

УДК 629.4.083

ВИЗНАЧЕННЯ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ЛОКОМОТИВІВ У ПІСЛЯНОРМАТИВНИЙ ПЕРІОД

Д-р техн. наук О. С. Крашенінін, аспіранти О. В. Пономаренко, С. С. Яковлєв

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЛОКОМОТИВОВ В ПОСЛЕНОРМАТИВНЫЙ ПЕРИОД

Д-р техн. наук А. С. Крашенинин, аспиранты Е. В. Пономаренко, С. С. Яковлев

DEFINITION OF STRATEGY MAINTENANCE AND REPAIR OF LOCOMOTIVES WHEN EXTENDING SERVICE LIFE

Dr. of Tech. Sc. O. Krashenin, pg. O. Ponomarenko, S. Yakovlev

Зміна технічного стану локомотивів у період післянормативного терміну експлуатації потребує вибору оптимальної стратегії технічного обслуговування (ТО) та поточного ремонту (ПР). Вона повинна враховувати необхідність коректування часу й обсягу робіт з ТО, ПР. В основу оптимізації стратегії ТО, ПР локомотивів доцільно закласти складові зміни витрат за термін подовження експлуатації.

Ключові слова: стратегія ТО, ПР локомотивів, післянормативний термін експлуатації.

Изменение технического состояния локомотивов в период посленормативного срока требует выбора оптимальной стратегии технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР). Она должна учитывать необходимость корректирования времени и объема работ по ТО, ТР. В основу оптимизации стратегии ТО, ТР локомотивов целесообразно заложить составляющие изменения расходов за срок продления эксплуатации.

Ключевые слова: стратегия ТО, ПР локомотивов, посленормативный срок эксплуатации.

In connection with the physical and moral wear and tear of rolling stock in modern conditions an important direction of ensuring the efficiency of rail transport in the future is the rational use of rolling stock operated within the designated and extended service life. The extension of the lifespan of the locomotives should be carried out by maintaining the optimum ratio adjustment measures of the timing and technology of maintenance, PR and training for repair facilities. In the face of the ageing of traction rolling stock (TRS) is locomotives and non-tractive - wagons required, the forced prolongation of term of its operation. Change of technical condition of locomotives in the period planetrating lifetime requires selection of optimum maintenance strategies and current repairs (CR). It should take into account the need to adjust the time and amount of work on the CR. The basis of the optimization strategy, CR locomotives, it makes sense to incorporate components of cost changes over the period of extended operation.

Keywords: strategy maintenance, CR of locomotives, after normative lifetime.

Вступ. В умовах необхідності виконання завдань перевезень вантажів і населення рухомим складом, що досяг або

перевищив термін нормативного використання, потрібні зважені кроки щодо обґрунтування стратегій виконання цих

завдань. Галузь перебуває у критичному стані і без докорінного реформування всіх її ланок важко очікувати забезпечення ефективності її роботи.

Вимушеним кроком є подовження терміну експлуатації локомотивів, які досягли або перевищили нормативний термін експлуатації. У свою чергу це потребує обґрунтування стратегії утримання локомотивів у понаднормативний період експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як в Україні, так і в інших країнах накопичений корисний досвід щодо обґрунтування оптимальної системи ТО, ПР ТРС. Звичайно є деякі особливості в підходах до вирішення цих завдань за умови фінансових і промислових можливостей країн і галузей.

У фахових виданнях надано відомості щодо особливостей розвитку, інфраструктури й особливостей утримання ТРС [1, 4-6]. Зокрема вітчизняні науковці багато уваги приділяли оптимізації системи експлуатації ТРС, упровадженню в ТО, ПР діагностичного забезпечення, засобів автоматизації й інформаційних технологій, оцінці життєвого циклу ТРС. За останні роки Тартаковським Е. Д., Пузирем В. Г., Калабухіним Ю. Є. та іншими провідними вченими проведено фундаментальні дослідження щодо удосконалення стратегії утримання ТРС [1, 6-9].

Визначення мети та задачі дослідження. Метою статті є розгляд питань щодо вибору й обґрунтування стратегії утримання ТРС в післянормативний період експлуатації.

Основна частина дослідження. При експлуатації ТРС відбувається процес зниження функціональних параметрів його обладнання, обумовлених процесами зношування, корозії, розвитку тріщин, деформації й інших деградаційних

процесів. Для підтримки його функціональних параметрів у межах, що допускаються технічною документацією, необхідно управляти деградаційними процесами, що відбуваються, шляхом застосування керуючих впливів, тобто за допомогою застосування тієї або іншої стратегії технічного обслуговування й ремонту. При цьому під стратегією технічного обслуговування й ремонту розуміють цілеспрямоване правило (функцію), що встановлює види, обсяг і періодичність керуючих впливів, основним призначенням і змістом яких є контроль і підтримка експлуатованого обладнання в працездатному стані в міжремонтні періоди й відновлення значень показників надійності до регламентованих значень [2, 3].

Розглянемо задачу визначення числа відновлень устаткування ТРС протягом деякого напрацювання [2-4, 8].

Нехай система складається з n елементів, з'єднаних (щодо надійності) послідовно, тобто відмова будь-якого елемента призводить до відмови системи [2]. Допустимо, що у випадку відмови кожний елемент відновлюється миттєво й повністю, відмови елементів незалежні.

У цьому випадку випадкове число відмов усієї системи до моменту t дорівнює

$$r(t) = \sum_{k=1}^n r_k(t),$$

де $r_k(t)$ – випадкове число відмов k -го елемента системи (окремого обладнання або вузлів ТРС) до моменту t ($k=1, 2, 3, \dots, n$);

$r(t)$ – випадкове число відмов усієї системи до моменту t .

Середнє число відмов до моменту t дорівнює

$$H(t) = M \left[\sum_{k=1}^n r_k(t) \right] = \sum_{k=1}^n M [r_k(t)] = \sum_{k=1}^n H_k(t),$$

де $H_k(t) = M[r_k(t)]$ – функція відновлення для k -го елемента системи.

При $t \rightarrow \infty$ процес відновлення стає стаціонарним і на підставі теореми Таклінда [10, 11, 13]

$$\lim H_k(t) = \frac{1}{T_k} + \frac{\sigma_k^2}{2T_k^2} - \frac{1}{2},$$

де T_k – середнє напрацювання на відмову k -го елемента системи; σ_k^2 – дисперсія напрацювання на відмову.

Тому для великих t можна прийняти, що кожний елемент системи

$$H_k(t) \approx \frac{1}{T_0} + \frac{\sigma_k^2}{2T_k^2} - \frac{1}{2}. \quad (1)$$

Ураховуючи, що $\sigma_k/T_k = \nu$, вираз (1) можна записати у вигляді

$$H_k(t) \approx \frac{1}{T_k} + \frac{(\nu^2 - 1)}{2}. \quad (2)$$

При $\nu = 1$ оцінка (2) перетворюється у точну формулу

$$H_k(t) = \frac{t}{T_k}.$$

Для всієї системи середнє число відновлень усієї системи дорівнює

$$H(t) \approx \sum_{k=1}^n \left(\frac{t}{T_k} + \frac{\sigma_k^2}{2T_k^2} - \frac{1}{2} \right).$$

Якщо час безвідмовної роботи кожного елемента системи підпорядковується нормальному закону з параметрами (T_k, σ_k) , то

$$H(t) \approx t \sum_{k=1}^n \frac{1}{T_k} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \left(\frac{\sigma_k}{2T_k} \right)^2 - \frac{n}{2}. \quad (3)$$

При розподілі часу безвідмовної роботи за експоненційним законом

$$H(t) \approx t \sum_{k=1}^n \lambda_k,$$

де λ_k – інтенсивність відмов k -го елемента системи.

Вираз (3) може бути використаний для розрахунків числа відновлень і потреби в запасних частинах.

Розглянемо метод вибору оптимальної стратегії технічного обслуговування й ремонту для окремого обладнання локомотива. Ставиться завдання: визначити для окремого обладнання локомотива (деталі або вузла), прийнятих за елемент технічного обладнання, оптимальну стратегію ТО і ПР за критерієм мінімуму витрат на відновлення або заміну цього елемента на одиницю напрацювання, тобто

$$E = M\left(\frac{C}{\tau}\right), \quad (4)$$

де C – витрати на відновлення або заміну елемента;

τ – випадкова величина напрацювання;

E – математичне очікування витрат на одиницю напрацювання.

Величину C прийемо постійною. Тому (4) можна записати у вигляді

$$E = M\left(\frac{C}{\tau}\right) = CM \frac{1}{\tau} = C \int_0^{\infty} \frac{f_{\tau}(y)}{y} dy,$$

де $f_{\tau}(y)$ – функція щільності розподілу напрацювання до відмови.

Розглянемо чотири види можливих стратегій: E_1 – елемент замінюється при відмові; E_2 – елемент відновлюється при відмові; E_3 – елемент замінюється при відмові або при досягненні напрацювання T (при плановому ТО); E_4 – елемент відновлюється при відмові або при досягненні напрацювання T .

Залежно від виду стратегії E_i величина C буде різною

$$\text{для } E_1 \Rightarrow C = C_o + C_3;$$

$$\text{для } E_2 \Rightarrow C = C_{\text{в.о}} + C_o;$$

$$\text{для } E_3 \Rightarrow C = C_o + C_{\text{в.з}};$$

$$\text{для } E_4 \Rightarrow C = C_{\text{в.н}} + C_o,$$

де C_3 – вартість заміної складової частини;

$C_{\text{в.о}}$ – вартість відновлення працездатного стану складової частини при відмові;

$C_{\text{в.з}}$ – вартість заміни складової частини при відмові або при проведенні планового ТО;

$C_{\text{в.н}}$ – вартість відновлення складової частини при профілактичному обслуговуванні;

C_o – вартість робіт, пов'язаних з розбиранням, складанням, пошуком відмови й ін.

Визначимо величину E_i для кожної з розглянутих стратегій:

$$E_1 = (C_o + C_3) \int_0^{\infty} \frac{f_{\tau}(y)}{y} dy;$$

$$E_2 = (C_o + C_{\text{в.о}}) \int_0^{\infty} \frac{f_{\tau}(y)}{y} dy.$$

З порівняння E_1 і E_2 випливає, що заміна складової частини, що відмовила, доцільна за критерієм витрат на одиницю напрацювання, якщо $C_3 < C_{\text{в.о}}$.

Розглянемо стратегію E_3 . Нехай складова частина обладнання замінюється при відмові й досягненні напрацювання T (із профілактичною метою). Якщо відмова відбулася, то математичне очікування витрат на одиницю напрацювання дорівнює

$$M = \left\{ \frac{C_3 + C_o}{\tau} \right\} \Big|_{\tau=0}^{\tau=T}$$

де знак $\left. \begin{matrix} \tau = T \\ \tau = 0 \end{matrix} \right\}$ означає, що математичне очікування обчислюється за умови $0 < \tau < T$. Якщо відмова не відбулася, то заміна відбувається при $\tau = T$.

Отже, при такій стратегії E дорівнює

$$E_3 = (C_3 + C_o) \cdot \left\{ \int_0^T \frac{1}{y} \cdot f_{\tau}(y) dy + \frac{1}{T} \cdot [1 - F_{\tau}(T)] \right\}.$$

Для стратегії E_4 отримуємо

$$E_4 = (C_o + C_{\text{в.о}}) \int_0^T \frac{f_{\tau}(y)}{y} dy + \frac{(C_o + C_{\text{в.о}})}{T} \cdot [1 - F_{\tau}(T)].$$

Диференціюючи E_4 по T і прирівнюючи до нуля похідну, знаходимо

$$(C_o + C_{\text{в.о}}) \cdot \frac{1}{T} \cdot f_{\tau}(T) + (C_o + C_{\text{в.о}}) \cdot \left[-\frac{1}{T^2} + \frac{1}{T^2} \cdot F_{\tau}(T) - \frac{1}{T} \cdot f_{\tau}(T) \right] = 0.$$

Множачи на T^2 , отримуємо

$$(C_o + C_{e.n}) \cdot (1 - F_\tau(T)) = (C_{e.o} - C_{e.n}) \cdot T \cdot f_\tau(T).$$

Вважаючи, що $\lambda_\tau(T) = \frac{f_\tau(T)}{1 - F_\tau(T)}$ – інтенсивність відмов, знаходимо оптимальне значення T

$$T = \frac{C_o + C_{e.n}}{C_{e.o} - C_{e.n}} \cdot \frac{1}{\lambda_\tau(T)}.$$

Можлива змішана стратегія, коли складова частина заміняється при відмові, а при профілактичному обслуговуванні проводиться її відновлення. У цьому випадку

$$E_5 = (C_3 + C_o) \int_0^T \frac{1}{y} \cdot f_\tau(y) dy + \frac{C_{e.n} + C_o}{T} \cdot [1 - F_\tau(T)].$$

За аналогією з E_4 отримуємо

$$(C_3 + C_o) \cdot (1 - F_\tau(T)) = (C_3 - C_{e.n}) \cdot T \cdot f_\tau(T),$$

$$T = \frac{C_o + C_{e.n}}{C_3 - C_{e.n}} \cdot \frac{1}{\lambda_\tau(T)}.$$

Ця стратегія можлива, якщо $C_3 < C_{e.n}$.

Оптимізацію стратегій технічного обслуговування й ремонту (ТО, ПР) проводимо у два етапи: на першому етапі визначається вид стратегії, на другому – періодичність операцій ТО, ПР.

Завдання вибору оптимальної стратегії буде підрозділятися на послідовний розв'язок двох завдань:

- вибір оптимального виду стратегій ТО, ПР;

- вибір періодичності операцій ТО, ПР для обраного виду стратегій.

Практика показує, що здебільшого найефективнішою є стратегія ТО, ПР за станом. Для застосування цієї стратегії необхідно визначити періодичність проведення контролю технічного стану об'єкта. Однак складність застосування цієї стратегії полягає в тому, що може бути

невідома функція розподілу напрацювання на відмову й розглянутий вище метод не може бути застосований. Тому в цьому випадку доцільно використовувати міні-максний метод [12].

Завдання полягає у виборі оптимальної стратегії, що зводиться до визначення таких моментів часу $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, < \dots$ проведення перевірок, які мінімізували б математичне очікування повних витрат від відмов і від проведення самих перевірок.

Математичне очікування витрат в описаній ситуації може бути знайдене як

$$C = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{x_k}^{x_{k+1}} [C_1(k+1) + C_2(x_{k+1} - t)]. \quad (5)$$

Причому розв'язок задовольняє умову

$$x_{k+1} - x_k + \frac{C_1}{C_2} = \frac{F(x_k) - F(x_{k-1})}{F(x_k)}, \quad (6)$$

де $k = 1, 2, 3, \dots$ – число перевірок;

x_k – моменти проведення перевірок;

C_1 – витрати на перевірку;

C_2 – втрати від відмови.

Припустимо, що нічого невідомо про закон розподілу відмов F . Міні-максний підхід рекомендує вибирати як F найбільш несприятливий (щодо витрат) розподіл. Очевидно, що в цьому випадку таким розподілом є рівноімовірний на досліджуваному відрізку $[0, T]$ розподіл [11-13]. Для цього розподілу вирази (5) і (6) набудуть вигляду

$$C = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{x_k}^{x_{k+1}} [C_1(k+1) + C_2(x_{k-1} - t)] \frac{dt}{T},$$

$$x_{k+1} - x_k + \frac{C_1}{C_2} = x_k - x_{k-1}, \quad k = 1, 2, \dots$$

Виражаючи x_k через x_1 , отримуємо

$$x_k = kx_1 - \frac{k(k-1)C_1}{2C_2},$$

звідки

$$x_1 > \frac{k-1}{2} \cdot \frac{C_1}{C_2}.$$

Це означає, що слід проводити лише кінцеве число перевірок, наприклад n . Оскільки $x_n = T$, то можна знайти, що

$$x_k = \frac{kT}{n} + k(n-k) \frac{C_1}{2C_2}, \quad k = \overline{0, n}. \quad (7)$$

Щоб $\{x_k\}$ утворювало послідовність перевірок, необхідно

$$x_{k+1} - x_k > 0, \quad k = 1, 2, \dots$$

при

$$\frac{T}{n} + \frac{C_1}{2C_2}(n-2k-1) > 0, \quad k = 1, 2, \dots, n-1.$$

Для $k = n-1$ отримуємо

$$n(n-1) < 2 \frac{C_2 T}{C_1}. \quad (8)$$

Оскільки різниця між середніми витратами при $(n+1)$ перевірці й середніми витратами при n перевірках є

$$-\frac{C_2}{2T} \cdot \frac{n+1}{n} \cdot \left(\frac{T}{n+1} - \frac{C_1 n}{2C_2} \right)^2 < 0.$$

Отже, n вибирається як найбільше ціле число, що задовольняє нерівність (8). Після того, як n обране, визначаються $x_1 < x_2 < \dots < x_n$, відповідно до умови (7).

На підставі наведених залежностей виконані розрахунки зміни часу проведення технічних заходів з утримання локомотивів при продовженні їх експлуатації понаднормативний термін.

У таблиці для різних значень $T = \{T_1 = 5 \text{ р. (60 міс)}, T_2 = 10 \text{ р. (120 міс)}, T_3 = 15 \text{ р. (180 міс)}, T_4 = 20 \text{ р. (240 міс)}\}$ і співвідношень $C_1/C_2 = \{1, 2, 3, 4\}$ обчислені значення x_i . При цьому кількість інтервалів визначається із співвідношення $n(n-1) = 2 \frac{C_2}{C_1} \cdot T$. Значення дорівнює $n = 11$ для всіх розглянутих значень $C_1/C_2 = 1$ і $T = \{T_1 = 5 \text{ р. (60 міс)}, T_2 = 10 \text{ р. (120 міс)}, T_3 = 15 \text{ р. (180 міс)}, T_4 = 20 \text{ р. (240 міс)}\}$. Для інших співвідношень C_1/C_2 значення n набуває значення відповідно до таблиці для всіх значень T .

Таблиця

Розрахунки часу проведення технічних заходів з утримання локомотивів

T , рік (міс)	C_1/C_2	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
5(60)	1	10,45	19,91	28,36	35,82	42,27	47,73	52,18	55,64	58,09	59,55	60,00
	2	14,50	27,00	37,50	46,00	52,50	57,00	59,50	60,00			
	3	17,50	32,00	43,50	52,00	57,50	60,00					
	4	20,00	36,00	48,00	56,00	60,00						
10(120)	1	15,91	30,82	44,73	57,64	69,55	80,45	90,36	99,27	107,18	114,09	120,00
	2	20,91	39,82	56,73	71,64	84,55	95,45	104,36	111,27	116,18	119,09	120,00
	3	25,33	47,67	67,00	83,33	96,67	107,00	114,33	118,67	120,00		
	4	29,00	54,00	75,00	92,00	105,00	114,00	119,00	120,00			
15(180)	1	21,36	41,73	61,09	79,45	96,82	113,18	128,55	142,91	156,27	168,64	180,00
	2	26,36	50,73	73,09	93,45	111,82	128,18	142,55	154,91	165,27	173,64	180,00
	3	31,36	59,73	85,09	107,45	126,82	143,18	156,55	166,91	174,27	178,64	180,00
	4	36,00	68,00	96,00	120,00	140,00	156,00	168,00	176,00	180,00		
20(240)	1	26,82	52,64	77,45	101,27	124,09	145,91	166,73	186,55	205,36	223,18	240,00
	2	31,82	61,64	89,45	115,27	139,09	160,91	180,73	198,55	214,36	228,18	240,00
	3	36,82	70,64	101,45	129,27	154,09	175,91	194,73	210,55	223,36	233,18	240,00
	4	41,82	79,64	113,45	143,27	169,09	190,91	208,73	222,55	232,36	238,18	240,00

За розрахованими результатами побудовані графічні залежності

$$X = f\left(\frac{C_1}{C_2}, T\right) \text{ (рисунок).}$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку

1. Проведення заходів з утримання локомотивів у понаднормативний термін повинно передбачати коректування часу проведення ТО, ПР за призначений термін з урахуванням необхідного коректування обсягу ТО, ПР.

2. Збільшення відносних витрат C_1/C_2

дає змогу збільшити міжремонтний термін проведення ТО, ПР локомотивів за кожним напрацюванням.

3. З часом закінчення періоду понаднормативного терміну використання зменшується період проведення ТО, ПР локомотивів.

4. Отримані залежності дають змогу визначити час проведення ТО, ПР локомотивів для різних термінів T понаднормативної експлуатації і співвідношення витрат C_1/C_2 .

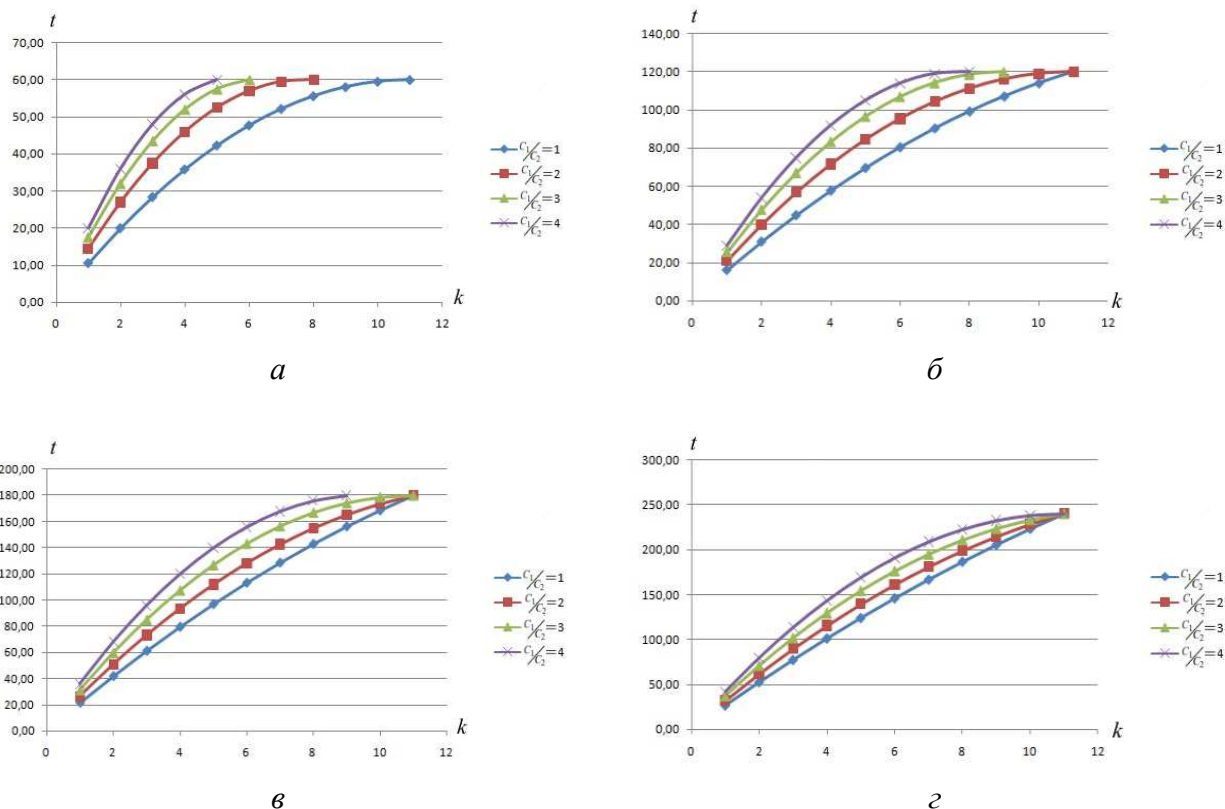


Рис. Зміна міжремонтних пробігів у залежності від C_1/C_2 та понаднормативного терміну експлуатації T :
 а – при $T = 5$ р. (60 міс); б – при $T = 10$ р. (120 міс);
 в – при $T = 15$ р. (180 міс); г – при $T = 20$ р. (240 міс)

Список використаних джерел

1. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог [Текст]: монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин [и др.]. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2011. – 174 с.
2. Галкин, В. Г. Надежность тягового подвижного состава [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. Г. Галкин, В. П. Парамзин, В. А. Четверов. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.
3. Северцев, Н. А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке [Текст]: учеб. пособие для вузов / Н. А. Северцев. – М.: Высш. школа, 1989. – 432 с.
4. Колегаев, Р. Н. Определение оптимальной долговечности технических систем [Текст] / Р. Н. Колегаев. – М.: Сов. радио, 1967.
5. Михлин, В. М. Прогнозирование технического состояния машин [Текст] / В. М. Михлин. – М.: Колос, 1976. – 288 с.
6. Оцінка показників ТО при подовженні терміну експлуатації ТРС по наробці [Текст] / Е. Д. Тартаковський, О. В. Устенко, О. С. Крашенінін [та ін.] // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 132. – С. 5-11.
7. Крашенінін, О. С. Покращення організації технічного обслуговування та поточного ремонту тягового рухомого складу в післянормативний термін його використання [Текст] /

О. С. Крашенінін, О.О. Шапатіна, Ю.В. Черняк // Транспортні інновації. – К., 2011. – № 9. – С. 26-28.

8. Оценка периодичности технического обслуживания и ремонта в период после нормативных сроков эксплуатации ТПС [Текст] / А. С. Крашенинин, О. А. Шапатина, С. А. Матвиенко [и др.] // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 128. – С. 165-167.

9. Крашенінін, О. С. Оцінка ефективності системи подовження терміну служби ТРС більш нормативного і оновлення експлуатаційного парку [Текст] / О. С. Крашенінін, П. О. Харламов // Вісник Східноукраїнського університету ім. Володимира Даля: наук. журнал. – Луганськ, 2012. – № 3(174). – С. 109-113.

10. Корн, Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1978. – 832 с.

11. Беллман, Р. Прикладные задачи динамического программирования [Текст] / Р. Беллман, С. Дрейфус. – М.: Наука, 1965. – 460 с.

12. Вагнер, С. Основы исследования операций [Текст] / С. Вагнер. – М: Мир, 1973. – Т. 3. – 501 с.

13. Байнхельт, Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход [Текст] / Ф. Байнхельт, П. Франкен. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.

14. Cantos, P. Efficiency Measures and Output Specification: The Case of European Railways [Text] / Cantos P., Pastor J. M., Serrano L. // J. of Transport and Statistics. – 2000. – Vol. 3, № 3. – P. 61–68.

15. Hughes, M. Cost and capacity drive high speed train design [Text] / M. Hughes // Railway Gazette International. – 2010. – № 5. – P. 37–39.

16. New technology center for temple mills train service Eurostar [Text] // Railway Gazette International. – 2008. – № 10. – P. 820–821.

Крашенінін Олександр Семенович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-19-99. E-mail: errs1@mail.ua.
Пономаренко Олена Вячеславівна, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-19-99. E-mail: errs1@mail.ua.
Яковлев Сергій Сергійович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-19-99. E-mail: errs1@mail.ua.

Krashenin Olexander, Ph.D., professor of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057-730-19-99. E-mail: errs1@mail.ua.

Ponomarenko Olena, graduate student of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057-730-19-99. E-mail: errs1@mail.ua.

Yakovlev Sergiy, graduate student of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057-730-19-99. E-mail: errs1@mail.ua.

Стаття прийнята 02.02.2017 р.