

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.225:629.421

Н. М. САННИЦЬКИЙ^{1*}, Ю. М. ГЕРМАНЮК^{2*}, Т. О. ШАРГУН^{3*}

^{1*}Циклова комісія «Організація перевезень і управління на залізничному транспорті», Львівський коледж транспортної інфраструктури, вул. Снопківська, 47, Львів, Україна, 79011, тел. +38 (032) 276 14 90, ел. пошта nazar_ltzt@ukr.net, ORCID 0000-0003-0254-7301

^{2*}Каф. «Транспортні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Львівська філія, вул. І. Блажкевич, 12а, Львів, Україна, 79052, тел. +38 (032) 267 99 74, ел. пошта yuhermanyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-4905-8313

^{3*}Каф. «Гуманітарна та соціально-економічна підготовка», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Львівська філія, вул. І. Блажкевич, 12а, Львів, Україна, 79052, тел. +38 (032) 267 99 74, ел. пошта t.shargun@gmail.com, ORCID 0000-0002-6014-4941

РОЗРОБКА МЕТОДУ ЗАКРІПЛЕННЯ ПРИВАТНИХ ЛОКОМОТИВІВ ЗА ПОЇЗДАМИ

Мета. У наш час в Україні відбувається процес реформування ринку залізничних перевезень, що пов'язано з імплементацією директив Європейського Союзу до її законодавства. У результаті цих реформ передбачається відкриття ринку залізничних перевезень для незалежних від Укрзалізниці перевізників. У таких умовах проблема забезпечення доступу рухомого складу до головних і приймально-відправних колій та усунення конфліктних ситуацій із поїзними та маневровими пересуваннями рухомого складу Укрзалізниці може бути вирішена шляхом пропуску поїздів незалежних перевізників за жорстким розкладом руху. Одним із напрямів використання приватних локомотивів є обслуговування пунктів масового завантаження чи вивантаження вантажів. Основним завданням, яке виникає при цьому, є вдосконалення методів закріплення приватних локомотивів за нитками графіка руху поїздів. **Методика.** Дослідження виконано на основі методів організації експлуатаційної роботи залізниць та методів лінійного програмування. **Результати.** У роботі розглянуто проблему вдосконалення методів розрахунку величини робочого парку локомотивів. На основі аналізу можливих умов взаємодії АТ «Укрзалізниця» і приватних перевізників визначено, що одним із варіантів використання приватних перевізних компаній на етапі впровадження їх послуг буде обслуговування пунктів масового завантаження чи вивантаження вантажів. У ході дослідження розроблено метод визначення кількості локомотивів шляхом зведення цієї задачі до оптимізаційної задачі про призначення. Наведено приклад розв'язання задачі визначення необхідного робочого парку локомотивів для обслуговування перевезень зернових вантажів, які відправляють у порт відправницькими маршрутами, та розробки графіків їх обігу. Установлено кількість локомотивів, необхідну для обслуговування перевезень, розроблено порядок їх підв'язки до поїздів. **Наукова новизна.** У дослідженні вдосконалено методи закріплення локомотивів за нитками графіка руху поїздів на основі використання методів лінійного програмування. **Практична значимість.** Результати роботи дозволяють оцінити потреби робочого парку локомотивів в умовах відкритого ринку залізничних перевезень для незалежних перевізників.

Ключові слова: залізничний транспорт; вантажні перевезення; локомотив; організація перевезень; реформування залізниці

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Вступ

На сьогодні магістральний залізничний транспорт України перебуває повністю в державній власності. Загальним напрямом державної політики України є євроінтеграція. Ключовим залишається доступ приватних перевізників до українських залізниць. Це можливо із запровадженням жорстких ниток графіка вантажного руху [2], що сприяє підвищенню безпеки руху, конкурентоспроможності залізничного транспорту та показників експлуатаційної роботи. Однак для України ці питання є доволі новими. Роботи українських учених порушують актуальні питання оптимального планування, управління локомотивним парком залізниць. Так, в [1] запропоновано методи створення вдосконаленої автоматизованої системи оптимального управління роботою локомотивного парку із застосуванням нечітких моделей для прогнозування характеристик поїздопотоків та для підв'язки локомотивів до поїздів. Над питанням перспективи використання приватних локомотивів працюють учені Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна [15, 2]. У роботі [15] визначено сфери ефективного використання приватних локомотивів для залізничних перевезень у межах України.

У [10] удосконалено методи визначення схем обігу локомотивів з урахуванням технологічних особливостей вагонопотоків. Розроблено математичну модель, яка дозволяє знайти масу поїздів на маршрутах їх прямування, схеми обігу локомотивів та роботи бригад з урахуванням дислокації парку з різними серіями на полігоні мережі. Для цієї математичної моделі застосовано цілочисловий генетичний алгоритм із власною схемою кодування рішення.

Проблемі планування роботи локомотивів і локомотивних бригад присвячено багато праць у закордонних виданнях. Вони вирішують завдання впровадження раціональної системи управління локомотивами та локомотивними бригадами в різних часових періодах і за різної технології виконання поїзної роботи, вибору порядку явки локомотивних бригад на роботу, завдання, що виникають під час організації перевезень за жорсткими графіками руху поїздів. Зокрема, у Чехії, США, Італії, Китаї

завдання розподілу локомотивів вирішують із використанням моделі цілочислового лінійного програмування [8, 11, 12, 17, 18]. Так, у Чехії складено програму, яка описує поетапну процедуру формування поїздів, подачі заявок на замовлення маршруту поїзда в межах розкладу руху та призначена для узгодження з маршрутом оператора перевезень [14].

У Російській Федерації питанням роботи парку локомотивів присвячено також багато публікацій, зокрема вчені розраховують обіг та обслуговування локомотивів за системою оптимізації «Лабіринт» як динамічну транспортну задачу. Запропоновано модель узгодженого прибуття локомотивів у пункти обслуговування. Розрахунок складається з трьох взаємопов'язаних етапів. Першим етапом є розрахунок оптимального обігу локомотива без урахування обмежень на обслуговування. Другий етап – розрахунок оптимального прибуття локомотивів на станції обслуговування. Третій етап – розрахунок розкладу руху поїздів з урахуванням місця розташування зупинених поїзних комплектів та зовнішнього вигляду локомотивів після обслуговування [16].

Робота [20] присвячена вирішенню завдання візуального планування місцеперебування локомотивів із використанням генетичного алгоритму – моделі макета робочої схеми руху локомотива. У [7] удосконалено систему організації локомотивних бригад за іменними графіками.

Доволі багато публікацій стосуються питання методів визначення потрібного парку локомотивів. Так, у роботі [4] описано алгоритм розрахунку робочого парку локомотивів залізничної дільниці графоаналітичним методом мовою програмування С. Парк вантажних локомотивів визначено за коефіцієнтом їх потреби на одну пару поїздів. У [5] запропоновано здійснювати нормування локомотивного парку з урахуванням впливу на потреби в локомотивах систем тягового обслуговування вантажних поїздів. Розроблено методику, що дозволяє визначити потрібну кількість локомотивів за їх оперативного секціонування та кратної тяги:

$$M_{y.o.} = (K_T \sum_{j=1}^m n_{rj} K_{nj}) \frac{1 + \alpha_p}{1 - \beta_n},$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

де K_T – коефіцієнт, що враховує кратність тяги у вантажному русі в середньому за місяць.

У роботі [6] на основі аналізу результатів моделювання роботи локомотивів, фактичних даних використання локомотивного парку, а також виконаних досліджень створено базову модель устанавлення коефіцієнта переходу від середньодобової за рік потреби в локомотивах робочого парку до загальної чисельності парку справних локомотивів вантажного господарства з урахуванням нерівномірностей руху поїздів. У [3] запропоновано модель, що дозволяє розрахувати оптимальні режими роботи локомотивів під час обслуговування поїздопотоків. За основу побудови моделі обрано динамічну транспортну задачу. Під час моделювання видається інформація про режим роботи кожного локомотива, графік руху кожного поїзда, а також усереднені результати використання локомотивів і затримки поїздів. У [13] представлено гібридний генетичний алгоритм для оптимального управління локомотивами, коли виникає проблема з ув'язкою наявних у депо локомотивів до поїздів у жорсткі проміжки часу. У [7], враховуючи розклад руху поїздів, учені розглядають проблему планування роботи локомотивів, визначають алгоритм підведення локомотивів до поїздів за жорстким графіком.

У роботі [19] зазначено, що розклад руху поїздів і підведення до них локомотивів часто виконують окремо. Очевидним недоліком такого процесу ієрархічного планування є те, що він часто призводить до поганої координації між розкладом руху поїздів і розкладом руху локомотивів. Ця стаття передбачає створення інтегрованої задачі розробки розкладу руху та призначення локомотивів за допомогою побудови тривимірної просторово-часової моделі. У роботі [9] описано алгоритм визначення мінімальної кількості транспортних одиниць для ведення фіксованого розкладу.

Виконаний аналіз наукових джерел свідчить про те, що наявні методи організації тягового обслуговування поїздів спрямовані на досягнення мінімальних транспортних витрат для виконання заданого обсягу перевезень, що не враховує інтереси окремих вантажовідправників в умовах дефіциту тягового рухомого складу.

Мета

Основною метою нашої статті є вдосконалення методів закріплення локомотивів за нитками графіка руху поїздів на основі використання методів лінійного програмування.

Методика

Одним із напрямів використання приватних локомотивів є обслуговування пунктів масового завантаження чи вивантаження вантажів. Зокрема, імовірними пунктами призначення поїздів, які обслуговують приватні локомотиви, можуть бути морські порти Великої Одеси, де концентрується майже 20 % вивантаження вагонів по Укрзалізниці. У роботі розглянуто задачу визначення необхідного робочого парку локомотивів для обслуговування перевезень зернових вантажів, які відправляють у порт із 7 елеваторів відправницькими маршрутами, та розробки графіків обігу локомотивів. Основне локомотивне депо, де виконують операції з ТО–2, розміщене в порту. Робочий парк локомотивів, необхідний для забезпечення перевезень, у цьому випадку визначають у результаті розв'язання оптимізаційної задачі:

$$M = \left\lceil \frac{\alpha_p}{T_n} \left(\sum_{i=1}^n T_{pi} + \sum_{i=1}^n S_i \right) \right\rceil, \quad (1)$$

де T_{pi} – тривалість перебування i -го локомотива в русі із завантаженим і порожнім поїздом та його простою на станції завантаження; S_i – загальний простій i -го локомотива на станції основного депо (станції вивантаження); n – кількість ниток графіка.

Зважаючи на те, що величина $\sum_{i=1}^n T_{pi}$ є постійною і визначається графіком обігу составів, мінімальна кількість локомотивів, необхідна для забезпечення перевезень, досягається за мінімального загального простою локомотивів на станції основного депо. Тому розв'язання задачі (1) є еквівалентним до розв'язання задачі

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$$M = \left[\alpha_p \frac{\sum_{i=1}^n T_{pi} + S_{\min}}{T_{\Pi}} \right] \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$S_{\min} = s_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min \quad (3)$$

де за обмежень:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_{ij} = 0; \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} = 0; \\ x_{ij} \in [0, 1]. \end{cases} \quad (4)$$

У такій постановці задача мінімізації загального простою локомотивів на станції основного депо зведена до задачі про призначення.

Ураховуючи цілочислове значення кількості локомотивів, необхідність їх резерву на випадок значних порушень розкладу руху поїздів, а також планового чи позапланового ремонту за нормальних умов експлуатації складатиме:

$$S_{\text{рез}} = MT_{\Pi} - \sum_{i=1}^n T_{pi} - S_{\min}. \quad (5)$$

Указаний резерв може бути перерозподілений із метою створення рівномірних резервів часу перебування локомотивів на станції основного депо. У цих умовах задача розробки графіка обігу M локомотивів під час обслуговування перевезень може бути сформульована так (6):

$$\min(b_{ij}) \rightarrow \max, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}, \quad (6)$$

де

$$b_{ij} = \begin{cases} s_{ij} \text{ за } x_{ij} = 1; \\ \infty \text{ за } x_{ij} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Обмеження задачі (6) накладено умовами (7) та додатково умовою:

$$MT_{\Pi} - \sum_{i=1}^n T_{pi} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n s_{ij} x_{ij} \geq 0. \quad (8)$$

Результати

Розв'язання поставленої задачі виконуємо у два етапи.

На першому етапі визначаємо мінімальну кількість локомотивів, необхідну для забезпечення перевезень, якої можна досягти скороченням простою локомотивів на станції основного депо, що відображено в цільовій функції. Таким чином, задача зводиться до мінімізації загального простою локомотивів під час їх перечеплення від i -того до j -того поїзда. На другому етапі досягається рівномірний розподіл резервів часу простою локомотивів на станції основного депо в разі їх перечеплення між нитками графіка. Оскільки існує потреба в додаткових локомотивах на випадок значних порушень розкладу руху поїздів, планового чи позапланового ремонту, за нормальних умов експлуатації кількість локомотивів повинна мати резерв. Його можна перерозподілити для створення рівномірних резервів часу перебування локомотивів на станції основного депо. Це забезпечує стійкість графіків обігу локомотивів в умовах дії випадкових факторів. Матриці підв'язки локомотивів та мінімальні тривалості їх простою прід час перечеплення від поїзда до поїзда наведені в табл. 1 і 2, порівняння початкового й остаточного варіантів – у табл. 3. Згідно з розробленою методикою у роботі побудовано оптимальний графік обслуговування елеваторів відправницькими маршрутами, що наведено на рис. 1.

Наукова новизна та практична значимість

У роботі вдосконалено метод закріплення локомотивів за нитками графіка руху поїздів на основі використання методів лінійного програмування.

Отримані результати дозволяють оцінити потреби робочого парку локомотивів в умовах відкритого ринку залізничних перевезень для незалежних перевізників.

Таблиця 1

Матриця підв'язки локомотивів за нитками графіка, що забезпечує їх мінімальний простій під час перечеплення від поїзда до поїзда (початковий варіант)

Table 1

Matrix of a locomotive garter according to schedule threads providing their minimum idle time during coupling from train to train (initial variant)

До поїзда		Час до відправлення поїзда в годинах від нуля годин першої доби														
		0	42	33	73	66	24	3	46	16	58	32	75	50	8	
Від поїзда		Номер поїзда														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Час до прибуття поїзда в годинах від нуля годин першої доби	48	1	36	78	69	25	18	60	39	82	52	10	68	27	2	44
	6	2	78	36	27	67	60	18	81	40	10	52	26	69	44	2
	73	3	11	53	44	84	77	35	14	57	27	69	43	–	61	19
	29	4	55	13	4	44	37	79	58	17	71	29	3	46	21	63
	20	5	64	22	13	53	46	4	67	26	80	38	12	55	30	72
	62	6	22	64	55	11	4	46	25	68	38	80	54	13	72	30
	41	7	43	85	76	32	25	67	46	5	59	17	75	34	9	51
	0	8	84	42	33	73	66	24	3	46	16	58	32	75	50	8
	54	9	30	72	63	19	12	54	33	76	46	4	62	21	80	38
	12	10	72	30	21	61	54	12	75	34	4	46	20	63	38	80
	68	11	16	58	49	5	82	40	19	62	32	74	48	7	66	24
	27	12	57	15	6	46	39	81	60	19	73	31	5	48	23	65
	82	13	2	44	35	75	68	26	5	48	18	60	34	77	52	10
	40	14	44	2	77	33	26	68	47	6	60	18	76	35	10	52

Таблиця 2

Матриця підв'язки 7 локомотивів за нитками графіка, що забезпечує їх найбільш рівномірний простій під час перечеплення від поїзда до поїзда (остаточний варіант)

Table 2

Matrix of 7 locomotives garter according to schedule threads providing their most uniform idle time during coupling from train to train (final variant)

До поїзда		Час до відправлення поїзда в годинах від нуля годин першої доби														
		0	42	33	73	66	24	3	46	16	58	32	75	50	8	
Від поїзда		Номер поїзда														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Час до прибуття поїзда в годинах від нуля годин першої доби	48	1	36	78	69	25	18	60	39	82	52	10	68	27	44	
	6	2	78	36	27	67	60	18	81	40	10	52	26	69	44	2
	73	3	11	53	44	84	77	35	14	57	27	69	43	61	19	
	29	4	55	13	44	37	79	58	17	71	29	46	21	63		
	20	5	64	22	13	53	46	67	26	80	38	12	55	30	72	
	62	6	22	64	55	11	46	25	68	38	80	54	13	72	30	
	41	7	43	85	76	32	25	67	46	59	17	75	34	9	51	
	0	8	84	42	33	73	66	24	46	16	58	32	75	50		
	54	9	30	72	63	19	12	54	33	76	46	62	21	80	38	
	12	10	72	30	21	61	54	12	75	34	46	20	63	38	80	
	68	11	16	58	49	82	40	19	62	32	74	48	7	66	24	
	27	12	57	15	6	46	39	81	60	19	73	31	48	23	65	
	82	13	44	35	75	68	26	5	48	18	60	34	77	52	10	
	40	14	44	2	77	33	26	68	47	60	18	76	35	10	52	

Таблиця 3

Порівняння початкового й остаточного варіантів

Table 3

Comparison of initial and final variants

Етап 1	підв'язка	1–13	2–14	3–12	13–1	14–2	8–7	4–3	6–5	5–6	10–9	9–10	11–4	7–8	12–11
	простій	2	2	2	2	2	3	4	4	4	4	4	5	5	5
Етап 2	підв'язка	13–7	12–3	14–8	11–12	8–14	7–13	1–10	2–9	3–1	6–4	9–5	10–6	5–11	4–2
	простій	5	6	6	7	8	9	10	10	11	11	12	12	12	13

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

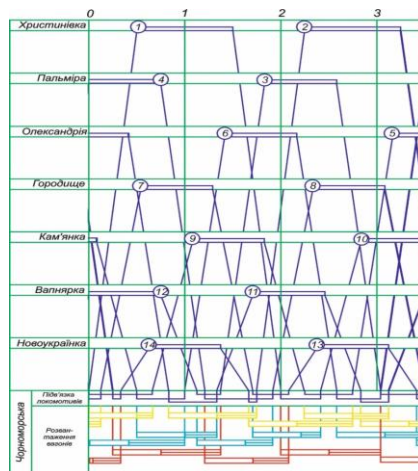


Рис. 1. Оптимальний графік обслуговування елеваторів приватними локомотивами

Fig. 1. Optimal schedule of elevators maintenance by private locomotives

Висновки

Використання приватних локомотивів дозволяє насамперед підвищити їх продуктивність, скорочуючи при цьому обіг вагонів, що призводить до зменшення їх потрібного робочого парку для здійснення перевезень.

У роботі розроблено метод закріплення приватних локомотивів за нитками графіка, що ґрунтується на розв'язанні задачі про призначення. Розглянуто задачу визначення необхід-

ного робочого парку локомотивів для обслуговування перевезень зернових вантажів, які відправляються у порт відправницькими маршрутами, та розробку графіків їх обігу. Установлено кількість локомотивів, необхідну для обслуговування перевезень, та розроблено порядок їх підв'язки до поїздів.

Отримано матрицю підв'язки локомотивів за відповідними нитками графіка та мінімальні тривалості їх простою під час перечеплення від поїзда до поїзда.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жуковицький І. В., Скалозуб В. В., Ветрова О. В., Зіненко О. Л. Моделювання процесу оперативного планування роботи локомотивного парку і локомотивних бригад. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2006. Вип. 12. С. 74–78.
2. Козаченко Д. Н., Вернигора Р. В., Березовый Н. И. Проблемы использования частных локомотивов для выполнения перевозок на магистральном железнодорожном транспорте. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2012. Вип. 3. С. 40–46.
3. Козлов П. А., Вакуленко С. П. Расчет оптимальных режимов работы локомотивов при обслуживании поездопотоков. *Мир транспорта*. 2016. № 4, Т. 14. С. 92–104.
4. Машарипов М. Н., Расулов М. Х., Расулмухаммедов М. М., Суюнбаев Ш. М. Расчет эксплуатируемого парка грузовых локомотивов графоаналитическим методом на языке программирования C#. *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2019. № 17. С. 5–12.
5. Некрашевич В. И. *Использование поездных локомотивов в грузовом движении*. Гомель : БелГУТ, 2001. 270 с.
6. Некрашевич В. И., Ковалев В. Н., Сальченко В. Л. Месячное нормирование парка локомотивов грузового движения. *Вестник ВНИИЖТ*. 2012 № 5. С. 24–31.
7. Сальченко В. Л. *Совершенствование системы организации работы локомотивных бригад по именованным графикам* : автореф. дисс. на соиск. уч. степени техн. Москва, 1996. 35 с.
8. Aksoy A., Altan A. The integrated Locomotive Assignment and Crew Scheduling Problem. *International Journal of Computational Engineering Research*. 2013. Vol. 03. Iss. 8. P. 18–24.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

9. Bartlett T. E. An Algorithm for the Minimum Number of Transport Units to Maintain a Fixed Schedule. *Naval Research Logistics Quarterly*. 1957. Vol. 4. Iss. 2. P. 139–149. DOI: <https://doi.org/10.1002/nav.3800040205>
10. Butko T., Prokhorchenko A., Muzykin M. An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. Vol. 5, № 3 (83). P. 47–55. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.80471>
11. Caprara A., Fischetti M., Toth P., Vigo D., Guida P. L. Algorithms for Railway Crew Management. *Mathematical Programming*. 1997. Vol. 79. Iss. 1–3. P. 125–141. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02614314>
12. Charnes A. A., Miller M. H. A model for the optimal programming of railway freight train movements. *Management Science*. 1956. Vol. 3. Iss. 1. P. 74–92. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.3.1.74>
13. Ghoseiri K., Ghannadpour S. F. A hybrid genetic algorithm for multi-depot homogenous locomotive assignment with time windows. *Applied Soft Computing*. 2010. Vol. 10. Iss. 1. P. 53–65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.06.004>
14. Greiner K., Volek J. Distributed System for Train Route Ordering. *International journal of applied mathematics and informatics*. 2010. Vol. 4. Iss. 2. P. 17–24.
15. Kozachenko D., Gera B., Sannytskyi N., Hermaniuk Y., Shargun T. Estimation of Private Locomotives Usage Efficiency for Freight Transportation in Ukraine. *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 294. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929406001>
16. Kozlov P., Timukhina E., Tushin N. Coordination of locomotives turnover and servicing modes. *Transport Problems*. 2018. Vol. 13. Iss. 1. P. 19–26. DOI: <https://doi.org/10.21307/tp.2018.13.1.2>
17. Lei D., Guo C., Zhang Y., Chen C. Reasonable scheduling for arrival – departure track operations in railway stations. *Transportation Planning and Technology*. 2016. Vol. 39. Iss. 6. P. 624–639. DOI: <https://doi.org/10.1080/03081060.2016.1187812>
18. Vaidyanathan B., Ahuja R. K., Orlin J. B. The Locomotive Routing Problem. *Transportation Science*. Vol. 42. Iss. 4. P. 492–507. DOI: [https://doi.org/10.1287/trsc.1080.0244\(application/pdf\)](https://doi.org/10.1287/trsc.1080.0244(application/pdf))
19. Xu X., Li C.-L., Xu Z. Integrated train timetabling and locomotive assignment. *Transportation Research Part B : Methodological*. 2018. Vol. 117. P. 573–593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.09.015>
20. Zheng Y., Jin W. Optimization Method of Locomotive Working Diagram Layout. *Journal of Advanced Transportation*. 2019. Vol. 2019. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/1315638>

Н. М. САННИЦКИЙ^{1*}, Ю. Н. ГЕРМАНИЮК^{2*}, Т. О. ШАРГУН^{3*}

^{1*}Цикловая комиссия «Организация перевозок и управление на железнодорожном транспорте», Львовский колледж транспортной инфраструктуры, ул. Снопковская, 47, Львов, Украина, 79011, тел. +38 (032) 276 14 90, эл. почта nazar_ltzf@ukr.net, ORCID 0000-0003-0254-7301

^{2*}Каф. «Транспортные технологии», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Львівський філіал, ул. И. Блажкевич, 12а, Львов, Украина, 79052, тел. +38 (032) 267 99 74, эл. почта yuhermaniuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-4905-8313

^{3*}Каф. «Гуманитарная и социально-экономическая подготовка», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Львівський філіал, ул. И. Блажкевич, 12а, Львов, Украина, 79052, тел. +38 (032) 267 99 74, эл. почта t.shargun@gmail.com, ORCID 0000-0002-6014-4941

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЗАКРЕПЛЕНИЯ ЧАСТНЫХ ЛОКОМОТИВОВ ЗА ПОЕЗДАМИ

Цель. В настоящее время в Украине происходит процесс реформирования рынка железнодорожных перевозок, что связано с имплементацией директив Европейского Союза к ее законодательству. В результате этих реформ предполагается открытие рынка железнодорожных перевозок для независимых от Укрзалізничці перевозчиков. В таких условиях проблема обеспечения доступа подвижного состава к главным и приемо-отправочным путям и устранения конфликтных ситуаций с поезными и маневровыми передвижениями подвижного состава Укрзалізничці может быть решена путем пропуска поездов независимых перевозчиков по жесткому расписанию движения. Одним из направлений использования частных локомотивов является обслуживание пунктов массовой загрузки или выгрузки грузов. Основной задачей, которая возникает при этом, является совершенствование методов закрепления частных локомотивов за нитками графика движения

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

поездов. **Методика.** Исследования выполнены на основе методов организации эксплуатационной работы железных дорог и методов линейного программирования. **Результаты.** В работе рассмотрена проблема совершенствования методов расчета величины рабочего парка локомотивов. На основе анализа возможных условий взаимодействия АО «Укрзалізниця» и частных перевозчиков определено, что одним из вариантов использования частных перевозочных компаний на этапе внедрения их услуг будет обслуживание пунктов массовой загрузки или выгрузки грузов. В ходе исследования разработан метод определения количества локомотивов путем приведения этой задачи к оптимизационной задаче о назначении. Приведен пример решения задачи определения необходимого рабочего парка локомотивов для обслуживания перевозок зерновых грузов, отправляемых в порт отправительскими маршрутами, и разработки графиков их оборота. Установлено количество локомотивов, которое необходимо для обслуживания перевозок, разработан порядок их подвезки к поездам. **Научная новизна.** В исследовании усовершенствованы методы закрепления локомотивов за нитками графика движения поездов на основе использования методов линейного программирования. **Практическая значимость.** Результаты работы позволяют оценить потребности рабочего парка локомотивов при открытом рынке железнодорожных перевозок для независимых перевозчиков.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; грузовые перевозки; локомотив; организация перевозок; реформирование железных дорог

N. M. SANNYTSKYI^{1*}, Y. M. HERMANIUK^{2*}, T. O. SHARHUN^{3*}

^{1*}Cycle commission «Organization of Transportation and Management at Railway Transport», Lviv College of Transport Infrastructure, Snopkivska St., 47, Lviv, Ukraine, 79011, tel. +38 (032) 276 14 90, e-mail nazar_Itzt@ukr.net, ORCID 0000-0003-0254-7301

^{2*}Dep. «Transport Technologies», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lviv Branch, I. Blazhkevycha St., 12a, Lviv, Ukraine, 79000, tel. +30 (032) 267 99 74, e-mail yuhermanyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-4905-8313

^{3*}Dep. «Humanitarian and Social-Economic Training», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lviv Branch, I. Blazhkevycha St., 12a, Lviv, Ukraine, 79000, tel. +30 (032) 267 99 74, e-mail t.shargun@gmail.com, ORCID 0000-0002-6014-4941

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSIGNING PRIVATE LOCOMOTIVES TO TRAINS

Purpose. Ukraine is currently in the process of reforming the railway transportations market, which is related to the implementation of European Union Directives to its legislation. As a result of these reforms, the opening of the railway transportation market for carriers independent of Ukrzaliznytsia is envisaged. In such conditions, the problem of ensuring access of rolling stock to the receiving and departure tracks and the elimination of conflict situations with train and shunting movements of rolling stock of Ukrzaliznytsia can be solved by passing trains of independent carriers according to a tight schedule. One of the use areas of private locomotives is servicing of points of mass loading or unloading of goods. One of the tasks that arises in this case is to improve the methods of assigning private locomotives to the threads of the train schedule. **Methodology.** The research is performed based on the methods of organization of operational work of railways and methods of linear programming. **Findings.** The paper considers the problem of improving the methods of calculating the size of the working fleet of locomotives. Based on the analysis of possible conditions of interaction between Ukrzaliznytsia JSC and private carriers, it is determined that one of the possible options for using private transport companies at the stage of implementation of their services will be the service of points of mass loading or unloading of goods. In the course of the research a method of determining the number of locomotives by reducing this problem to an optimization problem of purpose was developed. An example of solving the problem of determining the required working fleet of locomotives to service the transportation of grain cargo sent to the port by shipping routes and developing schedules of their turnover is given. The number of locomotives needed to service transportations was set and the procedure for their connection to trains developed. **Originality.** The research improves the methods of assignment locomotives to the threads of the train schedule based on the use of linear programming methods. **Practical value.** The results of the work allow us to assess the needs of the working fleet of locomotives in the open market of railway transportations for independent carriers.

Keywords: railway transport; freight traffic; locomotive; organization of transportation; reforming of railways

REFERENCES

1. Zhukovits'kyu, I. V., Skalozub, V. V., Vetrova, O. V., & Zinenko, O. L. (2006). Modeljuvannja procesu operatyvnogho planuvannja roboty lokomotyvnogho parku i lokomotyvnykh bryghad. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 12, 74-78. (in Ukrainian)
2. Kozachenko, D. N., Vernigora, R. V., & Berezovyy, N. I. (2012). Problemy ispolzovaniya chastnykh lokomotivov dlya vypolneniya perevozok na magistralnom zheleznodorozhnom transporte. *Transport systems and transportation technologies*, 3, 40-46. (in English)
3. Kozlov, P. A., & Vakulenko, S. P. (2016). Raschet optimalnykh rezhimov raboty lokomotivov pri obsluzhivanii poezdopotokov. *Mir transporta*, 4(4), 92-104. (in Russian)
4. Masharipov, M. N., Rasulov, M. Kh., Rasulmukhammedov, M. M., & Suyunbaev, Sh. M. (2019). Raschet ekspluatiruemogo parka gruzovykh lokomotivov grafoanaliticheskim metodom na yazyke programmirovaniya C#. *Intellectual Technologies on Transport*, 17, 5-12. (in Russian)
5. Nekrashevich, V. I. (2001). *Ispolzovanie poezdnykh lokomotivov v gruzovom dvizhenii*. Gomel: BelGUT. (in Russian)
6. Nekrashevich, V. I., Kovalev, V. N., & Salchenko, V. L. (2012). Mesyachnoe normirovanie parka lokomotivov gruzovogo dvizheniya. *VNIIZHT Scientific Journal*, 5, 24-31. (in Russian)
7. Salchenko, V. L. (1996). *Sovershenstvovanie sistemy organizatsii raboty lokomotivnykh brigad po imennym grafikam* (Extended abstract of PhD dissertation). Moscow, Russia. (in Russian)
8. Aksoy, A., & Altan, A. (2013). The integrated Locomotive Assignment and Crew Scheduling Problem. *International Journal of Computational Engineering Research*, 03(8), 18-24. (in English)
9. Bartlett, T. E. (1957). An algorithm for the minimum number of transport units to maintain a fixed schedule. *Naval Research Logistics Quarterly*, 4(2), 139-149. DOI: <https://doi.org/10.1002/nav.3800040205> (in English)
10. Butko, T., Prokhorchenko, A., & Muzykin, M. (2016). An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3(83)), 47-55. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.80471> (in English)
11. Caprara, A., Fischetti, M., Toth, P., Vigo, D., & Guida, P. L. (1997). Algorithms for railway crew management. *Mathematical Programming*, 79(1-3), 125-141. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02614314> (in English)
12. Charnes, A. A., & Miller, M. H. (1956). Model for the optimal programming of railway freight train movements. *Management Science*, 3(1), 74-92. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.3.1.74> (in English)
13. Ghoseiri, K., & Ghannadpour, S. F. (2010). A hybrid genetic algorithm for multi-depot homogenous locomotive assignment with time windows. *Applied Soft Computing*, 10(1), 53-65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.06.004> (in English)
14. Greiner, K., & Volek, J. (2010). Distributed System for Train Route Ordering. *International journal of applied mathematics and informatics*, 4(2), 17-24. (in English)
15. Kozachenko, D., Gera, B., Sannytskyi, N., Hermaniuk, Y., & Shargun, T. (2019). Estimation of Private Locomotives Usage Efficiency for Freight Transportation in Ukraine. *MATEC Web of Conferences*, 294, 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929406001> (in English)
16. Kozlov, P., Timukhina, E., & Tushin, N. (2018). Coordination of locomotives turnover and servicing modes. *Transport Problems*, 13(1), 19-26. DOI: <https://doi.org/10.21307/tp.2018.13.1.2> (in English)
17. Lei, D., Guo, C., Zhang, Y., & Chen, C. (2016). Reasonable scheduling for arrival–departure track operations in railway stations. *Transportation Planning and Technology*, 39(6), 624-639. DOI: <https://doi.org/10.1080/03081060.2016.1187812> (in English)
18. Vaidyanathan, B., Ahuja, R. K., & Orlin, J. B. (2008). The Locomotive Routing Problem. *Transportation Science*, 42(4), 492-507. DOI: [https://doi.org/10.1287/trsc.1080.0244\(application/pdf\)](https://doi.org/10.1287/trsc.1080.0244(application/pdf)) (in English)
19. Xu, X., Li, C.-L., & Xu, Z. (2018). Integrated train timetabling and locomotive assignment. *Transportation Research Part B: Methodological*, 117, 573-593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.09.015> (in English)
20. Zheng, Y., & Jin, W. (2019). Optimization Method of Locomotive Working Diagram Layout. *Journal of Advanced Transportation*, 2019, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/1315638> (in English)

Надійшла до редколегії: 07.08.2020

Прийнята до друку: 08.12.2020