УДК 629.423.31-048.24

А. М. АФАНАСОВ, О. С. ШАПОВАЛОВ (ДНУЗТ)

Кафедра «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 41, ORCID: orcid.org/0000-0003-4609-2361

# ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИПРОБУВАНЬ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОМАШИН

## Вступ

Відповідно до ГОСТ 2582-81 [1] електричні машини тягового рухомого складу магістрального та промислового транспорту випробовують при приймально-здавальних випробуваннях протягом однієї години під струмом навантаження, що дає перевищення температури обмоток, відповідне перевищенню температури в номінальному режимі. Фактично це значення струму відповідає часовому режиму.

Правила ремонту тягових електромашин [2] допускають проведення випробувань на нагрівання при еквівалентному струмі, що дає перевищення температури, що відповідає перевищенню температури в номінальному режимі. Загальний якісний аналіз теплових процесів, що протікають під час випробуваннях на нагрів, показує, що енергія тепловіддачі за час нагрівання до заданого перевищення температури обмоток електромашини з ростом струму зменшується [3]. Отже, чим більше значення струму навантаження випробуваної електромашини, тим, за інших рівних умов, витрата електроенергії на її нагрівання менше.

## Методика

Коефіцієнт енергетичної ефективності нагрівання обмоток електромашини, представлений у вигляді відношення енергії, витраченої на підвищення температури обмотки якоря, до загальної теплової енергії, що виділилася в частинах випробуваної електромашини за час випробування, може бути знайдений як [3].

$$k_{еф} = \frac{T_e \cdot \tau_1}{\tau_\infty (t_1 + \alpha(\tau_\infty t_1 - \tau_1 T_e))} \qquad (1)$$

де $T_e$ – еквівалентна постійна часу нагрівання;

$t_1$ – час випробування;

$\tau_1$ – перевищення температури на момент часу;

$\tau_\infty$ – стале значення перевищення температури;

$\alpha$ – температурний коефіцієнт опору.

Величина $1/k_{еф}$ показує у скільки разів повна енергія втрат в якорі тягового електродвигуна при його випробуванні на нагрівання більше енергії, витраченої на нагрівання обмотки якоря.

При відомому значенні $\tau_1$ час випробування $t_1$ може бути знайдено у вигляді [4].

$$t_1 = T_э \cdot \ln \frac{\tau_\infty}{\tau_\infty - \tau_1} \qquad (1)$$

## Результати теоретичних досліджень

У табл. 1 для прикладу наведені результати розрахунку залежностей $t_1 = f(I)$, $k_{еф} = f(I)$ і $1/k_{еф} = f(I)$, отримані для тягового електродвигуна НБ-406Б магістрального вантажного електровоза ВЛ8 з використанням теплових характеристик його обмотки якоря ( $\tau_1$ = 120° С).

Таблиця 1

**Результат розрахунку залежностей $t_1 = f(I)$ і $k_{еф} = f(I)$ для тягового електродвигуна НБ-406Б**

| $I$, А | 340 | 380 | 440 | 485 | 530 | 600 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_1$, хв. | ∞ | 56,5 | 28,9 | 20,4 | 14,9 | 10,4 |
| $k_{еф}$ | 0 | 0,43 | 0,57 | 0,63 | 0,67 | 0,7 |
| $1/k_{еф}$ | ∞ | 2,32 | 1,75 | 1,59 | 1,5 | 1,42 |

Графічні залежності $t_1 = f(I)$, $k_{еф} = f(I)$ і $1/k_{еф} = f(I)$, отримані для тягового двигуна НБ-406Б (табл. 1), зображені на рис. 1, а для тягового двигуна ДТ-9Н (табл. 2) – на рис. 2.

© Афанасов А. М., Шаповалов О. С., 2017

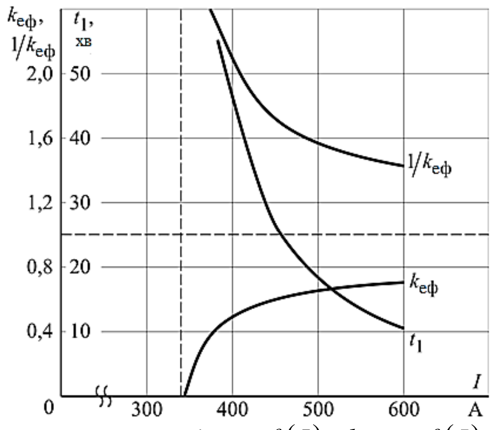


Рис. 1. Залежності $t_1 = f(I)$, $k_{еф} = f(I)$ і $1/k_{еф} = f(I)$ для тягового двигуна НБ-406

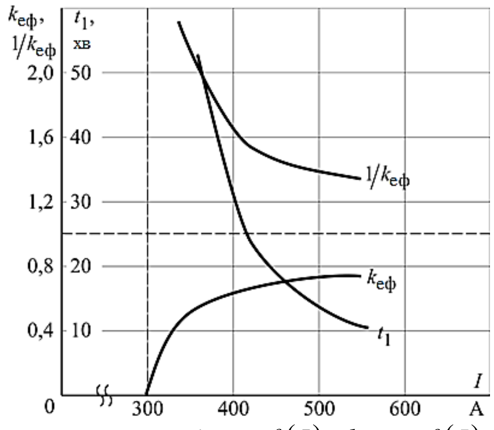


Рис. 2. Залежності $t_1 = f(I)$, $k_{еф} = f(I)$ і $1/k_{еф} = f(I)$ для тягового двигуна ДТ-9Н

Ступінь зниження витрат електроенергії для проведення випробувань на нагрівання з підвищеним струмом навантаження може бути визначена у вигляді відношення коефіцієнтів енергетичної ефективності в порівнюваних режимах.

З даних табл. 1 і графіків на рис. 1 видно, що при випробуваннях на нагрів тягового двигуна НБ-406Б під струмом навантаження, близьким до пускового значенням (485 А), сумарні втрати енергії в якорі майже в півтора рази нижче, ніж при годинному режимі (380 А). При цьому час випробувань на нагрівання зменшується майже в три рази.

З даних табл. 2 і графіків на рис. 2 видно, що при випробуваннях на нагрівання тягового двигуна ДТ-9Н під струмом навантаження, близьким до значення п'ятнадцяти хвилинного режиму (480 А), сумарні втрати енергії в якорі більш ніж в півтора рази нижче, ніж при годинному режимі (335 А). При цьому час випробувань на нагрівання зменшується в чотири рази. Необхідно відзначити, що сумарні електричні втрати енергії в інших обмотках випробуваної електромашини при збільшенні випробувального значення сили струму знижуються не в меншій мірі, ніж втрати в лімітуючій обмотці (обмотці якоря). Дані висновки будуть справедливі і для інших типів тягових електродвигунів тягового рухомого складу магістрального та промислового транспорту.

**Висновки**

В результаті проведених теоретичних і експериментальних досліджень можна зробити наступні висновки:

− енергетична ефективність випробування на нагрівання може бути представлена як комплексний параметр, що залежить як від енергетичної ефективності системи взаємного навантаження так енергетичної ефективності нагрівання обмоток випробовуваних електромашин;

− енергетична ефективність нагрівання обмоток випробуваної тягової електромашини залежить як від теплових характеристик електромашини, так і від струму навантаження, зі збільшенням якого коефіцієнт енергетичної ефективності нагрівання підвищується, а час проведення випробування зменшується;

− найбільш раціональними для випробування на нагрівання тягових двигунів електрорухомого складу магістрального та промислового транспорту є часовий струм і струм п'ятнадцяти хвилинного режиму відповідно;

− використання пускового і п'ятнадцяти хвилинного струмів навантаження дозволяє зменшити витрату електроенергії на випробування тягових електромашин на нагрів не менше ніж на 30% (в порівнянні з годинним режимом), а також зменшує час випробувань на нагрівання в три-чотири рази.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ


1. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. – Введ. 1983-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 34 с.
2. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів. ЦТ-0063 [Текст]. – К.: Видавнічий дім «САМ», 2003. – 286 с.
3. Афанасов, А.М. Энергетическая эффектив-


© Афанасов А. М., Шаповалов О. С., 2017

REFERENCES


1. GOST 2582-81. Mashiny ehlektricheskie vrashchayushchiesya tyagovye. Obshchie tekhnicheskie usloviya. – Vved. 1983-01-01. – M.: Izd-vo standartov, 1981. – 34 s.
2. Pravyla remontu elektrychnykh mashyn elektrovoziv i elektropoyizdiv. TsT-0063 [Tekst]. – K.: Vydavnichyy dim «SAM», 2003. – 286 s.

ность нагревания обмоток тяговых электромашин при приёмо-сдаточных испытаниях [Текст] / А. М. Афанасов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 5/8(59). – С. 6-9.

4. Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические машины : учеб. пособие для вузов / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов. – М. : Транспорт, 1991. – 343 с.

3. Afanasov, A.M. EHnergeticheskaya ehffektivnost' nagrevaniya obmotok tyagovyh ehlektromashin pri priyomo-sdatochnyh ispytaniyah [Tekst] / A. M. Afanasov // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij. – 2012. – № 5/8(59). – S. 6-9.

4. Zaharchenko, D. D. Tyagovye ehlektricheskie mashiny : ucheb. posobie dlya vuzov / D. D. Zaharchenko, N. A. Rotanov. – M. : Transport, 1991. – 343 s.

На даний час існуючі стенди для випробування тягових електричних машин не вирізняються високою енергоефективністю, що призводить до значних витрат електроенергії під час випробувань. В статті наведено результати аналізу впливу струму навантаження тягових електромашин при їх випробуванні на нагрівання на загальні витрати електроенергії на випробування. На прикладі електродвигунів НБ-406 і ДТ-9Н отримані аналітичні і графічні залежності коефіцієнта енергетичної ефективності і часу проведення випробування від струму навантаження. Показано, що збільшення струму навантаження при випробуванні на нагрівання дозволяє суттєво знизити витрати електроенергії, а також зменшити час випробування без зниження його якості. Результати проведених теоретичних і експериментальних досліджень можуть бути використані для зменшення витрат електроенергії і часу під час проведення випробувань тягових електричних машин рухомого складу.

**Ключові слова:** тягова електромашина; випробування на нагрівання; енергетична ефективність; струм навантаження; витрата електроенергії.

## УДК 629.423.31-048.24

А. М. АФАНАСОВ, О.С. ШАПОВАЛОВ (ДНУЖТ)

Кафедра «Электроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 41, ORCID: orcid.org/0000-0003-4609-2361

# ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПЫТАНИЙ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОМАШИН

В настоящее время существующие стенды для испытания тяговых электрических машин не отличаются высокой энергоэффективностью, что приводит к значительным затратам электроэнергии во время испытаний. В статье приведены результаты анализа влияния тока нагрузки тяговых электромашин при их испытании на нагрев на общие расходы электроэнергии на испытания. На примере электродвигателей НБ-406 и ДТ-9Н получены аналитические и графические зависимости коэффициента энергетической эффективности и времени проведения испытания от тока нагрузки.Показано, что увеличение тока нагрузки при испытании на нагрев позволяет существенно снизить расходы электроэнергии, а также уменьшить время испытания без снижения его качества. Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы для уменьшения расхода электроэнергии и времени во время проведения испытаний тяговых электрических машин подвижного состава.

**Ключевые слова:** тяговая электромашина; испытания на нагрев; энергетическая эффективность; ток нагрузки; расход электроэнергии.

## UDC 629.423.31-048.24

A. M. AFANASOV, O. S. SHAPOVALOV (DNURT)

Department Electric rolling stock of railways, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 373 15 41, ORCID: orcid.org/0000-0003-4609-2361

# ENERGY EFFICIENCY INCREASE OF TRACTION ELECTRICAL MACHINES TESTING

At present, existing stands for testing traction electric machines do not differ in their high energy efficiency, which results in significant electricity consumption during testing. The article presents the results of the analysis of the influence of load current of traction electric machines during their testing on heating on total electric energy consumption for testing. On the example of electric motors NB-406 and DT-9N analytical and graphical dependences of the energy efficiency coefficient and time of the test on the load current are obtained. It is shown that increasing the load current when tested for heating allows to significantly reduce the cost of electricity, as well as reduce the test time without reducing its quality. The results of the theoretical and experimental studies can be used to reduce the cost of electricity and time during the testing of traction electric vehicles rolling stock.

**Keywords:** traction electric machine; mutual loading; electric power magnetic; electric driving force; the regulation.

Received 11.10.2017; accepted in revised form 12.12.2017.

© Афанасов А. М., Шаповалов О. С., 2017