

УДК 629.424.1

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОШУВАННЯ КОЛІСНИХ ПАР ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Д-р техн. наук О.Б. Бабанін, асп. В.І. Бульба

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д-р техн. наук А.Б. Бабанин, асп. В.И. Бульба

FORECASTING OF DETERIORATION OF WHEEL PAIRS ELECTRIC TRAINS IN OPERATION

Doct. of techn. sciences A. Babanin, postgraduate V. Bulba

У статті запропоновано метод прогнозування зношування колісних пар електропоїздів, що дає змогу одержати математичне рівняння зносу та визначити інтервал роботи даного вузла, у якому необхідно приймати відповідні дії з їх обточування або заміни.

Ключові слова: відмова, експлуатація, знос, крива зносу, модель, накопичення, параметр, прогнозування, процес, реалізація, рівняння.

В статті пропонується метод прогнозування износа колесних пар електропоездів, який дозволяє отримати математичне рівняння износа і визначити інтервал роботи даного вузла, в якому необхідно приймати відповідні заходи по їх обточці або заміні.

Ключевые слова: отказ, эксплуатация, износ, кривая износа, модель, накопление, параметр, прогнозирование, процесс, реализация, уравнение.

In clause the analysis of existing methods of definition of wear process of wheel pairs electric trains on the basis of which the model of process of deterioration is offered is resulted. Initial parameters for modeling are statistical data on deterioration of a circle of driving of wheel pairs in two intervals of run. As a result of this are made exhibitors the equations for the bottom, basic and top borders of intervals of wear process. Extrapolation of this equation on limiting value of deterioration enables to receive size of predicted run of wheel pair in which it is necessary to accept corresponding actions on her turning or replacement.

Keywords: Refusal, Operation, Deterioration, Curve of deterioration, Model, Accumulation, Parameter, Forecasting, Process, Realization, The equation.

Вступ. Управління утриманням електропоїздів, що здійснюється при експлуатації й ремонті, неминуче пов'язане з передбаченням технічного стану в деякий момент часу в майбутньому. Це обумовлено тим, що тільки в цьому випадку можливо побудувати більш досконалу (і більш ефективну) систему керування його технічним станом. У цьому випадку параметричне прогнозування виступає як один з інструментів у процесі визначення технічного стану колісних пар електропоїздів.

Постановка проблеми в загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Ремонт (обточка) колісних пар електропоїздів може бути обумовлений досягненням граничного значення одним з контрольованих параметрів, до якого належить їх прокат по колу кочення. Тому важливе значення має прогнозування прокату, що дає змогу знайти певні закономірності на інтервалах його контролю при проведенні технічного обслуговування й ремонту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі зносостійкості й утомного зношування постійно приділялося

центральне місце. Уперше модель утомного зношування була запропонована І.В. Крагельським [5]. Однак на підставі допущень, прийнятих у даній методиці, надалі відзначалося неприпустимо велике відхилення результатів розрахунків від дійсності. Тому не випадково в найбільш значущому виданні з надійності [8] формули цієї моделі названі "громіздкими й малоприматними для інженерних розрахунків". Визначено, що у зв'язку зі складністю такого механізму, різноманіттю його видів і недостатньою вивченістю зв'язків з факторами, що впливають на знос, цей процес можна оцінювати тільки на підставі досвіду експлуатації [3]. Слід указати на появу на цей час нового теоретичного підходу до визначення зносостійкості [1], на інтенсивно нарощуваний фонд експериментальних досліджень (як закордонних, так і вітчизняних [6]), що дають фізичну основу нових методів розрахунку.

Мета дослідження. Відомо кілька видів математичних моделей з цього напрямку. Вони відрізняються одна від одної видом кореляційного рівняння. Найбільш часто в літературі зустрічаються

лінійні [2,8,9] і нелінійні моделі, у яких математичне очікування випадкового процесу описується багаточленом другого або третього ступеня [1,5,7], які викликають значну складність при виконанні розрахунків. Тому в даній статті запропонований комплексний метод прогнозування технічного стану колісних пар електропоїздів, що ґрунтується на моделі експоненціального виду зношення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Установлено, що процес розвитку прокату колісних пар в експлуатації має досить велике розсіювання [6]. При постійній швидкості зношування середнє квадратичне відхилення прокату (зносу) може як лінійно, так і нелінійно зростати. Оскільки швидкість зношування кола кочення колісних пар залежить від великої кількості випадкових факторів, то знос розвивається як випадковий процес, а його величина є випадковою функцією напрацювання.

Для повного опису процесу зношування недостатньо одного рівняння середнього зносу, тому що воно не виражає таких важливих властивостей випадкової функції, як розсіювання та перемішування реалізацій. Для математичного опису процесу зношення необхідні принаймні три рівняння. Перше з них повинне задовільно виражати математичне очікування випадкового процесу накопичення зносу за напрацюванням (тобто невикладкову складову процесу зношення). Друге рівняння повинне описувати верхню довірчу межу випадкового процесу (криву, про яку із заданим ступенем ризику можна стверджувати, що жодна реалізація процесу зношення не пройде вище неї). Третє рівняння повинне визначати нижню довірчу межу процесу накопичення зносу. Ці всі рівняння в сукупності повинні утворювати математичну модель процесу зношення.

Аналіз статистичних закономірностей зносу кола кочення колісних пар (прокату) дає змогу сформулювати основні вимоги до математичної моделі. Вона повинна

враховувати випадковий характер такого процесу зношення й виявляти особливості накопичення зносу в нормальній експлуатації. Крім того, ця модель повинна бути зручною для інженерних розрахунків і не суперечити досвіду експлуатації. Остання вимога є головною. Чим більш точно математична модель відповідає об'єктивно існуючому випадковому процесу зношення в умовах нормальної експлуатації, тим вона краща.

Так, обробка зібраних статистичних даних по колісних парах електропоїздів дала змогу зробити висновок про нелінійний характер процесу їхнього зношення. Було встановлено, що швидкість зношення колісних пар \bar{v} є функцією величини накопиченого зносу δ [6]

$$\bar{v} = \frac{d\delta}{dt} = f(\delta), \quad (1)$$

де t – тривалість роботи колісних пар в експлуатації.

Рівняння (1) можна подати у вигляді нескінченного степеневого ряду

$$\frac{d\delta}{dt} = c + k\delta + k_1\delta^2 + \dots + k_{n-1}\delta^n. \quad (2)$$

У лінійній моделі використовують тільки перший член цього ряду, вважаючи, що швидкість зношення залишається постійною протягом усього періоду експлуатації. У нелінійній моделі сильний кореляційний зв'язок між швидкістю зношення й накопиченим зносом дає змогу обмежитися тільки двома першими членами ряду (2), нехтуючи іншими. Перетворюючи рівняння (2), інтегруючи ліву і праву його частини відповідно за часом і зносом та вважаючи, що при напрацюванні t_1 середня величина зношення дорівнює δ_1 , будемо мати

$$t - t_1 = \frac{1}{k} \ln \frac{c + k\delta}{c + k\delta_1}. \quad (3)$$

Переходячи до десяткових логарифмів, одержимо

$$t - t_1 = \frac{1}{k \lg e} \lg \frac{\frac{c}{k} + \bar{\delta}}{\frac{c}{k} + \bar{\delta}_1}. \quad (4)$$

Позначивши вирази

$$A = \frac{1}{k \lg e}, \quad (5)$$

$$h = \frac{c}{k}, \quad (6)$$

і підставивши їх у рівняння (4) та розв'язавши його щодо середнього зносу $\bar{\delta}$, одержимо експоненціальне рівняння, яке виражає математичне очікування процесу зношення

$$\bar{\delta} = (\bar{\delta}_1 + h) \cdot 10^{\frac{t-t_1}{A}} - h. \quad (7)$$

Коефіцієнт A , що вимірюється в одиницях напрацювання (годинах або кілометрах пробігу), визначає форму кривої зносу й інтерпретується як коефіцієнт довговічності. Величина h вимірюється в одиницях зносу (міліметр, мікромметр). Вона визначає положення кривої відносно початку координат і є коефіцієнтом її зсуву. Дана величина дорівнює відстані від початку координат до асимптоти цієї кривої, узятій зі зворотним знаком.

Отримане експоненціальне рівняння (7) припускає нормальний розподіл зносу для будь-якого моменту часу. У цьому випадку нижню δ' і верхню δ'' довірчі межі процесу зношення можна описати тим же експоненціальним рівнянням

$$\delta' = (\bar{\delta}_1 + t_{\beta}^- \cdot \sigma_1 + h) \cdot 10^{\frac{t-t_1}{A}} - h, \quad (8)$$

$$\delta'' = (\bar{\delta}_1 - t_{\beta}^+ \cdot \sigma_1 + h) \cdot 10^{\frac{t-t_1}{A}} - h, \quad (9)$$

де $\bar{\delta}_1$ – середній знос у момент часу t_1 ;

σ_1 – середньоквадратичне відхилення зносу при тривалості роботи t_1 ;

t_{β} – табличний коефіцієнт, що залежить від прийнятої довірчої ймовірності β .

Підставивши в рівняння (8) і (9) замість δ' і δ'' значення верхньої і нижньої довірчих меж у момент часу t_2 й розв'язавши їх спільно, одержимо вирази для визначення величин A і h

$$A = \frac{t_2 - t_1}{\lg \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}, \quad (10)$$

$$h = \frac{\bar{\delta}_2 - \bar{\delta}_1 \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}{\frac{\sigma_2}{\sigma_1} - 1}, \quad (11)$$

де $\bar{\delta}_2$ і σ_2 — середнє зношення і його середньоквадратичне відхилення в момент часу t_2 .

За допомогою експоненціальної ймовірнісної моделі можна визначити середній $L_{\bar{\delta}}$, мінімальний L_{min} і максимальний L_{max} пробіг колісної пари, застосувавши у формулах (7) - (9) значення $\bar{\delta} = \delta_{\bar{\delta}}$, $\delta' = \delta_{min}$, $\delta'' = \delta_{max}$, $t = L_{\bar{\delta}}$, $t_1 = L_{min}$, $t_2 = L_{max}$.

У результаті цього одержимо

$$L_{\bar{\delta}} = A \lg \frac{\delta_{\bar{\delta}} + h}{\bar{\delta}_1 + h} + L_1; \quad (12)$$

$$L_{min} = A \lg \frac{\delta_{\bar{\delta}} + h}{\delta_{min} + h} + L_1; \quad (13)$$

$$L_{max} = A \lg \frac{\delta_{\bar{w}} + h}{\delta_{max} + h} + L_1. \quad (14)$$

Рівняння (12) - (14) дають можливість за допомогою статистичного дослідження прокату колісних пар в експлуатації протягом двох значень напрацювання L_1 й L_2 , які досить відрізняються один від одного, знайти рівняння математичного очікування й рівняння довірчих меж процесу зношування в реальних умовах експлуатації.

На основі даної методики були проведені спостереження за колісними парами трьох електропоїздів від початку вводу в експлуатацію до досягнення

пробігу 100 000 км і визначені залежності збільшення прокату колісних пар по колу кочення в такому вигляді:

$$\delta_{\bar{w}} = 21,68 \cdot 10^{\frac{L-30 \cdot 10^3}{1,245 \cdot 10^7}} - 20,74, \quad (15)$$

$$\delta_{min} = 21,53 \cdot 10^{\frac{L-30 \cdot 10^3}{1,245 \cdot 10^7}} - 20,74, \quad (16)$$

$$\delta_{max} = 21,84 \cdot 10^{\frac{L-30 \cdot 10^3}{1,245 \cdot 10^7}} - 20,74. \quad (17)$$

За даними рівняннями побудовані графічні залежності, які наведені на рисунку.

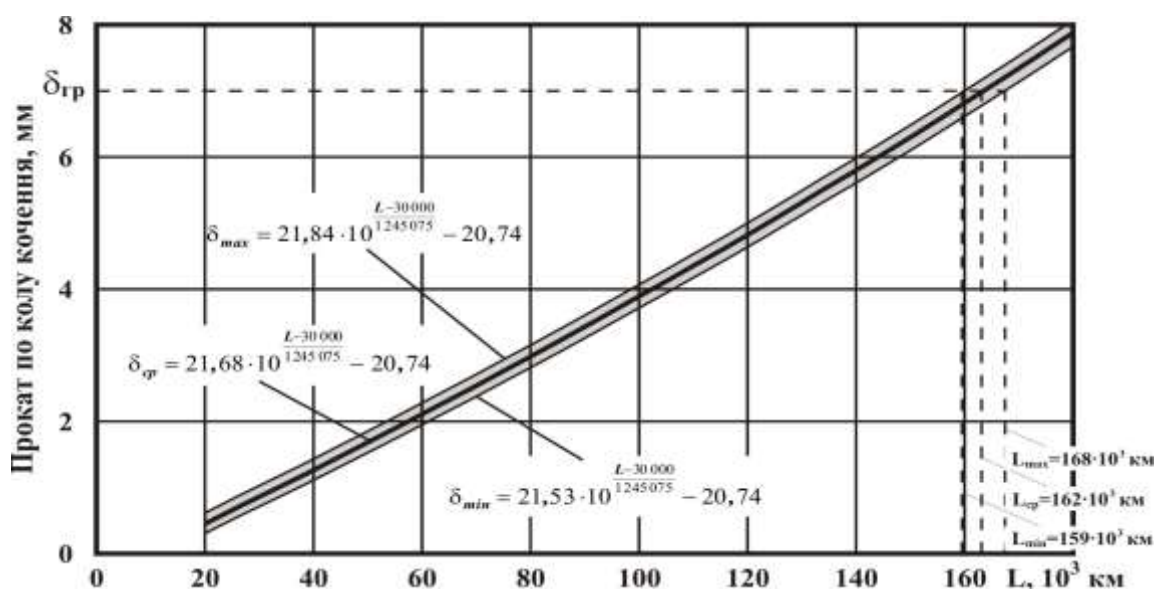


Рис. Залежність прокату колісних пар електропоїздів від їх пробігу в експлуатації

Виходячи з наведених графічних залежностей, задаючись бракувальним зносом $\delta_{\bar{w}}$, можна спрогнозувати середній, мінімальний і максимальний прокат даних колісних пар. Так, при бракувальному значенні $\delta_{\bar{w}}=7$ мм середній пробіг до обточки колісних пар складе $L_{\bar{w}}=162 \cdot 10^3$ км, мінімальне напрацювання

$L_{min} = 159 \cdot 10^3$ км, а максимальний пробіг $L_{max} = 168 \cdot 10^3$ км.

Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток у даному напрямку

1. Виконано аналіз існуючих методик визначення зношування характерних вузлів тертя. Виявлено, що для визначення їхнього зносу необхідний принципово

новий підхід, що враховує його старіння й інші фактори, що діють в експлуатації.

2. Запропоновано математичну модель, яка на підставі статистичних даних дає змогу застосовувати експоненціальний вид процесу зношування. На підставі даної моделі для колісних пар електропоїздів за статистичними даними вимірів величин прокату у фіксовані моменти часу

запропоновано прогнозувати їх працездатність до подальшої обточки.

3. Визначено залежності прокату колісних пар по колу кочення електропоїздів і розраховані їх середні, мінімальні й максимальні значення довговічності при досягненні бракувальних меж в експлуатації.

Список використаних джерел

1. Бородин, А.В. Повышение работоспособности бандажей колесных пар локомотивов [Текст] / А.В. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2000. – № 8. – С. 47-48.
2. Войнов, К.И. Прогнозирование надежности механических систем [Текст] / К.И. Войнов. – Л.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
3. Гриб, В.В. Метод прогнозирования ресурса узлов трения [Текст] / В.В. Гриб // Надежность и контроль качества. – 1979. – № 4. – С. 26-31.
4. Клемушин, Ф.М. Прогнозирование остаточного ресурса деталей дизелей [Текст] / Ф.М. Клемушин // Проблемы трения и изнашивания. – 1979. – № 16. – С. 24-27.
5. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ [Текст] / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Камбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
6. Крылов, К.А. Долговечность узлов трения самолетов [Текст] / К.А. Крылов, М.Е. Хаймзон. – М.: Транспорт, 1976. – 184 с.
7. Портман, В.Т. Оценка долговечности деталей машин по результатам эксплуатационных наблюдений [Текст] / В.Т. Портман // Вестник машиностроения. – 1979. – № 4. – С. 10-13.
8. Проников, А.С. Надежность машин [Текст] / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
9. Сапронова, С.Ю. Наукові основи формоутворення та оптимізація ремонтних профілів коліс локомотивів протягом експлуатаційного життєвого циклу [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / С.Ю. Сапронова. – Луганськ, 2012. – 384 с.
10. Тартаковский, И.Б. К расчету деталей машин на износ [Текст] // Износ и антифрикционные свойства материалов / И.Б. Тартаковский. – М.: Наука, 1968. – С. 128-153.

Бабанін Олександр Борисович, доктор техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99. E-mail: babanin_a_b@mail.ru
Бульба Вадим Ігорович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99.

Babanyn Alexander B. PhD, Professor of maintenance and repair of rolling stock Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99. E-mail: babanin_a_b@mail.ru
Tuber Vadim I. postgraduate of maintenance and repair of rolling stock Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-19-99.