

УДК 621.3.048.1

О. Ю. БАЛІЙЧУК (ДНУЗТ)

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, тел.: (056) 373-15-47, ел. пошта: [baliichukaleksei@mail.ru](mailto:baliichukaleksei@mail.ru)

## НАГРІВАННЯ І ЗАХИСТ ОБМОТОК ДОПОМІЖНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ ПРИ КОРОТКОЧАСНИХ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯХ

### Вступ

Проведений аналіз статистичних даних показує, що близько 20 % допоміжних двигунів електропоїздів змінного струму, в якості яких застосовано загальнопромислові асинхронні двигуни серії АОМ, АІР виходять з ладу по причині пошкодження обмотки статора. Цей факт говорить про те, що в реальних умовах експлуатації електропоїздів ізоляція обмоток статора перегрівається більше встановлених норм. Тому актуальною є задача детального дослідження процесу нагрівання ізоляції обмоток статора з урахуванням специфічних умов експлуатації. Умови роботи допоміжних двигунів на рухомих складах залізниць суттєво більш важкі, ніж у промисловості, наприклад: значно більша несиметрія живлячої напруги; зниження напруги в контактній мережі допускається до 19 кВ при номінальному значенні 25 кВ та інше.

Це може привести до короточасних перевантажень і відповідно до збільшення нагрівання ізоляції обмотки статора.

### Постановка задачі

Постає задача знайти значення допустимої тривалості перевантаження струмом певної кратності, щоб перевищення температури обмотки статора не було більше допустимого по стандарту [1].

### Матеріали і результати досліджень

З метою збільшення точності аналізу процесів нагрівання при пуску досліджуваних двигуни пропонується розглядати як неоднорідне тіло, так як теплові параметри обмотки та сталі не однакові [2].

При короточасних перевантаженнях завдяки тепловому опору ізоляції та повільному нагріванню сталі через її значно більшу масу, ніж маса обмотки, нагрівання обмотки відбувається ізольовано від процесу нагрівання сталі. Впливом нагріву обмотки ротора на нагрівання обмотки статора нехтуємо, так як процес короточасний, а теплоємність повітряного зазору

значно послаблює цей вплив. Тому, зважаючи на вище сказане, розглядаємо обмотку статора як окреме однорідне тіло.

Рівняння нагрівання обмотки запишемо у відомій формі [3, 4]

$$\Delta P dt = \alpha F \tau dt + c G d\tau, \quad (1)$$

де  $\Delta P$  - втрати, що виділяються в обмотці, Вт;

$\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/см<sup>2</sup> · град;

$c$  - питома теплоємність, Вт · с/кг · град;

$\Delta P$ ,  $\alpha$ ,  $c$  вважаємо такими, що не залежать від температури обмотки і її перевищення  $\tau$  над температурою навколишнього середовища  $\theta_0$ .

При короточасних перевантаженнях можна знехтувати тепловіддачею, якщо час навантаження  $t \ll T$ , де  $T$  - стала часу нагрівання обмотки статора. Припустимо, що двигун до перевантаження працював з навантаженням  $P_{\text{поч}}$  при втратах в обмотках  $\Delta P_{\text{поч}}$ . При сталому режимі перевищення температури обмотки, яке відповідає втратам  $\Delta P_{\text{поч}}$ , дорівнює  $\tau_{\text{поч}}$ . Усе тепло, зумовлене втратами в обмотці  $\Delta P_{\text{поч}}$ , відводиться у навколишнє середовище. У момент часу, коли збільшується навантаження на двигун, струм в обмотці збільшується і в результаті втрати потужності в обмотці зростають до значення  $\Delta P$ . При цьому додаткове підвищення температури буде визначатися не усіма втратами  $\Delta P$ , а різницею втрат  $\Delta P - \Delta P_{\text{поч}}$ . Ця різниця втрат потужності викличе збільшення температури за час  $t$  на величину

$$\Delta \tau = \tau - \tau_{\text{поч}} = \frac{(\Delta P - \Delta P_{\text{поч}})t}{cG}, \quad (2)$$

Звідки перевищення температури обмоток для часу  $t$  (від початку перевантаження)

$$\tau = \tau_{\text{поч}} + \frac{(\Delta P - \Delta P_{\text{поч}})t}{cG}. \quad (3)$$

Для номінального навантаження [4]

$$cG = T \frac{\Delta P_{\text{НОМ}}}{\tau_{\text{НОМ}}} \quad (4)$$

$$T = 150 \frac{\tau_{\text{НОМ}}}{j_{\text{S НОМ}}^2}, \quad (11)$$

Підставивши (4) у (3) і приймаючи втрати в обмотках та перевищення температури обмоток пропорційними квадрату струму, отримаємо

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{\text{ПОЧ}} &= \Delta P_{\text{НОМ}} \frac{I_{\text{ПОЧ}}^2}{I_{\text{НОМ}}^2} = \Delta P_{\text{НОМ}} k_{\text{ПОЧ}}^2 \\ \Delta P &= \Delta P_{\text{НОМ}} \frac{I^2}{I_{\text{НОМ}}^2} = \Delta P_{\text{НОМ}} k^2 \\ \tau_{\text{ПОЧ}} &= \tau_{\text{НОМ}} \frac{I_{\text{ПОЧ}}^2}{I_{\text{НОМ}}^2} = \tau_{\text{НОМ}} k_{\text{ПОЧ}}^2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Так як до перевантаження прийнято сталий тепловий режим, із (3) отримаємо відносне перевищення температури за час  $t$ :

$$\frac{\tau}{\tau_{\text{ПОЧ}}} = k_{\text{ПОЧ}}^2 + \frac{t}{T} (k^2 - k_{\text{ПОЧ}}^2) \quad (6)$$

і за час дії перевантаження  $t_{\text{пер}}$

$$\frac{\tau_{\text{пер}}}{\tau_{\text{НОМ}}} = k_{\text{ПОЧ}}^2 + \frac{t_{\text{пер}}}{T} (k^2 - k_{\text{ПОЧ}}^2), \quad (7)$$

А для випадку попередньої роботи з номінальним струмом ( $k_{\text{ПОЧ}} = 1$ )

$$\frac{\tau_{\text{пер}}}{\tau_{\text{НОМ}}} = 1 + \frac{t_{\text{пер}}}{T} (k^2 - 1). \quad (8)$$

Або

$$\tau_{\text{пер}} - \tau_{\text{НОМ}} = \Delta \tau_{\text{пер}} = \frac{\tau_{\text{НОМ}} (k^2 - 1) t_{\text{пер}}}{T}. \quad (9)$$

Постійна часу для мідної обмотки дорівнює [4]

$$T = \frac{150}{k_R} \cdot \frac{\tau_{\text{НОМ}}}{j_{\text{S НОМ}}^2}, \quad (10)$$

де  $k_R$  - коефіцієнт, який враховує явище витіснення струму в обмотці;

$j_{\text{S НОМ}}$  - номінальна густина струму,  $\frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ .

Пази обмотки статора допоміжних двигунів електропоїздів змінного струму не є глибокими. Тому явищем витіснення струму можна знехтувати, тобто прийняти  $k_R = 1$ . Тому,

де

$$j_{\text{S НОМ}} = \frac{I_{\text{НОМ}}}{q}, \quad (12)$$

$q$  - переріз проводу обмотки,  $\text{мм}^2$ .

Із (6) допустима тривалість перевантаження  $t_{\text{доп}}$  при заданому значенні допустимого перевищення температури  $\tau_{\text{доп}}$ :

$$t_{\text{доп}} = T \frac{\tau_{\text{доп}} - k_{\text{ПОЧ}}^2 \tau_{\text{НОМ}}}{k^2 - k_{\text{ПОЧ}}^2}. \quad (13)$$

І при  $k_{\text{ПОЧ}} = 1$

$$t_{\text{доп}} = T \frac{\tau_{\text{доп}} - 1}{k^2 - 1} = T \frac{\Delta \tau_{\text{доп}}}{\tau_{\text{НОМ}} (k^2 - 1)}, \quad (14)$$

де  $\tau_{\text{доп}} - \tau_{\text{НОМ}} = \Delta \tau_{\text{доп}}$  - допустиме додаткове перевищення температури при перевантаженні. Підставивши у рівняння (7) та (13) значення для сталої часу із (11) отримаємо

$$\frac{\tau_{\text{пер}}}{\tau_{\text{НОМ}}} = k_{\text{ПОЧ}}^2 + \frac{j_{\text{S НОМ}}^2}{150 \tau_{\text{НОМ}}} (k^2 - k_{\text{ПОЧ}}^2) t_{\text{пер}}, \quad (15)$$

$$t_{\text{доп}} = \frac{150 \tau_{\text{НОМ}}}{j_{\text{S НОМ}}^2} \cdot \frac{\tau_{\text{доп}} - k_{\text{ПОЧ}}^2 \tau_{\text{НОМ}}}{k^2 - k_{\text{ПОЧ}}^2}. \quad (16)$$

Якщо двигун до перевантаження працював з номінальним навантаженням, то  $k_{\text{ПОЧ}} = 1$  і для цього випадку перевищення температури (при заданих  $k$  та  $t_{\text{пер}}$ )

$$\tau_{\text{пер}} = \tau_{\text{НОМ}} + \frac{j_{\text{S НОМ}}^2 (k^2 - 1) t_{\text{пер}}}{150}, \quad (17)$$

і допустима тривалість перевантаження (при заданому  $\tau_{\text{пер}}$ )

$$t_{\text{пер}} = \frac{150 (\tau_{\text{пер}} - \tau_{\text{НОМ}})}{j_{\text{S НОМ}}^2 (k^2 - 1)} = \frac{150 \Delta \tau_{\text{пер}}}{j_{\text{S НОМ}}^2 (k^2 - 1)}. \quad (18)$$

Формула (16) дає змогу вирішити поставлену задачу, тобто знайти  $t_{\text{доп}} = f(k)$  при заданому  $\Delta\tau_{\text{доп}}$  у загальному випадку, а формула (18) дає змогу знайти  $t_{\text{доп}} = f(k)$  при заданому  $\Delta\tau_{\text{доп}}$ , якщо двигун до перевантаження працював з номінальним навантаженням.

Захист допоміжних машин з допомогою теплових реле, що здійснюється у теперішній час має суттєві недоліки. Для розробки більш вдосконаленої системи захисту допоміжних машин електропоїздів важливо з використанням (16) знайти залежність  $t_{\text{доп}} = f(k)$  при різних значеннях  $\Delta\tau_{\text{доп}}$  під час пуску ( $k_{\text{поч}} = 0$ ). Тоді

$$t_{\text{доп}} = \frac{150\tau_{\text{НОМ}}}{j_{\text{S НОМ}}^2} \cdot \frac{\tau_{\text{доп}}}{\tau_{\text{НОМ}} \cdot k^2} = \frac{150\tau_{\text{доп}}}{j_{\text{S НОМ}}^2 k^2}, \quad (19)$$

де  $k = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{НОМ}}}$  - кратність пускового струму.

На електропоїздах серії EP9M після капітального ремонту в якості привода вентиляційних агрегатів пасажирських салонів встановлюються двигуни типу АІР-80В4. Параметри цих двигунів представлено в табл. 1.

Густина струму обмотки статора двигуна типу АІР-80В4, яка виконана із круглого провідника при номінальному ковзанні визначається

$$j_{\text{S НОМ}} = \frac{4I_{\text{НОМ}}}{\pi \cdot d_{\text{пр}}^2} = \frac{4 \cdot 6,1}{3,14 \cdot (0,71)^2} = 15,44 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

В залежності від умов при прямому пуску асинхронного двигуна кратність струму може набувати значень від  $k_{\text{min}} = 1$  до  $k_{\text{max}} = 7$ .

Використовуючи вираз (19) розрахуємо допустиму тривалість перевантаження обмотки статора двигуна типу АІР-80В4 при пуску в діапазоні значень коефіцієнта перевантаження ( $k_{\text{min}} \dots k_{\text{max}}$ ). Результати розрахунку приведені в табл. 2.

Залежність  $t_{\text{доп}} = f(k)$  для двигуна типу АІР-80В4 наведемо на рис.1.

Таблиця 1

Параметри двигуна АІР-80В4

$P_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{НОМ}}$	$n$	$\eta_{\text{НОМ}}$	$\cos \varphi$	$m$	$d_{\text{пр}}$	Клас ізоляції
кВт	В	А	об/хв			кг	мм	
1,5	220/380	6,1/3,5	1500	77,0	0,81	13,8	0,71	F

Таблиця 2

Розрахунок залежності  $t_{\text{доп}} = f(k)$

$k$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
$t_{\text{доп}}, \text{сек}$	69,21	30,76	17,30	11,07	7,69	5,65	4,32	3,41	2,76	2,28	1,92	1,63	1,41

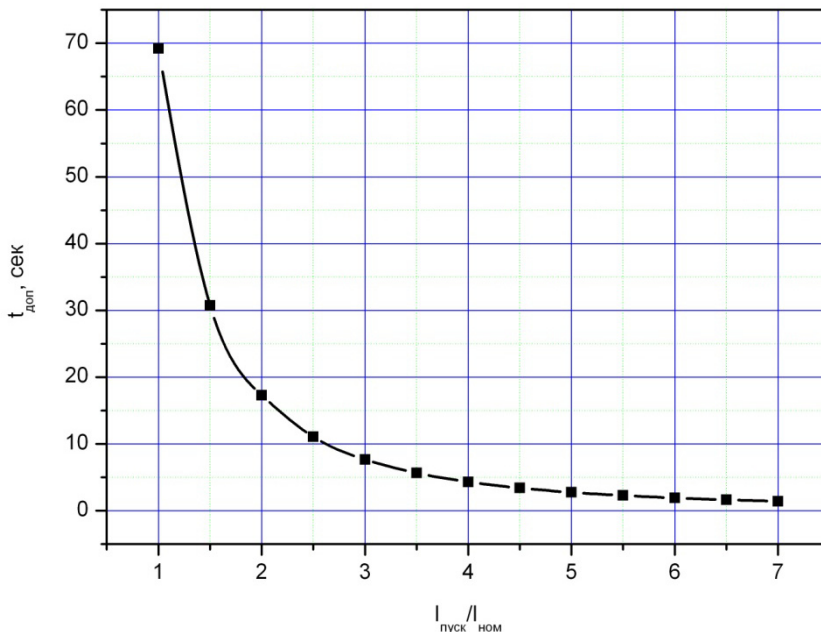


Рис. 1. Залежність  $t_{\text{доп}} = f(k)$  для двигуна типу АІР-80В4 під час пуску

На електропоїздах змінного струму серії ЕР9М захист двигунів типу АІР-80В4 здійснюється за допомогою загальнопромислових електротеплових реле типу ТРТ – 115 [6]. Теплове реле використовується для захисту двигуна від перегрівання при роботі в режимі перевантаження. Основними причинами перевантаження асинхронних двигунів на електропоїздах можуть бути збільшення тривалості пуску понад допустимі значення, робота при обриві однієї з фаз живлячої напруги та перевантаження при роботі від мережі із низькою якістю електроенергії.

Головною характеристикою теплового реле як пристрою захисту є залежність часу спрацювання від струму навантаження (часо-струмова характеристика).

Для узгодження характеристик реле і об'єкта, який цим реле захищено, будують їх часо-струмові характеристики. При правильному виборі теплового реле характеристики об'єкта і реле повинні проходити поруч. При цьому буде забезпечено рівність їх постійних часу нагрівання, досягнуто умови, коли  $I_{\text{спр}} = 1,2 \dots 1,3 I_{\text{ном}}$ . В такому випадку попередньо нагріте номінальним струмом реле надійно спрацює і швидко відімкне захищасемий двигун [7].

З метою порівняння часо-струмових характеристик було проведено дослід по визначенню названої характеристики для 5 зразків теплових реле типу ТРТ-115. На рис. 2 наведено реальну часо-струмову характеристику для сімейства теплових реле ТРТ-115.

На представленому рисунку розміщено дві залежності: верхня – отримана експериментально, нижня – характеристика теплового реле за паспортом. Як видно із рис 2., значення похибки часу спрацювання не є сталим і стохастично змінюється при зміні кратності струму нагрівального елемента теплового реле. Значення  $\delta$  коливається в межах від 20,7% до 74,3%. Середнє значення похибки часу спрацювання досліджуваного теплового реле типу ТРТ-115 становить 48,8%. При цьому таким, що задовольняє умовам налагодження теплового захисту, вважається реле, у якого похибка спрацювання не перебільшує 10% [8, 9].

Як вже було сказано, для надійного спрацювання теплового захисту часо-струмові характеристики реле і двигуна повинні проходити поруч. Побудуємо в одній системі координат отриману раніше залежність  $t_{\text{доп}} = f(k)$  для двигуна типу АІР-80В4 та  $t = f(k)$  для теплових реле типу ТРТ-115. Як видно з рис. 3, час спрацювання захисту на базі теплового реле ТРТ-115 вищий за допустиму тривалість перевантаження двигуна. Значить, можливим є робота двигуна з перевантаженням впродовж тривалого часу, необхідного для спрацювання теплового реле. При цьому похибка спрацювання теплового реле ТРТ-115 знаходиться в межах від 69% до 89% в залежності від ступеню перевантаження двигуна.

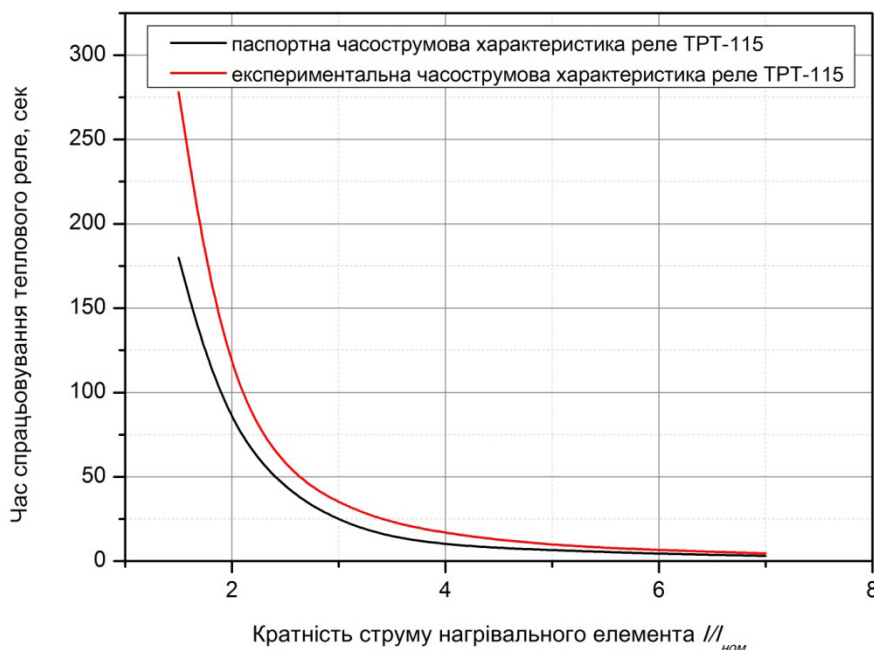


Рис. 2. Часо-струмові характеристики теплових реле типу ТРТ-115

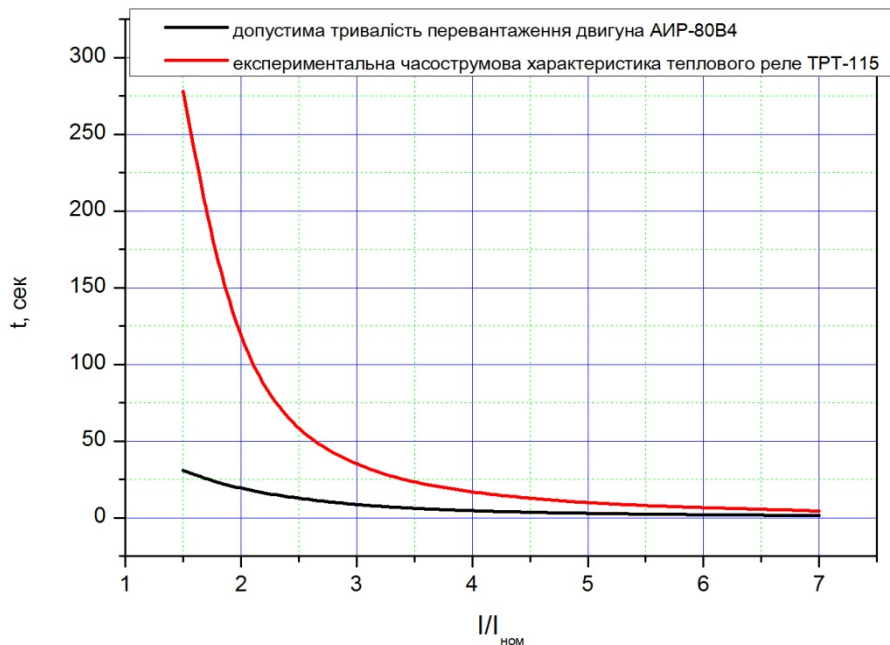


Рис. 3. Порівняння часо-струмових характеристик двигуна АІР-80В4 та теплового реле ТРТ-115

### Висновки

В умовах реальної експлуатації на електропоїздах змінного струму серії ЕР9М, двигуни допоміжних машин типу АІР-80В4 в періоди пуску та при невеликих перевантаженнях ( $k \geq 3,5$ ) недостатньо захищені штатним тепловим захистом через те, що час спрацювання теплового реле ТРТ-115 на 74%...89% більше допустимої тривалості перевантаження за умовами нагріву обмотки статора асинхронного двигуна.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия: утв. и введен в действие постановлением от 26.05.1981 № 2598 [текст] / Государственный комитет СССР по стандартам. – М.: Стандартиформ, 1998. – 58 с.
- Кацман, М.М. Электрические машины: учебн. для студентов сред. проф. учебных заведений [текст] / М.М. Кацман. – М.: Высш. шк.; Издательский центр «Академия», 2001. – 463 с.
- Вольдек, А.И. Электрические машины: учебн. для студентов высш. техн. учебн. заведений [текст] / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
- Сыромятников, И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей [текст] / И.А. Сыромятников. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.
- Обмоточные данные двигателей серии АІР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://principact.ru/content/view/178/112/>.
- Электропоезд ЭР9М. Руководство по эксплуатации [текст]. – М.: Транспорт, 1978. – 328 с.
- Чунихин, А.А. Электрические аппараты (об-

Існуючий тепловий захист практично не здатний надійно відімкнути асинхронний двигун в разі, коли він живиться від мережі із несиметричною напругою, в разі чого можливі такі режими роботи двигуна коли дві його фази майже не завантажені струмом, а одна споживає струм, більший за номінальний. Система теплового захисту не спрацює і може бути пошкоджено ізоляцію найбільш завантаженої струмом фази обмотки.

### REFERENCES

- GOST 2582-81. *Mashinyi elektricheskie vraschayuschiesya tyagovyye. Obschie tehnicheckie usloviya* [State Standard 2582-81. Rotate electrical machines for rail and road vehicles. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1998. 58 p.
- Katsman M.M. *Elektricheskie mashiny* [Electrical machines]. Moscow, Academia Publ., 2001. 463 p.
- Voldek A.I. *Elektricheskie mashiny* [Electrical machines]. Leningrad, Energiya Publ., 1978. 832 p.
- Syromyatnikov I.A. *Rezhimy raboty asinhronnyih i sinhronnyih elektrodvigatelay* [Modes of operation of asynchronous and synchronous motors]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1984. 240 p.
- Obmotochnyye dannyye dvigateley serii AIR* (Winding data of engines series AIR) Available at: <http://principact.ru/content/view/178/112/>
- Elektropoezd ER9M. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Electric train ER9M. Manual]. Moscow, Transport Publ., 1978. 328 p.
- Chunihin A.A. *Elektricheskie apparaty* [Electric apparatuses]. Moscow, Energiya Publ., 1975. 648 p.
- Zimenkov M.G., Rozenberg G.V., Feskov E.M. *Spravochnik po naladke elektrooborudovaniya promy-*

щий курс) [текст] / А.А. Чунихин. – М.: Энергия, 1975. – 648 с.

8. Зименков, М.Г. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий [текст] / М.Г. Зименков, Г.В. Розенберг, Е.М. Феськов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 480 с.

9. Вплив умов експлуатації на надійність двигунів компресорів електропоїздів постійного струму [текст] / Л.В. Дубинець, Д.В. Устименко, С.О. Жернаков, Р.В. Краснов // Вісник ДНУЗТ. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007. – Вип. 18. – С. 29-31.

*ishlennyih predpriyatiy* [Handbook of adjustment of electrical equipment of industrial enterprises]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 480 p.

9. Dubinets L.V., Ustimenko D.V., Zhernakov E.O., Krasnov R.V. *Vplyv umov ekspluatatsii na nadiynist dviguniv kompresoriv elektropoizdiv postynogo strumu* [Influence of operating conditions on the reliability of electric compressor motors DC]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 29-31.

Надійшла до друку 05.11.2014.

Внутрішній рецензент *Костін М. О.*

Зовнішній рецензент *Андрієнко П. Д.*

Статистичний аналіз показує, що близько 20% допоміжних машин електропоїздів змінного струму (компресор, масляний насос охолодження тягового трансформатора, двигуни вентиляційних агрегатів) виходять з ладу щорічно. Очевидно, що питання підвищення надійності допоміжних машин на електропоїздах змінного струму серії ЕР9М наразі є актуальним. Основною причиною виходу з ладу цих машин є пошкодження ізоляції обмотки статора електричного двигуна. На електропоїздах серії ЕР9М застосовують загальнопромислові асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором типу АОМ та подібні до них, більш сучасні типу АІР. Факт виходу з ладу двигуна говорить про те, що ізоляція обмотки статора перегрівається вище допустимих температур. Причиною цьому стає той факт, що двигун в режимі реальної експлуатації працює із короткочасними перевантаженнями. Ці перевантаження обумовлено тим, що двигуни працюють в суттєво більш важких умовах, ніж в промисловості, до чого можна віднести значні відхилення живлячої напруги, які властиві рухомому складу електрифікованому на змінному струмі, роботу агрегатів при низьких температурах атмосферного повітря та інше. В роботі поставлено задачу визначити гранично допустиму тривалість короткочасних перевантажень, при яких ізоляція двигуна не буде перегріта вище допустимих температур. Запропоновано інженерний метод визначення названої характеристики. Експериментально знято часоструміву характеристику електротеплового реле. Виконано порівняння отриманої аналітичної залежності із експериментально отриманими характеристиками реального теплового захисту на базі теплового реле ТРТ-115. Розроблено рекомендації по підвищенню надійності теплового захисту асинхронних короткозамкнених двигунів, які працюють в режимах короткочасних перевантажень.

**Ключові слова:** допоміжні машини, електропоїзд змінного струму, ізоляція, перегрів, короткочасне перевантаження, теплове реле.

УДК 621.3.048.1

А. Ю. БАЛИЙЧУК (ДНУЖТ)

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, 49010, г. Днепропетровск, Украина, г. Днепропетровск, ул. Лазаряна, 2, тел.: (056) 373-15-47, эл. почта: [baliichukaleksei@mail.ru](mailto:baliichukaleksei@mail.ru)

## НАГРЕВАНИЕ И ЗАЩИТА ОБМОТОК ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ПЕРЕГРУЗКАХ

Статистический анализ показывает, что около 20% вспомогательных машин электропоездов переменного тока (компрессор, масляный насос охлаждения тягового трансформатора, двигатели вентиляционных агрегатов) выходят из строя ежегодно. Очевидно, что вопрос повышения надежности вспомогательных машин на электропоездах переменного тока серии ЭР9М сейчас является актуальным. Основной причиной выхода из строя этих машин является повреждение изоляции обмотки статора электродвигателя. На электропоездах серии ЭР9М применяют общепромышленные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором типа АОМ и подобные им, более современные типа АІР. Факт выхода из строя двигателя говорит о том, что изоляция обмотки статора перегревается выше допустимых температур. Причиной этому становится тот факт, что двигатель в режиме реальной эксплуатации работает с кратковременными перегрузками. Эти перегрузки обусловлены тем, что двигатели работают в существенно более трудных условиях, чем в промышленности, к чему можно отнести значительные отклонения питающего напряжения, которые свойственны подвижному составу электрифицированному на переменном токе, работу агрегатов при низких температурах атмосферного воздуха и прочее. В работе поставлена задача определить предельно допустимую продолжительность кратковременных перегрузок, при которых изоляция двигателя не будет перегрета выше допустимых температур. Предложен инженерный метод определения названной характери-

© Балійчук О. Ю., 2014

сти. Экспериментально снята времятоковая характеристика электротеплового реле. Выполнено сравнение полученной аналитической зависимости с экспериментально полученными характеристиками реального теплового защиты на базе теплового реле ТРТ-115. Разработаны рекомендации по повышению надежности тепловой защиты асинхронных короткозамкнутых двигателей, работающих в режимах кратковременных перегрузок.

**Ключевые слова:** вспомогательные машины, электропоезд переменного тока, изоляция, перегрев, кратковременная перегрузка, тепловое реле.

Внутренний рецензент *Костин Н. А.*

Внешний рецензент *Андриенко П. Д.*

UDC 621.3.048.1

O. U. BALIICHUK (DNURT)

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: +38 (056) 373-15-47, e-mail: [baliichukaleksei@mail.ru](mailto:baliichukaleksei@mail.ru)

## HEATING AND PROTECTION THE WINDINGS OF AUXILIARY MACHINES OF THE AC ELECTRIC MULTIPLE-UNIT TRAINS AT SHORT-TIME OVERLOADS

Statistical analysis shows that about 20% of the auxiliary machines of AC electric multiple-unit trains (compressor, oil pump for cooling traction transformer, the motors of ventilation aggregates) are fails every year. Obviously, that the issue of increasing the reliability of auxiliary machines of AC trains ER9M series is now urgent. The main cause of the failure of these machines is the insulation damage of the stator winding of the motor. On the trains ER9M series use the general purpose industrial induction motors with squirrel-cage rotor of AOM type and the similar to them, more modern AIR type. The fact of the failure of the engine shows that the insulation of the stator winding overheating above the allowable temperature. The reason of that becomes the fact that the engine in a mode of real operation works with transient overloads. These overloads caused by the fact that the engines are work in a much more difficult conditions than in industry, to which can be attributed the significant variations of the supply voltage, which are characteristic of the AC rolling stock, operation at low air temperatures and so on. In this paper it is set the task to identify the maximum permissible duration of transient overloads, during which the motor insulation will not be overheated above the allowable temperature. An engineering method for determining these characteristics is proposed. Experimentally obtained the time-current characteristics of the electrothermal relays. The comparison of the obtained analytical dependence with the experimentally measured characteristics of real thermal protection on the basis of the thermal relay TRT-115 is done. Formulated recommendations to increase the reliability of the thermal protection of asynchronous motors with squirrel-cage rotor, which are work in transient overloads modes.

**Keywords:** auxiliary machine, AC electric multiple-unit train, insulation, overheat, short-term overload, thermal relays.

Internal reviewer *Kostin M. O.*

External reviewer *Andrienko P. D.*