

## ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ НАПРАЦЮВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ТЕД ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ

У статті розглянутий один із варіантів визначення функції опірності ізоляції обмоток збудження ТЕД за значеннями зворотної напруги на основі згладжування функцій та теорії відновлення технічних об'єктів.

В статье рассмотрен один из вариантов определения функции сопротивляемости изоляции обмоток возбуждения ТЭД по значениям возвратного напряжения на основе сглаживания функций и теории восстановления технических объектов.

The article examines one of the options of determining the function of insulation resistance in tractive electric motor excitation windings, according to the values of reverse voltage, based on approximation of functions and the theory of technical objects recovery.

Теорія надійності – одна з наймолодших наукових дисциплін нашого часу, хоча багато основних її питань з'явилися вже давно і знаходили на практиці достатньо широке застосування. Те, нове, що приніс наш час значною мірою зводиться до свідомого виділення поняття надійності виробів і тих характеристик, що дозволяють об'єктивно описувати якість виробу, його пристосованість до тривалої безвідмовної роботи, а також кількісне порівняння досягнутої надійності з тією, що запроєктована або ж необхідна для нормальної експлуатації.

У природі не існують матеріали абсолютно однорідні та які не змінюють протягом часу свої властивості, тому не може бути й абсолютно надійності виробів. Такі зміни носять випадковий характер, що заздалегідь невизначений і непомітний для ока.

Відомо також і те, що згодом властивості виробу змінюються або, як говорять, він старіє, причому навіть не працюючи. Іноді непрацюючий виріб утрачає свої робочі властивості швидше, чим якби він нормально працював. Вивчення характеру старіння виробу, втрати його якостей у процесі експлуатації являє собою важливу задачу теорії надійності. Це особливо актуально для задачі прогнозу несправностей.

На сьогоднішній день задача прогнозування залишкового ресурсу ізоляції тягових електродвигунів (ТЕД) локомотивів однозначно не вирішена. Необхідна надійність ізоляції ТЕД забезпечується періодичним контролем і проведенням профілактичних ремонтів. Тривалість міжремонтних періодів не є оптимальною величиною, оскільки локомотивам дово-

диться працювати в різних умовах експлуатації [1].

Метою даної роботи є: визначення функції опірності ізоляції ТЕД по отриманих вимірах зворотної напруги, базуючись на теорії відновлення технічних об'єктів і теорії згладжування функцій; побудова інтегральної функції розподілу відмов ізоляції по побудованій функції опірності для виконання обчислювальних експериментів визначення оцінок залишкового ресурсу ізоляції.

За використані експериментальні дані для апроксимації функції зворотної напруги  $U(x)$  взяті спостереження, описані в статті А. С. Серебрякова [2], стосовно тягового електродвигуна НБ-406. Функція зворотної напруги будується у вигляді

$$U(x) = \frac{C}{(t + \alpha)^m}. \quad (1)$$

Відповідно до спостережень [2], ізоляція обмотки ТЕД проходила відповідну обробку при напрацюваннях  $x_1 = 525$  тис. км,  $x_2 = 875$  тис. км і повне відновлення (заміна обмотки) відбулася при напрацюванні  $x_3 = 1225$  тис. км. Нехай  $x$  напрацювання ТЕД,  $x_1$  – напрацювання, що відповідає  $i$ -му відновленню,  $R_x^V$  – оператор відновлення, в якому  $V$  – обсяг відновлення в момент напрацювання  $x$  [3], тоді, застосувавши оператор відновлення до функції зворотної напруги  $U(x)$ , можна записати:

$$U(x, \gamma, x_1) = R_{x_1}^V U(x) = U(x - \gamma x_1), \dots, x \geq x_1,$$

$$R_{x_2}^V U(x, \gamma, x_1) = U(x - \gamma x_2), \dots, x \geq x_2$$

або

$$U(x, \gamma) = \begin{cases} U(0) = \frac{C}{\alpha^m}, \\ U(x_1) = \frac{C}{(x_1 + \alpha)^m}, \\ R_{x_1}^V U(x) \Big|_{x=x_1} = \frac{C}{(x_1 - \gamma x_1 + \alpha)^m}, \\ R_{x_1}^V U(x) \Big|_{x=x_2} = \frac{C}{(x_2 - \gamma x_1 + \alpha)^m}, \\ R_{x_2}^V U(x, \gamma, x_1) \Big|_{x=x_2} = \frac{C}{(x_2 - \gamma x_2 + \alpha)^m}, \\ R_{x_2}^V U(x, \gamma, x_2) \Big|_{x=x_3} = \frac{C}{(x_3 - \gamma x_2 + \alpha)^m}, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} C > 0, \\ m > 0, \\ \alpha > 0, \\ 0 < \gamma < 1, \end{cases} \quad (4)$$

де  $C > 0$ ,  $\alpha > 0$ ,  $m > 0$ ,  $0 < \gamma < 1$ .

Використовуючи значення зворотної напруги в початковий момент відновлення  $U_0 = U(0) = 225V$  і в моменти відновлення  $x_1, x_2, x_3$  до обробки ізоляції та після:

$$U_1 = U(x_1 - 0) = 155V,$$

$$U_2 = U(x_1 + 0) = 155V,$$

$$U_3 = U(x_2 - 0) = 95V,$$

$$U_4 = U(x_2 + 0) = 150V,$$

$$U_5 = U(x_3 - 0) = 20V,$$

де  $(x_1 - 0)$  – означає значення зворотної напруги в момент відновлення;  $x_1 -$  до обробки ізоляції;  $(x_1 + 0)$  – означає значення зворотної напруги після обробки ізоляції (відновлення)  $i = 1, 2, 3$ .

Складемо вираз відповідно методу найменших квадратів:

$$S^2 = \left( U_0 - \frac{C}{\alpha^m} \right)^2 + \left( U_1 - \frac{C}{(x_1 + \alpha)^m} \right)^2 + \left( U_2 - \frac{C}{(x_1 - \gamma x_2 + \alpha)^m} \right)^2 + \left( U_3 - \frac{C}{(x_2 - \gamma x_1 + \alpha)^m} \right)^2 + \left( U_4 - \frac{C}{(x_2 - \gamma x_2 + \alpha)^m} \right)^2 + \left( U_5 - \frac{C}{(x_3 - \gamma x_2 + \alpha)^m} \right)^2.$$

Мінімізувавши вираз (3) по аргументах  $C$ ,  $\alpha$ ,  $m$ , при обмеженнях

отримаємо оптимальні значення параметрів  $C$ ,  $\alpha$ ,  $m$ ,  $\gamma$ . Підставивши знайдені значення для  $C$ ,  $\alpha$ ,  $m$  у вираз (1), отримаємо шукану залежність для функції зворотної напруги. При вирішенні задачі (3)–(4) можна скористатися математичним пакетом Maple [4] або Matlab [5].

Оптимальним рішенням задачі (3)–(4) для отриманих даних на підставі проведених спостережень є:  $\alpha = 874,1$ ,  $C = 9245500$ ,  $\gamma = 0,6549$ ,  $m = 1,5683$ , при цьому значення функції мети (3) складає  $S^2 = 10178$ . Апроксимуюча функція зворотної напруги має вигляд

$$U(x) = \left( \frac{9245500}{(x + 874,1)^{1,5683}} \right).$$

Таблиця 1

**Апроксимація досліджень зворотної напруги  
ТЕД НБ-406**

Параметр	Оптимальне $m = 1,5683$	Фіксоване $m = 1$
$\alpha$	874,4	523,5
$C$	9245500	117800
$m$	1,5683	
$\gamma$	0,6549	0,6582
Функція цілі $S^2$	10178	10874

При фіксованому значенні  $m = 1$  отримано таке рішення:  $\alpha = 523,5$ ,  $\gamma = 0,6582$ ,  $C = 117800$ , значення функції мети (3) складає  $S^2 = 10874$ . Апроксимуюча функція зворотної напруги прийме вигляд

$$U(x) = \frac{117800}{x + 523,5}.$$

Інтегральна функція розподілу відмов ТЕД, що відповідає функції зворотної напруги  $U(x)$ , має вигляд

$$F_U(x) = \begin{cases} 0, & U(x) > b \\ \frac{b - U(x)}{b - a}, & a \leq U(x) \leq b, \\ 1, & U(x) < a \end{cases}$$

зміст величин  $a, b$  описаний вище. Реалізація випадкової величини  $t$ , розподіленої з інтегральною функцією розподілу  $F_U(x)$ , може бути отримана відповідно з виразів

$$t = -\alpha + \left[ \frac{C}{b - \theta(b-a)} \right]^{\frac{1}{m}}$$

або

$$t = -\alpha + \frac{t_{\min} + \alpha}{\left\{ 1 - \theta \left[ 1 - \left( \frac{t_{\min}}{t_{\max}} \right)^m \right] \right\}^{\frac{1}{m}}},$$

де  $\theta$  – випадкова величина розподілена по рівномірному закону в інтервалі  $(0, 1)$ .

При реалізації значень випадкової величини  $t$  варто брати позитивні значення.

### Висновки

1. Функція опору пробою ізоляції обмотки ТЕД  $\varphi(t)$  може мати вигляд

$$\varphi(t) = \frac{C}{(\alpha + t)^m},$$

де величини  $C = \text{const}$  і  $\alpha = \text{const}$  визначають властивості матеріалу ізоляції,  $t$  – напруження,  $m$  – позитивне дійсне число.

Якщо параметри  $C$  і  $\alpha$  задані, то інтегральною функцією розподілу відмов ізоляції ТЕД, що відповідає побудованій функції опірності, є функція виду

$$F_0(t) = \begin{cases} 0, & t \leq t_{\min}; \\ 1 - \left( \frac{t_{\min} + \alpha}{t + \alpha} \right)^m, & t_{\min} \leq t \leq t_{\max}; \\ 1 - \left( \frac{t_{\min} + \alpha}{t_{\max} + \alpha} \right)^m, & t_{\min} \leq t \leq t_{\max}; \\ 1, & t > t_{\max}. \end{cases}$$

Надалі, базуючись на отриманих результатах, можлива побудова раціональної системи утримання ТЕД з урахуванням реальних умов експлуатації.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Отчет по НИР: Аналіз технічного стану і розробка пропозицій з раціонального утримання локомотивів, № 32.28.02.03, № 0102U005869. – Д., ДПТ, 2003. – 114 с.
2. Серебряков А. С. Методы диагностики корпусной изоляции тяговых двигателей // Локомотив, 1998, № 12. – М., с. 24–25.
3. Босов А. А. Аксиоматическое построение математической теории восстановления // Вестник ХГУ, № 174. Прикладная математика и механика. Вып. 43, 1978. – С. 50–55.
4. Говорухин В. Н., Цибулин В. Г. Введение в Maple V. Математический пакет для всех. – М.: Мир, 1997.
5. Потемкин В. Г. Система инженерных и научных расчетов Matlab 5.x. в 2-х т. – М.: Диалог – МИФИ, 1999.

Надійшла до редколегії 08.10.03.