

**А.В. Шаповалов**

(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім.В. Лазаряна)

## **СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ВІДХИЛЕНЬ РОЗМІРІВ ЕЛЕМЕНТІВ МАГНІТНОГО КОЛА ДОДАТКОВИХ ПОЛЮСІВ ЕЛЕКТРОВОЗНИХ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ НА ЇХ СТУПІНЬ ІСКРІННЯ**

За різними технологічними та іншими причинами під час ремонту тягових двигунів в локомотивних депо та на ремонтних заводах розміри елементів магнітного кола додаткових полюсів (висота осердя, розточка остова та ін.) можуть відхилятися від номінальних розмірів, які зазначені в кресленнях на двигуни.

Це впливає на значення розміру повітряного проміжку між якорем та осердям додаткового полюса і відповідно на ступінь комутації. Для визначення цього впливу з урахуванням фактичних розмірів автором зібрано статистичні матеріали на одному із заводів з ремонту тягових двигунів електровозів. Заміри проведені для двадцяти п'яти двигунів НБ-511, тридцяти одного двигуна типу ЕД-141, п'ятнадцяти двигунів СТК-520.

За результатами обробки статистичних даних, замірів були побудовані відповідні гістограми замірів для кожного із елементів, які впливають на значення повітряного проміжку між осердям додаткового полюса (ДП) та якоря. Побудовані гістограми підтвердили, що вказані відхилення розподілені за нормальним законом.

Магнітне коло додаткового полюса пропонується розглядати з точки зору теорії розмірних кіл [1]. Будь-яке розмірне коло має замикаючу ланку та декілька складових ланок. Для магнітного кола ДП тягового двигуна замикаючою ланкою є повітряний проміжок між якорем та ДП.

Визначення розмірів замикаючої ланки виконуємо відомими в машинобудуванні методами розрахунку розмірних кіл: імовірнісний метод та метод максимуму-мінімуму.

Проаналізувавши дані статистичної вибірки, визначимо за допомогою функції Лапласа [2] імовірність можливого відхилення випадкової величини відносно математичного очікування кожної ділянки магнітного кола ДП для максимального та мінімального випадків замірів. Результати розрахунків для деяких тягових двигунів наведені в табл. 1.

Пропонується наступна методика визначення граничних відхилень повітряного проміжку між ДП та якорем з використанням імовірнісного методу.

За законом розподілу декількох незалежних величин, що підлягають якомусь закону розподілення, може бути записаний вираз:

$$s_S = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_n^2} . \quad (1)$$

## Ймовірності можливого відхилення випадкової величини

Тип двигуна	Ймовірність отримання мінімального розміру при мінімальному замірі			Ймовірність отримання максимального розміру при максимальному замірі		
	Розточка остова	Висота осердя ДП	Діаметр якоря	Розточка остова	Висота осердя ДП	Діаметр якоря
НБ-511	0,936	0,93	0,91	0,63	0,99	0,964
СТК-520	0,975	0,95	0,94	0,697	0,95	0,962
ЕД-141	0,97	0,99	0,97	0,9	0,895	0,972

Формула (1) є вихідною для отримання основних формул імовірнісного методу розрахунку розмірних кіл. Визначим допуск замикаючого (вихідного) розміру шляхом квадратичного підсумовування допусків складових розмірів:

$$TA_0 = \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} TA_j^2} = \sqrt{TA_1^2 + TA_2^2 + TA_3^2 + TA_4^2}, \quad (2)$$

де  $TA_0$  – допуск вихідної ланки;  $m$  – кількість ланок в розмірному колі;  $j$  – номер ланки розмірного кола;  $TA_1$  – допуск на розточку остова;  $TA_2$  – допуск на висоту ДП;  $TA_3$  – допуск на діаметр якоря;  $TA_4$  – допуск на висоту діамагнітної прокладки.

Середнє відхилення полів допусків назначених для складових ланок:

$$Em(A_j) = 0,5(ES(A_j) + EI(A_j)), \quad (3)$$

де  $ES(A_j)$  – збільшена величина допуску даної ланки;  $EI(A_j)$  – зменшена величина допуску даної ланки.

Середнє відхилення замикаючої ланки (повітряного проміжку між головним полюсом та якорем)

$$Em(A_0) = \sum_{j=1}^n Em(A_j) - \sum_{j=1}^p Em(A_j), \quad (4)$$

де  $\sum_{j=1}^n Em(A_j)$  – сума збільшених середніх відхилень даного розмірного кола;

$\sum_{j=1}^p Em(A_j)$  – сума зменшених середніх відхилень даного розмірного кола.

Верхнє і нижнє відхилення замикаючої ланки відповідно:

$$Es( A_{j,0} ) = Em( A_{j,0} ) + 0,5TA_{j,0}; \quad (5)$$

$$Ei( A_{j,0} ) = Em( A_{j,0} ) - 0,5TA_{j,0}, \quad (6)$$

де  $Em( A_{j,0} )$  – середнє значення ланки;  $\pm 0,5TA_{j,0}$  – відхилення від номінального розміру.

Використовуючи вищенаведені формули розрахунку розмірних кіл, визначають граничні відхилення замикаючої ланки (повітряного проміжку між ДП та якорем) для різних тягових двигунів.

Результати розрахунків наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Значення граничних відхилень замикаючої ланки згідно з імовірнісним методом**

Тип двигуна	Номінальний розмір сумарного проміжку магнітного кола ДП, мм	Граничні відхилення замикаючої ланки (повітряного проміжку), мм	
		У меншу сторону	У більшу сторону
НБ-511	5	-0,076	+0,846
СТК-520	5	-0,406	+0,844
ЕД-141	5,75	-1,325	+1,925

Пропонується наступна методика визначення граничних відхилень повітряного проміжку між ДП та якорем з використанням методу максимуму-мінімуму.

Номінальний розмір замикаючої ланки за умови замкнутості контуру, що утворює розрахункову схему розмірного кола, дорівнює алгебраїчній сумі збільшених та зменшених ланок, тобто

$$A_0 = \sum_{j=1}^{m-1} A_j, \quad (7)$$

де  $m - 1$  – загальне число складових ланок.

Враховуючи знаки збільшених та зменшених ланок, запишемо:

$$A_0 = \sum_{j=1}^n A_j - \sum_{j=1}^p A_j, \quad (8)$$

де  $n$  та  $p$  – число збільшених та зменшених ланок відповідно.

Верхнє і нижнє відхилення замикаючої ланки відповідно:

$$Es( A_0 ) = \sum_{j=1}^n Es( A_j ) - \sum_{j=1}^p Ei( A_j ); \quad (9)$$

$$Ei(A_0) = \sum_{j=1}^n Ei(A_j) - \sum_{j=1}^p Es(A_j). \quad (10)$$

Так як різниця граничних відхилень дорівнює допуску і  $n + p = m - 1$ , то знаходимо допуск замикаючої ланки як:

$$TA_0 = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j. \quad (11)$$

Використовуючи вищенаведені формули розрахунку розмірних кіл, визначаються граничні відхилення замикаючої ланки (повітряного проміжку між ДП та якорем) за допомогою методу максимуму-мінімуму по даним статистичних замірів. Результати розрахунків наведені в табл. 3.

Таблиця 3

**Значення граничних відхилень замикаючої ланки згідно з методом максимуму-мінімуму**

Тип двигуна	Номинальний розмір проміжку магнітного кола ДП, мм	Граничні відхилення замикаючої ланки (повітряного проміжку), мм	
		У меншу сторону	У більшу сторону
НБ-511	5	-2,93	+2,9
СТК-520	5	-1,65	+1,4
ЕД-141	5,75	-1,1	+3,2

Знаючи значення відхилень замикаючої ланки (проміжку) за методами імовірнісним та максимуму-мінімуму, можна розрахувати усі параметри, які потрібні для визначення фактору іскріння і, як наслідок, ступеня іскріння тягових двигунів [3].

### Список літератури

1. Козловский Н.С., Виноградов А.Н. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 284 с.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.
3. Иоффе А.Б. Тяговые электрические машины. – М. – Л.: Энергия, 1965. – 232 с.