

УДК 629.4.014.64

КРАШЕНІНІН О. С., д-р техн. наук,  
ОДЕГОВ М. М., старш. викл.,  
ЛАГЕРЄВА О. В., аспірант,  
ЗАДЕСЕНЕЦ В. І., аспірант  
(Український державний університет залізничного транспорту)

## Моделювання оптимальної дислокації сервісних підприємств залізничного транспорту

*Традиційна планово-попереджувальна система ТО, ПР тягового рухомого складу (ТРС) у сучасних умовах потребує значних змін. Це пов'язано з необхідністю перебудови системи управління ТО, ПР ТРС в умовах поступового переходу на утримання ТРС за технічним станом і можливості виконання ТО та ПР не тільки в депо приписки ТРС.*

*Відповідно до цього в статті розглянуто питання щодо моделювання і пошуку оптимальної дислокації центрів з організації аудиту і надання сервісних послуг на утримання ТРС.*

*Показано, що пошук оптимальної дислокації сервісних центрів доцільно проводити за допомогою положень динамічного програмування.*

*На основі прогнозу потужності сервісних центрів і необхідних витрат на їх організацію наведено процедуру реалізації моделювання оптимальної дислокації сервісних центрів з обслуговування і ремонту ТРС локомотивних депо.*

**Ключові слова:** тяговий рухомий склад, сервісне обслуговування, дислокація сервісних центрів.

### Вступ

Залізничний транспорт традиційно забезпечує масові перевезення вантажів і пасажирів у далекому сполученні і приміських перевезеннях. Але останніми роками технічний стан локомотивного парку і об'єктів інфраструктури для його утримання значно погіршився. Зараз склалася ситуація, коли на залізницях експлуатуються одночасно вітчизняний рухомий склад і закордонний. Поки не настав час на проведення великих видів ремонту закордонного рухомого складу, ситуація із забезпеченням перевезень задовільна.

Разом з цим підготовленої ремонтної бази в Україні для цього рухомого складу практично не існує, тим більше, що навіть для вітчизняного рухомого складу все складніше проводити повноцінні ТО і ПР.

Як показує закордонний досвід, потрібна гармонійна взаємодія між постачальниками продукції і її користувачами. Великі фірми – виробники залізничної техніки вважають за доцільне займати суттєву нішу в системі утримання, модернізації і постачання запасних частин для локомотивів, які поставляються на залізницю.

Для України цей досвід поки неможливо реалізувати у повному обсязі через нестійку ситуацію в країні.

Але є можливість на базі локомотиворемонтних заводів, які на сьогодні значно скоротили свою дію, або на базі великих локомотивних депо, або будівництва нових підприємств організувати сервіс для рухомого складу, що експлуатується, в тому числі із залученням закордонних спеціалістів і сучасних технологій.

Визначення дислокацій і потужностей таких центрів є актуальним завданням для локомотивного господарства.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У нашій країні і за кордоном приділяється значна увага визначенню та поліпшенню системи утримання ТРС.

Останніми роками в Україні проведено багато досліджень щодо розроблення методології визначення оптимального життєвого циклу локомотивів [1–5].

Значний внесок у завдання розроблення і оптимізації системи технічного обслуговування і ремонту ТРС зробили дослідження Ісаєва І. П., Стрекопитова В. В., Четвергова В. А., Тартаковського Е. Д. та інших вчених [4–6, 13].

За кордоном особистий інтерес становлять питання запровадження сервісу в систему ТО, ПР [3, 4].

Політика сервісу полягає в аудиті стану інфраструктури локомотиворемонтних підприємств, визначенні пріоритетів в організації постачання та надання відповідних сервісних послуг [1–8].

Теоретичні аспекти запровадження сервісу і запровадження системи організації ТО, ПР, ТРС за станом розглядаються у роботах [7–12]. У цих працях за допомогою методів теорії масового обслуговування, теорії імовірності, лінійного програмування, динамічного програмування розглядаються класичні задачі розподілу і упорядкування, що є важливим при виборі методу моделювання.

Для нашої країни запровадження сервісу стає важливим важелем забезпечення ефективної системи утримання ТРС.

### Визначення мети і завдання дослідження

Мета статті полягає в моделюванні дислокації і потужності сервісних центрів на основі положень динамічного програмування для оцінки ефективності їхнього функціонування при наданні сервісних послуг у утримання ТРС.

Відповідно до цього поставлено такі завдання:

1. Вибрати метод моделювання, критерій оцінки ефективності формування дислокації сервісних центрів і чинників, що його визначають.
2. Визначити ефективність запропонованих рішень з формування дислокації сервісного підприємства.
3. Оцінити ефективність комплексної дії сервісних центрів у наданні необхідних послуг.

### Основна частина дослідження

Як зазначається в ряді керівних документів, технічний стан локомотивного парку майже вичерпав свій ресурс [13]. Разом з цим протягом багатьох років ремонтна інфраструктура майже не оновлювалася і також досягла критичної межі, що призвело до погіршення якості ремонтних послуг, здорожчання їх і навіть до різкого скорочення обсягів роботи ремонтних підрозділів.

У цих умовах можливим є запровадження на базі локомотиворемонтних заводів або великих локомотивних депо стратегії створення і формування сервісних центрів.

Припустимо, що на окремій залізниці можливе формування декількох сервісних центрів. Відомі перспективи виходу сервісних центрів на відповідну потужність і витрати на створення їх.

У математичній постановці це можна подати таким чином:

$$\sum_{i=1}^M u_i(x_i) \rightarrow \min(\max), \quad (1)$$

$$\text{за умови } \sum_{i=1}^M x_i = A^{\max}, \quad a_i < x_i < A_i,$$

де  $M$  – кількість сервісних центрів підприємств, які планується створити;

$A^{\max}$  – сумарна очікувана потужність сервісних підприємств;

$a_i, A_i$  – відповідно найменша і найбільша потужність, яку може мати  $i$ -те сервісне підприємство;

$x_i$  – потужність  $i$ -го сервісного підприємства;

$u_i(x_i)$  – витрати (економічний ефект) по  $i$ -му сервісному підприємству.

Таким чином, необхідно обрати оптимальний варіант розвитку і дислокації сервісних підприємств за умови мінімальних витрат на їх створення в умовах обмежених ресурсів.

Для спрощення вихідних даних і обчислень від цієї економіко-математичної моделі доцільно перейти до розв'язання задачі, в якій замість оптимальної виробничої потужності можна обрати її зростання. З цієї метою в модель вводиться нова невідома  $y_i$ , яка відповідає приросту потужності підприємств по відношенню до мінімально можливої  $a_i$ ,

$$y_i = x_i - a_i.$$

Тоді модель набуде вигляду:

$$\sum_{i=1}^M u_i(y_i) \rightarrow \min(\max), \quad (2)$$

$$\text{за умови } \sum_{i=1}^M y_i = \bar{A}, \quad 0 < y_i < Y_i,$$

$$\text{де } \bar{A} = A^{\max} - \sum_{i=1}^M a_i, \quad Y_i = A_i - a_i.$$

Введемо функцію  $f_k(A)$  для пошуку рішення з вибору оптимальної дислокації сервісних центрів методом динамічного програмування, оскільки ця процедура виконується покроково:

$$f_k(A) = \min \sum_{i=1}^M u_i(y_i), \quad (3)$$

$$f_1(A) = u_1(A), \quad A = \sum_{i=1}^M y_i \quad (4)$$

У такому вигляді ця функція становить собою мінімальні витрати на організацію сервісу на  $K$  підприємствах.

Витрати, що пов'язані зі зростанням потужності на  $K$ -му сервісному підприємстві на величину  $y_k$  і зростанням потужностей на інших  $K-1$  сервісних підприємствах, дорівнюють  $u_k(y_k) + f_{k-1}(A - y_k)$ .

Подамо процедуру мінімізації цих витрат у вигляді

$$f_k(A) = \min[u_k(y_k) + f_{k-1}(A - y_i)], \quad k = \overline{2, M}, \quad (5)$$

$$0 < y_k < Y_k, \quad f_1(A) = u(A).$$

Коли деякі функції  $f_k(A)$  не визначені при всіх значеннях  $A$ , то замість них введено карну (або штрафну) функцію – скільки завгодно велике число  $Z$ .

Забезпечення необхідного рівня сервісу (можливості надання пропозицій з організації ТО, ПР і забезпечення запасними частинами) на деякому полігоні залізниць можна досягти шляхом розвитку (організації) одного чи декількох підприємств з надання сервісних послуг.

Нехай, виходячи з перспектив надання сервісу на залізничному полігоні, можливо освоїти загальну ефективність (доходу від надання сервісних послуг) на рівні  $\bar{A} = 1800$  тис. євро за рік.

Припустимо, що на залізничному полігоні потенційно можна створити п'ять сервісних підприємств, які можуть освоїти сервіс на рівні:

$$0 \leq y_1 \leq 600 \text{ тис. євро}; \quad 0 \leq y_2 \leq 1200 \text{ тис. євро}; \quad 0 \leq y_3 \leq 1800 \text{ тис. євро};$$

$$0 \leq y_4 \leq 900 \text{ тис. євро}; \quad 0 \leq y_5 \leq 900 \text{ тис. євро}.$$

Витрати  $u_i(y_i)$  можна обчислити за формулою

$$u_i(y_i) = \sum_{i=1}^{\tau} K_{it} K_1 + \sum_{i=1}^{\tau} S_{it} K_2 - \sum_{i=1}^{\tau} a_{it} K_3, \quad (6)$$

де  $K_{it}$  – капітальні вкладення на організацію і розвиток виробничої потужності за  $i$ -м варіантом у  $t$ -му році;

$S_{it}$  – експлуатаційні витрати за  $i$ -м варіантом у  $t$ -му році;

$a_{it}$  – амортизаційні відрахування на реновацію за  $i$ -м варіантом у  $t$ -му році;

$K_1, K_2, K_3$  – відповідно коефіцієнти, що враховують додатковий ефект від використання

вивільнення капітальних витрат і реноваційних відрахувань за прийнятий період оцінки  $\tau$ .

У табл. 1 наведено величини  $u_i(y_i)$  за кожним варіантом витрат. Для зручності в першому рядку таблиці наведені варіанти ефективності сервісних підприємств, починаючи з 0 до 1800 тис. євро через інтервал, який прийнятий 300 тис. євро. В інших рядках таблиці наведені величини витрати по кожному сервісному підприємству у межах  $0 \leq y_i \leq Y_i$ . При цьому, коли  $Y_i \leq y_i \leq \bar{A}$ , припускаємо, що  $u_i(y_i) \rightarrow \infty$  і відображається символом  $Z$ .

Таблиця 1

Витрати	Варіанти ефективності сервісних підприємств, тис. євро						
	0	300	600	900	1200	1500	1800
$u_1(y_1)$	0	280	546	Z	Z	Z	Z
$u_2(y_2)$	0	270	516	776	1026	Z	Z
$u_3(y_3)$	0	311	607	919	1223	1510	1791
$u_4(y_4)$	0	278	523	788	Z	Z	Z
$u_5(y_5)$	0	277	529	796	Z	Z	Z

Задачу виконуємо поступово для кожного варіанта організації сервісу на полігоні залізниць:

1) організація одного сервісного підприємства з ефективністю 1800 тис. євро за рік;

2) організація двох сервісних підприємств з відповідною ефективністю 600 і 1200 тис. євро за рік;

3) організація двох сервісних підприємств з ефективністю по 900 тис. євро за рік.

Розглянемо варіант організації одного сервісного підприємства з ефективністю  $0 < y_i < 600$  тис. євро /рік.

При введенні в дію одного сервісного підприємства витрати при всіх значеннях ефективності, зрозуміло, є мінімальними  $f_1(A) = u_1(y_1)$ . Тоді з урахуванням цього сформуємо табл. 2.

Таблиця 2

Витрати	Варіанти ефективності сервісних підприємств, тис. євро						
	0	300	600	900	1200	1500	1800
$f_1(A)$	0	280	546	Z	Z	Z	Z

Розглянемо варіант, коли організовано два сервісних підприємства  $f_2(A)$ . Використовуючи дані табл. 1 і 2, виконуємо розрахунки.

Таблиця 3

Приріст прибутку	Варіанти ефективності сервісних підприємств, тис. євро					
	300	600	900	1200	1500	1800
0	280	546	Z	Z	Z	Z
300	270	550	816	Z	Z	Z
600		516	796	1062	Z	Z
900			776	1056	1322	Z
1200				1026	1306	1572
1500					Z	Z
1800						Z

Таблиця 4

Витрати і приріст прибутку	Варіанти ефективності сервісних підприємств, тис. євро						
	0	300	600	900	1200	1500	1800
$f_2(A)$	0	270	516	776	1026	1306	1572
$y_2(A)$	0	300	600	900	1200	1200	1200

Розглянемо вартості організації трьох сервісних підприємств. Проведено такі розрахунки:

$A = 300, \text{ тис. євро}$

$$y_3 = 0; u_3(0) + f_2(300 - 0) = 0 + 270 = 270;$$

$$y_3 = 300; u_3(300) + f_2(300 - 300) = 311 + 0 = 311.$$

$A = 600, \text{ тис. євро}$

$$y_3 = 0; u_3(0) + f_2(600 - 0) = 0 + 516 = 516;$$

$$y_3 = 300; u_3(300) + f_2(600 - 300) = 311 + 270 = 581;$$

$$y_3 = 600; u_3(600) + f_2(600 - 600) = 607 + 0 = 607.$$

$A = 900, \text{ тис. євро}$

$$y_3 = 0; u_3(0) + f_2(900 - 0) = 0 + 776 = 776;$$

$$y_3 = 300; u_3(300) + f_2(900 - 300) = 311 + 516 = 827;$$

$$y_3 = 600; u_3(600) + f_2(900 - 600) = 607 + 270 = 877;$$

$$y_3 = 900; u_3(900) + f_2(900 - 900) = 919 + 0 = 919.$$

$A = 1200, \text{ тис. євро}$

$$y_3 = 0; u_3(0) + f_2(1200 - 0) = 0 + 1026 = 1026;$$

$$y_3 = 300; u_3(300) + f_2(1200 - 300) = 311 + 776 = 1087;$$

$$y_3 = 600; u_3(600) + f_2(1200 - 600) = 607 + 516 = 1223;$$

$$y_3 = 900; u_3(900) + f_2(1200 - 900) = 919 + 270 = 1189;$$

$$y_3 = 1200; u_3(1200) + f_2(1200 - 1200) = 1223 + 0 = 1223.$$

$A = 1500, \text{ тис. євро}$

$$y_3 = 0; u_3(0) + f_2(1500 - 0) = 0 + 1306 = 1306;$$

$$y_3 = 300; u_3(300) + f_2(1500 - 300) = 311 + 1026 = 1337;$$

$$y_3 = 600; u_3(600) + f_2(1500 - 600) = 607 + 776 = 1383;$$

$$y_3 = 900; u_3(900) + f_2(1500 - 900) = 919 + 516 = 1435;$$

$$y_3 = 1200; u_3(1200) + f_2(1500 - 1200) = 1223 + 270 = 1493;$$

$$y_3 = 1500; u_3(1500) + f_2(1500 - 1500) = 1510 + 0 = 1510.$$

$A = 300, \text{ тис. євро}$

$$y_2 = 0; u_2(0) + f_1(300 - 0) = 0 + 280 = 280;$$

$$y_2 = 300; u_2(300) + f_1(300 - 300) = 270 + 0 = 270.$$

$A = 600, \text{ тис. євро}$

$$y_2 = 0; u_2(0) + f_1(600 - 0) = 0 + 546 = 546;$$

$$y_2 = 300; u_2(300) + f_1(600 - 300) = 270 + 280 = 550;$$

$$y_2 = 600; u_2(600) + f_1(600 - 600) = 516 + 0 = 516.$$

$A = 900, \text{ тис. євро}$

$$y_2 = 0; u_2(0) + f_1(900 - 0) = 0 + Z = Z;$$

$$y_2 = 300; u_2(300) + f_1(900 - 300) = 270 + 546 = 816;$$

$$y_2 = 600; u_2(600) + f_1(900 - 600) = 516 + 280 = 796;$$

$$y_2 = 900; u_2(900) + f_1(900 - 900) = 776 + 0 = 776.$$

$A = 1200, \text{ тис. євро}$

$$y_2 = 0; u_2(0) + f_1(1200 - 0) = 0 + Z = Z;$$

$$y_2 = 300; u_2(300) + f_1(1200 - 300) = 270 + Z = Z;$$

$$y_2 = 600; u_2(600) + f_1(1200 - 600) = 516 + 546 = 1062;$$

$$y_2 = 900; u_2(900) + f_1(1200 - 900) = 776 + 280 = 1056;$$

$$y_2 = 1200; u_2(1200) + f_1(1200 - 1200) = 1026 + 0 = 1026.$$

$A = 1500, \text{ тис. євро}$

$$y_2 = 0; u_2(0) + f_1(1500 - 0) = 0 + Z = Z;$$

$$y_2 = 300; u_2(300) + f_1(1500 - 300) = 270 + Z = Z;$$

$$y_2 = 600; u_2(600) + f_1(1500 - 600) = 516 + Z = Z;$$

$$y_2 = 900; u_2(900) + f_1(1500 - 900) = 776 + 546 = 1322;$$

$$y_2 = 1200; u_2(1200) + f_1(1500 - 1200) = 1026 + 280 = 1306;$$

$$y_2 = 1500; u_2(1500) + f_1(1500 - 1500) = Z + 0 = Z.$$

$A = 1800, \text{ тис. євро}$

$$y_2 = 0; u_2(0) + f_1(1800 - 0) = 0 + Z = Z;$$

$$y_2 = 300; u_2(300) + f_1(1800 - 300) = 270 + Z = Z;$$

$$y_2 = 600; u_2(600) + f_1(1800 - 600) = 516 + Z = Z;$$

$$y_2 = 900; u_2(900) + f_1(1800 - 900) = 776 + Z = Z;$$

$$y_2 = 1200; u_2(1200) + f_1(1800 - 1200) = 1026 + 546 = 1572;$$

$$y_2 = 1500; u_2(1500) + f_1(1800 - 1500) = Z + 280 = Z;$$

$$y_2 = 1800; u_2(1800) + f_1(1800 - 1800) = Z + 0 = Z.$$

Розраховані результати заносимо в табл. 3. За даними цієї таблиці визначаємо  $f_2$ , які є найменшими значеннями величин  $u_2(y) + f_1(A - y)$ , і заповнюємо табл. 4.

$A=1800$ , тис. євро

$$y_3 = 0; u_3(0) + f_2(1800 - 0) = 0 + 1572 = 1572;$$

$$y_3 = 300; u_3(300) + f_2(1800 - 300) = 311 + 1306 = 1617;$$

$$y_3 = 600; u_3(600) + f_2(1800 - 600) = 607 + 1026 = 1633;$$

$$y_3 = 900; u_3(900) + f_2(1800 - 900) = 919 + 776 = 1695;$$

$$y_3 = 1200; u_3(1200) + f_2(1800 - 1200) = 1223 + 516 = 1739;$$

$$y_3 = 1500; u_3(1500) + f_2(1800 - 1500) = 1510 + 270 = 1780;$$

$$y_3 = 1800; u_3(1800) + f_2(1800 - 1800) = 1791 + 0 = 1791.$$

Для обчислення значень  $f_3(A)$  сформовано табл. 5, на підставі якої в табл. 6 наведено значення витрат і прибутку  $y_3(A)$ .

Таблиця 5

Приріст прибутку	Варіанти ефективності сервісних підприємств, тис. євро					
	300	600	900	1200	1500	1800
0	270	516	776	1026	1306	1572
300	311	581	827	1087	1337	1617
600		607	877	1123	1383	1633
900			819	1189	1435	1695
1200				1223	1493	1739
1500					1510	1780
1800						1791

Таблиця 6

Витрати і приріст прибутку	Варіанти ефективності сервісних підприємств, тис. євро						
	0	300	600	900	1200	1500	1800
$f_3(A)$	0	270	516	776	1026	1306	1572
$y_3(A)$	0	0	0	0	0	0	0

Визначимо мінімальні витрати на організацію чотирьох сервісних підприємств. Як і в попередніх випадках, проведено такі розрахунки:

$A=300$ , тис. євро

$$y_4 = 0; u_4(0) + f_3(300 - 0) = 0 + 270 = 270;$$

$$y_4 = 300; u_4(300) + f_3(300 - 300) = 278 + 0 = 278.$$

$A=600$ , тис. євро

$$y_4 = 0; u_4(0) + f_3(600 - 0) = 0 + 516 = 516;$$

$$y_4 = 300; u_4(300) + f_3(600 - 300) = 278 + 270 = 548;$$

$$y_4 = 600; u_4(600) + f_3(600 - 600) = 523 + 0 = 523.$$

$A=900$ , тис. євро

$$y_4 = 0; u_4(0) + f_3(900 - 0) = 0 + 776 = 776;$$

$$y_4 = 300; u_4(300) + f_3(900 - 300) = 278 + 516 = 794;$$

$$y_4 = 600; u_4(600) + f_3(900 - 600) = 523 + 270 = 793;$$

$$y_4 = 900; u_4(900) + f_3(900 - 900) = 788 + 0 = 788.$$

$A=1200$ , тис. євро

$$y_4 = 0; u_4(0) + f_3(1200 - 0) = 0 + 1026 = 1026;$$

$$y_4 = 300; u_4(300) + f_3(1200 - 300) = 278 + 776 = 1054;$$

$$y_4 = 600; u_4(600) + f_3(1200 - 600) = 523 + 516 = 1039;$$

$$y_4 = 900; u_4(900) + f_3(1200 - 900) = 788 + 270 = 1058;$$

$$y_4 = 1200; u_4(1200) + f_3(1200 - 1200) = Z + 0 = Z.$$

$A=1500$ , тис. євро

$$y_4 = 0; u_4(0) + f_3(1500 - 0) = 0 + 1306 = 1306;$$

$$y_4 = 300; u_4(300) + f_3(1500 - 300) = 278 + 1026 = 1304;$$

$$y_4 = 600; u_4(600) + f_3(1500 - 600) = 523 + 776 = 1299;$$

$$y_4 = 900; u_4(900) + f_3(1500 - 900) = 788 + 516 = 1304;$$

$$y_4 = 1200; u_4(1200) + f_3(1500 - 1200) = Z + 270 = Z;$$

$$y_4 = 1500; u_4(1500) + f_3(1500 - 1500) = Z + 0 = Z.$$

$A=1800$ , тис. євро

$$y_4 = 0; u_4(0) + f_3(1800 - 0) = 0 + 1572 = 1572;$$

$$y_4 = 300; u_4(300) + f_3(1800 - 300) = 278 + 1306 = 1584;$$

$$y_4 = 600; u_4(600) + f_3(1800 - 600) = 523 + 1026 = 1549;$$

$$y_4 = 900; u_4(900) + f_3(1800 - 900) = 788 + 776 = 1564;$$

$$y_4 = 1200; u_4(1200) + f_3(1800 - 1200) = Z + 516 = Z;$$

$$y_4 = 1500; u_4(1500) + f_3(1800 - 1500) = Z + 516 = Z;$$

$$y_4 = 1800; u_4(1800) + f_3(1800 - 1800) = Z + 0 = Z.$$

За цими даними сформовано табл. 7, на підставі якої обчислені значення  $f_4(A)$ ,  $y_4(A)$  в табл. 8.

Таблиця 7

Приріст прибутку	Варіанти ефективності сервісних підприємств, тис. євро					
	300	600	900	1200	1500	1800
0	270	516	776	1026	1306	1572
300	278	548	794	1054	1304	1584
600		523	793	1039	1299	1549
900			788	1058	1304	1564
1200				Z	Z	Z
1500					Z	Z
1800						Z

Таблиця 8

Витрати і приріст прибутку	Варіанти ефективності сервісних підприємств, тис. євро						
	0	300	600	900	1200	1500	1800
$f_4(A)$	0	270	516	776	1026	1306	1572
$y_4(A)$	0	0	0	0	0	600	600

Розглянемо варіанти організації п'яти сервісних підприємств. Далі проводимо розрахунки:

Таблиця 9

$A = 300$ , тис. євро

$$y_5 = 0; u_5(0) + f_4(300 - 0) = 0 + 270 = 270;$$

$$y_5 = 300; u_5(300) + f_4(300 - 300) = 277 + 0 = 270.$$

$A = 600$ , тис. євро

$$y_5 = 0; u_5(0) + f_4(600 - 0) = 0 + 516 = 516;$$

$$y_5 = 300; u_5(300) + f_4(600 - 300) = 277 + 270 = 547;$$

$$y_5 = 600; u_5(600) + f_4(600 - 600) = 529 + 0 = 529.$$

$A = 900$ , тис. євро

$$y_5 = 0; u_5(0) + f_4(900 - 0) = 0 + 776 = 776;$$

$$y_5 = 300; u_5(300) + f_4(900 - 300) = 277 + 516 = 793;$$

$$y_5 = 600; u_5(600) + f_4(900 - 600) = 529 + 270 = 799;$$

$$y_5 = 900; u_5(900) + f_4(900 - 900) = 796 + 0 = 796.$$

$A = 1200$ , тис. євро

$$y_5 = 0; u_5(0) + f_4(1200 - 0) = 0 + 1026 = 1026;$$

$$y_5 = 300; u_5(300) + f_4(1200 - 300) = 277 + 776 = 1053;$$

$$y_5 = 600; u_5(600) + f_4(1200 - 600) = 529 + 516 = 1045;$$

$$y_5 = 900; u_5(900) + f_4(1200 - 900) = 796 + 270 = 1066;$$

$$y_5 = 1200; u_5(1200) + f_4(1200 - 1200) = Z + 0 = Z.$$

$A = 1500$ , тис. євро

$$y_5 = 0; u_5(0) + f_4(1500 - 0) = 0 + 1299 = 1299;$$

$$y_5 = 300; u_5(300) + f_4(1500 - 300) = 277 + 1026 = 1309;$$

$$y_5 = 600; u_5(600) + f_4(1500 - 600) = 529 + 776 = 1305;$$

$$y_5 = 900; u_5(900) + f_4(1500 - 900) = 796 + 516 = 1312;$$

$$y_5 = 1200; u_5(1200) + f_4(1500 - 1200) = Z + 270 = Z;$$

$$y_5 = 1500; u_5(1500) + f_4(1500 - 1500) = Z + 0 = Z.$$

$A = 1800$ , тис. євро

$$y_5 = 0; u_5(0) + f_4(1800 - 0) = 0 + 1549 = 1549;$$

$$y_5 = 300; u_5(300) + f_4(1800 - 300) = 277 + 1299 = 1576;$$

$$y_5 = 600; u_5(600) + f_4(1800 - 600) = 529 + 1026 = 1555;$$

$$y_5 = 900; u_5(900) + f_4(1800 - 900) = 796 + 776 = 1572;$$

$$y_5 = 1200; u_5(1200) + f_4(1800 - 1200) = Z + 516 = Z;$$

$$y_5 = 1500; u_5(1500) + f_4(1800 - 1500) = Z + 270 = Z;$$

$$y_5 = 1800; u_5(1800) + f_4(1800 - 1800) = Z + 0 = Z.$$

За цими даними сформовано табл. 9, на підставі якої обчислено значення  $f_5(A)$ ,  $y_5(A)$  в табл. 10.

Приріст прибутку	Варіанти ефективності сервісних підприємств, тис. євро					
	300	600	900	1200	1500	1800
0	270	516	776	1026	1299	1549
300	277	547	793	1053	1309	1576
600		529	799	1045	1305	1555
900			796	1066	1312	1572
1200				Z	Z	Z
1500					Z	Z
1800						Z

Таблиця 10

Витрати і приріст прибутку	Варіанти ефективності сервісних підприємств, тис. євро					
	300	600	900	1200	1500	1800
$f_5(A)$	270	516	776	1026	1299	1549
$y_5(A)$	0	0	0	0	0	0

Визначимо оптимальну ефективність для всіх сервісних підприємств відповідно до принципу динамічного програмування з кінця процесу розрахунків.

З даних табл. 10 випливає, що оптимальна ефективність роботи п'яти сервісних підприємств дорівнює  $y_5=0$ . А оскільки сумарна ефективність усіх сервісних підприємств приймалась 1800 тис. євро за рік, то сумарна ефективність чотирьох сервісних підприємств, що залишилися, складатиме  $A - y_5 = 1800 - 0 = 1800$  тис. євро за рік.

За даними табл. 8 визначаємо ефективність чотирьох сервісних підприємств:  $y_4 = y_4(1800) = 600$  тис. євро за рік. Тоді ефективність трьох сервісних підприємств, що залишилися, дорівнює  $A - y_5 - y_4 = 1200$  тис. євро за рік. Далі за даними табл. 6 визначаємо  $y_3 = y_3(1200) = 0$ . Сумарна ефективність першого і другого сервісного підприємства дорівнює 1200 тис. євро за рік, а згідно з табл. 4 ефективність другого сервісного підприємства дорівнює 1200 тис. євро за рік. Звідки ефективність першого сервісного підприємства дорівнює 0.

Таким чином, отримуємо такі результати:  $y_1 = 0$ ;  $y_2 = 1200$ ;  $y_3 = 0$ ;  $y_4 = 600$ ;  $y_5 = 0$ .

При цьому сумарні витрати на організацію сервісних підприємств, таким чином, потребують  $W = 516 + 1026 = 1542$  тис. євро за рік згідно з даними табл. 10.

## Висновки

За результатами дослідження отримано такі результати.

1. Оскільки пошук оптимального варіанта організації сервісу є процедурою, що передбачає покрокову оптимізацію, як метод моделювання

прийнято положення теорії динамічного програмування. Критерієм оцінки ефективності створення сервісних центрів є мінімальні витрати, що необхідні для зростання потужності сервісного підприємства. За інформацією щодо потенційної ефективності окремих підприємств за умови досягнення максимального ефекту від експлуатації всіх сервісних підприємств на деякому регіоні залізниць методом динамічного програмування показана процедура розв'язання такої задачі.

2. Запропонована методика достатньо ефективна і наочна, дає змогу визначати ефективність запропонованих рішень щодо формування дислокацій покрово, поступово наближаючись до оптимального мінімуму витрат на зростання потужності сервісних підприємств.

3. Запропонована в статті методика дає змогу одночасно визначати місце дислокації конкретного сервісного підприємства і його оптимальну ефективність у наданні сервісних послуг.

#### Список використаних джерел

1. Krasenin O., Ponomarenko O., Yakovlev S. Provision of the maintenance service of the depot with the optimal size of repair stocks. Globalization of scientific and educational space/ Innovations of the transport. Problems, experience, prospects. Theses of the international scientific conference on May 3-12, 2017, Dresden (Germany)-Paris(France).- Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2017. P. 96–97.
2. Крашенінін О. С., Щипак Є. В., Шапатіна О. О. Обґрунтування обсягів ремонту для ТРС при подовженні терміну експлуатації. *Зб. наук. праць ДонІЗТ*. Донецьк: ДонІЗТ, 2009. Вип. 19. С. 116–119.
3. Крашенінін О. С., Шапатіна О. О., Обозний О. М. Моделювання технічного обслуговування та поточних ремонтів ТРС при подовженні терміну його експлуатації. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2010. Вип. 119. С. 172–177.
4. Крашенінін О. С., Обозний О. М. Економічна оцінка подовження терміну експлуатації ТРС понад нормативний. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2011. Вип. 127. С. 118–122.
5. Крашенінін О. С., Щипак Є. В., Матвієнко С. А., Шапатіна О. О. Обґрунтування оптимального терміну експлуатації тягового рухомого складу. *Зб. наук. праць ДонІЗТ*. Донецьк: ДонІЗТ, 2011. Вип. 25. С. 126–128.
6. Крашенінін О. С., Обозний О. М. Визначення граничних термінів довговічності тягового рухомого складу. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2011. Вип. 122. С. 134–140.
7. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах. Москва: Высш. шк., 1986. 320 с.
8. Кудрявцев Е. М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах. Москва: Радио и связь, 1984. 184 с.
9. Кузнецов Ю. Н., Кузубов В. И., Волощенко А. Б. Математическое программирование. Москва: Высш. шк., 1980. 238 с.
10. Биргер И. А. Техническая диагностика. Москва, 1978. 126 с.
11. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. Москва, 1965. 256 с.
12. Надежность технических систем: справочник / под ред. И. А. Ушакова. Москва, 1985. 263 с.
13. Наказ № 093-ЦЗ. Про затвердження Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизель-поїздів). URL: <https://vseosvita.ua/library/polozenna-pro-planovo-poperedzuvalnu-sistemu-remontu-391899.html>.
14. Калабухін Ю. Є., Тартаковський Е. Д. Теоретичні положення оновлення тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2009. Вип. 111. С. 106–120.

#### A. Krashenin, M. Odiehov, O. Lahierieva, V. Zadesenets. Simulation of optimal dislocation of service enterprises of railway transport.

**Abstract.** Rail transport traditionally provides mass transportation of goods and passengers in long-distance and suburban transportation. But in recent years, the technical condition of the locomotive fleet and infrastructure facilities for its maintenance has deteriorated significantly. Now there is a situation when the railways operate both domestic and foreign rolling stock. It is not yet time to carry out major repairs of foreign rolling stock, the situation with the provision of transportation is satisfied.

At the same time, there is practically no prepared repair base in Ukraine for this rolling stock, especially since even for domestic rolling stock it is increasingly difficult to carry out full-fledged maintenance and repair.

The traditional planning and warning system of MOT, PR of traction rolling stock (TRS) in modern conditions requires significant changes. This is due to the need to restructure the management system of maintenance, PR TRS in a gradual transition to the maintenance of TRS on the technical condition and the possibility of performing maintenance and PR not only in the depot of registration of TRS.

Accordingly, the article considers the issues of modeling and finding the optimal location of the centers for the organization of audit and provision of services for the maintenance of TRS.

It is shown that the search for the optimal location of service centers should be carried out using the provisions of dynamic programming.

Based on the forecast capacity of service centers and the necessary costs for their organization, the procedure for implementing the modeling of the optimal location of service centers for maintenance and repair of TRS locomotive depots is given.

According to the information on the potential efficiency of individual enterprises, provided that the maximum effect from the operation of all service enterprises in a certain region of the railways by the method of dynamic programming, the procedure for solving such a problem is shown.

Since the formalization of the dynamics of changes in costs for the organization of service enterprises is a separate task, the proposed method is quite effective and clear.

The method proposed in the system simultaneously determines the location of a particular service company and its effectiveness in providing services.

**Keywords:** traction rolling stock, service, dislocation of service centers.

**A. Krashenin**, Dr. Sc. (Tech.) professor, department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-7462-3372. E-mail: [krashenin@kart.edu.ua](mailto:krashenin@kart.edu.ua).

**M. Odiehov**, Senior Lecturer, department of electric power, electrical engineering and electromechanics, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-3967-9009. E-mail: [odegov@kart.edu.ua](mailto:odegov@kart.edu.ua).

**O. Lahierieva**, postgraduate students, Ukrainian State University of Railway Transport.

**V. Zadesenets**, postgraduate students, Ukrainian State University of Railway Transport.

Надійшла 23.04.2021 р.

**Крашенін Олександр Семенович**, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-7462-3372 E-mail: [krashenin@kart.edu.ua](mailto:krashenin@kart.edu.ua).

**Одегов Микола Миколайович**, старший викладач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-3967-9009. E-mail: [odegov@kart.edu.ua](mailto:odegov@kart.edu.ua).

**Лагерєва Олена Володимирівна**, аспірант Українського державного університету залізничного транспорту.

**Задесенець Володимир Іванович**, аспірант Українського державного університету залізничного транспорту.