

ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ІНШИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИЙМАЛЬНО-ЗДАВАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

У статті запропоновано методику визначення еквівалентного струму навантаження при випробуваннях тягових двигунів електровозів без примусової вентиляції з використанням результатів кваліфікаційних випробувань двигунів деяких типів.

В статье предложена методика определения эквивалентного тока нагрузки при испытаниях тяговых двигателей электровозов без принудительной вентиляции с использованием результатов квалификационных испытаний двигателей некоторых типов.

The methods of determination of equivalent load current in tests of electric locomotive traction engines without forced ventilation with use of the results of qualification test of engines of certain types are offered in the article.

Одним із суттєвих шляхів підвищення енергетичних та інших показників процесу приймально-здавальних випробувань тягових двигунів електровозів є проведення теплових випробувань без примусової вентиляції. Витрати повітря для вентиляції двигунів різних типів дорівнюють 95...120 м³/хв. [1]. Очевидно, що проведення випробувань без примусової вентиляції дасть змогу значно зменшити витрати електроенергії на забезпечення потрібної вентиляції. Стає непотрібним обладнання, що забезпечує вентиляцію і яке коштує досить дорого, займає значні виробничі площі, потребує обслуговування. Підрахувати зменшення витрат при усуненні вказаних факторів досить просто. Але виникає задача визначення значення струму навантаження при проведенні теплових випробувань без примусової вентиляції. Згідно «Правил ремонту електричних машин електровозів та електропоїздів» [1], теплові випробування тягових двигунів у теперішній час проводяться протягом 1 години при їх навантаженні номінальним годинним струмом та при стовідсотковій подачі охолоджуючого повітря.

У той же час Правила допускають за узгодженням з ЦТ Укрзалізниці проводити випробування тягових двигунів без подачі охолоджуючого повітря в режимах, що дає перевищення температури нагрівання складових частин електричної машини, яке відповідає перевищенням при номінальному режимі випробування (з подачею охолоджуючого повітря). Але значень відповідних годинних струмів для проведення випробувань без примусової вентиляції в Правилах або в інших нормативних документах не наводиться.

Тому стоїть задача визначити годинний струм за повної відсутності примусової вентиляції, коли перегрів елементів тягових двигунів

буде такий, як і при годинному струмі зі стовідсотковою примусовою вентиляцією. Назвемо цей струм еквівалентним.

Одним з можливих методів вирішення цієї задачі, який базується на використанні геометричних розмірів та інших параметрів двигуна, що наводяться у кресленнях заводу-виробника, є наведений у [2]. Коефіцієнт тепловіддачі при цьому має середнє розрахункове значення. Метод має теоретичний характер, зокрема коефіцієнт тепловіддачі двигуна встановлюється розрахунково. Привабливим є те, що вказаний метод дозволяє визначити еквівалентний струм кожного типу тягового двигуна, не проводячи великої кількості експериментів, що потребує значних витрат і часу. Для перевірки достовірності цього методу пропонується використати результати кваліфікаційних випробувань двигунів типу СТК-520, ДТК-800КС виробництва Смілянського заводу «СЕМЗ», а також ЕД-141 виробництва заводу «Електротязмаш».

Розглянемо тяговий двигун та його окремі елементи (головні полюси, якір, додаткові полюси) як однорідні суцільні тіла, що мають нескінчену теплопровідність [4, 5]. Приймаємо температуру навколишнього середовища незмінною [3].

Відомо, що рівняння теплового балансу при вказаних умовах має вигляд:

$$\Sigma p dt - A \tau dt = C dt, \quad (1)$$

де A – кількість тепла, яке виділяється двигуном у навколишнє середовище за одиницю часу при різниці температур в 1 °С (теповіддача);

C – повна теплоємність;

Σp – сумарні втрати потужності, які є сумою постійних p_0 та змінних $p_{\text{м.ном}}$ (які залежать від квадрату струму) втрат;

τ – перевищення температури (перегрів).

Таким чином:

$$\Sigma p_{\text{ном}} = p_0 + p_{\text{м.ном}} = p_{\text{м.ном}} (\alpha + 1), \quad (2)$$

де α – коефіцієнт втрат:

$$\alpha = \frac{p_0}{p_{\text{м.ном}}}. \quad (3)$$

Строго кажучи, кінцевий перегрів $\tau_{\text{к.ном}} = \frac{\Sigma p_{\text{ном}}}{A}$, але ми будемо оперувати не кінцевими значеннями перегрівів, а їх значеннями в кінці першої години нагрівання, що дозволяє порівнювати значення перегрівів, які, як відомо, у вузькому діапазоні температур пропорційні сумарним втратам за незмінного значення A .

Якщо ж при зміні кількості повітря, що подається у двигун, значення A змінюється, а перегрів повинен залишатися незмінним, то повинно бути змінено значення i втрат.

Дослідження цього явища проводилось на трьох вищевикладених типах двигунів.

Відмітимо, що коефіцієнт втрат згідно виразу (3) має значення, вказане у табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнта втрат для двигунів різних типів

Тип тягового двигуна	Завод-виробник	Значення α
СТК-520	СЕМЗ	0,334
ДТК-800КС	СЕМЗ	0,343
ЕД-141	Електротяжмаш	0,328
НБ-511	НЕВЗ	0,339
НБ-514	НЕВЗ	0,337

Із табл. 1 видно, що у всіх двигунах значення α близьке одне до одного і не перевищує $\alpha = 0,35$.

Розглянемо результат випробувань кожного елемента двигуна, що нагрівається окремо. Оскільки

$$\tau = \frac{\Sigma p}{A}, \quad (4)$$

проаналізуємо зміну перегрівів при однакових втратах Σp , але при різній кількості охолоджуючого повітря.

Як, відомо тягові двигуни при кваліфікаційних випробуваннях досліджуються при кількості охолоджуючого повітря Q : 100 %, 75 %, 50 % і 0 % від номінального значення.

Для обмотки головного полюса Σp – це струмові втрати у міді, тобто $I^2 R$, а для якоря враховується ще й втрати у сталі його осердя, тобто $\Sigma p = p_c + p_m$.

Наведемо (табл. 2) результати кваліфікаційних випробувань двигунів типів СТК-520 та ЕД-141, для яких при однакових напругах на колекторах 1500 В годинні струми відповідно дорівнюють 380 А та 565 А. Випробування проводились протягом 1 години.

Таблиця 2

Значення перегріву елементів двигунів СТК-520 / ЕД-141

Кількість повітря Q , %	100	75	50	0
головні полюси $\Sigma p = 6263$ Вт / 7798 Вт				
Перегрів τ , °C	155/100	168/110	182/120	205/142
$\tau = \frac{\Sigma p}{A}$	40,41/78	37,2/71	34,4/65	30,55/55
Тепловіддача у відносних од. A_*	1,0/1,0	0,922/0,91	0,851/0,83	0,756/0,705
додаткові полюси $\Sigma p = 2455$ Вт / 2062 Вт				
τ , °C	122/100	140/110	154/122	180/144
$\tau = \frac{\Sigma p}{A}$	20,12/21	17,5/19	15,94/17	13,6/14,3
A_*	1,0/1,0	0,87/0,205	0,792/0,809	0,676/0,68
Якір СТК-520 $\Sigma p = 5457+7349 = 12806$ Вт				
Якір ЕД-141 $\Sigma p = 7875+10875 = 18660$ Вт				
τ , °C	108/95	126/115	144/122	168/145
$\tau = \frac{\Sigma p}{A}$	118,6/196	101,6/162	89/153	76,2/128,7
A_*	1,0/1,0	0,857/0,827	0,75/0,781	0,642/0,657

На рис. 1 показана залежність $A_* = f(Q)$ для головного полюса двигуна СТК-520. Для інших елементів двигуна СТК-520, а також для елементів двигуна ЕД-141 залежність $A_* = f(Q)$ не наводиться, оскільки вони однакові по накресленню.

Відмітимо, що при одному й тому ж струмі магнітний потік та частота обертання (переманічування) не змінюються, тобто $p_c = \text{const}$.

Видно, що мінімальні значення A_* відрізняються одне від одного незначно. Це дозволяє прийняти увесь тяговий двигун за однорідне суцільне тіло і визначати для нього значення $A_{*Q=0}$ при повній відсутності охолоджуючого повітря, яке подається примусово від незалежної вентиляційної установки.

Для двигуна СТК-520:

$$A_{*Q=0} = \frac{0,756 + 0,676 + 0,642}{3} = 0,691.$$

Для двигуна ЕД-141:

$$A_{*Q=0} = \frac{0,705 + 0,68 + 0,657}{3} = 0,681.$$

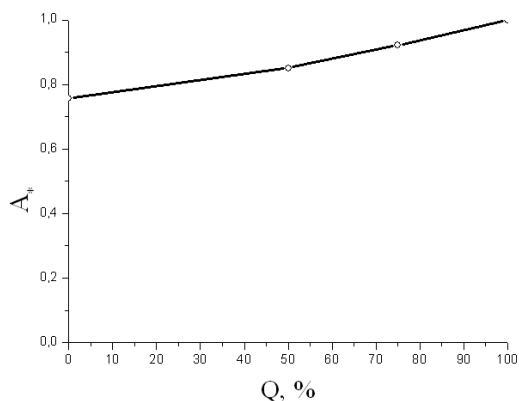


Рис. 1. Залежність $A_* = f(Q)$ для головного полюса двигуна СТК-520

Як видно, значення $A_{*Q=0}$ для обох двигунів практично однакові. Аналогічний результат отримано і для тягового двигуна ДТК-800КС. Таким чином, проведений аналіз дозволяє стверджувати, що тепловіддача A при відсутності примусової вентиляції всього тягового двигуна складає 0,68 від тепловіддачі при 100 %-ій кількості охолоджуючого повітря. Але якщо $A_{*Q=0} = 0,68$, то й сума втрат у двигуні для досягнення того ж перегріву, який був при $A_* = 1$, повинна відкоригуватися таким же чином.

Нове значення годинного струму, яке відповідає значенню $A_{*Q=0}$, позначимо $I_{\text{екв}}$ (еквівалентний струм).

Вищевикладене дає змогу запропонувати наступний алгоритм визначення еквівалентного струму:

1. Перегрів $\tau = \frac{\Sigma p}{A}$.
2. $A_{\text{екв}} = 0,68 \cdot A_{\text{ном}}$, де $A_{\text{екв}}$ – тепловіддача без вентиляції; $A_{\text{ном}}$ – тепловіддача з повною кількістю повітря у номінальному годинному режимі.
3. Якщо в обох випадках ($Q=0$ % та $Q=100$ %) перегрів однаковий, тобто $\tau = \text{const}$, то втрати Σp повинні бути пропорційні A . Але $\Sigma p = p_0 + p_m$, де p_0 – постійні, а p_m – змінні витрати, які залежать від квадрату струму.

4. Коефіцієнт втрат $\alpha = \frac{p_0}{p_{\text{м.ном}}}$.

5. Для виконання п. 3 необхідно виконувати наступну нерівність: $\Sigma p_{\text{ном}} > \Sigma p_{\text{екв}}$, де $\Sigma p_{\text{екв}}$ – втрати у двигуні при еквівалентному струмі. Або: $(p_0 + p_{\text{м.ном}}) > 0,68 \cdot (p_0 + p_{\text{м.ном}})$.

6. Виносимо за дужки $p_{\text{м.ном}} = I_{\text{ном}}^2 R$ та отримаємо: $p_{\text{м.ном}} (\alpha + 1) > 0,68 \cdot p_{\text{м.ном}} (\alpha + 1)$.

7. Оскільки $0,68 \cdot p_{\text{м.ном}} = I_{\text{ном}}^2 R$, то скоротивши обидві частини нерівності п. 6 на $R(\alpha + 1)$, отримаємо: $I_{\text{ном}}^2 > I_{\text{екв}}^2 = I_{\text{ном}}^2 \cdot 0,68$, де $I_{\text{ном}}$ – номінальний годинний струм.

8. Таким чином, еквівалентний струм, при проходженні якого без примусової вентиляції буде забезпечено той же перегрів, що й при повній вентиляції:

$$I_{\text{екв}} = I_{\text{ном}} \cdot \sqrt{0,68} = 0,825 \cdot I_{\text{ном}}.$$

Для двигуна типу СТК-520 еквівалентний струм дорівнює: $I_{\text{екв}} = 0,825 \cdot 380 = 313,5$ А, а для двигуна типу ЕД-141: $I_{\text{екв}} = 466$ А.

Отримані значення еквівалентних струмів з точністю до 2 % збігаються з відповідними значеннями еквівалентних струмів, визначених згідно [2]. Це підтверджує достовірність визначення еквівалентного струму згідно [2].

Проведення теплових випробувань при $I_{\text{екв}} < I_{\text{ном}}$ сприяє зменшенню витрат, тобто підвищенню коефіцієнта корисної дії обладнання, яке використовується при випробуваннях тягових двигунів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Правила ремонту електричних машин електро-возів і електропоїздів ЦТ-0063 [Текст]. – 2003. – 286 с.
2. Дубинець, Л. В. Визначення еквівалентного струму навантаження при випробуванні тягових електродвигунів на нагрівання без вентиляції. [Текст] / Л. В. Дубинець, Д. В. Устименко, П. О. Лоза // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 25 – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 26-30.
3. Филиппов, К. Ф. Основы теплообмена в электрических машинах. [Текст] / К. Ф. Филиппов. – Л.: Энергия, 1974. – 334 с.
4. Тяговые двигатели электровозов [Текст] / под ред. В. Г. Щербакова. – Новочеркасск: Науткулис, 1998. – 672 с.
5. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода [Текст] / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

Надійшла до редколегії 25.03.2009.