

**ЕНЕГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ НЕСТАНДАРТНОГО ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ РЕМОНТУ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ****О. Л. Маренич, О. О. Карзова, Р. В. Краснов, О. Ю. Балійчук**

Український державний університет науки і технологій

вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, 49010, Україна.

E-mail: ks.marenych@gmail.com, karzova@i.ua, krasnovrv78@gmail.com, lejikbaliychuk@gmail.com

В. П. Щокін

Криворізький національний університет

вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна. E-mail: vadim.shchokin@knu.edu.ua

Для забезпечення технологічних процесів при ремонті рухомого складу залізниць з певним рівнем механізації та автоматизації застосовується як типове обладнання, так й нестандартне. Основною метою даної роботи є дослідження ефективності перемикання обмоток статора недовантажених двигунів нерегульованих електроприводів універсального нестандартного технологічного обладнання зі схеми «трикутник» на схему «зірка» при ремонті рухомого складу залізниць з урахуванням особливостей технологічного процесу та технічних характеристик цього обладнання. Для досягнення поставленої мети в роботі визначено умови, за яких доцільно при ремонті рухомого складу застосовувати перемикання обмотки статора двигунів електроприводів універсального нестандартного обладнання зі схеми «трикутник» на схему «зірка» з точки зору енергозбереження; проведено аналіз технічних характеристик цього обладнання для виділення видів обладнання, які працюють у тривалому режимі й потужність двигунів електроприводів яких більша ніж 0,5 кВт; розроблено алгоритм для розрахунку зменшення втрат активної потужності в двигунах електроприводів нестандартного обладнання в результаті перемикання схеми обмотки статора. На базі аналізу технологічних процесів ремонту рухомого складу залізниць запропоновано алгоритм розрахунків для кількісної оцінки енергоефективності перемикання обмоток статора зі схеми «трикутник» на схему «зірка» в недовантажених двигунах електроприводів вказаного обладнання. Проведені дослідження підтвердили суттєву енергоефективність перемикання обмотки статора недовантаженого двигуна з «трикутника» на «зірку» в умовах, що розглядаються. Вперше з урахуванням особливостей використання нестандартного універсального обладнання на підприємствах з ремонту рухомого складу залізниць проведені дослідження з енергозбереження в недовантажених двигунах електроприводів цього обладнання шляхом перемикання обмотки статора зі схеми «трикутник» на схему «зірка». Отримані в роботі результати досліджень можуть бути використані при виконанні техніко-економічних розрахунків для обґрунтування доцільності модернізації з метою забезпечення перемикання обмотки статора недовантажених двигунів електроприводів вказаного обладнання зі схеми «трикутник» на схему «зірка».

Ключові слова: коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт потужності, енергозбереження, коефіцієнт навантаження, недовантажений режим, технологічні процеси.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Енергозбереження є важливим стратегічним напрямком розвитку країни. Електропривод (ЕП) – один із основних об'єктів енергозбереження [1, 6, 7]. У теперішній час в електроприводах різного обладнання на підприємствах України застосовують, як правило, загальнопромислові асинхронні двигуни (АД). Загальна встановлена потужність АД в Україні приблизно 40...50 млн. кВт [1]. Близько 90 % усіх електроприводів використовується в простих агрегатах: насосах, вентиляторах, транспортерах, конвеєрах та ін. [2]. До цієї групи відносяться й електроприводи технологічного універсального нестандартного обладнання для ремонту рухомого складу залізниць (РС). Під «нестандартним» обладнанням розуміємо обладнання, яке виготовлене спеціально для ремонту РС.

Рухомий склад залізниць – це локомотиви, моторвагонний рухомий склад, дизель-поїзди, самохідний склад спеціального призначення, несамохідний рухомий склад (вагони).

Під «універсальним» обладнанням розуміємо обладнання, призначене для виконання певного

технологічного процесу при ремонті різних великогабаритних вузлів РС, вага яких змінюється у широких межах.

Наприклад, АЗ003 машина механізована для мийки великогабаритних виробів (вузлів РС) високим тиском [3].

Машина призначена для мийки великогабаритних вузлів рухомого складу, переважно рам візків електровозів ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, ЧС4^Т, електропоїздів ЕР2 та ЕР9, тепловозів із тривісними візками. Інформація про мийні машини, камери для обдування, фарбування та інше універсальне нестандартне обладнання, що застосовується при ремонті великогабаритних вузлів РС наведена в [8–10].

Деякі питання енергозбереження в електроприводах окремих типів нестандартного обладнання розглянуті в [4, 5].

На практиці доцільно обирати спосіб покращення енергетичних показників електроприводів універсального нестандартного обладнання з урахуванням ваги великогабаритних вузлів РС, що ремонтується.

З цієї точки зору виділено дві групи підприємств.

1. Підприємства, на яких ремонтують такі види РС, у яких вага великогабаритних вузлів значно менша, ніж максимально допустима вага, передбачена технічними характеристиками універсального нестандартного обладнання. Тому двигуни електроприводів цього обладнання постійно працюють у суттєво недовантаженому режимі.

Наприклад, ПАТ «Київський електровагоноремонтний завод» спеціалізується на ремонті електропоїздів постійного та змінного струму та дизель-поїздів [11].

ДТ «Моторвагонне депо Фастів-1» спеціалізується на ремонті електропоїздів змінного струму [12].

У цьому випадку двигуни електроприводів універсального нестандартного обладнання постійно працюють у суттєво недовантаженому режимі і їх доцільно замінити на менш потужні. Умови заміни встановленого двигуна електроприводу на менш потужний в залежності від коефіцієнта навантаження k_n наведені в [13]:

$$k_n = \frac{P_r}{P_{nom}},$$

де P_{nom} – номінальне навантаження двигуна;

P_r – реальне навантаження двигуна.

2. Підприємства, які ремонтують такі види РС, у яких частина великогабаритних вузлів мають вагу наближену до максимальної допустимої згідно технічних характеристик універсального нестандартного обладнання, а частина – суттєво меншу.

У цьому випадку навантаження двигунів електроприводів нестандартного обладнання змінюється через відносно невеликий проміжок часу у широких межах в залежності від ваги великогабаритних вузлів згідно технологічного процесу ремонту РС. На думку авторів у даному випадку найбільш раціональним способом покращення енергетичних показників нерегульованих асинхронних двигунів електроприводів нестандартного технологічного універсального обладнання є перемикання обмоток статора з «трикутника» (Δ) на «зірку» (Y), якщо коефіцієнт навантаження k_n цих двигунів зменшується до певного значення. Цей спосіб простий і надійний по виконанню. Важливо й те, що легко здійснюється й зворотнє перемикання обмоток статора з «Y» на « Δ »

Прикладом такого підприємства є ПрАТ «Львівський локомотиворемонтний завод» [14]. Завод проводить капітальний ремонт електровозів постійного струму ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, ВЛ11м, ВЛ11м/5, ВЛ11м/6, ДЕ1, змінного струму ВЛ40, ВЛ60, ВЛ80, ДС3, тягових агрегатів ПЕ2М, ПЕ2У, ОПЕ1М і ряду інших моделей за узгодженням із замовником.

Універсальне обладнання з точки зору інтенсивності його використання, зменшення площ, потрібних для встановлення особливо доцільно використовувати на підприємствах другої групи.

У теперішній час універсальне нестандартне обладнання використовується в різній мірі на багатьох підприємствах по ремонту РС (локомотиво- та вагоноремонтні заводи, локомотивні та вагонні депо).

Із освоєнням нових видів РС в найближчому майбутньому для забезпечення технологічного процесу з достатнім рівнем механізації та автоматизації необхідно буде суттєво більше застосовувати універсальне нестандартне обладнання. Тому дослідження з метою розробки рекомендацій по раціональному використанню електроприводів вказаного обладнання з точки зору енергозбереження є актуальною задачею.

Предметом дослідження в даній статті є нерегульовані електроприводи універсального технологічного нестандартного обладнання на підприємствах, що відносяться до другої групи.

Метою роботи є дослідження ефективності перемикання обмоток статора недовантажених двигунів в нерегульованих електроприводах універсального нестандартного технологічного обладнання зі схеми «трикутник» на «зірку» при ремонті рухомого складу залізниць з урахуванням особливостей технологічного процесу та технічних характеристик цього обладнання.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

- визначити умови, за яких доцільно при ремонті РС застосовувати перемикання обмотки статора двигунів електроприводів універсального нестандартного обладнання зі схеми «трикутник» на схему «зірка» з точки зору енергозбереження;
- провести аналіз технічних характеристик цього обладнання для виділення видів обладнання, які працюють у тривалому режимі і потужність двигунів електроприводів яких більша ніж 0,5 кВт;
- розробити алгоритм (методику) для розрахунку зменшення втрат активної потужності у двигунах електроприводів нестандартного обладнання в результаті перемикання схеми обмотки статора.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. При роботі з недовантаженням енергетичні показники приводного асинхронного двигуна технологічного обладнання будуть значно нижчі, ніж при номінальному режимі роботи, що суттєво відбивається на економічних показниках роботи електроприводу.

Зниження фазної напруги живлення трифазного асинхронного двигуна (ТАД) при перемиканні обмоток статора зі схеми «трикутник» на схему «зірка» призводить до зменшення реактивної потужності (за рахунок зниження струму

намагнічування) та сумарних втрат у двигуні та системі електропостачання.

Вказане перемикання з метою зниження напруги можливе при рівності номінальної фазної напруги обмотки статора двигуна і лінійної напруги мережі.

В табл. 1 та табл. 2 наведені дані, що дозволяють оцінити зміну ККД (η) та $\cos \varphi$ при перемиканні обмоток для різних коефіцієнтів навантаження двигуна k_n [13].

Таблиця 1 – Співвідношення ККД для двох схем вмикання обмоток статора

k_n	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
η_Y / η_Δ	1,27	1,1	1,06	1,4	1,2	1,01	1,005	1

Таблиця 2 – Співвідношення $\cos \varphi_Y / \cos \varphi_\Delta$ для двох схем вмикання обмоток статора при різних значеннях k_n і $\cos \varphi_{nom}$

$\cos \varphi_{nom}$	Відношення $\cos \varphi_Y / \cos \varphi_\Delta$ за коефіцієнтів навантаження k_n				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,78	1,94	1,8	1,64	1,49	1,35
0,8	1,85	1,73	1,58	1,43	1,3
0,82	1,78	1,67	1,52	1,37	1,26
0,84	1,72	1,61	1,46	1,32	1,22
0,86	1,66	1,55	1,41	1,27	1,18
0,88	1,6	1,49	1,35	1,22	1,14
0,9	1,57	1,43	1,29	1,17	1,1
0,92	1,5	1,36	1,29	1,11	1,00

Дані табл. 1 та табл. 2 показують, що при коефіцієнті навантаження $k_n < 0,5$ значення ККД і $\cos \varphi$ у схемі «зірка» вище ніж у схемі «трикутник».

Тобто, перемикання при $k_n < 0,5$ обмотки статора із схеми «трикутник» на схему «зірка» забезпечує ефект енергозбереження.

На практиці перемикання обмоток статора асинхронного двигуна з «трикутника» на «зірку» можна рекомендувати для електродвигунів систематичного завантаження менше як на 30 %, тобто при $k_n \leq 0,3$ [13]. Якщо в інтервалі $0,3 < k_n \leq 0,5$ розрахунок показує суттєве енергозбереження в результаті перемикання обмоток статора, необхідно проводити перевірку за граничним коефіцієнтом навантаження (для запобігання «перекиданню» електродвигуна) і за пусковим і мінімальним моментом для забезпечення надійного запуску електродвигуна.

В даній статті автори обмежились дослідженням ефективності енергозбереження при перемиканні обмоток статора при умові, що $k_n \leq 0,3$, що має місце в багатьох випадках на практиці.

Проведемо дослідження відносно енергозбереження електроприводів нестандартного обладнання на прикладі «Камери обдування, фарбування тепловозних тягових двигунів,

генераторів, гідромеханічних редукторів (ГРМ) і допоміжних машин» [15].

Технічні характеристики камери:

- напруга живлячої мережі – 380/24 В;
- частота живлячої мережі – 50 Гц;
- електродвигун приводу – асинхронний;
- встановлена потужність – 17 кВт;
- привод поворотно-передавального візка – електромеханічний вибухозахищеного виконання;
- потужність приводу візка – 2,2 кВт;
- обертання поворотного круга – реверс, потужністю 2,2 кВт;
- вантажопідйомність передавального візка – 10 т;
- габаритні розміри при висунутому поді – 4200х2400х2650 мм;
- вага – 1500 кг.

У всіх випадках, коли фарбують великогабаритний вузол вагою до 3 т і менше доцільно застосувати перемикання схеми статора приводних двигунів поворотно-передавального візка та приводу обертання поворотного круга зі схеми «трикутник» на «зірку». При цьому $k_n = \frac{P_v}{10} \leq 0,3$,

де P_v – вага вузла, т; 10 – вантажопідйомність передавального візка, т.

В якості двигунів електроприводів поворотно-передавального візка та поворотного круга приймаємо вибухозахищений двигун типу АІМ(У)-90L-4 [17].

Визначимо ефективність з точки зору енергозбереження перемикання обмоток статора зі схеми «трикутник» на схему «зірка» двигуна АІМ(У)-90L-4 при фарбуванні в камері електричного двигуна ЕД-118А, який застосовується для тепловозів ТЕМ-2, ТЕМ-7, 2ТЕ116, М62, 2ТЕ10 та ін.

Вага тягового двигуна ЕД-118А складає $P_v = 3100$ кг [18], а коефіцієнт навантаження двигунів приводів, що розглядаються дорівнює $k_n = \frac{P_v}{10} = \frac{3,1}{10} = 0,31$ (тобто практично дорівнює 0,3), де 3,1 та 10 – відповідно вага тягового двигуна ЕД-118А та вантажопідйомність передавального візка в т.

Визначимо доцільність з точки зору енергозбереження перемикання обмоток двигуна АІМ(У)-90L-4, що працює з коефіцієнтом навантаження $k_n = 0,3$.

Номинальні дані двигуна: $P_{nom} = 2,2$ кВт; напруга $U_{nom} = 380/660$ В; кількість пар полюсів $p = 2$; струм статора $I_{1nom} = 3$ А; ковзання $s_{nom} = 0,065$; ККД $\eta_{nom} = 0,815$; $\cos \varphi_{nom} = 0,8$; $\lambda_m = \left(\frac{M_k}{M_{nom}} \right) = 2,8$; $f_{1nom} = 50$ Гц.

Пропонується наступний алгоритм для вирішення поставленої задачі [2, 13, 16, 19]:

1. Кутова швидкість ω_0 обертання поля статора, номінальна кутова швидкість ω_{nom} та номінальний момент двигуна АІМ(У)-90L-4:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p};$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{nom} = \omega_0 (1 - s_{nom});$$

$$\omega_{nom} = 157(1 - 0,065) = 146,79 \text{ рад/с};$$

$$M_{nom} = \frac{P_{nom}}{\omega_{nom}};$$

$$M_{nom} = \frac{2200}{146,79} = 14,99 \text{ Нм}.$$

2. Приведений номінальний струм ротора:

$$I'_{2nom} \approx I_{1nom} \cos \varphi_{nom};$$

$$I'_{2nom} \approx 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ А}.$$

3. Струм намагнічування двигуна:

$$I_\mu \approx I_{1nom} \left(\sin \varphi_{nom} - \frac{\cos \varphi_{nom}}{\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}} \right);$$

$$I_\mu \approx 3 \cdot \left(0,6 - \frac{0,8}{2,8 + \sqrt{2,8^2 - 1}} \right) = 1,356 \text{ А}.$$

4. Приведений активний опір ротора:

$$R'_2 = \frac{M_{nom} \omega_0 s_{nom}}{3 \cdot I_{2nom}^2};$$

$$R'_2 = \frac{14,99 \cdot 157 \cdot 0,065}{3 \cdot 2,4^2} = 8,85 \text{ Ом}.$$

5. Реактивна потужність у номінальному режимі:

$$Q_{nom} = 3U_f I_{1nom} \sin \varphi_{nom};$$

$$Q_{nom} = 3 \cdot 380 \cdot 3 \cdot 0,6 = 2052 \text{ вар};$$

$$U_f = U_{nom} = 380 \text{ В}.$$

6. Реактивна потужність режиму неробочого ходу:

$$Q_0 = 3U_f I_\mu \sin \varphi_0;$$

$$Q_0 = 3 \cdot 380 \cdot 1,356 \cdot 0,98 = 1514,92 \text{ вар}.$$

$$\text{Приймаємо, } \cos \varphi_0 = 0,2 \quad [19],$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - 0,2^2} = 0,98.$$

7. Індуктивний опір короткого замикання в схемі заміщення:

$$x_k = \frac{R'_2 (Q_{nom} - Q_0)}{M_{nom} \omega_0 s_{nom}};$$

$$x_k = \frac{8,85 \cdot (2052 - 1514,92)}{14,99 \cdot 157 \cdot 0,065} = 31,07 \text{ Ом};$$

$$x_k = x_1 + x'_2,$$

де x_1 та x'_2 – індуктивні опори відповідно обмотки статора та приведенного опору обмотки ротора.

8. Активний опір кола статора:

$$R_1 = \left(\left(\frac{3U_f^2}{2\omega_0 M_k} \right)^2 - x_k^2 \right) / \left(2 \frac{3U_f^2}{2\omega_0 M_k} \right);$$

$$R_1 = \frac{\left(\left(\frac{3 \cdot 380^2}{2 \cdot 157 \cdot 2,8 \cdot 14,99} \right)^2 - 31,07^2 \right)}{2 \frac{3 \cdot 380^2}{2 \cdot 157 \cdot 2,8 \cdot 14,99}} = 1,75 \text{ Ом}.$$

9. Повні номінальні втрати:

$$\Delta P_{nom} = P_{nom} \frac{1 - \eta_{nom}}{\eta_{nom}};$$

$$\Delta P_{nom} = 2200 \frac{1 - 0,815}{0,815} = 499,39 \text{ Вт}.$$

10. Змінні номінальні втрати:

$$\Delta P'_{nom} = \Delta P'_{1nom} + \Delta P'_{2nom} = 3I_{1nom}^2 R_1 + 3I_{2nom}^2 R'_2;$$

$$\Delta P'_{nom} = 3 \cdot 3^2 \cdot 1,75 + 3 \cdot 2,4^2 \cdot 8,85 = 200,18 \text{ Вт}.$$

11. Постійні втрати потужності:

$$K = \Delta P_{nom} - \Delta P'_{nom};$$

$$K = 499,39 - 200,18 = 299,21 \text{ Вт}.$$

12. Зменшення реактивної потужності $\Delta Q_{\Delta-Y}$ у разі перемикання обмоток статора зі схеми «трикутник» на схему «зірка»:

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \frac{2Q_0}{3} - 2k_n^2 \Delta Q_{nom};$$

$$\Delta Q_{\Delta-Y} = \frac{2 \cdot 1514,92}{3} - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 537,08 = 913,23 \text{ вар};$$

$$\Delta Q_{nom} = Q_{nom} - Q_0;$$

$$\Delta Q_{nom} = 2052 - 1514,92 = 537,08 \text{ вар}.$$

13. Зменшення втрат активної потужності $\Delta P_{\Delta-Y}$ у разі перемикання обмоток статора зі схеми «трикутник» на схему «зірка»:

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \frac{2\Delta P_0}{3} - 2k_n^2 \Delta P_{nom};$$

$$\Delta P_{\Delta-Y} = \frac{2 \cdot 174,79}{3} - 2 \cdot 0,3^2 \cdot 499,39 = 26,64 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_0 = 0,35 \Delta P_{nom};$$

$$\Delta P_0 = 0,35 \cdot 499,39 = 174,79 \text{ Вт}.$$

14. Загальне зменшення втрат потужності:

$$\Delta P_{EK} = K_E \Delta Q_{\Delta-Y} + \Delta P_{\Delta-Y};$$

$$\Delta P_{EK} = 0,1 \cdot 913,23 + 26,64 = 117,96 \text{ вар},$$

де $K_E = 0,1$ – коефіцієнт зменшення втрат потужності за рахунок зменшення реактивної потужності, кВт/квар [13].

Таким чином, загальне зменшення втрат потужності в результаті перемикання обмоток статора складає:

$$\frac{\Delta P_{EK}}{\Delta P_{nom}} \cdot 100\% = \frac{117,96}{499,39} \cdot 100\% = 23,62\%.$$

Наукова новизна та практична значимість

1. Вперше обґрунтовано, що на підприємствах, на яких ремонтуються декілька видів рухомого складу і відповідно до технологічного процесу ремонту великогабаритних вузлів навантаження на двигуни нерегульованих електроприводів універсального нестандартного обладнання змінюється систематично від максимального до значення, при якому коефіцієнт навантаження дорівнює 0,3 і менше, доцільно вирішувати задачу енергозбереження саме перемиканням обмоток статора двигуна електроприводу обладнання зі схеми «трикутник» на схему «зірка».

2. Запропоновано алгоритм розрахунків для кількісної оцінки зменшення втрат активної потужності в двигунах електроприводів нестандартного обладнання при перемиканні обмоток статора з «трикутника» на «зірку».

3. З використанням запропонованого алгоритму проведені розрахунки для кількісної оцінки енергозбереження в електроприводах камери обдування, фарбування тепловозних тягових двигунів, генераторів, гідромеханічних редукторів (ГРМ) і допоміжних машин. При коефіцієнті навантаження 0,3 зменшення втрат активної

потужності після перемикання обмотки статора із «Δ» на «Y» склало в одному двигуні 23,62 %. Отриманий результат може бути орієнтиром при розрахунках кількісних оцінок зменшення втрат активних потужностей для іншого нестандартного обладнання.

ВИСНОВКИ. Робота має чітко виражений прикладний характер.

1. Аналіз показує, що на підприємствах, на яких ремонтується декілька видів рухомого складу (електровози, тепловози, вагони та ін.) при виконанні технологічного процесу ремонту великогабаритних вузлів (рами візків, колісні пари, тягові двигуни та ін.) коефіцієнти навантаження двигунів універсального нестандартного обладнання систематично і в значній кількості випадків дорівнюють 0,3 і менше.

2. Запропоноване перемикання обмоток статора цих двигунів із «трикутника» на «зірку» при вказаних коефіцієнтах навантаження доцільно з точки зору енергозбереження і при цьому забезпечується стійка робота двигуна (відсутність «перекидання», надійний запуск).

3. Вказаний спосіб енергозбереження доцільно застосовувати в першу чергу для двигунів електроприводів універсального нестандартного обладнання потужністю 0,5 кВт і більше, які працюють у тривалому режимі.

4. Отримані результати розрахунків за запропонованим алгоритмом необхідні при техніко-економічному обґрунтуванні модернізації для забезпечення перемикання обмоток статора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закладний А. Н., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода : навч. посіб. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2005. 408 с.
2. Огарь В. О., Алексеева Ю. О. Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Методи та засоби енергозбереження в електромеханічних комплексах» для аспірантів очної форми навчання зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» третього (освітньо-наукового) рівня. Кременчук : КНТУ, 2019. 65 с.
3. АЗ003. Машина механізована для мийки великогабаритних виробів високим тиском. URL: <https://www.google.com.ua/search?q=машина+мийна+ММД-12А.sxs>.
4. Маренич О. Л., Дубинец Л. В., Карзова О. А., Краснов Р. В., Мельник А. В. Улучшение энергетических показателей предприятий по ремонту подвижного состава. *Гірнична електромеханіка та автоматика* : наук.-техн. зб. 2013. Вип. 90. С. 144–150. ISSN 0201-7814.
5. Маренич О. Л., Балійчук О. Ю., Дубинец Л. В. Підвищення коефіцієнту потужності електроприводів нестандартного обладнання

підприємств з ремонту рухомого складу залізниць. *Електрифікація транспорту*. Дніпропетровськ. 2017. № 14. С. 31–36. ISSN 2307-4221.

6. Dhaoui M. A., Sbata L. New method for losses minimization in IFOC Induction Motors Drives. *International journal of Systems Control*. 2010. Vol. 1. Iss. 2. P. 93–99.

7. Hung N. T., Thien N. C., Ngugen T. P., Le V. S., Than D. A. Optimization of Electric Energy in Three-Phase Induction Motor Balancing of Torque and Flux Dependent Losses. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2014. P. 497–507. DOI: 10.007/978-3-642-41968-3-50).

8. Машина мийна ММД-12А. URL: <https://www.google.com.ua/search?q=машина+мийна+ММД-12А.sxs>.

9. ООО «ПО» Укрспецкомплект». Харків. Обладнання для залізниць та метрополітена. URL: usk.ua.

10. Нестандартне технологічне обладнання для ремонту локомотивів, вагонів та моторвагонного рухомого складу. URL: <https://www.google.com.ua/search?sxsrf=ALeKk02Hhw-5uvB5n5RdwDLkGsnb7Y>.

11. Приватне акціонерне товариство «Київський електровагоноремонтний завод». URL: kevrz.com.ua/index.php/ua/.

12. Структура та загальна характеристика ДП «Мотор-вагонне депо Фастів 1». URL: <https://studfile.net/preview/9322482/pade:2/>.

13. ДСТУ 3886-99. Енергозбереження. Системи електроприводу. Метод аналізу та вибору. [Чинний від 2000-01-07]. Київ: Держспоживстандарт України, 2000. 54 с.

14. ПАТ «Львівський локомотиворемонтний завод». URL: <https://Lvivirz.com>.

15. Камера обдування, фарбування тепловозних тягових двигунів, генераторів, гідромеханічних редукторів (ГРМ) і допоміжних машин. URL: <https://www.google.com.ua/search?q=камера+для+фарбування+тягових+двиг>.

16. Соловей О. І. та ін. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електропостачання промислових підприємств : навч. посіб. Кіров. нац. техн. ун-т. Черкаси : видавець Чабаненко Ю., 2015. 316 с. ISBN 978-966-493-870-6.

17. Каталог взрывозащищенных электродвигателей серии АИМ, АИУ. «Днепропетровськ»: Elmo. URL: <https://elmo.ua/wp-content/uploads/2018/07/tehapisanie-aim>.

18. Вага тепловозного тягового двигуна ЕД-118А. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/zapasnye-chasti-dlya-teplovozov/tyagovyyi>.

19. Дубинец Л. В., Момот О. І., Маренич О. Л. Електричні машини. Трансформатори. Асинхронні машини : навч. посіб. Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. 208 с.

ENERGY SAVINGS WHEN USING NON-STANDARD EQUIPMENT FOR REPAIR OF RAILWAY ROLLING STOCK

O. Marenych, O. Karzova, R. Krasnov, O. Baliichuk

Ukrainian State University of Science and Technology
vul. Lazaryana, 2, Dnipro, 49010, Ukraine.

E-mail: ks.marenych@gmail.com, karzova@i.ua, krasnovrv78@gmail.com, lejikbaliychuk@gmail.com

V. Shchokin

Kyryvyi Rih National University

vul. Vitaliya Matushevycha, 11, Kyryvyi Rih, 50027, Ukraine. E-mail: vadim.shchokin@knu.edu.ua

Purpose. Both standard and non-standard equipment is used to ensure technological processes in the repair of rolling stock with a certain level of mechanization and automation. The main purpose of this work is to study the efficiency of switching the stator windings of unloaded motors of unregulated drives of universal non-standard technological equipment from the scheme «triangle» to the scheme «star» when repairing rolling stock taking into account the of technological process and of technical characteristics of this equipment. **Methodology.** Based on the analysis of technological processes of railway rolling stock repair, an algorithm of calculations for quantitative assessment of energy efficiency of switching stator windings from the «triangle» to the «star» scheme in underloaded electric motors of this equipment is proposed. **Results.** Studies have confirmed the significant energy efficiency of switching the stator winding of an underloaded engine from «triangle» to «star» in the considered conditions. **Originality.** For the first time, taking into account the peculiarities of the use of non-standard universal equipment at railway rolling stock repair enterprises, research on energy saving in underloaded electric motors of this equipment was carried out by switching the stator winding from triangle to star. **Practical value.** The results of research obtained in this work can be used in technical and economic calculations to justify the feasibility of modernization to ensure switching the stator winding of unloaded electric motors of this equipment from the scheme «triangle» to the scheme «star». Tables 2, references 19.

Key words: coefficient of efficiency, coefficient power, energy saving, load factor, underload mode, technological processes.

REFERENCES

1. Zakladnyj, A. N., Prakhovnyk, A. V., & Solovej, O. I. (2005). *Energhozberezhenja zasobamy promyslovogho elektropryvoda [Energy saving by means of an industrial electric drive]*. Kyiv : Vydavnychyj dim «Kondor». [in Ukrainian]
2. Ogharj, V. O. & Aleksjejeva, Ju. O. (2019). Metodychni vказivky shhodo vykonannja praktychnykh robot i samostijnoji roboty z navchaljnoji dyscypliny «Metody ta zasoby energhozberezhenja v elektromekhanichnykh kompleksakh» dlja aspirantiv ochnoji formy navchannja zi specialnosti 141 – «Elektroenerghetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika» tretjogo (osvitnjo-naukovogho) rivnja. Kremenчук : KNTU. [in Ukrainian]
3. A3003. *Mashyna mekhanizovana dlja myjky velykoghabarytnykh vyrobiv vysokym tyskom [The machine is mechanized for washing large products with high pressure]*. Retrieved from <https://www.google.com.ua/search?q=машина+мийна+ММД-12А.sxs>.
4. Marenych, O. L., Dubynec, L. V., Karzova, O. A., Krasnov, R. V., & Meljnyk, A. V. (2013). Uluchshenye energhetycheskykh pokazatelej predprijatyj po remontu podvyzhnogho sostava [Improving the energy performance of enterprises for the repair of rolling stock]. *Ghirnycha elektromekhanika ta avtomatyka*. No. 90. P. 144–150. ISSN 0201-7814. [in Russian]
5. Marenych, O. L., Balijchuk, O. Ju., Dubynec, L. V. (2017). Pidvyshhennja koeficientu potuzhnosti elektropryvodiv nestandardnogho obladnannja pidprijemstv z remontu rukhomogho skladu zaliznycj [Increasing the power factor of electric drives of non-standard equipment of railway rolling stock repair enterprises]. *Elektryfikacija transportu*. Dnipropetrovsjk. P. 31–36. ISSN 2307-4221. [in Ukrainian]
6. Dhaoui, M. A. & Sbita, L. (2010). New method for losses minimization in IFOC Induction Motors Drives. *International journal of Systems Control*. Vol. 1. Iss. 2. P. 93–99.
7. Hung, N. T., Thien, N. C., Ngugen, T. P., Le, V. S., & Than, D. A. (2014). Optimization of Electric Energ in Three-Phase Induction Motor Balancing of Torque and Flux Dependent Losses. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 497–507. DOI: 10.007(978-3-642-41968-3-50).
8. *Mashyna myjna MMD-12A [Washing machine MMD-12A]*. Retrieved from <https://www.google.com.ua/search?q=машина+мийна+ММД-12А.sxs>.
9. ООО «ПО» Ukrspeckomplekt». Kharkiv. *Obladnannja dlja zaliznycj ta metropolitena. [Obladnannja for zaliznits and subway]*. Retrieved from usk.ua.
10. *Nestandardne tekhnologichne obladnannja dlja remontu lokomotyviv, vagoniv ta motorvaghonnogho rukhomogho skladu [Non-standard technological equipment for the repair of locomotives, wagons and motor-car warehouse]*. Retrieved from <https://www.google.com.ua/search?xsrf=ALeKk02Hhw-5uvB5n5RдвDLk Gsnb7Y>.
11. Pryvatne akcionerne tovarystvo «Kyjivskijj elektrovaghonoremontnyj zavod» [Private Joint Stock Company «Kyiv Electric Car Repair Plant»]. Retrieved from kevrz.com.ua/index.php/ua/.
12. *Struktura ta zaghaljna kharakterystyka DP «Motor-vaghonne depo Fastiv 1» [The structure and general characteristics of the DP «Motor-carriage depot Fastiv 1»]*. Retrieved from <https://studfile.net/preview/9322482/pade:2/>.
13. DSTU 3886-99. (2000). *Energhozberezhenja. Systemy elektropryvodu. Metod analizu ta vyboru [Energy saving. Electric drive systems. Method of analysis and selection]*. From 2000-01-07. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 54. [in Ukrainian]
14. PAT «Lvivskijj lokomotyvoremontnyj zavod» [PJSC Lviv Locomotive Repair Plant]. Retrieved from <https://Lvivirz.com>.
15. *Kamera obduvannja, farbuwannja teplovoznnykh tjagovykh dvyghuniv, gheneratoriv, ghidromekhanichnykh reduktoriv (GhRM) i dopomizhnykh mashyn [Blowing chamber, painting of diesel traction engines, generators, hydromechanical reducers (timing gears) and auxiliary machines]*. Retrieved from <https://www.google.com.ua/search?q=камера+для+фарбування+дизельних+двиг>.
16. Solovej, O. I. & etc. (2015). *Osnovy efektyvnogho vykorystannja elektrychnoji energhiji v systemakh elektrospozhyvannja promyslovykh pidprijemstv [Fundamentals of efficient use of electricity in power consumption systems of industrial enterprises]*. Kirov. nac. tekhn. un-t. Cherkasy : vydavecj Chabanenko Ju., 316. ISBN 978-966-493-870-6. [in Ukrainian]
17. *Katalog vzryvozaschishchennykh elektrodvigatelyj serii AIM, AIU [Catalog of explosion-proof electric motors of the AIM, AIU series]*. «Dneproresurs»: Elmo. Retrieved from <https://elmo.ua/wp-content/uploads/2018/07/tehapisanie-aim>.
18. *Vagha teplovoznogho tjagovogho dvyghuna ED-118A [Weight of the locomotive traction engine ED-118A]*. Retrieved from <https://electrocontrol.com.ua/ua/zapasnye-chasti-dlya-teplovovozov/tyagov>.
19. Dubynec, L. V., Momot, O. I., & Marenych, O. L. (2004). *Elektrychni mashyny. Transformatory. Asynkhronni mashyny [Electric machines. Transformers. Asynchronous machines]*. Dnipropetrovsjk : Vyd-vo Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazarcjana. 208. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 10.02.2022.