

Л.В. ДУБИНЕЦЬ, д.т.н., проф.,
А.В. ШАПОВАЛОВ, асистент

ЗАЛЕЖНІСТЬ СТЕПЕНІ ІСКРІННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ВІД ДОПУСКІВ НА ЕЛЕМЕНТИ МАГНІТНОГО КОЛА ДОДАТКОВИХ ПОЛЮСІВ

В статті розглянуто вплив допусків елементів магнітного кола додаткових полюсів при ремонті тягових двигунів на степінь іскріння. Показано, при яких значеннях повітряного зазору між додатковим полюсом та якорем можливе виникнення граничного допустимого іскріння.

В статье рассмотрены влияние допусков элементов магнитной цепи дополнительных полюсов при ремонте тяговых двигателей на степень искрения. Показано, при каких значениях воздушного зазора между дополнительным полюсом и якорем возможно возникновение предельного допустимого искрения.

У теперішній час на залізницях України гостро стоять питання про продовження терміну експлуатації локомотивів та іншого рухомого складу. При цьому відповідно виникає задача продовження терміну експлуатації тягових двигунів локомотивів.

Переважає кількість двигунів, які знаходяться в експлуатації, на теперішній час вже використовується після їх виготовлення 20 років і більше. За цей час вони вже пройшли відповідні ремонти. Тому при наступних ремонтах з метою продовження терміну експлуатації тягових двигунів виникає питання про можливе коректування допусків на елементи двигунів при їх ремонті.

Ця задача має економічний бік (максимальне використання елементів двигуна при мінімальних об'ємах їх ремонту) та технічний бік (забезпечення після ремонту відповідного рівня надійності). Статистичні данні, зібрані на одному із ремонтних підприємств, показують, що після відновлювального ремонту мають місце деякі відхилення окремих допусків на елементи двигуна від їх номінальних розрахункових значень. Фактичні розміри для деяких елементів наведені у табл. 1.

Таблиця 1

№	Найменування розміру	Кількість замірів	Фактичне максимальне відхилення, мм	Номинальний розмір, мм
Двигун НБ-511				
1	Висота додаткового полюса	25	$71,8^{+1,2}_{-0,7}$	$71,8^{+0,15}_{-0,15}$
2	Розточка остова	11	$904^{+0,7}_{-0,6}$	$904^{+0,2}_{-0,2}$
3	Діаметр якоря	15	$740^{+0,7}_{-0,6}$	$740^{+0,2}_{-0,2}$
4	Діелектричні прокладки [6]	4	$5^{+0,2}_{-0,3}$	$5^{+0,52}_{-0,52}$
Двигун СТК-520				
1	Висота додаткового полюса	10	$38^{+0,3}_{-0,5}$	$38^{+0,15}_{-0,15}$
2	Розточка остова	13	$895^{+0,3}_{-0,25}$	$895^{+0,2}_{-0,2}$
3	Діаметр якоря	12	$740^{+0,4}_{-0,45}$	$740^{+0,2}_{-0,2}$
4	Діелектричні прокладки	4	$11^{+0,25}_{-0,3}$	$11^{+0,52}_{-0,52}$

У даній статті розглядається питання про визначення максимально допустимих відхилень розмірів елементів магнітного кола додаткових полюсів на степінь іскріння на колекторі, тобто на якість комутації.

Відомо, що якість комутації – це один із основних показників, які визначають надійність роботи колекторного двигуна постійного струму в експлуатації.

Зміна розрахункових розмірів неминує впливає на значення небалансної ЕРС Δe , що представляє собою залишкову величину після взаємодії реактивної e_p та комутаційної e_k ЕРС. Відомо, що Δe викликає додатковий поперечний струм комутації $i_{\text{дод}}$, який можна визначити за формулою [2]:

$$i_{\text{дод}} = \frac{(e_p - e_k) + k_p \cdot e_p}{r_{\text{щ}} + r_c} = \frac{\Delta e + k_p \cdot e_p}{r_{\text{щ}} + r_c}, \quad (1)$$

де k_p – коефіцієнт, який оцінює некомпенсовану частину ЕРС [2], $r_{\text{щ}}$ – опір контактів щітка-колектор, r_c – опір секції обмотки якоря.

Значення $r_{\text{щ}}$ визначається формулою [3]:

$$r_{\text{щ}} = \frac{\Delta U}{I_{\text{щ}}} \cdot \gamma \quad (2)$$

де ΔU – спад напруги у двох перехідних шарах контакту щітка-колектор. $\Delta U \approx 1,8$ В [1], $I_{\text{щ}}$ – струм одного щіткотримача, γ – щітчне перекриття.

Поставлена задача вирішується відносно двигуна типу НБ-511, у якого $\gamma = 5,2$ та СТК-520, у якого $\gamma = 4,97$ [5].

Для оцінки впливу $i_{\text{дод}}$ на процес комутації використовуємо критерій А.Б. Іоффе у вигляді фактора іскріння Φ_i [2]

$$\Phi_i = \left(\frac{0,4}{D_k} \right)^{1,5} \frac{L \cdot i_{\text{дод}}^2 \cdot v_k}{2t_k \cdot L_{\text{щ}}}, \quad (3)$$

де D_k – діаметр колектора, м, $L_{\text{щ}}$ – довжина щітки одного щіткотримача, м, L_c – індуктивність комутуючої секції, Гн, v_k – колова швидкість колектора м/с, t_k – колекторна поділка, м.

Значення L_c обчислюємо за формулою [3]

$$L_c = 2\lambda \cdot l_{\text{я}} \cdot w_c^2 \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

де λ – магнітна провідність потоку розсіювання, $l_{\text{я}}$ – довжина пакета заліза якоря, м, w_c – число витків в секції. В нашому випадку $\lambda = 3,7$ для НБ-511, $\lambda = 2,8$ для СТК-520. [5]

Відповідно методу максимуму-мінімуму, який оснований на тому, що при зборці механізму можливе з'днання збільшених деталей та вузлів, виготовлених по найбільшим граничним розмірам і зменшених деталей та вузлів, виготовлених по найменшим граничним розмірам визначимо можливі допуски на дільницю першого повітряного зазору для двигунів НБ-511, СТК-520, при яких степінь іскріння не перевищить $1 \frac{1}{2}$ бала.

Магнітна індукція в зоні комутації дорівнює:

$$B_k = \frac{\Phi_{\text{кст}}}{l_{\text{я}} \cdot b_{\text{зк}}}, \quad (5)$$

де $\Phi_{\text{кст}}$ – магнітний потік в зоні комутації, Вб, $b_{\text{зк}}$ – ширина зони комутації, м.

Комутаційна ЕРС визначається як [3]:

$$e_k = 2l_{\text{я}} \cdot w_c \cdot v_{\text{я}}, \quad (6)$$

де $v_{\text{я}}$ – колова швидкість якоря, м/с.

Магнітне коло ДП ненасичене. При номінальному режимі нехтуємо падінням МРС на дільницях осердя ДП, ярма остова, ярма якоря та зубців із-за їхнього малого значення. Спад МРС на ділянках повітряних зазорів пропорційна їх магнітним опорам.

Відносна частина магнітного опору дільниць повітряних зазорів ДП a_i записується [4]:

$$a_i = \frac{(WI)_i}{\sum_1^n WI} = \frac{F_i}{\sum_1^n F_i}, \quad (7)$$

де F_i – МРС і-ї дільниці, n – кількість дільниць магнітного кола ДП.

Тоді МРС додаткового полюса F_d дорівнює:

$$F_d = F_{aq} - F_{ко} + F_{\delta d} + F_{\delta j}, \quad (8)$$

де F_{aq} – МРС якоря в зоні комутації, $F_{ко}$ – МРС компенсаційної обмотки, $F_{\delta d}$ – спад магнітної напруги в «першому» повітряному зазорі, $F_{\delta j}$ – спад магнітної напруги в «другому» повітряному зазорі.

Згідно (6) відносна частина $a_{\delta d}$ магнітного опору дільниці «першого» повітряного зазору під ДП записується

$$a_{\delta d} = \frac{F_{\delta d}}{F_d - F_{aq} + F_{ко}} = \frac{F_{\delta d}}{F_{\delta d} + F_{\delta j}}. \quad (9)$$

Відповідно до «другого» повітряного зазору під ДП відносна частина $a_{\delta j}$ магнітного опору запишеться:

$$a_{\delta j} = \frac{F_{\delta j}}{F_d - F_{aq} + F_{ко}} = \frac{F_{\delta j}}{F_{\delta d} + F_{\delta j}}. \quad (10)$$

Спади МРС на усіх дільницях, крім повітряного зазору, мають невеликі значення.

При цій умові у відповідності з формулою про дисперсію функції n мірних незалежних випадкових величин можна у першому наближенні записати відносне відхилення магнітного потоку $\sigma_{\Phi_{кв}}$ у зоні комутації у вигляді:

$$\sigma_{\Phi_{кв}}^2 = a_{\delta d}^2 \sigma_{\delta_{de}}^2 + a_{\delta j}^2 \sigma_{\delta_{je}}^2, \quad (11)$$

де $\sigma_{\delta_{de}}$ – відносний допуск на величину «першого» повітряного зазору під ДП, $\sigma_{\delta_{je}}$ – відносний допуск на величину «другого» повітряного зазору під ДП.

$$\sigma_{\delta_{de}} = \frac{\sigma_{\delta d}}{\delta_d}, \quad (12)$$

$$\sigma_{\delta_{je}} = \frac{\sigma_{\delta j}}{\delta_j}, \quad (13)$$

де δ_d , δ_j – номінальне значення «першого» та «другого» повітряних зазо-

рів, σ_{δ_d} , σ_{δ_j} – можливі відхилення «першого» та «другого» повітряних зазорів під ДП.

Тоді магнітний потік $\Phi_{\kappa\sigma}$ у зоні комутації з урахуванням можливих відхилень значень зазорів дорівнює:

$$\Phi_{\kappa\sigma} = \Phi_{\kappa} \pm \Phi_{\kappa} \cdot (\sigma_{\Phi_{\kappa\sigma}}) . \quad (14)$$

Згідно (10):

$$\sigma_{\Phi_{\kappa\sigma}} = \sqrt{a_{\delta_d}^2 \sigma_{\delta_{ds}}^2 + a_{\delta_j}^2 \sigma_{\delta_{js}}^2} . \quad (15)$$

Таким чином, маючи відхилення магнітного потоку в зоні комутації, ми можемо визначити e_k , $i_{дон}$ і, як наслідок, Φ_i .

Залежність степені іскріння від фактора іскріння Φ_i показана на рис. 1. [2].

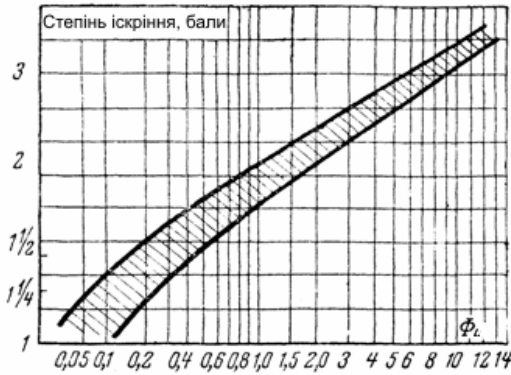


Рис. 1

Результати розрахунків згідно наведеної методики для двигунів НБ-511 та СТК-520 наведені у табл. 1. Значення необхідних параметрів прийняті згідно [записки].

Таблиця 1

Відхилення повітряного зазору (мм)	Додатковий поперечний струм (А)	Фактор іскріння	Іскріння, бали
Двигун типу НБ511			
+0,85	10,66	0,13	1 1/4
-0,85	-4,4	0,023	1
+1,5	13,4	0,21	від 1 1/4 до 1 1/2
-1,5	-7,15	0,06	більше 1
+2	15,54	0,29	від 1 1/4 до 1 1/2
-2	-9,3	0,1	1 1/4
+3	19,9	0,46	більше 1 1/2
-3	-13,6	0,22	більше 1 1/4
Двигун типу СТК-520			
+0,85	8	0,067	1
-0,85	-2,2	0,006	1
+1,5	9,5	0,094	1 1/4
-1,5	-3,7	0,014	1
+2	10,7	0,12	1 1/4
-2	-4,87	0,025	1
+3	13	0,18	більше 1 1/4
-3	-7,2	0,054	до 1 1/4

По даним табл. 1 побудовані функції $\Phi_i = f(\delta_d)$ (рис. 2).

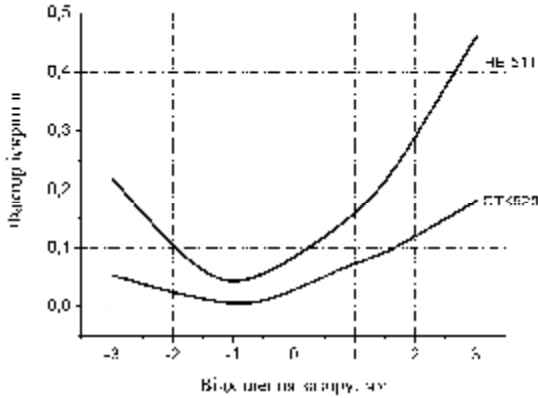


Рис. 2

Згідно ГОСТ 2582-81 [7] допустиме іскріння складає $1\frac{1}{2}$ бала, що відповідно з рис. 1 та рис. 2 буде при значеннях «першого» повітряного зазору $5_{+1,4}^{-2,9}$ мм у двигуна НБ-511, і $5_{+2}^{-4,1}$ мм у двигуна СТК520 для іскріння $1\frac{1}{4}$ бала.

Висновок. Наведена у статті методика дозволяє визначити найбільші відхилення значення повітряного зазору між додатковими полюсами та якорем, при якому іскріння досягає максимально допустимого значення $1\frac{1}{2}$ бала, що можна використати при коректуванні правил ремонту тягових двигунів.

Список літератури: 1. Безрученко В. М., Варченко В. К., Чумак В. В. Тягові електричні машини електрорухомого складу. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252с. 2. Иоффе А.Б. Тяговые электрические машины. – М. – Л.: издательство «Энергия», 1965. – 232с. 3. Проектирование тяговых электрических машин. Под ред. М.Д. Находкина. Учебное пособие для вузов ж.-д. трансп. М., «Транспорт», 1976. 624с. Авт.: Находкин М.Д., Василенко Г.В., Бочаров В.И., Козорезов М.А. 4. Расчетная записка для тягового двигателя СТК-520. Разработал – Кулиш Е.В., Безрученко В.Н. «НПП»СЭМЗ» – 2007. 5. Расчетная записка для тягового двигателя НБ-511. Разработал – Русанова А., Василенко А. – «НЭВЗ», 1982. 6. ГОСТ 12652-74Е. Стеклотекстолит электротехнический листовой. 7. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия.