

А. М. АФАНАСОВ, А. Е. ДРУБЕЦКИЙ (ДНУЖТ)

Кафедра «Электроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373-15-31, эл. почта: afanasof@ukr.net, drubetskiy@mail.ru,
ORCID: orcid.org/0000-0003-4609-2361; orcid.org/0000-0001-5691-0925

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОЖДЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК ОБМОТОК ВОЗБУЖДЕНИЯ ВЗАИМНО НАГРУЖЕННЫХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОМАШИН

Введение

Требования соответствующих стандартов [1] и правил ремонта тягового подвижного состава [2,3] предусматривают проведение приёмо-сдаточных испытаний каждой тяговой электромашин: либо вновь изготовленной, либо вышедшей из ремонта. Эти испытания представляют собой важную, неотъемлемую часть технологического процесса изготовления или ремонта тяговой электромашин, материальные затраты на которую входят в себестоимость конечной продукции.

Качество технического контроля, проводимого при приёмо-сдаточных испытаниях тяговых электромашин, в конечном счёте, определяет надёжность и безотказность всего тягового средства, а, следовательно, и эффективность самих железнодорожных перевозок.

Зависимость относительной разности токов возбуждения от коэффициента насыщения

Одним из важных условий обеспечения качества испытаний на нагрев является равенство тепловых нагрузок лимитирующих обмоток обеих испытываемых электромашин, которая определяет корректность оценки результатов испытаний. Требование ГОСТ 2582-81 [1] в части токовой нагруженности обмоток испытываемых двигателя и генератора является формальным, так как не учитывает ни схемы испытания, ни то, какая из обмоток электромашин является лимитирующей [4]. Тем не менее, этот фактор, определяющий качество испытаний, должен учитываться при оптимизации структуры системы взаимного нагружения.

Расхождение тепловых нагрузок обмоток возбуждения испытываемых тяговых электромашин характерно для системы взаимного нагружения с регулированием магнитных потоков путём шунтирования обмоток возбуждения испытываемого генератора [4]. В такой схеме за счёт разности токов возбуждения испытываемых

электромашин создаётся небалансная электромагнитная мощность, покрывающая потери холостого хода.

Разницу токов возбуждения испытываемых электромашин для случая шунтирования представим в виде

$$\Delta I_B = I_{\text{ч}} - I_B \quad (1)$$

где $I_{\text{ч}}$ – часовой ток или другой эквивалентный ток, при котором проводится испытание;

I_B – ток возбуждения в регулируемой обмотке.

Относительные (приведенные к часовому току) разности токов возбуждения:

$$K_{\Delta I} = \frac{\Delta I_B}{I_{\text{ч}}} \quad (2)$$

Зависимости параметра $K_{\Delta I}$ от приведенных потерь холостого хода Δp одной испытываемой электромашин, полученные в работе [5], приведены в табл. 1. Данные зависимости получены для трех значений коэффициента насыщения тягового двигателя k_H (1,67; 1,91; 2,15).

Зависимость расхождения тепловых нагрузок обмоток двигателя от коэффициента насыщения

В качестве критерия расхождения тепловых нагрузок обмоток возбуждения $K'_{\text{ТВ}}$ целесообразно использовать отношение квадратов токов возбуждения генератора и двигателя.

$$K'_{\text{ТВ}} = \frac{I_B^2}{I_{\text{ч}}^2} = K_{I_B}^2 \quad (3)$$

где K_{I_B} – отношение токов возбуждения тяговых электромашин,

$$K_{I_B} = \frac{I_B}{I_{\text{ч}}} \quad (4)$$

Зависимости $K_{\Delta I} = f(\Delta p)$

$k_H=1,67$	Δp	<u>0,019</u>	<u>0,041</u> 0,011	<u>0,066</u> 0,036	<u>0,104</u> 0,074	<u>0,154</u> 0,124	–	–
	$K_{\Delta I}$	0,111	0,222	0,333	0,444	0,556	–	–
$k_H=1,91$	Δp	<u>0,016</u>	<u>0,032</u> 0,002	<u>0,050</u> 0,020	<u>0,070</u> 0,040	<u>0,094</u> 0,064	<u>0,129</u> 0,099	–
	$K_{\Delta I}$	0,091	0,182	0,273	0,364	0,455	0,545	–
$k_H=2,15$	Δp	<u>0,011</u>	<u>0,023</u>	<u>0,038</u> 0,008	<u>0,054</u> 0,024	<u>0,071</u> 0,041	<u>0,090</u> 0,060	<u>0,113</u> 0,082
	$K_{\Delta I}$	0,077	0,154	0,231	0,308	0,385	0,462	0,538

Так как ток возбуждения испытуемого генератора меньше тока двигателя (номинального тока),

$$K_{IB} < 1$$

Отношение токов возбуждения K_{IB} может быть выражено через их относительную разность как

$$K_{IB} = 1 - K_{\Delta I} \quad (5)$$

Тогда отношение тепловых нагрузок обмоток возбуждения

$$K'_{TB} = (1 - K_{\Delta I})^2 \quad (6)$$

Универсальный характер зависимостей $K_{\Delta I}(\Delta p)$ позволяет рассчитать отношение тепловых факторов K'_{TB} для заданных коэффициентов магнитного насыщения k_H в зависимости от приведенных потерь холостого хода Δp .

В табл. 2 приведены результаты расчета зависимостей $K'_{TB}(\Delta p)$, полученные по формуле (4.68) для трёх значений коэффициента магнитного насыщения k_H (1,67; 1,91; 2,15).

Значения K'_{TB} , приведенные в числителе, относятся к случаю совпадения магнитных характеристик испытуемых электромашин, а в знаменателе – к случаю максимального их расхождения (6%). На рис. 1, 2 и 3 зависимости $K'_{TB}(\Delta p)$ представлены графически.

Из данных графиков видно, что степень расхождения тепловых нагрузок обмоток возбуждения испытуемых тяговых электромашин зависит от коэффициента магнитного насыщения k_H . Чем выше коэффициент магнитного насыщения тяговых электромашин, тем выше степень расхождения тепловых нагрузок их обмо-

ток возбуждения. Существенное влияние на степень расхождения тепловых нагрузок обмоток возбуждения оказывает расхождение магнитных характеристик пары взаимно нагруженных тяговых электромашин.

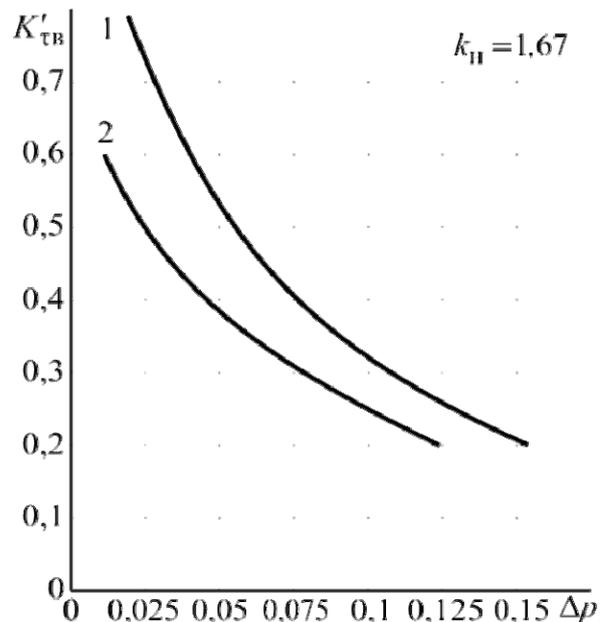


Рис. 1. Зависимости $K'_{TB} = f(\Delta p)$ для $k_H = 1,67$

Вывод

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что использование взаимного нагружения с регулированием разницы магнитных потоков пары испытуемых тяговых электромашин приводит к расхождению тепловых нагрузок их обмоток возбуждения, которое зависит от коэффициента магнитного насыщения тяговых электромашин и усиливается в случае расхождения их магнитных характеристик.

Результаты расчета зависимостей $K'_{\text{ТВ}}(\Delta p)$

$k_H=1,67$	Δp	<u>0,019</u>	<u>0,041</u>	<u>0,066</u>	<u>0,104</u>	<u>0,154</u>	–	–
	$K'_{\text{ТВ}}$	0,79	0,60	0,44	0,31	0,20	–	–
$k_H=1,91$	Δp	<u>0,016</u>	<u>0,032</u>	<u>0,050</u>	<u>0,070</u>	<u>0,094</u>	<u>0,129</u>	–
	$K'_{\text{ТВ}}$	0,83	0,67	0,53	0,40	0,30	0,21	–
$k_H=2,15$	Δp	<u>0,011</u>	<u>0,023</u>	<u>0,038</u>	<u>0,054</u>	<u>0,071</u>	<u>0,090</u>	<u>0,112</u>
	$K'_{\text{ТВ}}$	0,85	0,72	0,59	0,48	0,38	0,29	0,21

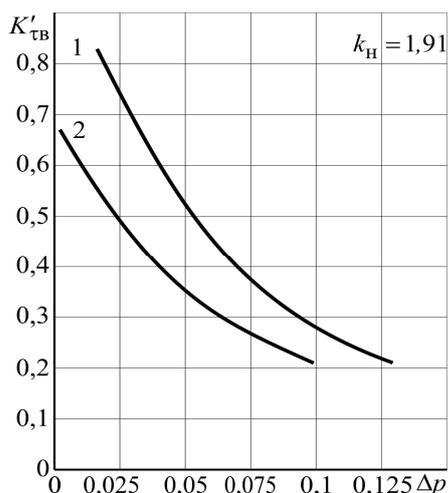


Рис. 2. Зависимости $K'_{\text{ТВ}} = f(\Delta p)$ для $k_H = 1,91$

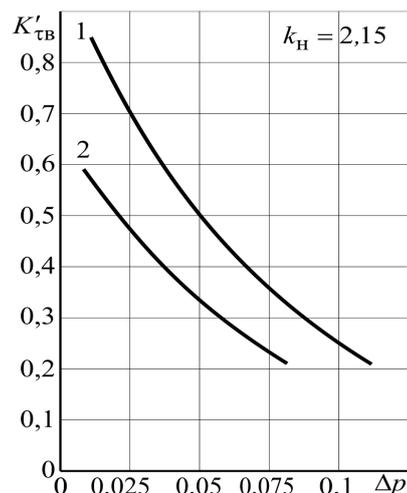


Рис. 3. Зависимости $K'_{\text{ТВ}} = f(\Delta p)$ для $k_H = 2,15$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. – Введ. 1983-01-01. – Москва: Издательство стандартов, 1981. – 50с.
2. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г. К. Жерве. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
3. Правила ремонту электричных машин электровозів і електропоїздів. ЦТ-0204. – К. : Видавничий дім «САМ», 2012. – 286 с.
4. Афанасов А. М. Энергетическая эффективность нагревания обмоток тяговых электромашин при приемо-сдаточных испытаниях / А. М. Афанасов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Вып. 5/8(59). – С. 6-9.
5. Лоза, П. О. Визначення еквівалентного струму навантаження при випробовуванні тягових електродвигунів на нагрівання без вентиляції / П. О. Лоза, Л. В. Дубинець, Д. В. Устименко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 25. – С. 26–29.

Поступила в печать 17.03.2016.

REFERENCES

1. GOST 2582-81. *Mashiny elektricheskie vrashchayushchiesya tyagovye*. [State Standard 2582-81. Rotating electrical machines for rail and road vehicles. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1981. 50 p.
2. Zherve G. K. *Promyshlennye ispytaniya elektricheskikh mashin* [Industrial testing of electrical machines]. Leningrad, Energoatom Publ., 1984. 408 p.
3. *Pravila remontu elektrichnikh mashin elektrovoziv i elektropoizdiv* [Rules repair of electric machines of electric locomotives and electric trains]. TsT-0204. – Kyiv, Publishing House «SAM», 2012. 286 p.
4. Afanasyov A. M. *Energeticheskaya effektivnost nagrevaniya obmotok tyagovykh elektromashin pri priemo-sdatochnykh ispytaniyakh* [Energy indicators for electric method for compensating magnetic and mechanical losses in the traction electric motors in their mutual load]. *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 2012, no 5/8(59), pp. 6-9.
5. Loza P. O., Dubinets L. V., Ustimenko D. V. *Viznachennya ekvivalentnogo strumu navantazhennya pri viprobuvuvanni tyagovykh elektrodviguniv na nagrivannya bez ventilyatsii* [Determination of equivalent current load when tested in traction electric motors for heating without ventilation]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 25, pp. 26–29.

Применение схемы взаимного нагружения, в которой небалансная электромагнитная мощность создается за счет разности магнитных потоков испытуемых машин путем шунтирования обмотки возбуждения генератора, вызывает расхождение тепловых нагрузок обмоток возбуждения.

Целью работы является исследование расхождения тепловых нагрузок в зависимости от коэффициента насыщения и относительной разности магнитных потоков машин.

Учет таких параметров, как коэффициент насыщения и расхождение магнитных характеристик испытуемых машин могут быть использованы для разработки автоматизированного испытательного стенда, а также, позволит повысить качество технического контроля при приемо-сдаточных испытаниях тяговых электрических машин.

Ключевые слова: приемо-сдаточные испытания, расхождение тепловых нагрузок, шунтирование обмотки возбуждения, коэффициент насыщения, расхождение магнитных характеристик.

УДК 629.423.31-048.24

А. М. АФАНАСОВ, А. Ю. ДРУБЕЦЬКИЙ (ДНУЗТ)

Кафедра «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 31, e-mail: afanasof@ukr.net, drubetskiy@mail.ru, ORCID: orcid.org/0000-0003-4609-2361; orcid.org/0000-0001-5691-0925

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗБІЖНОСТІ ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ОБМОТОК ЗБУДЖЕННЯ ВЗАЄМНО НАВАНТАЖЕНИХ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОМАШИНИ

Застосування схеми взаємного навантаження, у якій небалансна електромагнітна потужність створюється за рахунок різниці магнітних потоків випробовуваних машин за допомогою шунтування обмотки збудження генератора, викликає розходження теплових навантажень обмоток збудження.

Ціллю роботи є дослідження розходження теплових навантажень в залежності від коефіцієнту насичення та відносної різниці магнітних потоків машин.

Врахування таких параметрів, як коефіцієнт насичення та розходження магнітних характеристик випробовуваних машин можуть бути використані для розробки автоматизованого випробувального стенду, а також дозволить підвищити якість технічного контролю при прийнятно-здавальних випробуваннях.

Ключові слова: прийнятно-здавальні випробування, розходження теплових навантажень, шунтування обмотки збудження, коефіцієнт насичення, розходження магнітних характеристик.

Внутрішній рецензент *Гетьман Г. К.*

Зовнішній рецензент *Андриєнко П. Д.*

UDC 629.423.31-048.24

A. M. AFANASOV, A. E. DRUBETSKIY (DNURT)

Department «Electric rolling stock of railways» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373- 15-31, e-mail afanasof@ukr.net, drubetskiy@mail.ru, ORCID: orcid.org/0000-0003-4609-2361, orcid.org/0000-0001-5691-0925

DETERMINING DIFFERENCES OF THE HEAT LOAD EXCITATION WINDINGS OF THE MUTUALLY LOADED TRACTION ELECTRIC MACHINES

Application of mutual loading scheme in which Unbalanced electromagnetic power generated by the difference in magnetic flux machines tested by shunting of-winding of the generator excitation, causing the discrepancy heat load excitation windings.

The aim is to study the differences in the thermal loads depending on the co-saturation coefficient and the relative difference between magnetic machine flows.

The account parameters such as saturation factor and the divergence of the magnetic characteristics of the test machine can be used to develop automated test and of the stand, as well, will improve the quality of the technical control if acceptance in testing traction electric machines.

Keywords: acceptance tests, the difference of thermal loads, shunt field winding saturation factor, the difference of magnetic characteristics.

Internal reviewer *Getman G. K.*

External reviewer *Andrienko P. D.*