

УДК 629.4.023.1

*І.П. Яцушкевич,
канд. техн. наук О.С. Крашенінін*

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ВІДМОВ В ЕЛЕМЕНТАХ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ЛОКОМОТИВІВ

Представив д-р техн. наук, професор О.Б. Бабанін

Наказом Міністерства транспорту України № 123 від 20.02.2003 затверджено Положення про організацію робіт щодо продовження термінів служби тягового рухомого складу Укрзалізниці (рам візків, головних рам кузовів і кузовів).

Актуальність Положення визначається тим, що забезпечується ефективне використання рухомого складу, економія ресурсів, подальша модернізація основних фондів у рамках продовження призначених термінів служби тягового рухомого складу (ТРС).

Подовження призначених термінів служби ТРС передбачає продовження комплексу робіт, на підставі виконання

яких може бути змінений раніше призначений термін служби ТРС та його окремого обладнання. Межа проведення робіт з подовження призначеного терміну служби ТРС полягає в найбільш повному використанні фактичного ресурсу.

Науково-дослідні роботи з подовження термінів служби ТРС включають виявлення резервних можливостей, зокрема несучих конструкцій (рам візків, головних рам кузова і кузова) ТРС і, у випадку їх недостатності, у призначенні додаткових ремонтних заходів. При цьому при призначенні нових значень термінів служби, встановлених в результаті проведення робіт з їх подовження, повинна

бути забезпечена відповідність всіх показників працездатності несучих конструкцій.

У свою чергу, визначається новий термін служби ТРС і підтверджується, чи використовуються ремонтні цикли, які передбачають технічне обстеження і безпеку несучих конструкцій, можливість експлуатації кожного ТРС до наступного ремонту з проведенням відповідних обстежень.

Слід зазначити, що в ряді випадків виникає досить непроста ситуація, коли відмови несучих конструкцій (зокрема виникнення тріщин) спостерігаються не там, де їх очікують.

В експлуатації зафіксовані випадки саме таких явищ. У рамках цього має інтерес розгляд підходів до цих явищ з точки зору синергетики, яка розглядає так звані нелінійні і нестійкі системи. Нелінійність означає парадоксальну антиінтуїтивну поведінку об'єктів, що вивчаються, коли сумісна дія декількох причин або факторів може дати нову якість або коли результат їх дії неможливо обчислити як суму результатів цих причин окремо.

Нестійкість систем, що знаходяться далеко від рівноваги, означає, що малі відхилення в таких системах можуть нарощуватися і переводити об'єкт в інший стан.

У розвиток синергетики великий внесок зробив І.Р. Пригожин (Нобелівська премія з хімії 1977 року), який довів, що нелінійність і нестійкість у багатьох фізичних системах може служити основою і джерелом виникнення упорядкованих спонтанних структур, самоорганізації.

Цей підхід доводить, що дії, виконані в потрібний час, потрібному місці, можуть суттєво впливати на майбутнє системи.

У рамках цього підходу визначено, що прості нелінійні процеси, що входять до складної системи в різних фізичних явищах, є одними і тими або універсальними з точки зору

математичного опису, алгоритмів прогнозу і поведінки.

Нехай функції розподілу міцності (несучої здатності) $f_R(R)$ і $f_S(S)$ навантаження описують позитивні випадкові величини з параметрами зсуву. Для обліку цих параметрів запишемо формулу надійності у вигляді

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} f_R(R) f_S(S) dR. \quad (1)$$

Тоді з урахуванням параметрів зсуву R_c і S_c вираз (1) набуде вигляду

$$P = \int_{R_c}^{\infty} f_R(R, R_c) f_S(S, S_c) dR. \quad (2)$$

Формула (2) дозволяє отримати розрахункові залежності для фізично обґрунтованих розподілів міцності і навантаження, що підкоряються випадковим позитивним величинам з параметрами зсуву. Моделі розрахунку на статичну міцність зводяться до розрахунків на втомну довговічність у випадку, якщо щільність розподілу навантажувального режиму розташована значно нижче щільності розподілу границі витривалості $f(S_{-1})$. Оскільки теоретично $f(S_{-1})$ описується законами розподілу з параметрами зсуву, а розподіл амплітуд є розподілом позитивних випадкових величин, то розрахунок імовірності безвідмовної роботи здійснюється за формулою (2).

При використанні моделей розрахунку на статичну міцність зазвичай не обумовлюється, яким чином отримано закон розподілу навантажень, і приймається, що його параметри не залежать від тривалості роботи конструкції. Таке припущення виправдане для максимальних (пікових) навантажень, які можуть виникнути в екстремальних умовах експлуатації («найгірший» випадок). Інший можливий варіант визначення функції розподілу навантажень $F(S)$ заснований на

залежностях для максимальних (мінімальних) значень випадкових величин. Відомо, що для незалежних випадкових величин, що підкоряються одному і тому самому закону розподілу, справедливі співвідношення для функцій і густин розподілу максимальних (мінімальних) величин (табл. 1), які можуть бути використані для безпосередніх розрахунків при невеликих n . При $n \rightarrow \infty$ спостерігаються три типи граничних розподілів.

Для розрахунків на статичну міцність найбільший інтерес мають розподіли типів I і III (табл. 2).

Припустимо, що при експлуатаційному пробігу L_A зафіксовані максимальні навантаження S_{max} , що перевищують деяку величину S_A . Отримані значення

статистично обробляються, і визначити закон розподілу $F(S_{max})$. Для визначення закону розподілу $F_n(S_{max})$ на пробігу $2L_A, 3L_A, \dots, nL_A$, користуються залежностями для максимальних (граничних) значень випадкових величин (див. табл. 1). Потім за допомогою розподілу $F_n(S_{max})$ при різних n визначається ймовірність безвідмовної роботи $P(L)$, що відповідає пробігу nL_A (рис. 1).

Якщо $F(S_{max})$ підпорядковується нормальному закону розподілу з параметрами S_{max} і $\sigma_{S_{max}}$ і не обмежена зверху, то граничним є розподіл 1-го типу, щільність якого

$$f_{I_{max}}(S) = \frac{S - \delta}{\theta} \exp\left(-\frac{S - \delta}{\theta}\right) \times \exp\left[-\exp\left(-\frac{S - \delta}{\theta}\right)\right]; \quad (3)$$

параметри δ і θ визначаються з допомогою асимптотичних формул

$$\delta = \bar{S}_{max} + \sigma_{max} \sqrt{\ln n}; \quad (4)$$

$$\theta = \pi \sigma_{S_{max}} \sqrt{6 \ln n}; \quad (5)$$

Якщо $F(S_{max})$ підкоряється закону Вейбулла з параметрами m , S_0 і обмежена зверху значенням S_{π} , то граничним є розподіл III-го типу.

Таблиця 1

Розподіл мінімальних і максимальних значень випадкових величин

Вид залежності	Значення	
	мінімальні	максимальні
Функція розподілу Щільність розподілу	$F_{1_n} = 1 - [1 - F(x)]^n$ $f_{1_n} = n[1 - F(x)]^{n-1} f(x)$	$F_{nn} = F^n(x)$ $f_{nn} = nF^{n-1}(x) f(x)$

Функції розподілу граничних значень випадкових величин

Тип граничного розподілу	Значення	
	мінімальні	максимальні
I	$F_{I_{min}} = 1 - e^{-e^{\frac{x-\delta}{\theta}}}$, $-\infty < x < \infty$	$F_{I_{max}}(x) = e^{-e^{-\frac{x-\delta}{\theta}}}$, $-\infty < x < \infty$
III	$F_{III_{min}}(x) = 1 - e^{-\frac{(x-x_c)^m}{x_0}}$ $x \geq x_c$	$F_{III_{max}}(x) = e^{\left(\frac{-x-x_{II}}{x_0}\right)^m}$

* Подвійний експоненційний розподіл. ** Трипараметричний розподіл Вейбулла.

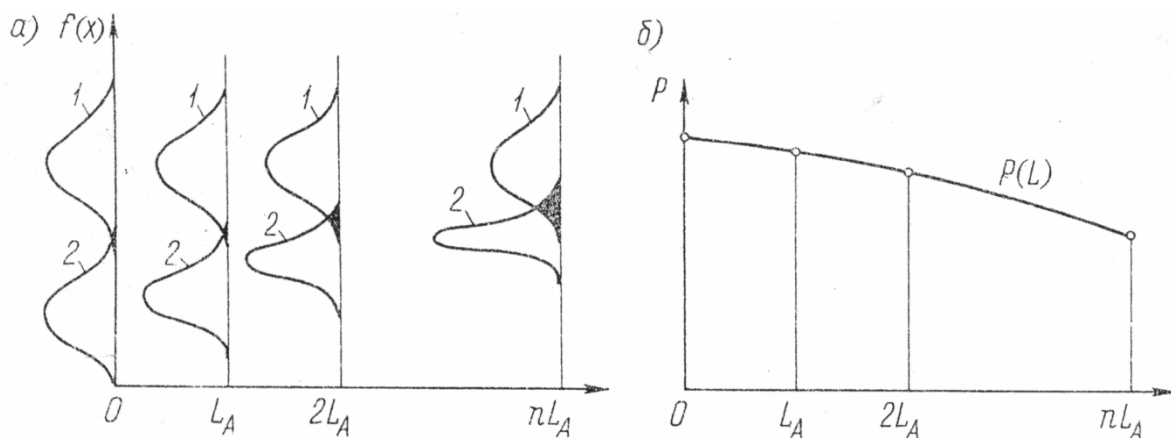


Рис. 1. До розрахунку на статичну міцність з урахуванням зміни закону розподілу навантаження: а – формування граничних навантажень залежно від пробігу; б – імовірність безвідмовної роботи; 1 – розподіл міцності $f(R)$; 2 – розподіл навантаження $f_n(S_{max})$

$$F_{III_{max}}(S_{max}^*) = \exp \left[-n \left(-\frac{S_{max} - S_{II}}{s_0} \right)^m \right]. \quad (6)$$

Для деяких деталей навантажувальні режими описуються за допомогою нормальних стаціонарних випадкових процесів.

У цьому випадку щільність розподілу граничних значень (абсолютного максимуму)

$$f(h) = \alpha \exp(-\alpha h + \alpha^2) \exp[-\exp(-\alpha h + \alpha^2)], \quad (7)$$

$$h = S_{max} / \sigma_S;$$

де $\alpha = \sqrt{2 \ln T / T_e}$ (T_e – ефективний період, $T_e = 2\pi \sqrt{m_0 / m_2}$);

m_0, m_2 – моменти спектральної щільності стаціонарного випадкового процесу;

T – довжина реалізації процесу, с;

σ_S – середньоквадратичне відхилення.

При розрахунках можна скористатися залежністю для абсолютного максимуму

$$f(S|T) = \frac{T(S - m_S)}{T_e \sigma_S^2} \exp [-(S - m_S)^2 / 2\sigma_S^2],$$
$$S > m_S + \sigma_S \sqrt{2 \ln T / T_e}, \quad (8)$$

де m_S, σ_S – середнє значення і середнє квадратичне відхилення нормального стаціонарного процесу.

За $P(L)$ визначається функція розподілу відмов, щільність розподілу та інші показники довговічності (середній ресурс, гамма-процентний і т. д.).

Таким чином, для розрахунку показників надійності деталей механічних систем на знос, статичну міцність і втому можливо об'єднати різні підходи, зокрема такі моделі, як «навантаження – несуча здатність», «випадковий процес – поле допуску», отримати ряд нових моделей і більшість практично можливих випадків опису навантажень і граничних станів.

Аналітичні моделі можуть бути використані для розроблення комплексу програм розрахунку у вигляді окремих модулів.

Висновки

1. Визначення критичних місць виникнення тріщин у несучих конструкціях можна прогнозувати при врахуванні зсуву характеристики несучих конструкцій і зовнішніх навантажень.

2. Проведення практичних заходів з оцінки і зміцнення елементів несучої конструкції повинно базуватися на математичних розрахунках виникнення місць потенційного виникнення відмови.

Список літератури

1. Положение об организации работ по продлению назначенных сроков службы тягового подвижного состава Укрзализныци (рам тележек, главных рам кузовов и кузовов) (ВНД 32.0.07.123.03). Ведомственный нормативный документ [Текст]. – К.: Министерство транспорта Украины, 2003. – 16 с.

2. Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги [Текст]: ДСТУ 2883-94 [Чинний від 08.12.1994 р.] – К.: Держстандарт України, 1995. – 36 с. – (Національний стандарт України).

Ключові слова: локомотив, несучі конструкції, надійність, імовірність.

Анотації

Стаття присвячена розгляду нового підходу до формування методики визначення відмов в елементах екіпажа локомотива.

На відміну від традиційних методик пропонується формувати прогноз з урахуванням зміни як властивостей несучих конструкцій, так і впливу зовнішніх факторів.

Статья посвящена рассмотрению нового подхода до формирования методики определения отказов в элементах экипажа локомотива.

В отличие от традиционных методик, предлагается формировать прогноз с учетом изменения как свойств несущих конструкций, так и влияния внешних факторов.

The article is sanctified to consideration of new approach to forming of methodology of determination of refuses in the elements of crew of locomotives.

Unlike traditional methodologies it is suggested to form a prognosis taking into account the change of both properties of bearing constructions and influence of external factors.