

УДК 629.4.083

УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ СЕРВІСУ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ

Д-р техн. наук О. С. Крашенінін, асп. Д. О. Мацегора, магістри О. В. Польовий, М. В. Пахомов

INVENTORY MANAGEMENT IN THE ORGANIZATION OF LOCOMOTIVE PARK SERVICE

D. Sc. (Tech.) O. S. Krashenin, postgraduate student D. O. Matsegora, masters O. V. Pol'ovyy, M. V. Pakhomov

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.196.2021.242254>

Анотація. Запровадження нової системи підтримки і відновлення локомотивного парку на принципах сервісу потребує чіткої організації постачання запасними частинами ремонтної інфраструктури.

У статті розглядаються питання вирішення оптимізаційної задачі балансу вигоди і витрат при створенні запасів для сервісу локомотивів.

Вважаючи, що процес попиту запасних частин мав переважно випадковий характер, запропоновано введення цільової функції, що враховує визначення закону розподілу потреби в запасних частинах на основі мінімуму приведених витрат на їх придбання і збереження. З урахуванням цього запропоновано створення ідеології «віртуального сховища» для оптимізації запасів та їх витрат.

Ключові слова: запаси, функція розподілу, закон потреби і витрат, сховище.

Abstract. Planned warning system for locomotive repair has almost exhausted its potential. This was facilitated by the rapid deterioration of the technical condition of the locomotive fleet and infrastructure for both repair and operation. Rolling stock renewal is almost non-existent, and there is interest in providing railway services due to rising tariffs and low levels of comfort.

On the contrary, some foreign railways consider the planned warning system exhausted, especially in compliance with all requirements for maintenance and repairs, timely modernization measures.

But at the same time, the policy of monitoring the technical condition of manufacturers to form the infrastructure for the organization of repair and modernization of the series of locomotives is gradually developing. The first scientific researches in this direction were devoted to substantiation of strategy of interaction of traditional approaches and those which bring considerable differences from traditional. This is the adoption of a strategy for the distribution of operational and repair functions of locomotive enterprises, and when, together with manufacturers, repair plants and depots, the need to transfer repairs to service centers is determined.

At the same time, large centers are being formed that provide service services for the regions of operation, namely, organize the monitoring and audit of the enterprise and ensure the organization of rolling stock repairs.

Without a clear organization of the supply system, the organization of locomotive service, which requires the selection of the optimal procurement procedure and stocks.

The introduction of a new system of maintenance and restoration of the locomotive fleet on the principles of service requires a clear organization of the supply of spare parts for repair infrastructure.

The system considers the solution of the optimization problem of the balance of profits and losses in the creation of stocks for locomotive service.

Assuming that the process demand was mostly random, it is proposed to introduce a target function that takes into account the definition of the law of distribution of demand for spare parts, based on the minimum of the given measurements for their acquisition and storage. With this in mind, it is proposed to create an ideology of «virtual storage» to optimize stocks and their costs.

Keywords: *stocks, distribution function, law of needs and expenses, warehouse.*

Вступ. Планово-попереджувальна система ремонту локомотивів майже вичерпала свій потенціал. Цьому сприяло стрімке погіршення технічного стану локомотивного парку і інфраструктури як ремонту, так і експлуатації. Оновлення рухомого складу відбувається повільно, падає інтерес до надання послуг залізницею через зростаючі тарифи і низький рівень комфорту. Нові локомотиви, придбані за кордоном, оснащені більш складним обладнанням і системами автоматичного управління та регулювання, у зв'язку з чим актуальним постає питання необхідності обслуговування локомотивів спеціалізованими організаціями [1].

Однією з форм такого обслуговування є обов'язковий післяпродажний сервіс тягового рухомого складу (TPC) компаніями-виробниками.

За кордоном взаємодія компаній – операторів залізниць і компаній-виробників у частині забезпечення експлуатаційної надійності локомотивів все більшою мірою ведеться спільно, на постійній основі і на тривалий період. Додатковим фактором розвитку системи сервісу є масштабність і хороша передбачуваність ринку ТО локомотивів, що дає змогу укласти контракти на термін до 30 і більше років. Необхідно відзначити, що за кордоном під сервісом локомотивів розуміють не просто один з видів діяльності з метою отримання прибутку. Питання ставиться набагато ширше: мова йде про глобальний сервіс з технічної підтримки експлуатації [2]. В даному випадку ризику по заміні вузлів і деталей приймає на себе виробник [3].

Одночасно формуються крупні центри, що надають послуги сервісу для

регіонів експлуатації, а саме організують моніторинг і аудит підприємства і забезпечують організацію ремонту рухомого складу.

Таким чином, без чіткої організації системи постачання організація сервісу локомотива, що потребує обрання оптимальної процедури заготівлі і запасів, неможлива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За кордоном проблеми розвитку сервісу з теоретичної площини перейшли в практичну.

Перші наукові дослідження в цьому напрямку були присвячені обґрунтуванню стратегії взаємодії традиційних підходів і тих, що мають значні відмінності від традиційних. Це прийняття стратегії на розподіл експлуатаційних та ремонтних функцій локомотивних підприємств, коли разом з виробниками, ремонтними заводами і депо визначається необхідність передачі ремонту в сервісні центри [4, 5].

Теоретичні фактори зі створення нової системи ТО, ПР знайшли своє відображення в роботах [6, 7].

У нашій країні на державному рівні намічені кроки з реформування галузі [3].

Разом з цим багато завдань як теоретичного, так і прикладного характеру залишається [9, 10, 11].

Постають завдання вибору потужності сервісних центрів, їх територіального розташування, організації взаємодії з постачальниками локомотивної продукції і традиційними методами і центрами з організації ремонту [8, 9].

Усе це робить актуальним завдання постачання запасів для організації ремонту.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи полягає у розробленні методики управління запасами при організації сервісу локомотивів.

Для цього потрібно вирішити такі питання:

- визначити критерій витрат на утримання запасів при заданому законі розподілу необхідної кількості запасів;
- розрахувати величину запасів;
- сформулювати умови оптимальної кількості запасів;
- створення алгоритму функціонування бази даних «віртуального сховища».

Основна частина дослідження. Управління запасами є важливим елементом діяльності підприємства, оскільки на їх створення витрачається значна кількість матеріальних ресурсів. Запаси являють собою один із факторів, що впливає на рівень ефективності функціонування підприємства. Проте більшість підприємств не приділяють належної уваги питанням управління виробничими запасами і постійно недооцінюють свої майбутні потреби в наявних запасах, внаслідок чого змушені нести додаткові витрати [12].

У кожному завданні управління запасами розглядаються:

- величина попиту на певний матеріал;
- наявність запасу цих матеріалів, його поповнення та відновлення, здійснюване безперервно або в окремі проміжки часу;
- витрати, пов'язані зі зберіганням запасів, збитки через незадовільний попит і інші витрати, що утворюють оптимізовану цільову функцію;
- обмеження, обумовлені тими чи іншими факторами, пов'язаними із завданням управління запасами.

Завдання управління запасами належить до завдань оптимізаційного типу. Кожна зі складових процесу поставки, зберігання і витрачання запасів може бути оцінена деякими витратами. Так, кожна

партія запасів вимагає витрат на поставку, якими можуть бути транспортні витрати, витрати на заробітну плату, витрати на запуск в серію і т. д. Очевидно, що зі збільшенням періоду між суміжними поповненнями запасів кількість партій в плановому періоді буде зменшуватися і витрати на поставки будуть знижуватися.

Запаси, що надійшли на підприємство, мають зберігатися на складі, і для цього також потрібні деякі витрати. Зі збільшенням розмірів партії запасів витрати на зберігання будуть зростати. Таким чином, сумарні витрати в моделях управління запасами складаються з альтернативних доданків, що являють собою витрати на поставку і зберігання. При збільшенні періоду між поставанням і відповідно обсягу поставок одна зі складових (витрати на зберігання) збільшується, а інша (витрати на поставку) – зменшується. Завдання оптимізації запасів зводиться до визначення шуканих параметрів моделі, що забезпечують мінімум сумарних витрат.

Загальні витрати, пов'язані з поповненням, зберіганням і витратами запасів, можна подати виразом

$$B = B_n + B_z + B_o \rightarrow \min \quad (1)$$

де B_n, B_z – витрати відповідно на поповнення і зберігання запасів;

B_o – економічні збитки, обумовлені дефіцитом запасів.

Функція (1) є функцією витрат моделі управління запасами. Вона набуває різного вигляду в залежності від особливостей кожної конкретної моделі.

Моделі управління запасами при випадковому попиті використовуються для визначення необхідної кількості запасних частин, виготовлених самостійно або придбаних разом з основним обладнанням [13]. У процесі експлуатації може виявитися, що необхідності в деяких

частинах немає і підприємство зазнає збитків від їх придбання та зберігання. Можливий і такий варіант, коли запасних частин на період експлуатації установки виявилось недостатньо. У цьому випадку підприємство звертається до заводу-виробника, що поставляє необхідний виріб. Однак на його виготовлення і доставку потрібен певний час, протягом якого установка простоє і підприємство зазнає значних збитків.

Для складання функції витрат в моделях такого типу необхідно зіставити витрати з придбання запасних частин і збитків, пов'язаних з простоєм обладнання через їх відсутність.

Відомий закон розподілу необхідної кількості запасних частин

$$P_n, \sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1 \tag{2}$$

Наприклад, підприємство придбало k запасних деталей, а на час експлуатації установки їх треба було n . Вартість однієї деталі з урахуванням витрат на її поставку і зберігання позначимо – c_1 , а збиток підприємства, обумовлений відсутністю запасних частин – c_2 . Якщо $n \leq k$, то витрати підприємства дорівнюватимуть $c_1(k-n)$. Якщо ж $n > k$, то збиток складе $c_2(n-k)$.

Оскільки кожному значенню n відповідає своя ймовірність P_n , то визначимо математичне очікування збитку підприємства, яке і являє собою функцію витрат

$$B(k) = c_1 \sum_{n=0}^k P_n(k-n) + c_2 \sum_{n=k+1}^{\infty} P_n(n-k) \rightarrow \min. \tag{3}$$

Таким чином, при заданому законі розподілу необхідної кількості запасних частин і відомих параметрах c_1 і c_2 необхідно знайти величину k , при якій

математичне очікування сумарних витрат буде мінімальним.

Знайдемо таке значення $k = k_0$, при якому функція (3) мінімальна. Для цього слід визначити $B(k+1)$ та $B(k-1)$

$$\begin{aligned} B(k+1) &= c_1 \sum_{n=0}^{k+1} (k+1-n)P_n + c_2 \sum_{n=k+2}^{\infty} (n-k-1)P_n = \\ &= c_1 \sum_{n=0}^k (k+1-n)P_n + (k+1-k-1)P_{k+1} + \\ &+ c_2 \sum_{n=k+1}^{\infty} (n-k+1)P_n - c_2(k+1-k-1)P_{k+1} = \\ &= c_1 \sum_{n=0}^k (k-n)P_n + c_1 \sum_{n=0}^k P_n + c_2 \sum_{n=k+1}^{\infty} (n-k)P_n - \\ &- c_2 \sum_{n=k+1}^{\infty} P_n. \end{aligned}$$

З огляду на те, що $\sum_{n=k+1}^{\infty} P_n = 1 - \sum_{n=0}^k P_n$, отримаємо

$$B(k+1) = c_1 \sum_{n=0}^k (k-n)P_n + c_2 \sum_{n=k+1}^{\infty} (n-k)P_n + (c_1 + c_2) \sum_{n=0}^k P_n - c_2 = B(k) + (c_1 + c_2) \sum_{n=0}^k P_n - c_2.$$

Аналогічно можна довести, що

$$B(k-1) = B(k) - (c_1 + c_2) \sum_{n=0}^{k-1} P_n + c_2. \quad (4)$$

Нехай при $k=k_0$ функція $B(k_0)$ мінімальна, тоді

$$B(k_0+1) > B(k_0), \\ B(k_0-1) > B(k_0).$$

Виконання цих нерівностей еквівалентно виконанню умов

$$(c_1 + c_2) \sum_{n=0}^{k_0} P_n - c_2 > 0, \\ -(c_1 + c_2) \sum_{n=0}^{k_0-1} P_n + c_2 > 0.$$

З цієї системи нерівностей випливає, що

$$\sum_{n=0}^{k_0} P_n > \frac{c_2}{c_1 + c_2}, \\ \sum_{n=0}^{k_0-1} P_n < \frac{c_2}{c_1 + c_2}.$$

Звідси отримаємо умову, визначальне значення k_0 ,

$$\sum_{n=0}^{k_0-1} P_n < \frac{c_2}{c_1 + c_2} < \sum_{n=0}^{k_0} P_n.$$

Таким чином, розв'язання завдання зводиться до такого:

будується кумулята функції розподілу потрібної кількості запасних частин

$$F(k) = \sum_{n=0}^k P_n;$$

обчислення відношення $\frac{c_2}{c_1 + c_2}$;

визначається інтервал значення k , всередині якого функція розподілу дорівнює

$$\frac{c_2}{c_1 + c_2};$$

верхня межа цього інтервалу приймається рівною згаданому значенню k_0 .

Приймаємо, що потреба в запасах підпорядкована закону Пуассона

$$f(k) = \frac{a^k}{k!} e^{-a}, \quad (5)$$

де a – математичне очікування використовуваної величини запасів.

Значення k може набувати значення від 0 до k . В таблиці запишемо розподіл закону Пуассона для $a_1 = 0,5; a_2 = 1; a_3 = 2$.

На підставі цих даних, що наведені в таблиці, обчислюємо $F(k) = \sum f(k)$ та побудуємо графік (рис. 1).

Таблиця

Розрахунок математичного очікування використовуваної величини запасів

k	0	1	2	3	4
$f(k)$	e^{-a}	ae^{-a}	$\frac{a^2}{2}e^{-a}$	$\frac{a^3}{6}e^{-a}$	$\frac{a^3}{24}e^{-a}$
$a_1 = 0,5$	0,607	0,3037	0,076	0,0127	0,00116
$a_2 = 1$	0,37	0,37	0,185	0,06	0,015
$a_3 = 2$	0,136	0,272	0,272	0,182	0,0907

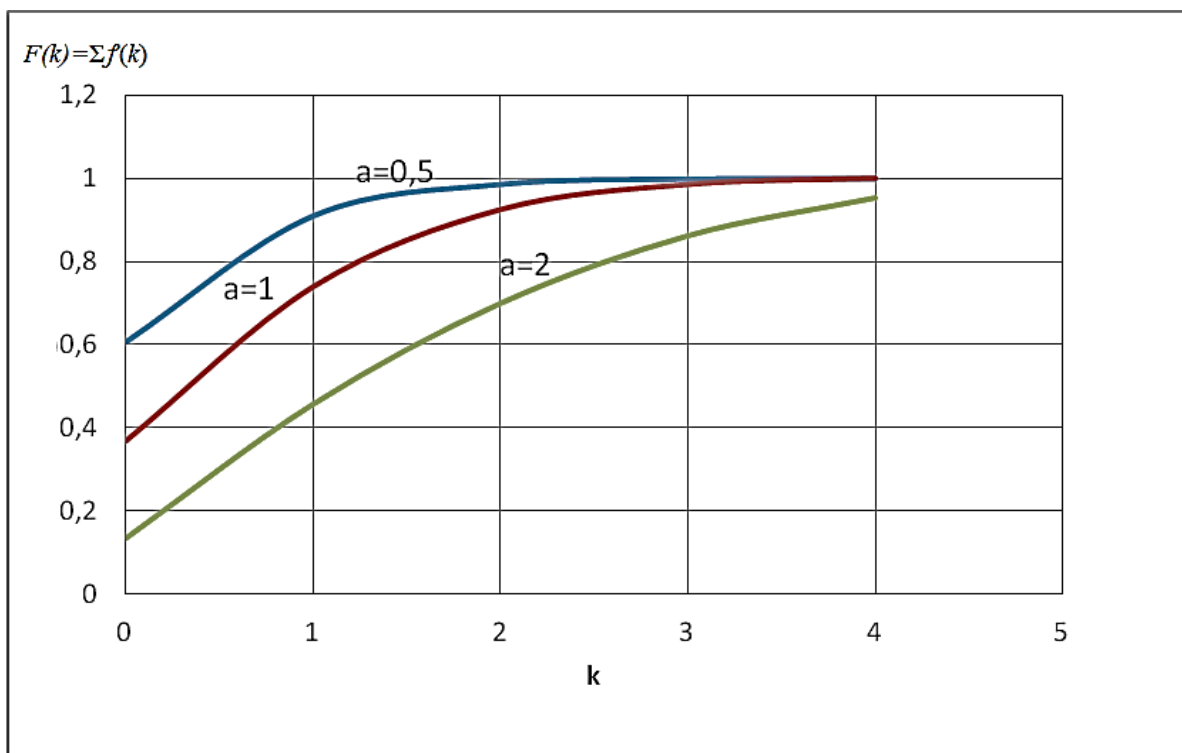


Рис. 1. Графік функції розподілу потрібної кількості запасних частин

Якщо $\frac{c_2}{c_1 + c_2}$ дорівнює, наприклад, $\bar{c} = 0,8$ то, відповідно до рис. 1, при $a_1 = 0,5$ потрібна одна одиниця запасу, при $a_2 = 1$ – дві, при $a_3 = 2$ – три.

При зростанні \bar{c} зростає потреба в запасах, що зрозуміло з міркувань зростання витрат, які обумовлені відсутністю запасів.

Разом з цим аналіз сучасного стану придбання і обороту запасних частин зі

складу в ремонтні цехи і відділення в сервісних локомотивних депо (СЛД) показав, що ускладнений контроль проходження деталей і вузлів, які надходять у ремонт зі складу та перебувають у ремонті в цехах і відділеннях СЛД. Не простежується взаємозв'язок деталей і вузлів депо, що може призводити до наднормативних запасів деталей та вузлів.

Для оптимізації нормативного запасу деталей і вузлів і в першу чергу для скорочення часу ремонтного циклу

Підсистема «Віртуальний склад» поліпшує контроль і оперативність виконання ремонтів. Так, при постановці локомотива на ремонт всі вузли і деталі локомотива автоматично надходять до реєстру «Віртуального складу». Процес ремонту і готовність деталей відстежується в режимі реального часу. Таким чином, контролюється, в якому підрозділі і на якому ремонті перебувають вузли та деталі, а також в якому вони стані. Це дасть змогу контролювати процес проходження через ремонтні дії деталей і вузлів, а також контролювати технологічний запас.

Знаючи час виконання великих видів ремонту тепловозів, що перебувають у ремонті, стан їх вузлів і агрегатів, з'являється можливість оперативного планування виконання ремонтів, своєчасного замовлення запасних частин.

Якщо тепловоз надійшов на плановий ПР-3, при розбиранні всі деталі, вузли і агрегати надходять у «Віртуальний склад». Слідом надходить тепловоз тієї ж серії на позаплановий ремонт з несправним ТЕД. З'являється можливість справний ТЕД з ПР-3 передати на позаплановий ремонт, а несправний ТЕД за час виконання ремонту в обсязі ПР-3 або відремонтувати або запросити новий ТЕД з реального складу депо або з новоствореного центрального складу.

У зв'язку з цим виникає необхідність створення центрального складу на базі одного з сервісних локомотивних депо для групи сервісних локомотивних депо в 12–24-годинній доступності. Це все дасть змогу скоротити номенклатуру матеріального складу сервісного локомотивного депо, а дорогі вузли і агрегати зосередити на центральному матеріальному складі. Схему обороту запасних частин подано на рис. 3



Рис. 3. Структурна схема обороту запасних частин

Моніторинг обороту потреби основних вузлів і агрегатів технологічного і страхового запасів дасть змогу уточнити програму ремонту вузлів і агрегатів заводами-виробниками. Одночасно це дасть

змогу оптимізувати закупівлю деталей, вузлів і агрегатів сервісними локомотивними депо, скоротити час перебування локомотивів у всіх видах ремонту.

Висновки. В результаті проведеної роботи встановлено, що визначення критерію витрат дає змогу оптимізувати втрати підприємства на утримання запасів для сервісу локомотивів. Розрахунок величини запасів показав: якщо $c = 0,8$ то, відповідно до рис. 1, при $a_1 = 0,5$ потрібна одна одиниця запасу, при $a_2 = 1$ – дві, при $a_3 = 2$ – три. Для забезпечення умови опти-

мальної кількості запасів слід враховувати значення співвідношення $\bar{c} = f(c_1, c_2)$. Створення алгоритму функціонування бази даних «Віртуальне сховище» поліпшує контроль і оперативність виконання ремонтів. У подальшому взаємодія бази даних віртуального та матеріального сховища дасть змогу ефективно контролювати технологічні процедури руху запасів безпосередньо на підприємстві.

Список використаних джерел

1. Стратегія АТ «Укрзалізниця» на 2019–2023 роки. Розпорядження КМУ від 12 червня 2019 р. № 591-р. Документи АТ «Укрзалізниця». URL: <https://www.uz.gov.ua/files/file/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F-4-Турографу.pdf> (дата звернення: 10.01.2021).
2. Техническое обслуживание подвижного состава в странах Европы. *Железные дороги мира*. 2009. № 4. С. 50–52.
3. Германия: избыток мощностей на рынке технического обслуживания и ремонта. *Железные дороги мира*. 2009. № 4. С. 57–60.
4. Крашенінін О. С., Одегов М. М., Семененко Ю. О. Ефективність експлуатації тягового рухомого складу і об'єктів залізничної інфраструктури. Science, society, education: topical issues and development prospects. *Abstracts of International Scientific and Practical Conference Kharkov, Ukraine 20-21 January 2020*. P. 217–220.
5. Puzyr V., Krasheninina O., Zhalkin D., Datsun Y., Oboznyi O. Estimation of the influence of the interaction of factors pairs on the coefficient of route execution possibility. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. № 659. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/659/1/012057> (last access: 10.02.2021).
6. Крашенінін О. С., Сулежко Д. Е., Кузьмін Є. Ю. Визначення оптимальних запасів ресурсів у локомотивному депо. *Зб. наук. праць*. Харків: УкрДУЗТ, 2019. Вип. 186. С. 87–92.
7. Крашенінін О. С., Яковлев С. С., Задесенець В. І. Обґрунтування критерію ефективності експлуатації локомотивів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2020. № 4. С. 10–14.
8. Канарчук В. Є., Полянський С. К., Дмитрієв М. М. Надійність машин: підручник. Київ: Либідь, 2003. 424 с.
9. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог: монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин, А. П. Фалендыш. Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2011. 174 с.
10. Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. Москва: Сов. радио, 1975. 472 с.
11. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. Практикум. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 560 с.
12. Грещак М. Г., Гребешкова О. М., Коцюба О. С. Внутрішній економічний механізм підприємства. Київ: КНЕУ, 2001. 228 с.

13. Сянько Я. В., Григорова Д. В. Щодо формування витратної частини логістичної системи при визначенні цінової політики підприємства. *Комунальне господарство міст*. 2011. № 101 (1). С. 311–316.

Крашенінін Олександр Семенович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-7462-3372.

Тел.: +38 (097) 991-70-99. E-mail: Alsem1512@gmail.com.

Мацегора Дмитро Олександрович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +38 (066) 144-56-12. E-mail: macegoradmitry@gmail.com.

Польовий Олександр Володимирович, магістрант, групи 211-ЛЛГ-Д19 Українського державного університету залізничного транспорту.

Пахомов Максим Володимирович, магістрант, групи 211-ЛЛГ-Д19 Українського державного університету залізничного транспорту.

Krashenin Alexander Semenovich, D. Sc. (Tech.), Professor, Department of Operation and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-7462-3372. Tel.: +38 (097) 991-70-99.

Email: Alsem1512@gmail.com.

Matsegora Dmytro Oleksandrovych, postgraduate student, Department of Operation and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 (066) 144-56-12. Email: macegoradmitry@gmail.com.

Pol'ovyy Alexander, master group 211-LLG-D19 of the Ukrainian State University of Railway Transport.

Pakhomov M.V., master, group 211-LLG-D19 of the Ukrainian State University of Railway Transport.

Статтю прийнято 20.05.2021 р.