

УДК 621.372

*В. Г. Гришко  
А. Н. Музашвілі*

### ІДЕНТИФІКАЦІЯ РІВНЯ ЗНОСУ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК ТЯГОВОГО ДВИГУНА В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*В статті розглядається метод, який дозволяє зробити оцінку ступеня зносу ізоляції обмоток тягового двигуна безпосередньо у процесі експлуатації, використовуючи інформацію про тренд споживаного струму, що дозволяє реалізувати ремонтні роботи, зважаючи на реальний технічний стан двигуна.*

*В статье рассматривается метод, который позволяет сделать оценку степени износа изоляции обмоток тягового двигателя непосредственно в процессе эксплуатации, используя информацию о тренде потребляемого тока, что позволит осуществлять ремонтные работы исходя из реального технического состояния двигателя.*

*In the article a method is examined that allows to do the estimation of degree wear isolation the windings of hauling engine, directly in the process of exploitation, using information about the trend consumable current, allows to realize repair works coming from the real technical condition of the engine.*

**Ключові слова:** струм, тренд, ізоляція обмотки, тяговий двигун.

- До основних причин відмов тягових двигунів належать:
- застосування електроізоляційних матеріалів низької якості;
  - недосконала технологія накладення системи ізоляції;
  - застаріле ремонтне обладнання;
  - недостатній рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Також не є оптимальною система підтримання ізоляції в надійному стані за даними пробігу, оскільки умови експлуатації ТЕД не однакові, відповідно не однаково відбувається і старіння ізоляції, тому не кожен двигун з пробігом 1400 тис. км обов'язково потребує заміни обмотки. Інколи достатній більш дешевий середній ремонт, тобто чистка, просочування і сушка обмотки. Таким чином якщо оцінювати реальний стан ізоляції, то можна з меншими затратами продовжити строк служби двигуна без зниження надійності його роботи, а також завчасно виявити несправності в процесі експлуатації. Особливу актуальність така постановка мети постала в сучасних умовах у зв'язку з великим дефіцитом міді і ізоляційних матеріалів.

В процесі роботи електричних машин в окремих її вузлах відбуваються втрати електричної енергії, яка перетворюється в тепло, що виділяється, в основному, в мідній обмотці, металевій серцевині якоря і полюсів, а також якірних підшипників.

© *Гришко В. Г., Музашвілі А. Н., 2013*

Температура нагріву цих вузлів, в основному, і визначає строк їхньої служби. Наприклад, при перевищенні допустимої температури ізоляції на 8°C, строк її використання зменшується приблизно в два рази [1].

Основною причиною виходу з ладу ізоляційних матеріалів є теплова втома, що відбувається під дією робочих температур і супроводжуються погіршенням механічних властивостей ізоляції. Теплове старіння ізоляції пов'язане з полімеризацією, усушкою і вивітрюванням деяких її компонентів, що викликає появу мікроскопічних тріщин і пор. На інтенсивність старіння ізоляції значний вплив має значення і тривалість дії робочих температур, межі і частота зміни температур, напруженість електричного поля, вологість, хімічна дія і тому подібне.

Згідно з ГОСТ 2582-81 дозволяється відхилення частоти обертання при струмі, що відповідає номінальній потужності в межах  $\pm 4\%$ . Зрозуміло, що двигуни, які встановлені на одному електровозі, з різними (в інтервалі допуску) швидкісними характеристиками будуть навантажені різним струмом. Те ж саме ми будемо спостерігати, якщо діаметри коліс (в межах допуску) будуть неоднаковими. А якщо до вказаного долучити флуктуації напруги споживання, навантажень, характеру руху та інше, то стає очевидним доцільність індивідуального спостереження за змінами ресурсної динаміки кожного тягового двигуна безпосередньо в процесі експлуатації.

Значення реальної температури обмоток тягового двигуна дозволило б оперативно вирішувати питання пов'язане з підтриманням ресурсу ізоляції, але отримати значення температур в умовах експлуатації практично неможливо. Зважаючи на це, нам потрібна якась величина, що достатньо добре корилується, для її виміру з температурою обмоток. На наш погляд як останню можна використати струм, що споживається тяговим двигуном.

Коректність методу аналізу та інтерпретація результату значною мірою залежить від деяких основних властивостей даних, які аналізуються. Визначення ККД відповідно до навантаження супроводжується багатьма ускладненнями, які обумовлені тим, що при порушенні цілісності ізоляції споживаний струм збільшується, хоча навряд чи нам вдасться встановити величину зміни ККД, оскільки значення втрат нам не відоме. Якщо основні фізичні фактори, що визначають процеси споживання струму тяговим двигуном, не залежать від часу, то ми можемо задатися тим, що процес стаціонарний і проблема деградації ізоляції відсутня.

Маючи ці допущення, пропонується така послідовність дій для перевірки стаціонарності випадкового процесу споживання струму тягового двигуна по окремих його реалізаціях:

1. Маємо N реалізацій процесу руху рухомого складу
2. Визначається оцінка середніх значень і дисперсій для кожної реалізації.

$$E[i(k)] = \int_{-\infty}^{\infty} ip(i)di = \mu_i \quad (1)$$

де  $E[ ]$  – математичне очікування виводиться в квадратних дужках за індексом k. Дисперсія  $i(k)$  визначається як середня квадратична різниця  $i(k)$  і її середнього значення, тобто:

$$E[(i(k) - \mu_i)^2] = \int_{-\infty}^{\infty} (i - \mu_i)^2 p(i)di = \sigma_i^2 \quad (2)$$

3. Отримані оцінки розташовані в порядку приросту номера реалізації:

$$\overline{i_1^2}, \overline{i_2^2}, \overline{i_3^2}, \dots, \overline{i_N^2}$$

4. Ця послідовність оцінок середнього квадрату перевіряється на наявність тренду.

Допустимо, що послідовність оцінок середнього квадрату вибірки ( $\overline{i_1^2}, \overline{i_2^2}, \overline{i_3^2}, \dots, \overline{i_N^2}$ ), що складена з незалежних спостережень над стаціонарною випадковою послідовністю з середнім  $\psi_i^2$ . Якщо ця гіпотеза вірна, то зміна послідовності середніх значень будуть мати випадковий характер і не матимуть в своєму складі тренда.

Розглянемо послідовність з  $N$  спостережень струму, що споживається тяговим двигуном  $i_k$ , де  $k=1\overline{N_p}$ , і підрахуємо скільки раз в послідовності має місце нерівність  $i_k > i_m$  за умови  $k < m$ . Кожна така нерівність називається інверсією, позначимо через  $A$  загальну кількість інверсій. Значення  $A$  вираховуємо таким чином: Визначаємо для більшості спостережень  $i_1, i_2, \dots, i_N$  величини:

$$h_{k_1 m} = \begin{cases} 1, & i_k > i_m \\ 0, & i_k \leq i_m \end{cases} \quad (3)$$

Тоді :

$$A = \sum_{k=1}^{N-1} A_k \quad A_k = \sum_{m=k+1}^N h_{k_1 m} \quad (4)$$

Якщо послідовність з  $N$  реалізацій споживаного тяговим двигуном струму розглядати як послідовність незалежних величин, то кількість інверсій є випадковою величиною  $A$  з середнім значенням і дисперсією. [2]

$$\mu_A = \frac{N(N-1)}{4} \quad (5)$$

$$\sigma_A^2 = \frac{2N^3 - 3N^2 - 5N}{72} = \frac{N(2N+5)(N-1)}{72} \quad (6)$$

Якщо відсутня деградація ізоляції обмоток тягового двигуна, то ми маємо справу з стаціонарним випадковим процесом і тренд буде відсутній. Якщо ж розпочинається процес руйнування ізоляції то це призведе до збільшення втрат потужності і відповідно збільшення споживаного струму, процес переходить до розряду нестаціонарних.

Нехай дана деяка оцінка  $\hat{\Phi}$ , побудована за вибіркою з  $N$  незалежних спостережень випадкової величини  $i$ . Припустимо, що є основа вважати істинне значення оцінюваного параметру рівним  $\Phi_0$ . Однак навіть якщо істинне значення параметру  $\Phi$  рівне  $\Phi_0$ , не буде в точності рівна  $\Phi_0$  через вибіркочну змінність, що присутня для  $\hat{\Phi}$ . Тому виникає таке питання : Якщо припустити, що  $\Phi = \Phi_0$ , то при якому відхиленні  $\hat{\Phi}$  від  $\Phi_0$  ця гіпотеза повинна бути відхилена як неможлива?

На це питання відповідь потрібно дати вираховуючи ймовірність будь-якого значущого відхилення  $\hat{\Phi}$  від  $\Phi_0$  по вибіркочному розподілу  $\hat{\Phi}$ . Якщо ймовірність такого відхилення мала, то відмінність варто вважати значним, і гіпотеза  $\Phi = \Phi_0$  повинна бути відхилена. Якщо ж ймовірність такого відхилення велика, то йому варто надати значення природної статистичної змінності, і гіпотеза  $\Phi = \Phi_0$  може бути прийнята.

Виконуючи такий аналіз щодо кожного тягового двигуна електровоза, в процесі його експлуатації ми надаємо можливість оцінки ступеня зносу ізоляції тягового двигуна і відповідно доцільності втручання ремонтних підрозділів для збільшення ресурсної динаміки того чи іншого тягового двигуна.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Захарченко Д. Д., Ротанов Н. А. Тяговые электрические машины. – М.: Транспорт, 1991. – 343с.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1989. – 540с.