

ІМОВІРНІСНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРИЧНОЇ НАДІЙНОСТІ КОРПУСІВ БУКС ЕЛЕКТРОВОЗІВ

Виконано імовірнісне прогнозування параметричної надійності корпусів букс колісних пар електровозів за критерієм зносу. Знайдено закон розподілу величини діаметра D корпусу при будь-якому значенні пробігу l електровоза. Виконано прогнозування величини імовірності відмови корпусів букс різних типів електровозів за пробіг до ПР 3, тобто за $L_k - L_0$. При цьому розрахунки виконано для нових корпусів, відновлених наплавкою і залізненням.

Выполнено вероятностное прогнозирование параметрической надежности корпусов букс колесных пар электровозов по критерию износа. Найден закон распределения величины диаметра D корпуса при произвольном значении пробега l электровоза. Выполнено прогнозирование вероятности отказа корпусов букс разных типов электровозов за пробег до ПР 3, то есть $L_k - L_0$. При этом расчеты выполнены для новых корпусов, восстановленных наплавкой и железнением.

The authors have performed the probability forecasting of parametrical reliability of wheelset axlebox frames of electric locomotives according to criterion of wear. The law of distribution of the frame diameter value D at an arbitrary value of the locomotive run l has been found. A probability forecast of axlebox frames failure in different types of electric locomotives has been performed for the run value of up to TR 3, that is $L_k - L_0$. The calculations have been made for new frames, restored by surfacing and iron plating.

Як відомо [1–3], із двох практично існуючих методів прогнозування, детерміновано-аналітичного і імовірнісного, більш достовірним є останній і тим більше, коли мова йде про випадкові величини. Тому одержимо вирази для імовірнісного прогнозування діаметрів D корпусів букс [4; 5]. Для цього потрібно знайти закон розподілення величини за певний пробіг ($L_k - L_0$) електровоза.

Нами були проведені натурні (контрольні) проміжні виміри діаметра букс таким чином. На ПР 3 на виправленому, із привареними новими налічниками, корпусі букси перед постановкою на електровоз вимірювали і фіксували внутрішній діаметр, потім буксу позначали набивкою умовного номера в декількох місцях. Таким операціям піддали 50 наплавлених і 50 невідновлених корпусів букс, а також 20 залізнених букс.

Збір статистичних даних здійснювали на ПР 3 із фіксацією даних. Електровози з позначеними буксами відслідковували, букси знімали, розбирали і після ретельного очищення корпус обмірювали.

На підставі вищевикладеного побудовано залежності середнього значення зносу $\bar{\delta}$ і середньоквадратичного відхилення діаметра σ_δ

(рис. 1) експлуатаційного зносу безпосередньо корпусів букс.

Їх апроксимуючі вирази для корпусів букс електровозів ВЛ8 мають вигляд:

$$\left. \begin{array}{l} \text{із Ст 25Л : } \bar{\delta}(l) = 2,039 \cdot 10^{-6} l; \\ \text{залізнених : } \bar{\delta}(l) = 1,617 \cdot 10^{-6} l; \\ \text{наплавлених : } \bar{\delta}(l) = 2,214 \cdot 10^{-6} l. \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{із Ст 25Л : } \sigma_\delta(l) = 5,04 \cdot 10^{-4} \sqrt{l}; \\ \text{залізнених : } \sigma_\delta(l) = 4,44 \cdot 10^{-4} \sqrt{l}; \\ \text{наплавлених : } \sigma_\delta(l) = 4,15 \cdot 10^{-4} \sqrt{l}. \end{array} \right\} \quad (2)$$

Для визначення параметричної надійності спочатку знайдемо закон розподілу величини D при будь-якому значенні пробігу l електровоза. У загальному випадку величина діаметра визначається як

$$D(l) = D_0 + \delta(l), \quad (3)$$

де D_0 – початкове значення діаметра, при пробігу $l = L_0$; δ – розмір зносу корпусу, що залежить від пробігу.

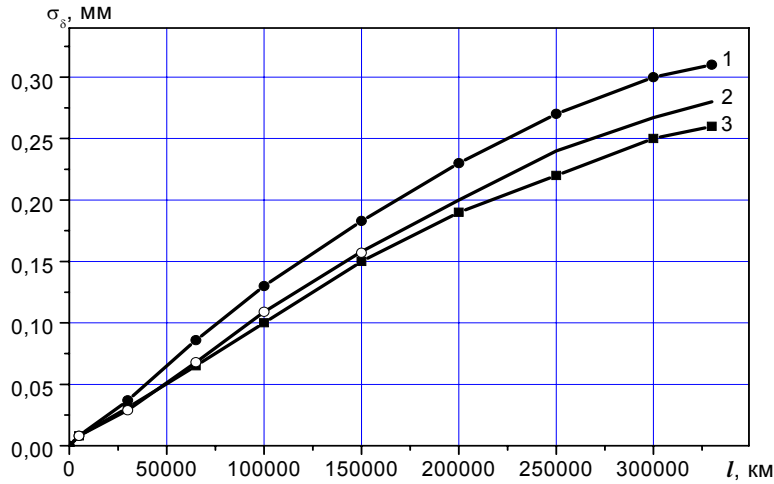


Рис. 1. Залежність середньоквадратичного відхилення σ_δ зносу від пробігу l електровозів ВЛ8 для корпусів:
1 – без покриття (Ст 25Л); 2 – залізних; 3 – наплавлених

Тоді, використовуючи залежності (1), (2), запишемо вирази середнього значення \bar{D} і середньоквадратичного відхилення σ_D діаметра корпусу у функції пробігу:

$$\bar{D}(l) = \bar{D}_0 + \bar{\delta}(l) = \bar{D}_0 + al, \quad (4)$$

де a – постійна апроксимації у виразах (1);

$$\sigma_D(l) = \sqrt{\sigma_{D_0}^2 + \sigma_\delta^2}, \quad (5)$$

оскільки $\sigma_{D_0} \ll \sigma_\delta$, то

$$\sigma_D(l) \approx \sigma_\delta(l) = b\sqrt{l}, \quad (6)$$

де b – постійна апроксимації у виразах (2).

Наші виміри величини D_0 показали, що вона є величиною випадковою і розподілена за нормальним законом. Також експериментальні дослідження корпусів букс електровозів ВЛ8, що експлуатуються в локомотивному депо Нижньодніпровськ-Вузол, електровозів ЧС, що ремонтуються на Запорізькому електровозоремонтному заводі, а також електровозів ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, ВЛ82, що ремонтуються на Львівському локомотиворемонтному заводі, свідчать про те, що при довільному пробігу l_i знос δ розподіляється за законом відсіченого Гаусса. Тоді, з урахуванням виразів (4), (6), величина D при будь-якому l_i розподіляється за нормальним законом

$$f_1(D/l_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_D(l_i)} e^{-\frac{[D-\bar{D}(l_i)]^2}{2\sigma_D^2(l_i)}}. \quad (7)$$

Оскільки величини \bar{D} і σ_D змінюються від величини пробігу l за функціональними залежностями (4) і (6), то знайдемо їхні імовірнісні закони розподілу, користуючись відомою формулою розподілу функції випадкового аргументу [6]. При цьому припустимо, що закон розподілу величини пробігу l , як аргументу функцій (4), (6), в інтервалі пробігу електровоза $L_k - L_0$ є законом рівної імовірності:

$$\varphi(l) = \frac{1}{L_k - L_0}, \quad L_0 \leq l \leq L_k. \quad (8)$$

Функція, зворотна функції $\bar{D}(l)$ за формулою (4), має вигляд

$$l(\bar{D}) = \frac{\bar{D} - \bar{D}_0}{a}, \quad (9)$$

а її похідна

$$l'(D) = \frac{1}{a}. \quad (10)$$

Тоді закон розподілу середнього значення \bar{D} визначиться як

$$f_2(\bar{D}) = \frac{1}{a(L_k - L_0)}. \quad (11)$$

Аналогічно для середньоквадратичного відхилення σ_D : функція, зворотна функції σ_D за (6), має вигляд

$$l(\sigma_D) = \frac{\sigma_D^2}{b^2}, \quad (12)$$

а її похідна

$$l'(\sigma_D) = \frac{2\sigma_D}{b^2}. \quad (13)$$

Тоді закон розподілу середньоквадратичного відхилення запишеться як

$$f_3(\sigma_D) = \frac{2\sigma_D}{b^2(L_k - L_0)}. \quad (14)$$

Сумарний закон розподілу величини діаметра D корпусу букси за пробіг $L_k - L_0$ визначиться послідовною композицією законів (7), (11) і (14) [7; 6]

$$f_{\Sigma}(D) = f_1(D|l_i) * f_2(\bar{D}) * f_3(\sigma_D) \quad (15)$$

і прийме загальний вигляд:

$$f_{\Sigma}(D) = f(D_{L_0} \leq D \leq D_{L_k}) = \frac{2\sigma_D}{ab^2(L_k - L_0)^2 \sqrt{2\pi}} \int_{L_0}^{L_k} \frac{1}{b\sqrt{l}} e^{-\frac{[D - (\bar{D}_0 + a \cdot l)]^2}{2b^2 l}} dl. \quad (16)$$

Чисельно цей сумарний розподіл діаметра корпусу може бути отримано аналітично за (16) або шляхом графічного додавання декількох нормованих розподілів $f_1(D|l_i)$ згідно з (7). Тоді імовірність прогнозування V_D величини D в області $D_{L_0} \leq D \leq D_{L_k}$ за критерієм зносу корпусу визначиться

$$V_D = 1 - \int_0^{D_p} f_{\Sigma}(D) dD = 1 - \int_0^{D_p} \left[\frac{2 \cdot \sigma_D}{a \cdot b^2 \cdot (L_k - L_0)^2 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \times \int_{L_0}^{L_k} \frac{1}{b \cdot \sqrt{l}} e^{-\frac{[D - (\bar{D}_0 + a \cdot l)]^2}{2b^2 l}} dl \right] dD. \quad (17)$$

За одержаними формулами (16) і (17) було виконано прогнозування величини імовірності відмови корпусів букс різних типів електровозів за пробіг до ПР 3, тобто за $L_k - L_0$. При цьому розрахунки виконано для нових корпусів і відновлених наплавкою і залізненням.

На рис. 2–4 побудовано так звані миттєві для певних пробігів (криві 1–4) і сумарний (крива 5) імовірнісні закони розподілення величини діаметра корпусів букс електровозів ЧС2 (нових), ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, ВЛ82 (наплавлених) та ВЛ8 (залізнених). Імовірність відмови корпусів букс V_D , тобто вихід величини діаметра D корпусу за допустиме значення $D_{\text{доп}} = 321$ мм (для електровозів типу ВЛ та ЧС4, ЧС7) і $D_{\text{доп}} = 400$ мм (для електровозів типу ЧС2), що розраховано за формулою (17), на цих рисунках зображено заштрихованими площами відповідно S . Для електровозів ВЛ8 чисельно зазначені імовірності відмов склали: 0,0769 для нових, із Ст 25 Л, 0,1778 – відновлених наплавкою і 0,0219 – відновлених залізненням корпусів букс.

У результаті одержано, що імовірність відмови корпусів букс за межовим значенням їх діаметра для електровозів ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, ВЛ82 склали 0,0877 – для нових і 0,1853 – наплавлених корпусів. Імовірність відмови корпусів букс електровозів ЧС2 склали 0,068, електровозів ЧС4 – 0,0296 і електровозів ЧС7 – 0,0256. Таким чином, для електровозів ВЛ8 через 330 тис. км (ПР 3) на кожну 1000 буксових вузлів вийде за встановлені межі по діаметру (321,00 мм) – 77 нових корпусів букс; наплавлених – 176 букс; залізнених – 33. Аналогічно, для електровозів ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, ВЛ82 через ≈ 370 тис. км пробігу – 70 нових корпусів букс; наплавлених – 171 букс. Для електровозів ЧС2 через 350 тис. км умовно відмовлять – 68 корпусів букс; для ЧС4 через 350 тис. км пробігу – 30 корпусів букс; для ЧС7 через 400 тис. км пробігу – 26 корпусів.

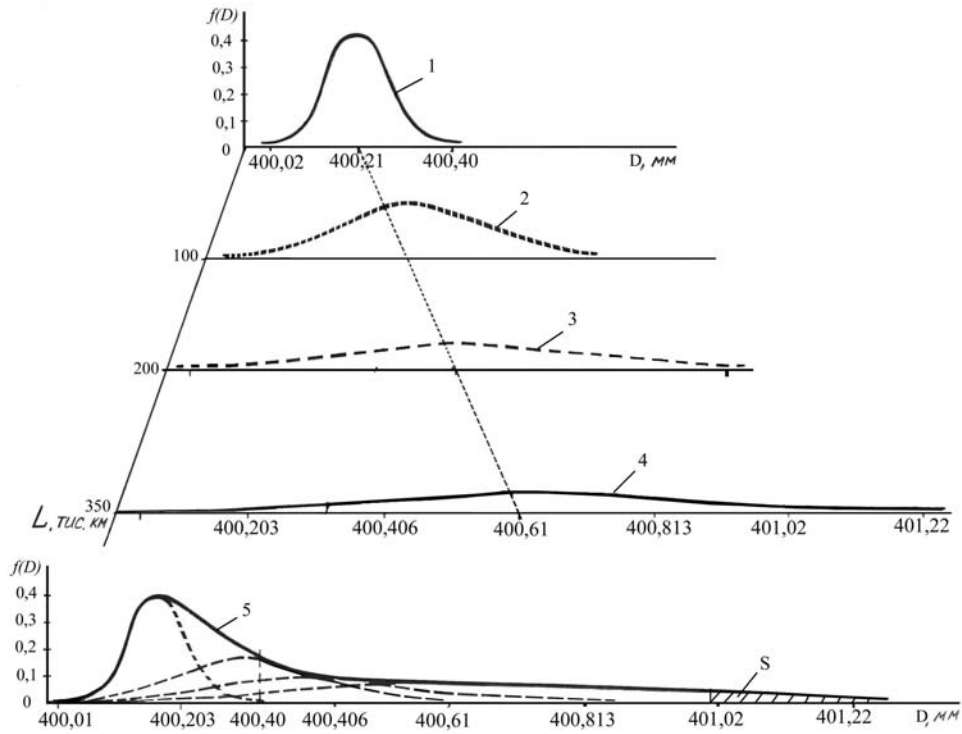


Рис. 2. Миттеві (криві 1–4) при пробігах відповідно 0; 100; 200 і 350 тис. км та сумарний (крива 5) закони розподілення внутрішнього діаметра нових із Ст 25 Л корпусів букс електровозів ЧС2

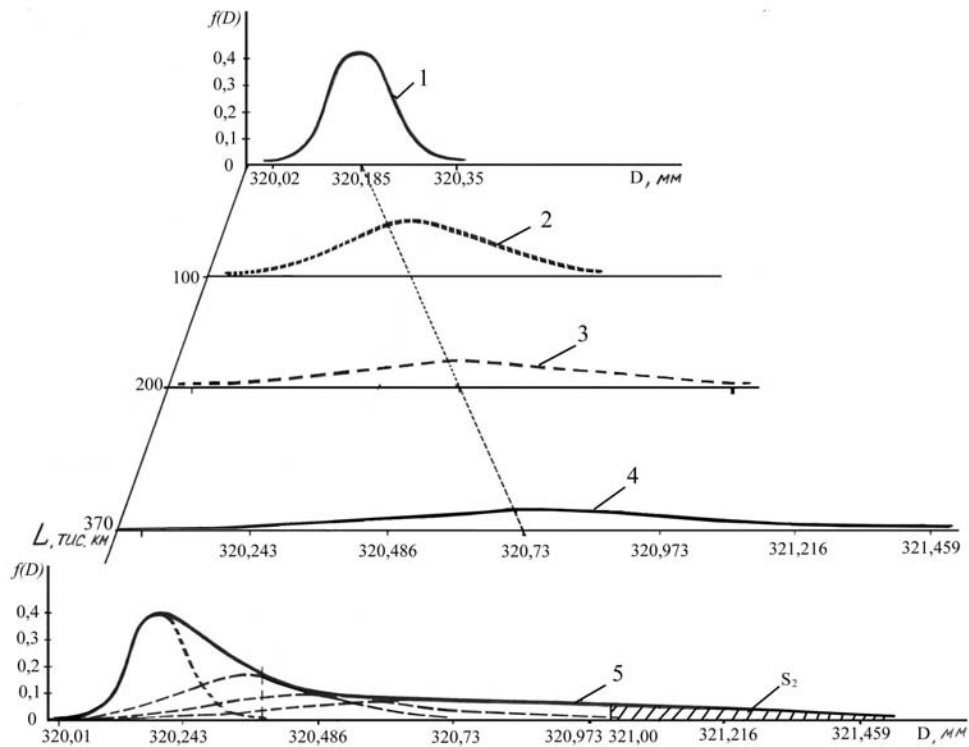


Рис. 3. Миттеві (криві 1–4) при пробігах відповідно 0; 100; 200 і 370 тис. км та сумарний (крива 5) закони розподілення внутрішнього діаметра наплавлених корпусів букс електровозів ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, ВЛ82

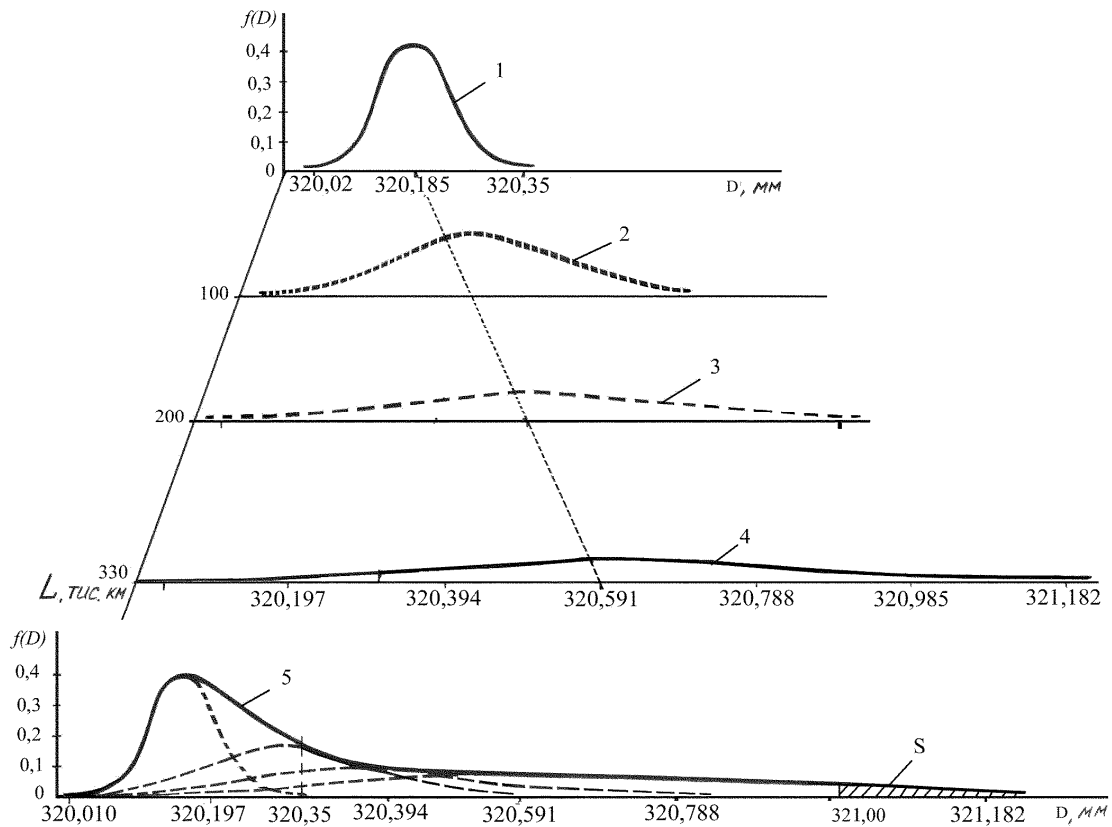


Рис. 4. Миттеві (криві 1–4) при пробігах відповідно 0; 100; 200 і 330 тис. км та сумарний (крива 5) закони розподілення внутрішнього діаметра залізних корпусів букс електровозів ВЛ8

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Волков Е. Б., Судаков Р. С., Сырицын Т. А. Основы теории надежности ракетных двигателей. – М.: Машиностроение, 1974. – 400 с.
2. Проников А. С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
3. ДСТУ 2863-94. Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги. – К.: Держстандарт України, 1994. – 30 с.
4. Костин Н. А., Артемчук В. В., Шейкина О. Г. Параметрическая надежность корпусов букс электровозов, восстановленных различными способами // Транспорт: Зб. наук. пр. / ДІТ. – Д.: Наука і освіта, 2002. – Вип. 10. – С. 75–80.
5. ДСТУ 2864-94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. Видання офіційне. – К.: Держстандарт України, 1995. – 30 с.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
7. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. – М.: Физматгиз, 1988. – 406 с.

Надійшла до редколегії 23.09.03.