17. Барков Н.Н. Сезонная и внутринедельная неравномерность грузовых перевозок на железных дорогах. М. : Трансжелдориздат, 1963. 96 с.
18. Практичні рекомендації щодо складання технологічного процесу роботи сортувальної станції. ЦД-0081 : затв. : Наказ Укрзалізниці від 22.12.2009 № 71.
19. D. Kozachenko, A. Verlan, R. Korobyova. Improvement of graphical model of railway stations functioning. *2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*. Sakheer, Bahrain, 2020. P. 395-398. DOI: 10.1109/DASA51403.2020.9317139
20. Верлан А. І. Графоаналітична модель функціонування залізничних станцій. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 2014. №3(72), том 6. С. 21-26. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.30906.
21. Слободянюк Р. В. Розробка імітаційної моделі екскаваторно-автомобільного комплексу кар'єру. *Геотехнічна механіка*. 2015. №123. С. 210-219. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/gtm_2015_123_23
22. Saderova J., Ambrisko L., Marasova D., Muchova P. Proposal of a Transport Planning Model for the Removal of Quarry Stone Using a Simulation. *Applied Sciences*. 2024. Vol 14, No 12. DOI: 10.3390/app14125130.
23. Panagiotou G. N. Discrete mine system simulation in Europe. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*. 1999. Vol. 13, No 2. P. 43-46. DOI: 10.1080/09208119908944208
24. Krysa Z., Bodziony, P., Patyk M. Discrete Simulations in Analyzing the Effectiveness of Raw Materials Transportation during Extraction of Low-Quality Deposits. *Energie*. 2021. Vol. 14, No 18, 5884. DOI: /10.3390/en14185884
25. Amin I., Adil M., Rehman S., Ahmad I. Simulation of Truck-Shovel Operations Using Simio. *Int.J.Econ.Enviro. Geol*. 2017. Vol. 8, No 4. P. 55-58. URL: DOI: 10.46660/ijeeg.Vol0.Iss0.0.73.
26. Marinov M., Şahin İ., Ricci S., Vasic-Franklin, G. Railway operations, time-tabling and control. *Research in Transportation Economics*. 2013. Vol 41, No 1. P. 59-75. DOI: /10.1016/j.retrec.2012.10.003.
27. Möller D. Introduction to Transportation Analysis, Modeling and Simulation : London, 2014. P. 195-228. DOI: 10.1007/978-1-4471-5637-6_5.
28. Gorbova O. V., Modeling work of sorting station using. *Science and Transport Progress*. 2015. Vol. 1, No 55. P. 129-138. DOI: 10.15802/stp2015/38260
29. Lin E., C. Cheng, YardSim: A rail yard simulation framework and its implementation in a major railroad in the U.S. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*. Austin, TX, USA, 2009. P. 2532-2541. DOI: 10.1109/WSC.2009.5429654.
30. Bobrovskiy V. I., Kozachenko D. N., Vernygora R.V., Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata. *Transport Problems*. 2014. Vol. 9, No 3. P. 57-65. URL: <https://doaj.org/article/9c1e2d43a91149b1a05e4cd437ed18d5>.
31. Kozachenko D., Gera B., Taran I., Korobiova R., Improvement of the Method of Time Rationing for Assembling Car Groups on One Track. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. Vol.1. P. 147-153. DOI: 10.33271/NVNGU/2024-1/147.
32. Kozachenko D., Bobrovskiy V., Gera B., Skovron I., An Optimization Method of the Multi-Group Train Formation at Flat Yards. *International Journal of Rail Transportation*. 2021. Vol. 9, No 1. P. 61-78. DOI:10.1080/23248378.2020.1732235.
33. Jaehn, F., Otto, A., Seifried, K., Shunting operations at flat yards: retrieving freight railcars from storage tracks : *OR Spectrum*, 40, 2018. 367 p.
34. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті : затв.: Наказ Укрзалізниці 25.03.2003 р. № 0-72/ ЦЗ.

35. Самсонкін В. М., Вергун О. Ф., Липовець Н. В., Гаркуша Л. Ю. Інструкція зі складання місячних технічних норм експлуатаційної роботи залізниць України. Київ : Транспорт України, 2002. 30 с.

36. S. Turpak, N. Saukhanov, O. Ostrohliad, I. Taran. Improving the efficiency of management of transport and energy resources of the logistics system of an industrial

enterprise. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. Vol 6. P. 143-150. DOI:10.33271/NVNGU/2024-6/143.

Надійшла до редколегії 12.12.2024.

Прийнята до друку 15.02.2025.

D. KHYLKEVYCH

ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATING THE RAILWAY ROLLING STOCK FLEET OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Purpose. Search for ways to improve the methods of calculating the fleet of railway rolling stock of industrial enterprises (in particular, mining enterprises) taking into account the local operating conditions of the industrial transport infrastructure. **Methodology.** Analysis of existing methods for determining the rolling stock fleet to ensure and optimize the internal transport needs of an industrial enterprise. **Results.** Identification of shortcomings and determination of the need to improve methods for calculating rolling stock at industrial enterprises. **Practical significance.** The need to improve the methodology for determining the necessary fleet of rolling stock on the approach tracks of industrial enterprises and predict a more accurate assessment of their loading. The feasibility of developing a functional model of the railway infrastructure of an industrial enterprise.

Keywords: rolling stock park, industrial transport, railway infrastructure, transport logistics, quarry railway transport.