

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.42.083-047.58

Б. Є. БОДНАР¹, О. Б. ОЧКАСОВ², Є. Б. БОДНАР³, Д. В. БОБИР⁴, М. В. ОЧЕРЕТНЮК^{5*}

¹Каф. «Локомотиви», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 733 19 01, ел. пошта bodnarz@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

²Каф. «Локомотиви», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, ел. пошта abochkasov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7719-7214

³Каф. «Локомотиви», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, ел. пошта Melnar78@gmail.com, ORCID 0000-0001-6040-913X

⁴Каф. «Локомотиви», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, ел. пошта dmitrob@ua.fm, ORCID 0000-0003-1441-3861

^{5*}Каф. «Локомотиви», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, ел. пошта ocheretniukmaksym@gmail.com, ORCID 0000-0002-9032-8602

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕПЛОВОЗІВ НА ОРГАНІЗАЦІЮ РОБОТИ ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО

Мета. У роботі передбачено оцінити вплив систем обслуговування тепловозів на показники їх використання та організацію роботи локомотивного депо. **Методика.** Для досягнення мети виконано розрахунок експлуатаційних показників тепловозів серій 2TE116 та TE33AC в умовах локомотивного депо. Удосконалено імітаційну модель роботи цеху з ремонту локомотивів. Із використанням методів теорії систем масового обслуговування виконано імітаційне моделювання роботи цеху з ремонту тепловозів за сервісної та планово-попереджувальної систем обслуговування локомотивів. **Результати.** Розраховано програму ремонту тепловозів за планово-попереджувальної та сервісної систем обслуговування. На основі результатів моделювання роботи ремонтного цеху проведено порівняння впливу показників експлуатації та ремонту на роботу локомотивного депо для двох різних підходів щодо організації технічного обслуговування локомотивів. Імітаційна модель роботи цеху з ремонту локомотивів дозволяє в подальшому проводити порівняльний аналіз використання різних серій локомотивів у депо. Аналіз отриманих результатів демонструє, що запропонований підхід до моделювання технічного обслуговування та ремонту парку тепловозів може бути вдосконалений за рахунок визначення показників надійності під час надходження локомотивів на планові та позапланові види ремонту. **Наукова новизна.** Полягає в удосконаленні імітаційної моделі цеху з ремонту локомотивів, яка дозволяє проводити аналіз впливу експлуатаційних факторів на систему організації ремонту локомотивів, із метою вибору раціональної системи технічного обслуговування локомотивного парку. **Практична значимість.** Отримані результати дозволяють проводити аналіз впливу показників експлуатації й ремонту локомотивів на роботу локомотивного депо та визначити доцільність використання обраного тягового рухомого складу на заданій ділянці обслуговування. Отримані результати свідчать, що використання тепловозів TE33AC із системою сервісного обслуговування має скоротити час перебування на всіх видах технічного обслуговування та поточних ремонтів.

Ключові слова: сервісне обслуговування; технічне обслуговування; система масового обслуговування; моделювання; експлуатація тепловозів

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Вступ

У наш час по мірі оснащення тягового рухомого складу більш складним обладнанням і системами досить актуальною постає необхідність обслуговування локомотивів спеціалізованими організаціями. Однією з форм такого обслуговування є обов'язкове післяпродажне сервісне обслуговування тягового рухомого складу (ТРС) компаніями-виробниками. За кордоном компанії-оператори залізниць і підприємства-виробники діяльність у частині забезпечення експлуатаційної надійності локомотивів усе в більшій мірі проводять спільно, на постійній основі й на тривалий період. Додатковим фактором розвитку системи сервісу є масштабність і достатня передбачуваність ринку технічного обслуговування локомотивів, що дозволяє укладати контракти на термін до 30 і більше років. Необхідно відзначити, що у світовій практиці під сервісом локомотивів розуміють не просто один із видів діяльності з метою отримання прибутку. Питання ставлять набагато ширше: мова йде про глобальний сервіс із технічної підтримки експлуатації. У цьому випадку ризику із заміни вузлів і деталей бере на себе виробник. Крім того, під час вибору найбільш вигідної пропозиції на поставку ТРС починають за часту використовувати таке поняття, як супровід локомотива на етапах його життєвого циклу. У взаєминах замовника та виробника показник закупівельної вартості локомотива починає поступово поступатися місцем більш адаптованому до місцевих умов ринкової економіки показнику вартості витрат на життєвий цикл локомотива. Як наслідок такого розвитку подій, компанії-виробники починають більшою мірою приділяти увагу обслуговуванню локомотивів не тільки в гарантійний період, але і в період усього терміну служби локомотива.

Питання вдосконалення організації експлуатації та ремонту локомотивів є актуальним і розглянуто в публікаціях [1–3, 6, 9]. У роботі [5] запропонована технологія, яка дозволяє виконати об'єктивний і обґрунтований підбір тягових ресурсів під конкретний поїзд, забезпечує оцінку експлуатаційних властивостей і технічного стану локомотивів, що перебувають в експлуатації. За умови систематичного аналі-

зу стану ТРС з'являється можливість реінжинірингу системи експлуатаційної роботи і, що дуже важливо, організації цілеспрямованого ремонту рухомого складу. Також уведено в практику безперервний моніторинг технічного стану [4] як складової частини оптимізації функціональної ефективності за даними системного аналізу структури управління надійністю локомотивного парку. Оптимізація полягає у формуванні цифрової діагностичної карти локомотива, яка містить актуальну, постійно оновлювану інформацію про технічний стан, на підставі якої приймають конкретні рішення про експлуатацію або ремонт тягової одиниці.

Скорочення витрат праці й коштів на ремонт локомотивів вимагають проведення комплексу технічних та організаційних заходів. Це стосується насамперед удосконалення управління якістю обслуговування локомотивів у процесі їх експлуатації [13]. Підвищення якості та вдосконалення процесів технічного обслуговування забезпечують скорочення часу простою локомотивів на технічному обслуговуванні, збільшення корисної роботи, а в результаті – прискорення перевезень. Удосконалення системи й організації технічного обслуговування повинно забезпечити краще використання локомотивів за часом і потужністю в поєднанні з підвищенням їх експлуатаційної надійності. Завданням системи технічного утримання транспортних засобів є постійний контроль і підтримання їх технічного стану й надійності на рівні, достатньому для виконання заданих функцій або готовності до використання й виконання поставлених завдань. Для вибору найбільш ефективного варіанта системи технічного утримання, у роботі [11] розглянуто й проаналізовано основні напрями створення та розвитку систем технічного обслуговування й поточного ремонту транспортних засобів. У цілому в теорії організації ремонту й обслуговування технічних засобів виділяють такі системи:

- система обслуговування й ремонту щодо відмови;
- планово-попереджувальна система, система ремонту за фактичним станом;
- комбінована система обслуговування й ремонту.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

У разі використання системи щодо відмови локомотив експлуатують до моменту виникнення відмови (несправності). Під час використання системи ППР ремонт проводять із метою попередження відмов і забезпечення показників якості, які передбачені в нормативній документації. Система ремонту за фактичним станом передбачає проведення технічного обслуговування тільки тоді, коли це необхідно, і в тому обсязі, якого вимагає технічний стан вузла.

Мета

З огляду на викладене метою роботи є оцінити вплив систем обслуговування тепловозів на показники їх використання та організацію роботи локомотивного депо.

Методика

Останнім часом в АТ «Укрзалізниця» гостро постало питання реструктуризації локомотивного господарства. Проєкт реструктуризації 2020–2023 передбачає розділення локомотивного господарства на експлуатаційну та ремонтну складову зі створенням локомотиворемонтної філії. Окрім того, за цим проєктом система технічного обслуговування тягового рухомого складу повинна перейти до комбінованої системи обслуговування й ремонту. У такому випадку комбінована система має містити систему планово-попереджувального ремонту та систему ремонту за фактичним станом. Це зумовлено використанням нового рухомого складу та впровадженням досвідної експлуатації локомотивів, у якій технічне обслуговування та ремонт для окремих серій локомотивів виконують зі збільшеними міжремонтними періодами. За останні роки масштабним проєктом із впровадження нового тягового рухомого складу на залізницях України є придбання 30 одиниць тепловозів ТЕ33АС виробництва «General Electric» для компанії АТ «Укрзалізниця». Наразі тепловози серії ТЕ33АС експлуатують на Придніпровській, Донецькій та Одеській філії. Тепловоз ТЕ33АС – вантажний тепловоз з асинхронним тяговим приводом розрахований для залізниць із колією 1520 мм, представник локомотивів GE серії Evolution Series. Він є тепловозом нового покоління як за технічними параметрами, так і за підходами до організації

його технічного обслуговування. У тепловоза ТЕ33АС немає прийнятих у планово-попереджувальній системі ремонту технічного обслуговування (ТО) та планових ремонтів (ПР), натомість є регламент сервісного обслуговування, установлений заводом-виробником. Сервісне обслуговування тепловоза ТЕ33АС організовано таким чином. Локомотиви цієї серії надходять на сервісне обслуговування через фіксований час експлуатації, натомість усі магістральні локомотиви України підлягають технічному обслуговуванню або ремонту залежно від пробігу.

Тепловоз ТЕ33АС здійснює захід на сервісне обслуговування кожні 92 дні, але обсяг виконуваних робіт змінюється залежності від того, скільки часу локомотив перебуває в експлуатації. Так, кожні 92 дні виконують обсяг робіт № 1, кожні 184 дні виконують обсяг робіт № 2, кожні 365 днів – обсяг робіт № 3. Кожні 18 місяців, 2, 3, 4 та 5 років виконують додаткові роботи з обслуговування великих вузлів локомотива. Також передбачено такий вид обслуговування (аналог ТО–1), як регламентні роботи, які виконує локомотивна бригада під час приймання та здачі локомотива. Ще однією з особливостей є те, що заводом-виробником передбачено виконання капітального ремонту лінійного обладнання, а не локомотива в цілому. Залежно від терміну експлуатації окремі вузли повинні бути доставлені на спеціалізоване підприємство для проведення капітального ремонту.

Після аналізу вищезазначеної інформації постає питання порівняння систем утримання нового тепловоза ТЕ33АС та тепловоза 2ТЕ116, який значний час використовують на залізницях України. Так, тепловози ТЕ33АС та 2ТЕ116 обслуговують за різними системами ремонту. Періодичність та види ремонту для тепловоза 2ТЕ116 регламентуються наказом Укрзалізниці від 30.01.2019 № 55-Ц [10]. Обсяг планових робіт та періодичність їх виконання для тепловоза ТЕ33АС регламентуються документом «Плановое техническое обслуживание, ES40ACi/ES44ACi», GE Transportation [8].

У роботі [12] розроблено модель роботи цеху з ремонту локомотивів за допомогою системи масового обслуговування. Запропонована імітаційна модель цеху з ремонту локомотивів

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

дозволяє проводити аналіз впливу різних чинників на систему організації ремонту локомотивів у депо. Використання розробленої моделі та аналіз результатів моделювання дають можливість визначити вплив показників експлуатації та надійності локомотивів на організацію роботи локомотиворемонтного депо.

Розрахунок експлуатаційних показників локомотивів проводять таким чином [1]:

– річний пробіг локомотивів у млн км, які обслуговують задану ділянку, визначають за формулою обертання:

$$\sum MS_{\text{річ}} = 365 \cdot 2 \cdot N \cdot (l_1 + l_2) \cdot (1 + \beta_d), \quad (1.1)$$

де l_1, l_2 – довжина ділянок А – Б та А – В, км; β_d – коефіцієнт, який враховує допоміжний пробіг локомотивів (беремо $\beta_d = 0,05 \div 0,10$);

– перевізна робота (вантажобіг) на ділянці обертання в млн т·км бр. за рік:

$$\sum PL = Q_{\text{бр}} \cdot \sum MS_{\text{річ}} \cdot (1 - \beta_d), \quad (1.2)$$

де $Q_{\text{бр}}$ – маса поїзда брутто, т;

– річна робота локомотивів ц локомотиво-годинах:

$$T_p = \sum T \cdot 365 \cdot (1 + \beta_d); \quad (1.3)$$

– середньодобовий пробіг локомотива на ділянці обертання, км/добу:

$$S_{\text{доб}} = \frac{2 \cdot (l_1 + l_2) \cdot N}{M_e}; \quad (1.4)$$

– середньодобова продуктивність поїзного локомотива в т·км бр./добу:

$$W = S_{\text{доб}} \cdot Q_{\text{бр}}; \quad (1.5)$$

– час повного обертання локомотива в годинах на ділянці обертання; год:

$$T_{\text{П}} = \frac{\sum T}{N}; \quad (1.6)$$

– коефіцієнт потреби локомотивів:

$$K_{\text{П}} = \frac{T_{\text{П}}}{24}; \quad (1.7)$$

– технічна швидкість V_T може бути взята $(1,10 \div 1,25) \cdot V_d$.

– час корисної роботи локомотива в годинах за добу можна визначати за формулою:

$$t_{\text{кор}} = \frac{S_{\text{доб}}}{V_d}; \quad (1.8)$$

– час роботи локомотива в чистому русі (за добу) в годинах:

$$T_{\text{чр}} = \frac{S_{\text{доб}}}{V_T}. \quad (1.9)$$

Під час моделювання [12, 14] вирішують такі завдання: моделювання роботи ремонтного цеху протягом заданої кількості годин; визначення ймовірностей станів ремонтного цеху; визначення середнього числа заявок (локомотивів) у черзі на обслуговування; визначення середнього числа заявок на обслуговування; визначення середнього числа заявок у системі; визначення середньої тривалості перебування заявки в черзі; визначення середньої тривалості перебування заявки в системі; визначення відносної пропускної здатності системи; визначення абсолютної пропускної здатності системи.

Під час моделювання роботи цеху з ремонту локомотивів використовують програмний комплекс Matlab та програмне середовище Simulink [7]. В імітаційному графічному середовищі модель ремонтного цеху виглядає таким чином (структурна схема моделі ремонтного цеху локомотивного депо представлена на рис. 1). Блоки 1 та 2 випадковим чином формують розподілені в часі заявки на ремонт тепловозів. Блок 3 випадковим чином формує час виконання ремонту. Розрахунок кількості заявок і часу обслуговування тепловозів виконано відповідно до чинної нормативної документації. При цьому допускається відхилення часу надходження в ремонт $\pm 20\%$ від норми. Як ремонтні стійла депо в моделі використано блок «ремонтна позиція» (5). Час, необхідний для виконання відповідного виду ремонту, визначають за цим блоком залежно від виду ремонту $\pm 20\%$. Як дисципліна обслуговування заявок узятая дисципліна FIFO. Черга тепловозів в очікуванні ремонту організована блоком 4.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

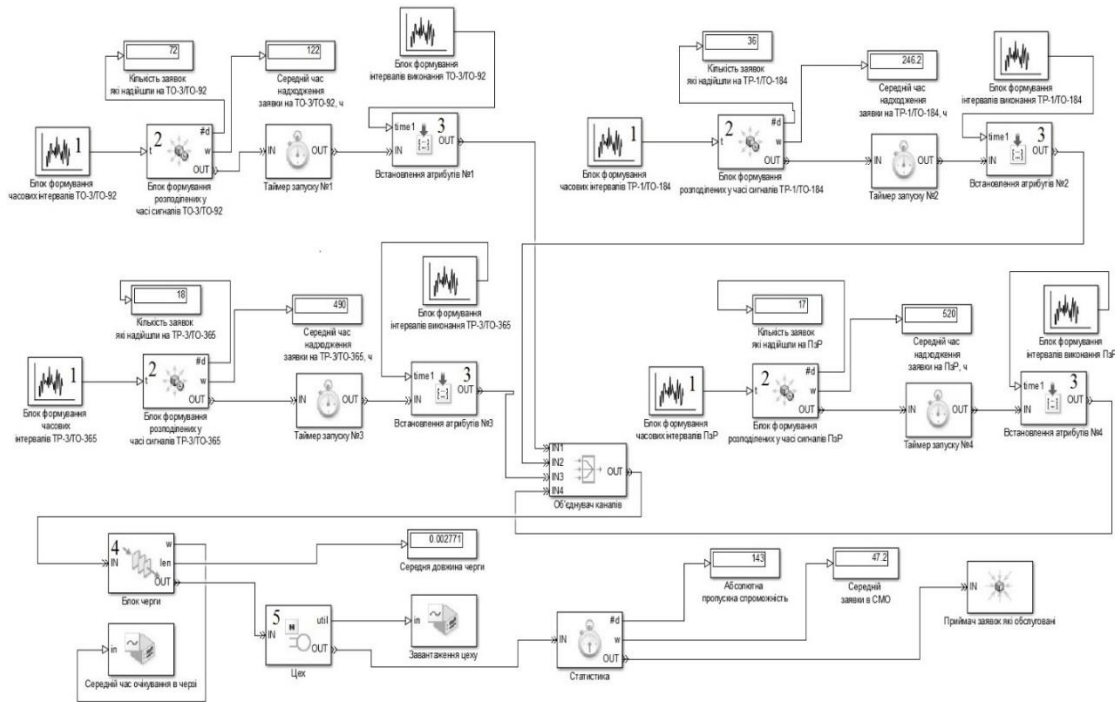


Рис. 1. Модель роботи цеху із ремонту тепловозів ТЕ33АС:

1 – формувач часу надходження тепловозів у ремонт; 2 – блок формування розподілу заявок у часі; 3 – формувач часу обслуговування тепловозів на ремонтній позиції; 4 – черга тепловозів в очікуванні ремонту; 5 – позиції ремонту тепловозів

Fig. 1. Model of the TE33AS locomotives' repair shop operation:

1 – former of the locomotive arrival time for repair; 2 – forming unit of the applications distribution over time; 3 – former of locomotives service time at the repair position; 4 – queue of the locomotives awaiting repair; 5 – locomotives repair position

Результати

Питання організації технічного обслуговування та ремонту двох різних серій локомотивів актуальне на етапі впровадження нового тягового рухомого складу. В роботі проведено аналіз експлуатаційних та ремонтних показників тепловозів які вже обслуговують задану ділянку. Це зумовлено тим, що доступ до технічних даних нового рухомого складу було отримано після його запровадження в заданому локомотивному депо.

Результати розрахунку експлуатаційних показників тепловозів наведено в табл. 1. Тепловоз ТЕ33АС порівняно з тепловозом 2ТЕ116 на заданій ділянці руху показує на 15 % менший результат у таких показниках, як вантажообіг

та середньодобова продуктивність локомотива. Це зумовлено тим, що на заданій ділянці руху існує обмеження за масою поїзда, так для тепловоза ТЕ33АС максимальна маса поїзда становить 3 900 т, а для тепловоза 2ТЕ116 4 400 т. Обмеження за максимальною масою поїзда обумовлено технічними показниками локомотивів, а саме їх потужністю. Потужність тепловоза ТЕ33А складає 4 500 к.с., або 3300 кВт, натомість потужність тепловоза 2ТЕ116 складає 2×3 060 к.с., або 2×2 250 кВт. Результати розрахунку програми ремонту наведені в табл. 2 і 3. За наявних підходів до обслуговування тепловозів програма ремонту та відсоток несправних локомотивів за серією ТЕ33АС на 50 % менше за серію тепловоза 2ТЕ116.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Таблиця 1

Результати розрахунку експлуатаційних показників

Table 1

Calculation results of performance indicators

Показник	Серія тепловоза	
	ТЕ33А	2ТЕ116
Річний пробіг локомотивів, млн км	3 310	
Вантажообіг, млн т·км бр.	12 100	13 544
Річна робота локомотивів, лок.год	252 507	
Середньодобовий пробіг локомотива, км	470	
Середньодобова продуктивність локомотива, т·км бр./доб	1 833 000	2 068 000
Час повного обертання локомотива, год	48,4	
Коефіцієнт потреби локомотива	2,02	
Технічна швидкість, км/год	40,6	
Час корисної роботи локомотива, год	14,46	
Час роботи локомотива в чистому русі, год	11,58	

Таблиця 2

Розрахунок програми ремонту локомотивів

Table 2

Calculation of the locomotive repair program

Вид ремонту	Програма ремонту за серіями, лок.	
	ТЕ33АС	2ТЕ116
КР–2	–	2
КР–1	–	2
ТО–365 дні/ПР–3	18	6
ТО–184 дні/ПР–1	36	50
ТО–92 дні/ТО–3	72	240

Таблиця 3

Розрахунок відсотка несправних локомотивів

Table 3

Calculation of the percentage of defective locomotives

Вид ремонту	Відсоток несправних локомотивів за серіями, %	
	ТЕ33А	2ТЕ116
Деповський ремонт	4,42	8,13
Заводський ремонт	–	1
Загальний	4,42	9,1

Таблиця 4

Результати моделювання роботи цеху з ремонту тепловозів у разі зміни числа ремонтних стійл

Table 4

Results of modeling the operation of locomotive repair shop in case of change in the number of repair bays

Серія локомотива	Кількість ремонтних стійл, шт.	Середній час очікування в черзі, год	Середня довжина черги, лок.	Завантаження цеху/депо, %	Середній час заявки в СМО, год
ТЕ33АС	1	47,31	0,7	79	89,48
	2	3	0,03	41	48,83
	3	0,6	0,002	27	47,21
2ТЕ116	2	60	1,439	88	83,18
	3	1,5	0,044	59	45,78
	4	0	0	45	44,6

Із використанням розробленої імітаційної моделі цеху з ремонту тепловозів [7, 12] виконано моделювання процесів експлуатації та ремонту тепловозів серії 2ТЕ116 та ТЕ33АС в умовах локомотивного депо. Для порівняльного аналізу експлуатаційних та ремонтних показників локомотивів обрано локомотивне депо Мелітополь, Придніпровської залізниці. Локомотивне депо Мелітополь є основним ремонтним депо тепловозів серії ТЕ33АС та 2ТЕ116. Порівняльний аналіз експлуатаційних показників виконано для магістральних тепловозів серії ТЕ33АС в кількості 18 одиниць та тепловозів 2ТЕ116 в кількості 18 одиниць. Задана довжина ділянок обслуговування: ділянка А – Б 173 кілометри, ділянка А – В 153 кілометри. Характер руху вантажний. Ділянкова швидкість у парному напрямку 31 км/год, у непарному напрямку 34 км/год. Маса поїзда взято 3 900 т.

У табл. 4 та на рис. 2 наведено залежності для порівняння роботи цеху з ремонту тепловозів у разі зміни числа ремонтних стійл. На основі результатів моделювання встановлено, що раціональним із точки зору завантаження цеху, для тепловоза ТЕ33АС є кількість ремонтних позицій, що дорівнює одиниці, а з точки зору часу перебування локомотива в очікуванні ремонту кількість ремонтних позицій повинна дорівнювати двом. Для тепловоза 2ТЕ116 рекомендована кількість ремонтних позицій дорі-

внює трьом, що більше за кількість ремонтних позицій для тепловоза ТЕ33АС і пояснюється його більшими міжремонтними періодами.

У табл. 5 та на рис. 3 наведено результати моделювання в разі збільшення міжремонтних періодів для тепловоза ТЕ33АС та збільшення міжремонтних пробігів для тепловоза 2ТЕ116 на 20–30 %. Отримані результати показують, що збільшення міжремонтних пробігів призводить до зниження завантаження ремонтного цеху, при цьому довжина черги й середній час очікування змінюються незначно.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що запропонований підхід до моделювання технічного обслуговування та ремонту парку тепловозів може бути вдосконалений за рахунок визначення показників надійності під час надходження локомотивів на планові та позапланові види ремонту, визначення ймовірностей переходу локомотива з одного стану в інший, а також обліку показників надійності під час визначення обсягів ремонтних робіт. Також актуальним є питання розробки моделі роботи ремонтного цеху під час змішаної системи утримання локомотивів, що дасть змогу оцінити вплив змін у системі утримання локомотивів для планування використання обладнання, фонду робочої сили, часу постановки локомотивів у ремонт з урахуванням рівномірності завантаження цеху.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

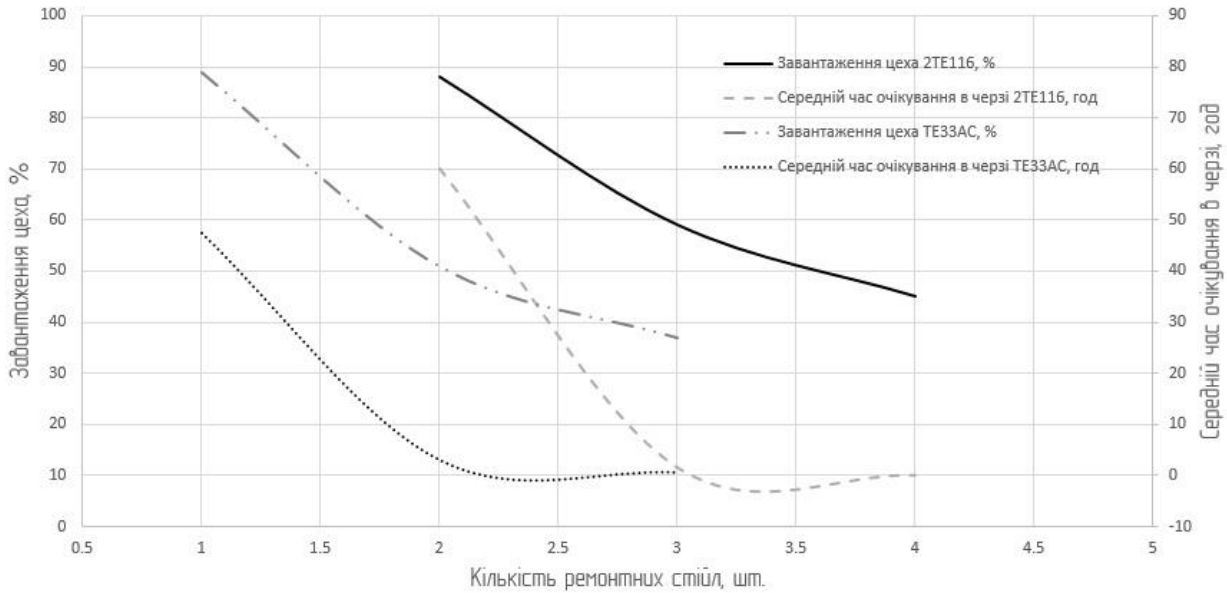


Рис. 2. Графік впливу кількості ремонтних позицій на показники роботи цеху з ремонту локомотивів

Fig. 2. Graph of the influence of the number of repair items on the performance of the locomotive repair shop

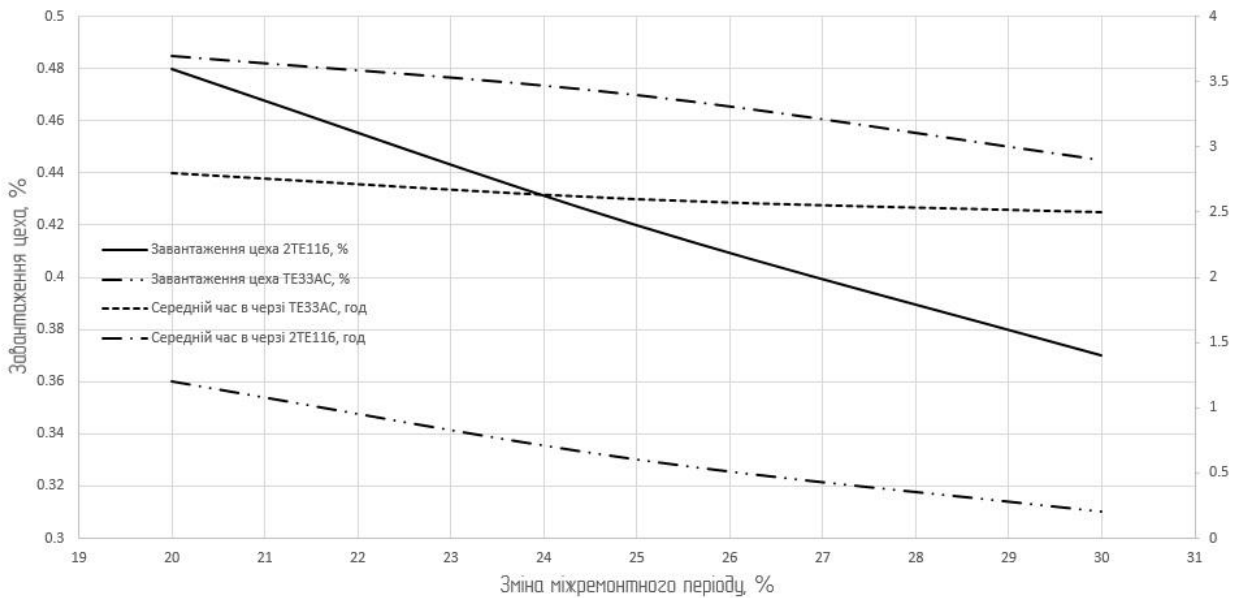


Рис. 3. Графік впливу зміни міжремонтного періоду на показники роботи цеху з ремонту локомотивів

Fig. 3. Schedule of change influence of the inter-repair period on the operation indicators of the locomotive repair shop

Таблиця 5

**Результати моделювання роботи цеху з ремонту тепловозів
у разі збільшення міжремонтного періоду**

Table 5

**Simulation results of the locomotive repair shop operation
in case of increasing the inter-repair period**

Серія тепловоза	Зміна міжремонтного періоду, %	Середній час у черзі, год	Середня довжина черги, лок.	Завантаження цеху/депо, %	Середній час в СМО, год
ТЕ33АС	+20	0,31	0,02	0,36	42,75
	+25	0,24	0,02	0,33	31,18
	+30	0,13	0,01	0,31	27,16
2ТЕ116	+20	0,8	0,02	0,48	44,94
	+25	0,68	0,01	0,42	33,4
	+30	0,59	0,01	0,37	31,3

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна полягає в удосконаленні імітаційної моделі цеху з ремонту локомотивів, яка дозволяє проводити аналіз впливу експлуатаційних факторів на систему організації ремонту локомотивів, із метою вибору раціональної системи технічного обслуговування локомотивного парку. Ця модель дає можливість у подальшому проводити порівняльний аналіз використання різних серій локомотивів у депо.

Отримані результати дозволяють проводити аналіз впливу показників експлуатації та ремонту локомотивів на роботу локомотивного депо. Це дає можливість оцінити доцільність використання обраного тягового рухомого складу на ділянці обслуговування за заданими вихідними параметрами експлуатації та ремонту локомотивів.

Висновки

У роботі виконано аналіз експлуатації двох серій локомотивів з абсолютно різними підходами до їх систем обслуговування. Отримані результати дають змогу оцінити вплив експлуатаційних та ремонтних показників на роботу локомотивного депо. Так, під час порівняння

експлуатаційних показників роботи локомотивів ТЕ33АС та 2ТЕ116 можна побачити, що більшість із них перебувають на одному рівні, за винятком показників вантажообігу та середньодобової продуктивності, які на 15 % більші у тепловоза 2ТЕ116. Це обумовлено технічними обмеженнями для різних серій локомотивів на заданій ділянці руху. Для тепловоза ТЕ33АС максимальна маса поїзда становить 3 900 т, а для тепловоза 2ТЕ116 – 4 400 т, що напряму впливає на зазначені вище показники.

Аналіз ремонтних показників показує, що програма ремонту та відсоток локомотивів, які перебувають у ремонті за серією ТЕ33АС на 50 % менший за серією 2ТЕ116, а отже, локомотиви серії ТЕ33АС перебувають більший час в експлуатаційній роботі та потребують менше ресурсів на створення ремонтної бази. Це обумовлено використанням системи сервісного обслуговування для тепловозів серії ТЕ33АС, на відміну від планово-попереджувальної системи ремонту для тепловозів 2ТЕ116.

Також аналіз роботи цеху з ремонту локомотивів демонструє, що в разі використання в цеху двох ремонтних позицій усі показники за серією ТЕ33АС на 50 % менші від показників за серією 2ТЕ116. Так, за двох ремонтних позицій завантаження цеху за серією ТЕ33АС

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

на 47 % менше ніж за серією 2ТЕ116, а середній час очікування в черзі на 95 % менший за серією ТЕ33АС.

Унаслідок аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, що використання тепловозів ТЕ33АС із системою сервісного об-

слуговування має скоротити час їх перебування на всіх видах ТО та ПР. Для порівняння витрат на утримання парку тепловозів ТЕ33АС та парку тепловозів серії 2ТЕ116 необхідно врахувати вартість проведення ТО та ПР для кожної серії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айзинбуд С. Я., Кельперис П. Я. *Эксплуатация локомотивов*. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Транспорт, 1990. 261 с.
2. Бабел М. *Теоретические основы и методология выбора объемов и технологий модернизации тепловозов по критерию стоимости жизненного цикла* : дис. ... д-ра техн. наук. ОАО «ВНИИЖТ». Москва, 2014. 266 с.
3. Головаш А. Н., Куршакова Н. Б. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта локомотивов. *Материалы третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием* (Омск, 10 нояб. 2016 г.). Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2016. С. 52–59.
4. Давыдов Ю. А., Пляскин А. К. Реинжиниринг системы формирования эксплуатируемого парка локомотивов. *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2018. № 1 (57). С. 106–111.
5. Кудяров М. М. Выбор оптимальной организации ремонта локомотивов на полигоне железной дороги. *Известия ПГУПС*. 2012. № 3 (32). С. 99–103.
6. Лоза П. А., Гришечкина Т. С. Оценка качества выполнения системы содержания парка электроподвижного состава. *Электрификация транспорта*. 2015. № 9. С. 87–93.
7. Очкасов О. Б., Гришечкина Т. С., Очеретнюк М. В. Подходы к моделированию системы технического обслуживания локомотивов. *Актуальні проблеми автоматизації та управління : V Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих вчених та студентів* (Луцьк, 30 лист. 2017 р.). Луцький нац. техн. ун-т. Луцьк, 2017. С. 99–104.
8. *Плановое техническое обслуживание, ES40ACi / ES44ACi. Документ № GEK-114350F*. GE Transportation. Київ, 2012. 12 с.
9. Пляскин А. К., Кушнирук А. С. Особенности применения технологии информационного моделирования для мониторинга фактического состояния локомотивов. *Бюллетень результатов научных исследований*. 2019. Вып. 2. С. 58–71.
10. *Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро та дизель-поїздів)* : Наказ М-ва трансп. та зв'язку України від 30.01.19 № 55. Київ : Укрзалізниця, 2019. 29 с.
11. Bodnar V., Ochkasov O. System Choice of the Technical Maintenance of Locomotives Equipped with on-board Diagnostic Systems. *Transport Means : Proceedings of 21st International Scientific Conference* (Kaunas, 20–22 sept. 2017). Kaunas University of Technology, Klaipėda University. Kaunas, Lithuania, 2017. Part I. P. 43–47.
12. Bodnar V. E., Ochkasov O. B., Bodnar E. B., Hryshechkina T. S., Ocheretnyuk M. V. Simulation of locomotive repair organization by the methods of queue systems theory. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 5 (77). P. 28–40. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/147740>
13. Bodnar V. E., Ochkasov O. B., Hryshechkina T. S., Bodnar E. B. Choosing the system of locomotive maintenance in view of the effect of dependent failures. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 6 (78). P. 47–58. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/154823>
14. Lovett A. H., Dick C. T., Ruppert C., Saat M. R., Barkan C. Development of an Integrated Model for the Evaluation and Planning of Railroad Track Maintenance. *2013 Joint Rail Conference*. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1115/jrc2013-2407>

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Б. Е. БОДНАРЬ¹, А. Б. ОЧКАСОВ², Е. Б. БОДНАРЬ³, Д. В. БОБЫРЬ⁴,
М. В. ОЧЕРЕТНЮК^{5*}

¹Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 733 19 01, эл. почта bodnarz@nz.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

²Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, эл. почта abochkasov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7719-7214

³Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, эл. почта Melnar78@gmail.com, ORCID 0000-0001-6040-913X

⁴Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, эл. почта dmitrob@ua.fm, ORCID 0000-0003-1441-3861

^{5*}Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 733 19 61, эл. почта ocheretniukmaksym@gmail.com, ORCID 0000-0002-9032-8602

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ НА ОРГАНИЗАЦИЮ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО

Цель. В работе предусмотрено оценить влияние систем обслуживания тепловозов на показатели их использования и организацию работы локомотивного депо. **Методика.** Для достижения цели выполнен расчет эксплуатационных показателей тепловозов серий 2ТЭ116 и ТЕ33АС в условиях локомотивного депо. Усовершенствована имитационная модель работы цеха по ремонту локомотивов. С использованием методов теории систем массового обслуживания выполнено имитационное моделирование работы цеха по ремонту тепловозов при сервисной и планово-предупредительной системах обслуживания локомотивов. **Результаты.** Рассчитано программу ремонта тепловозов при планово-предупредительной и сервисной системах обслуживания. На основе результатов моделирования работы ремонтного цеха проведено сравнение влияния показателей эксплуатации и ремонта на работу локомотивного депо для двух различных подходов к организации технического обслуживания локомотивов. Имитационная модель работы цеха по ремонту локомотивов позволяет в дальнейшем проводить сравнительный анализ использования различных серий локомотивов в депо. Анализ полученных результатов демонстрирует, что предложенный подход к моделированию технического обслуживания и ремонта парка тепловозов может быть усовершенствован за счет определения показателей надежности при поступлении локомотивов на плановые и внеплановые виды ремонта. **Научная новизна.** Заключается в совершенствовании имитационной модели цеха по ремонту локомотивов, которая позволяет проводить анализ влияния эксплуатационных факторов на систему организации ремонта локомотивов, с целью выбора рациональной системы технического обслуживания локомотивного парка. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют проводить анализ влияния показателей эксплуатации и ремонта локомотивов на работу локомотивного депо и определить целесообразность использования, выбранного тягового подвижного состава на заданном участке обслуживания. Полученные результаты свидетельствуют, что использование тепловозов ТЕ33АС с системой сервисного обслуживания должна сократить время пребывания на всех видах технического обслуживания и текущих ремонтов.

Ключевые слова: сервисное обслуживание; техническое обслуживание; система массового обслуживания; моделирование; эксплуатация тепловозов

B. Y. BODNAR¹, O. B. OCHKASOV², Y. B. BODNAR³, D. V. BOBYR⁴,
M. V. OCHERETNIUK^{5*}

¹Dep. «Locomotives», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 01, e-mail bodnarz@nz.diiit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3591-4772

²Dep. «Locomotives», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail abochkasov@gmail.com, ORCID 0000-0002-7719-7214

³Dep. «Locomotives», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail Melnar78@gmail.com, ORCID 0000-0001-6040-913X

⁴Dep. «Locomotives», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, e-mail dmitrob@ua.fm, ORCID 0000-0003-1441-3861

^{5*}Dep. «Locomotives», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 733 19 61, ocheretniukmaksym@gmail.com, ORCID 0000-0002-9032-8602

RESEARCH OF INFLUENCE OF LOCOMOTIVE SERVICE SYSTEM ON THE OPERATION ORGANIZATION OF LOCOMOTIVE DEPOT

Purpose. The work is aimed to assess the influence of locomotive service systems on the indicators of their use and operation organization of the locomotive depot. **Methodology.** To achieve this purpose the calculation of operational indicators of locomotives of series 2TE116 and TE33AS in the conditions of locomotive depot is performed. The simulation model of the locomotive repair shop has been improved. Using the methods of the queuing systems theory, simulation modeling of the locomotive repair shop with service and schedule preventive systems for locomotive service was performed. **Findings.** The program of locomotives repair at schedule preventive and service systems is calculated. Based on the simulation results of the repair shop operation, we compared the influence of operation and repair on the locomotive depot operation for two different approaches to the organization of locomotives maintenance. The simulation model of the locomotive repair shop allows further comparative analysis of the use of different series of locomotives in the depot. The analysis of the results obtained demonstrates that the proposed approach to modeling the maintenance and repair of a diesel locomotive fleet can be improved by determining the reliability indicators when locomotives arrive for scheduled and unscheduled repairs. **Originality.** We improved the simulation model of the locomotive repair shop, which allows analyzing the influence of operational factors on the system of locomotive repair, in order to select a rational system of the locomotive fleet maintenance. **Practical value.** The results obtained make it possible to analyze the influence of the operation and repair indicators of locomotives on the operation of the locomotive depot and to determine the feasibility of using the selected traction rolling stock at a given service area. The results obtained indicate that the use of TE33AS diesel locomotives with a service system should reduce the residence time for all types of maintenance and repairs.

Keywords: service; maintenance; queuing system; simulation; locomotive operation

REFERENCES

1. Ayzinbud, C. Ya., & Kalperis, P. I. (1990). *Ekspluatatsiya lokomotivov*. Moscow: Transport. (in Russian)
2. Babel, M. (2014). *Teoreticheskie osnovy i metodologiya vybora obemov i tekhnologiy modernizatsii teplovozov po kriteriyu stoimosti zhiznennogo tsikla* (Doctoral dissertation). OAO «VNIIZhT», Moscow, Russia. (in Russian)
3. Golovash, A. N., & Kurshakova, N. B. (2016). Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta lokomotivov. In *Materialy tret'ey vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* (pp. 52-59). Omsk State Transport University. Omsk, Russia. (in Russian)
4. Davydov, Yu. A., & Plyaskin, A. K. (2018). Reengineering of the operating locomotive fleet formation system. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 1(57), 106-111. (in Russian)
5. Kudayarov, M. M. (2012). Vybora optimalnoy organizatsii remonta lokomotivov na poligone zheleznoy dorogi. *Proceedings of petersburg transport university*, 3(32), 99-103. (in Russian)
6. Loza, P. A., & Grishechkina, T. S. (2015). Estimation of the quality of implementation electric rolling stock maintenance system. *Electrification of Transport*, 9, 87-93. (in Russian)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

7. Ochkasov, O. B., Grishechkina, T. S., & Ocheretnyuk, M. V. (2017). Approaches to the System Simulation of Maintenance Operations for Locomotives. In *V International Scientific and Practical Internet Conference: Actual Problems of Automation and Control* (pp. 99-104). Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine. (in Ukrainian)
8. *Planovoe tekhnicheskoe obsluzhivanie, ES40ACi/ES44ACi. Dokument № GEK-114350F*. (2012). GE Transportation. (in Russian)
9. Plyaskin, A. K., & Kushniruk, A. S. (2019). Information modeling technology designed to monitor the actual technical state of locomotives: application features. *Bulletin of scientific research results*, 2, 58-71. (in Russian)
10. *Polozhennia pro planovo-poperedzhuvalnu systemu remontu i tekhnichnoho obsluhovuvannia tiahovoho rukhomoho skladu (elektrovoziv, teplovoziv, elektro ta dyzel-poizdiv)*. № 55. (2019). (in Ukrainian)
11. Bodnar, B., & Ochkasov, O. (2017). System Choice of the Technical Maintenance of Locomotives Equipped with on-Board Diagnostic Systems. In *Transport Means: Proceedings of 21st International Scientific Conference* (P. I., pp. 43-47). Kaunas University of Technology, Klaipėda University, Kaunas, Lithuania. (in English)
12. Bodnar, B. E., Ochkasov, O. B., Bodnar, E. B., Hryshechkina, T. S., & Ocheretnyuk, M. V. (2018). Simulation of locomotive repair organization by the methods of queue systems theory. *Science and Transport Progress*, 5(77), 28-40. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/147740> (in English)
13. Bodnar, B. E., Ochkasov, O. B., Hryshechkina, T. S., & Bodnar, E. B. (2018). Choosing the system of locomotive maintenance in view of the effect of dependent failures. *Science and Transport Progress*, 6(78), 47-58. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/154823> (in English)
14. Lovett, A. H., Dick, C. T., Ruppert, C., Saat, M. R., & Barkan, C. (2013). Development of an Integrated Model for the Evaluation and Planning of Railroad Track Maintenance. *2013 Joint Rail Conference*. DOI: <https://doi.org/10.1115/jrc2013-2407> (in English)

Надійшла до редколегії: 29.05.2020

Прийнята до друку: 30.09.2020