

ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ (273)

УДК 629.4.016

КОНЦЕПЦІЯ ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛОКОМОТИВІВ

Д-р техн. наук О. С. Крашенінін, асп. Д. О. Мацегора,
магістри Є. О. Саченко, Я. С. Блохін

THE CONCEPT OF EXTENDING THE TERMS OF LOCOMOTIVE OPERATION

D. Sc. (Tech.) O. S. Krashenin, postgraduate student D. O Matsegora,
masters E. O. Sachenko, Y. S. Blokhin

Анотація. Завдяки закладеним при проектуванні локомотивів нормативам, що забезпечують надійність, навіть при досягненні або перевищенні нормативного терміну експлуатації для більш ніж 90 % локомотивів залізничний транспорт продовжує виконувати свої функції. Як показує світовий і вітчизняний досвід експлуатації ТРС, потрібні термінові зміни в усіх ланках промисловості і експлуатації.

У статті розглядається концепція відносно загальних підходів подовження термінів експлуатації локомотивів.

Ключові слова: локомотив, тяговий рухомий склад (ТРС), термін експлуатації, подовження терміну експлуатації.

Abstract. Due to the reliability standard set during the design and even when it reaches or exceeds the standard service life of more than 90 % of locomotives, railway transport continues to perform its functions. Many years of experience in the operation of locomotives confirm the correctness of the norms laid down in the standards for their design to the design loads and indicators of dynamics and strength of load-bearing structures: the standard stock ratio (2) ensures their operation during the service life.

(25 ... 30 years) In many countries, as part of the extension of the service life of TRS at one time had to solve complex scientific and applied problems. For example, most recently in European countries, rolling stock depreciation was up to 65% of service life. In the interaction of TRS producers and users, the concept of repair and modernization of TRS at the facilities of manufacturers was adopted, and the amount of modernization depended on customer requirements. After the modernization of the extension of the service life of TRS, it could be used on certain sections of the railway or in other types of work: economic, export, shunting. In our country, the long-term operation of the TRS of a small number of series led to the fact that the rolling stock was almost not renewed and the problem of extending the service life was not solved. Now difficult political and environmental factors have led to the fact that after some time it will be dangerous to use rail transport. As the world and domestic experience of TRS operation shows, urgent changes in all links of the industry and operation are necessary. The resource of TRS put in production allows to keep and maneuver in a choice of strategy of management of the maintenance of TRS. In connection with the aging of rolling stock and the development of the assigned service life are relevant to the study of the original and residual resources of the structure. To do this, the standards must be clarified and supplemented on the basis of accumulated operating experience and taking into account modern knowledge to assess and ensure the necessary durability and safety of operation of vehicles. Based on this, the topic of changing the system of extending the service life is relevant. The article considers the concept of general approaches to extending the service life of locomotives.

Keywords: locomotive, traction rolling stock (TRS), service life, extension of service life.

Вступ. У багатьох країнах у рамках подовження терміну експлуатації ТРС у свій час довелося вирішувати складні наукові і прикладні завдання.

Наприклад, зовсім недавно в Європейських країнах знос рухомого складу складав до 65 % експлуатаційного ресурсу. У взаємодії виробників ТРС і користувачів була прийнята концепція ремонту і модернізації ТРС на

потужностях фірм-виробників, причому обсяг модернізації залежав від вимог замовників. Після модернізації і подовження терміну експлуатації ТРС міг використовуватися на окремих ділянках залізниці або в інших видах робіт: господарській, вивізній, маневровій.

У нашій країні багаторічна експлуатація ТРС невеликої кількості серій призвела до того, що рухомий склад майже

не оновлювався і проблема подовження терміну експлуатації не вирішувалась [1, 2].

Зараз складні політичні та економічні фактори призвели до того, що через деякий час буде небезпечно використовувати залізничний транспорт.

Як показує світовий і вітчизняний досвід експлуатації ТРС, потрібні термінові зміни в усіх ланках промисловості і експлуатації.

Закладений при виробництві ресурс ТРС дозволяє триматися і маневрувати у виборі стратегії управління утриманням ТРС.

Виходячи з цього тема і зміст статті щодо концепції подовження термінів експлуатації локомотивів носить актуальний характер.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні дослідження, присвячені проблемі подовження терміну експлуатації ТРС, можна поділити на такі:

- у роботах [3, 5, 6] розглядаються загальні аспекти старіння і зносу машини, вводяться критерії активної і конструктивної частин вичерпання ресурсу технічних об'єктів, коли і користь зводиться до нуля;

- розглядається питання визначення термінів і обсягу модернізації ТРС як з екологічної, так і технічної точки зору [5, 10];

- у роботах [4; 6, 7, 9, 10] розглядаються питання термінів експлуатації і стратегії оновлення ТРС. На рівні Кабінету Міністрів прийнята «Концепція державної програми реформування залізничного транспорту України» та «Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України» [1, 2];

- розроблені нормативні документи, що розглядають стратегію подовження терміну експлуатації ТРС [7, 8].

Комплексне поєднання досвіду і наукових розробок у цьому напрямі дає можливість плавного утримання на деякий час галузі відновлення локомотивобудівної і локомотиворемонтної промисловостей.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи полягає в узагальненні досвіду

у вирішенні проблеми подовження терміну експлуатації ТРС. Завданням статті є визначення критеріїв з подовження терміну експлуатації.

Основна частина дослідження. Багаторічний досвід експлуатації локомотивів підтверджує правильність закладених у нормах для їх проектування основних вимог до розрахункових навантажень і показників динаміки і міцності несучих конструкцій: нормативний коефіцієнт запасу забезпечує їх роботу протягом призначеного терміну служби (25...30 років) з ризиком близько 10^{-4} .

У зв'язку зі старінням рухомого складу і виробленням призначених термінів служби актуальними є дослідження вихідного і залишкового ресурсів конструкції. Для цього норми мають бути уточнені і доповнені на основі накопиченого досвіду експлуатації і з урахуванням сучасних знань з оцінювання та забезпечення необхідної довговічності і безпеки експлуатації транс-портних засобів. Нормативні терміни служби локомотивів, встановлені для електро-возів постійного і змінного струму, – 30 років, магістральних тепловозів – 20 років, маневрових і промислових тепловозів з електричною передачею – 25 років, з гідравлічною передачею – 20 років. Крім того, нормативні терміни служби призначені технічними умовами заводів-виготівників на поставку локомотивів, зокрема для тепловозів ТЕМ2, ТЕМ2У, ЧМЕ3 всіх індексів вони складають 32 роки, ТЕМ2УМ – 25 років, ТЕМ 18 – 25 років, ТЕ10М (С) – 26 років, ТЕ10 (УТ) – 20 років, 2ТЕ116 випуску до 1985 р. – 35 років, з 1986 до 1988 р. – 26 років, з 1988 р. – 20 років, М62 всіх індексів – 26 років, з 1988 р. – 20 років, ТЕП70 – 20 років.

При закінченні призначеного терміну служби експлуатація об'єкта має бути припинена незалежно від його технічного стану. Рішення про подальше використання об'єкта – направлення в ремонт, списання, перевірка і встановлення нового призначе-

ного терміну – має бути прийнято відповідно до нормативно-технічної документації.

Для визначення можливості та перспективи подальшої надійної експлуатації локомотива понад термін, встановлений технічними умовами, необхідне оцінювання залишкового ресурсу його базових частин (кузова, головної рами, рам візків) з визначенням обсягу додаткових робіт при проведенні поточного (ПР-3) або капітального ремонтів.

Ці завдання вирішуються розрахунково-експериментальними методами на основі накопичених дослідних даних з проведенням стендових випробувань на несучу здатність і втому рам, що експлуатувалися більше 20...25 років, і розрахуванням їхньої довговічності. Концепція визначення залишкового ресурсу, за який прийнято напрацювання об'єкта від моменту контролю до переходу в непрацездатний (або граничний) стан, заснована на принципі безпечної експлуатації за технічним станом.

Відповідно до прийнятих критеріїв граничного стану і з урахуванням умов експлуатації локомотивів показниками їхнього технічного стану є:

- механічні характеристики матеріалів (межа плинності, межа міцності, межа витривалості, твердість, характеристики мікроструктури матеріалу);

- коефіцієнти запасу міцності (за кількістю циклів до руйнування або напруги при розрахунках на міцність від втоми);

- експлуатаційні параметри (режими роботи, вібрації, деформації та ін.).

У разі значного погіршення характеристик у тривалій експлуатації старих рам порівняно з новими розробляються технічні рішення з технологічного або конструкторського доопрацювання окремих елементів конструкцій (шворневий вузол, кінцеві частини рами та ін.).

За необхідності виконується розрахункова або експериментальна перевірка внесення змін.

Основні етапи і порядок виконання робіт, пов'язаних з продовженням термінів служби локомотивів, показані на блок-схемі (рис. 1). Вона побудована з урахуванням розробок і вимог науково-технічних і наглядних організацій щодо прогнозування ресурсу потенційно небезпечних об'єктів. При цьому враховується також, що екіпажні частини локомотивів в експлуатації відчують інтенсивні динамічні циклічні навантаження, які сприяють накопиченню втомних пошкоджень у високонавантажених елементах конструкцій екіпажу, зміни властивостей їхніх матеріалів.

Тільки контроль візуальним або неруйнівними методами, навіть якщо при цьому не виявлено дефектів, не є підставою для прогнозування працездатності і тривалої безпечної експлуатації деталі.

Для методичного та правового забезпечення робіт з продовження термінів служби локомотивів розроблено галузевий стандарт. У стандарті дано нововстановленні або запозиченні з ДСТУ та інших нормативних документів терміни та визначення, викладено процедуру продовження призначеного терміну служби, вказано методи і наведено перелік типових методик технічного діагностування та необхідних досліджень напружено-деформованого стану та визначення залишкового ресурсу конструкцій.

Кінцевим результатом роботи є узгоджене технічне рішення, де вказано необхідний обсяг роботи (ремонт, модернізація), що виконується за діючими або спеціально розробленими нормативно-технічними документами, а також граничний термін служби локомотива.

У ряді досліджень визначається, що граничний ресурс слід розглядати як термін ремонтного циклу, по закінченні якого підсумковий залишковий ресурс обладнання локомотивів має мінімальне допустиме значення. Однак слід відзначити, що це не завжди відповідає дійсності. За умови

дефіциту ремонтного фонду і необхідності виконання експлуатаційних завдань використовують як старе, так і нове

обладнання, що перевищує граничне залишкове допустиме значення ресурсу за окремим обладнанням.



Рис. 1. Структурна схема процедури визначення залишкового ресурсу і продовження терміну служби

Тому слід визначити залишковий і граничний ресурс за базовими вузлами і агрегатами локомотивів, а надлишковий ресурс іншого обладнання необхідно підтримувати за рахунок коректування ТО, ПР в післянормативний термін експлуатації.

Розглянемо задачу таким чином, що потрібно сформулювати ремонтний цикл такого терміну $L_{ПР}$, відносно якого

підсумкова різниця між заданими L_1, L_2, \dots, L_N значеннями ресурсів і шуканими l_1, l_2, \dots, l_N міжремонтними напрацюваннями обладнання досягнуть мінімуму.

Скористаємося формулою для визначення втрат від недовикористання ресурсів обладнання

$$H(L_{\text{ПР}}) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{C_i(L_i - l_i)}{L_N} - \frac{C_i \Pi_i(L_i - l_i)}{\text{Ц}_{\text{ТРС}}} \right] \rightarrow \min, \quad (1)$$

де C_i – витрати на відповідне ТО та ПР обладнання локомотива, грн/км;

Π_i – середній прибуток на виконану роботу, грн;

$\text{Ц}_{\text{ТРС}}$ – ціна локомотива, грн.

Спростимо цю формулу, залишивши її першу частину, за умови, що нас цікавлять не витрати, приведені на ціну локомотива, а формування його обґрунтованого терміну служби.

Тоді отримуємо формулу функції втрат

$$H(L_{\text{ПР}}) = \sum_{i=1}^N \frac{L_i - l_i}{L_N} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Окремо зазначимо, що при визначенні шуканих значень ресурсів витримується умова $l_i \leq L_i$.

Розрахунки прив'язуємо до довговічності базового обладнання локомотива, причому $L_{\text{ПР}} < L_N$. Для простоти розрахунків будемо дотримуватися кратності міжремонтних пробігів $\frac{l_i}{l_{i-1}} = a_i$, де $a_i = 1, 2, \dots$ – ціле число.

Відзначимо, що відносне значення $H(L_{\text{ПР}})$, як критерій оптимальності ремонтного циклу, визначає частку підсумкового залишкового ресурсу обладнання, що припадає на одиницю ресурсу локомотива.

Мінімальне значення цієї величини характеризує граничний рівень ресурсу, при якому його подальше використання недоцільно і небезпечно.

Розв'язання поставленої задачі полягає у визначенні значень l_1, l_2, \dots, l_N напрацювання між замінами обладнання локомотива, що мінімізують цільову функцію. При цьому значення напрацювання базового обладнання локомотива визначає термін ремонтного циклу і відповідне значення граничного ресурсу за умови, що не передбачаються додаткові обсяги робіт щодо оцінювання його технічного стану і стану окремого обладнання.

Визначити термін служби, за який локомотива реалізує свій ресурс, можна з рівняння

$$T = \frac{L_{\text{ПР}}}{365 \cdot S},$$

де S – значення середньодобового пробігу локомотива, км/доба.

Для пошуку оптимальних варіантів ремонтного циклу, що визначає обґрунтований ресурс локомотива, будемо дотримуватися умов, що наведені в наказах АТ «Укрзалізниця», допускають перепробіги для поточних ремонтів і КР у границях 20%. Для основних серій локомотивів 2ТЕ116, 2ТЕ10М та 2ТЕ10В маємо значення пробігів, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення пробігів для тепловозів 2ТЕ116, 2ТЕ10М, 2ТЕ10В

Вид ТО, ПР, КР	Пробіг, тис.км
----------------	----------------

	Мінімальний L_{\min}	Нормативний L_H	Максимальний L_{\max}
ПР-1	42,5	50	60,5
ПР-2	127,5	150	180
ПР-3	255	300	360
КР-1	720	900	1080
КР-2	1440	1800	2160

Відповідно до цих значень міжремонтних пробігів були побудовані міжремонтні цикли для 10 можливих варіантів їх організації. Інші варіанти побудовані за умови зміни $L_{\text{ПР}1} = 3000$ тис. км до $L_{\text{ПР}10} = 4500$ тис. км. Для цих варіантів визначено термін T і граничний ресурс $L_N = L_{\text{ПР}}$ для значень середньодобового пробігу $S_1 = 300$ км/доба, $S_2 = 350$ км/доба,

$S_3 = 400$ км/доба, або у відносних значеннях $\bar{L}_{\text{ПР}} = \overline{1;1,5}$; $\bar{S}_d = \overline{1;1,33}$.

У табл. 2–4 визначено кількість ТО, ПР для кожного з варіантів і відповідні витрати на ТО, ПР, непланові ремонти, паливно-мастильні матеріали. У табл. 5 наведено значення $H(L_{\text{ПР}})$ для цих варіантів ремонтного циклу.

Таблиця 2

Терміни служби локомотивів залежно від середньодобового пробігу

$L_{\text{ПР}}$, тис. км	3000	3100	3200	3300	3400	3700	3900	4100	4400	4500
T при $S_1 = 300$ км/доба	27,40	28,31	29,22	30,14	31,05	33,79	35,62	37,44	40,18	41,10
T при $S_2 = 350$ км/доба	23,48	24,27	25,05	25,83	26,61	28,96	30,53	32,09	34,44	35,23
T при $S_3 = 400$ км/доба	20,55	21,23	21,92	22,60	23,29	25,34	26,71	28,08	30,14	30,82

Так, для першого варіанта були прийняті значення l_i : $56 \cdot 10^3$ км, $57 \cdot 10^3$ км, $50 \cdot 10^3$ км і відповідно визначено значення $H(L_{\text{ПР}})$ за формулою

$$H(L_{\text{ПР}}) = \frac{(60 - l_i) \cdot 25 + (120 - 2 \cdot l_i) \cdot 12 + (240 - 4 \cdot l_i) \cdot 8}{3000} + \frac{(720 - 12 \cdot l_i) \cdot 2 + (1440 - 24 \cdot l_i) \cdot 1 + (3000 - 2880)}{3000} = 0,212.$$

Таблиця 3

Витрати на плановий ремонт локомотивів

$L_{\text{ПР}}$, тис. км	3000	3100	3200	3300	3400	3700	3900	4100	4400	4500
$\sum C_{\text{пл}}$, тис. грн	7815	7815	7695	7695	7695	8415	8775	8775	8295	8795

Таблиця 4

Витрати на позапланові ремонти

$L_{\text{ГР}}$, тис. км	3000	3100	3200	3300	3400	3700	3900	4100	4400	4500
$\sum C_{\text{пл}}$, тис. грн	360	360	216	216	216	432	432	540	288	540

Таблиця 5

Витрати від недовикористання ресурсів обладнання

$L_{\text{ГР}}$, тис. км	3000	3100	3200	3300	3400	3700	3900	4100	4400	4500
$H(L_{\text{ГР}})$ при $S_1=300$ км/доба	0,212	0,237	0,136	0,205	0,228	0,547	0,304	0,184	0,21	0,204
$H(L_{\text{ГР}})$ при $S_2=350$ км/доба	0,169	0,196	0,072	0,142	0,168	0,498	0,232	0,134	0,146	0,62
$H(L_{\text{ГР}})$ при $S_3=400$ км/доба	0,126	0,154	0,008	0,08	0,107	0,449	0,159	0,084	0,082	0,12

На підставі інших результатів розрахунків на рис. 2, 3 для розглянутих варіантів побудовано залежність $H(L_{\text{ГР}})$. Мінімум функції $H(L_{\text{ГР}})$ отриманий для

варіанта 3 ($T=22\div 29$ років), для 8 і 9 варіантів відпо-відно $T=28\div 37$ років і $T=30\div 40$ років.

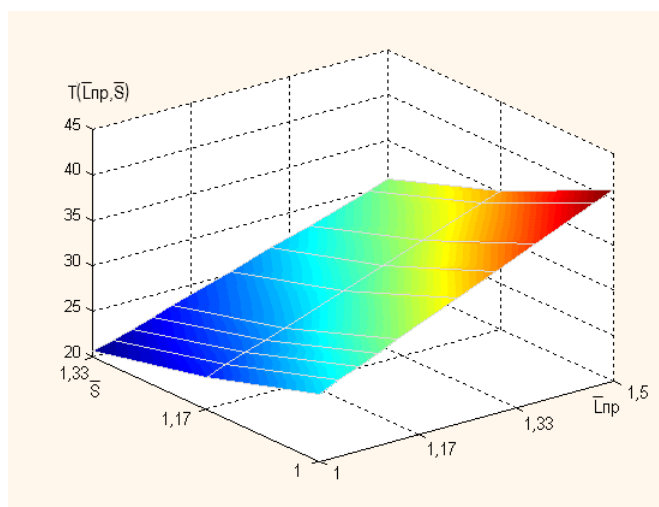


Рис. 2. Геометрична інтерпретація траєкторії еволюції ЖЦ в післянормативний термін експлуатації, де T – термін служби, р.; \bar{S} – питомий середньодобовий пробіг; $\bar{L}_{\text{ГР}}$ – відносний ресурс локомотива

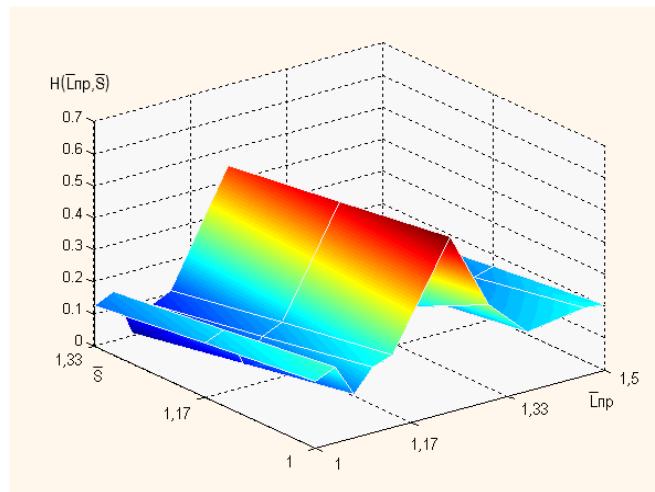


Рис. 3. Динаміка критерію оптимальності довговічності ресурсу обладнання від пробігу (терміну служби) при різній інтенсивності використання локомотивів в експлуатації, де H – критерій оптимальності; \bar{S} – питомий середньодобовий пробіг; $\bar{L}_{\text{ЛПР}}$ – відносний ресурс локомотива

Висновки

1. Подовження терміну експлуатації за наведеним критерієм визначає, що за відповідних умов його можна подовжити з 22 до 40 років, оскільки ресурс локомотивів залежить від інтенсивності використання (величина середньодобового пробігу S_d) і може змінюватись у межах 7÷10 років.

2. Остаточним кроком при визначенні граничного терміну експлуатації локомотивів слід вважати економічні витрати (рис. 2). Дотримання цих вимог дозволить ефективно використати парк локомотивів при подовженні терміну його експлуатації за умови відповідності необхідним технічним характеристикам.

Список використаних джерел

1. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки: постанова Кабінету Міністрів України 16 грудня 2009 р. № 1390. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.08.2020).
2. Програма оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012-2016 роки: постанова Кабінету Міністрів України 1 серпня 2011 р. № 840. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/840-2011-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.08.2020).
3. Estimation of the influence of the interaction of factors pairs on the coefficient of route execution possibility / V. Puzyr, O. Krashenin, D. Zhalkin, Y. Datsun, O. Obozny. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 659. 012057. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/659/1/012057> (last access: 10.08.2020).
4. Авдонькин Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей: учеб. пособ. для вузов. Москва: Транспорт, 1985. 215 с.
5. Белман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. Москва: Наука, 1965. 460 с.
6. Вознюк В. И., Пушкарев И. Ф. Надежность тепловозов. Москва: Транспорт, 1991. 155 с.
7. Головатый А. Г., Лебедев Ю. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов за рубежом. Москва: Транспорт, 1977. 158 с.

8. ГОСТ Р 52944–2008. Цикл жизненный железнодорожного подвижного состава. термины и определения. Действ. от 2008-08-28. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/475/47503.pdf> (дата обращения: 10.08.2020).

9. ГОСТ Р 53334–2009. Цикл жизненный железнодорожного подвижного состава. Общие требования. Действ. от 2009-05-19. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200070163> (дата обращения: 10.08.2020).

10. Крашенінін О. С., Обозний О. М. Визначення граничних термінів довговічності тягового рухомого складу. Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. Харків: УкрДАЗТ, 2011. Вип. 122. С. 134-140.

11. Крашенінін О. С., Фалендиш А. П. Модель визначення термінів заміни рухомого складу. *Вісник Східноукраїнського національного університету*. 2005. № 3(85). С. 126–130.

Крашенінін Олександр Семенович, доктор технічних 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.

Саченко Є. О., магістрант групи 213-ЛЛГ-Д19 Українського державного університету залізничного транспорту.

Блохін Я. С., магістрант групи 213-ЛЛГ-Д19 Українського державного університету залізничного транспорту.

Krashenin Alexander Semenovitch, 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.

Sachenko Y.O., master 213-LLG-D19 of the Ukrainian State University of Railway Transport.

Blokhin J.S, master, group 213-LLG-D19 of the Ukrainian State University of Railway Transport.

Статтю прийнято 09.09.2020 р.