

В. П. ШАЙДА, О. Ю. ЮР'ЄВА, Є. В. ЛИСЕНКО, О. А. СИЧ**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЯГОВОГО КОЛЕКТОРНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ**

Досліджено показники енергетичної ефективності тягового електроприводу у режимах роботи з частиною працюючих тягових електродвигунів. Показано, що оптимізація кількості працюючих двигунів залежно від режиму руху дозволяє підвищити ККД тягового електроприводу. Доцільною є динамічна зміна кількості працюючих електродвигунів, що забезпечить стабільність тягового зусилля при русі та підвищення енергоефективності тягового приводу при русі. Результати досліджень можуть бути використані при модернізації.

Ключові слова: рухомий склад, локомотив, тяговий електропривод, тяговий електродвигун, енергоефективність.

V. SHAIDA, O. YURIEVA, YE. LYSENKO, O. SYCH**INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE TRACTION COLLECTOR ELECTRIC DRIVE FOR SHUNTING DIESEL LOCOMOTIVES**

This paper investigates the improvement of energy efficiency in the traction collector electric drive of shunting diesel locomotives, specifically the ЧМЕЗ locomotives. The study focuses on the operation of traction drives with a partial number of working traction motors under various control positions of the driver's controller. Using mathematical modelling and simulation, the authors analysed the efficiency of the traction drive system under different configurations and speeds. The results demonstrate that operating with fewer traction motors at lower power settings (positions 1 to 4) can significantly increase the overall efficiency of the drive system, especially at certain speed ranges. For instance, using two motors at low speeds yields higher efficiency compared to using all six motors. The study also highlights the importance of dynamically adjusting the number of active motors depending on the locomotive's operational mode—more motors are recommended during startup to ensure traction stability, while fewer motors can be used during steady movement to reduce energy consumption. The findings suggest that such an approach can lead to reduced fuel consumption, lower maintenance costs, and improved performance of modernized locomotives. The proposed methodology and results are applicable to the modernization of other diesel locomotives equipped with collector-type traction motors. This research contributes to the broader goal of enhancing the sustainability and cost-effectiveness of railway transport systems through intelligent energy management strategies.

Key words: rolling stock, locomotive, traction electric drive, traction electric motor, energy efficiency.

Вступ

Маневрові операції є невід'ємною частиною процесу залізничних перевезень. Для виконання маневрової роботи використовуються спеціалізовані маневрові тепловози. На залізничних станціях АТ «Укрзалізниця» використовуються тепловози з електричною передачею потужності ЧМЕЗ та ТЕМ7 (для гіркової роботи), на промисловому транспорті – тепловози з електричною передачею ЧМЕЗ, ТЕМ2 та тепловози з гідравлічною передачею потужності [1]. Зазначений рухомий склад перебуває в експлуатації тривалий час (окремі тепловози – понад 40 років). Відповідно, їх тягово-енергетичні властивості гірші, ніж у сучасних локомотивів. Іншим негативним наслідком тривалої експлуатації є високі витрати на дизельне паливо, технічне обслуговування та ремонт. Це спонукає до реновації парку рухомого складу залізниць [2].

Найпоширенішою практикою оновлення маневрових локомотивів є ремоторизація, яка передбачає використання сучасного дизельного двигуна [3]. Це, в першу чергу, приводить до скорочення витрат на технічне обслуговування, ремонт та паливно-мастильні матеріали. Більш прогресивним є комплексна модернізація, яка крім використання сучасного дизельного двигуна передбачає перехід до електричної передачі потужності змінно-постійного струму, електричного приводу мотор-вентиляторів. Це підвищує тягові властивості теп-

ловозів та покращує їх надійність. В Україні за таким принципом модернізовано тепловози ЧМЕЗ та ТЕМ2.

Особливістю вказаних модернізацій є використання тягових колекторних електродвигунів, які використовуються у серійних тепловозах. Це зменшує вартість модернізації. Однак доцільно оцінити енергоефективність тягового колекторного електроприводу.

Мета роботи

Метою роботи є визначення енергетичної ефективності тягового колекторного електроприводу маневрового тепловозу за допомогою оптимізації режимів роботи з частиною працюючих тягових електродвигунів. Автори прагнуть визначити, за яких умов та на яких позиціях контролера машиніста доцільно використовувати неповний комплект електродвигунів для забезпечення максимальної ефективності приводу без втрати тягових характеристик.

Виклад основного матеріалу

Зменшення споживання дизельного пального тепловозом ЧМЕЗ при русі з частиною працюючих електродвигунів наведено у [4] за результатами проведеного дослідження. Дослідження виконано для серійного тепловозу, а тому для оцінки ефек-

© В. П. Шайда, О. Ю. Юр'єва, Є. В. Лисенко, О. А. Сич, 2024

тивності використання вказаного способу роботи тягових електродвигунів на модернізованих тепловозах з новою енергетичною установкою доцільно дослідити безпосередньо тяговий електропривод.

Електрична схема серійного тепловозу ЧМЕЗ передбачає постійне з'єднання тягових електродвигунів [5]. Є три паралельні групи, в яких послідовно з'єднано тягові електродвигуни. У табл. 1 наведено параметри тепловоза за позиціями контролера машиніста [6]. Позиції контролера машиніста визначають режими роботи тягових електродвигунів тепловоза.

З табл. 1 виходить, що сила тяги при русанні на позиціях 1–4 менша за максимальну силу тяги 360 кН, яку може розвинути тепловоз. Відповідно, на цих позиціях тягу можна здійснювати меншою кількістю електродвигунів. На позиціях 1–7 електродвигуни працюють з потужністю, меншою ніж найбільша потужність 880 кВт, яка підводиться до тягових електродвигунів. На основі даних табл. 1 можна прийняти, що максимальна сила тяги однієї осі становить 60 кН, а найбільша потужність – близько 150 кВт.

Виходячи з цього, для наявної схеми з'єднання тягових електродвигунів можна запропонувати такі режими з частково працюючими електродвигунами:

1) на 1 позиції контролера машиніста робота може здійснюватися двома, чотирьома або шістьма працюючими електродвигунами;

2) на 2 та 3 позиції контролера машиніста русання здійснюється чотирьома або шістьма електродвигунами. Після зниження сили тяги до 120 кН робота може здійснюватися двома, чотирьома або шістьма електродвигунами;

3) на позиціях з 3 по 6 русання здійснюється шістьма електродвигунами. При зменшенні сили тяги менше 240 кН робота може здійснюватися чотирьома або шістьма електродвигунами.

Для визначення найефективнішого режиму роботи доцільно виконати розрахунки ККД тягового електроприводу.

На тепловозі застосовано тягові колекторні електродвигуни ТЕ006. Параметри електродвигуна наведено у табл. 2 для двох режимів роботи двигуна: для найбільшого тривалого струму 750 А та найбільшої напруги 283 В.

Для розрахунку ККД електродвигуна використано математичну модель, зазначену в [7], [8], [9] яку було адаптовано для розробки розрахункової програми.

Математичне моделювання здійснювалося через *m*-файл в програмному середовищі *Matlab*.

Частота обертання якоря тягового електродвигуна

$$n_{\text{ТЕД}} = \frac{V \mu_{\text{ред}}}{3,6 \pi d_w}, \quad (1)$$

де V – лінійна швидкість локомотива;

Таблиця 1 – Тягові параметри тепловозу ЧМЕЗ

Позиція контролера машиніста	Потужність, підведена до тягових електродвигунів, кВт	Сила тяги при зрушенні, кН
1	28	90
2	98	180
3	220	246
4	310	312
5	410	360
6	530	360
7	720	360
8	880	360

Таблиця 2 – Технічні параметри електродвигуна ТЕ006

Параметр	Режим	
	найбільшого тривалого струму	найбільшої тривалої напруги
Потужність на валу, кВт	123	134
Напруга, В	197	283
Струм, А	750	522
Пусковий струм, А	1000	–
Частота обертання, об/хв	295	–
Найбільша частота обертання, об/хв	–	2420
Мінімальне ослаблення магнітного потоку, %	–	18
Збудження	послідовне	
Маса, кг	2635	

$\mu_{\text{ред}}$ – передатне відношення тягового редуктора, що дорівнює 5,067;

d_w – діаметр колеса по колу кочення. Для розрахунку прийнято значення 1,05, що відповідає новому колесу.

Струм збудження тягового електродвигуна

$$I_{\text{ТЕДзб}} = \alpha I_{\text{ТЕД}}, \quad (2)$$

де α – ступінь ослаблення магнітного потоку. При розрахунках прийнято, що ослаблення магнітного потоку становить для найбільшого тривалого струму 40 % та для найбільшої напруги 18 %;

$I_{\text{ТЕД}}$ – струм якоря тягового електродвигуна.

Електрорушійна сила якоря

$$E_{\text{ТЕД}} = n_{\text{ТЕД}} [C\Phi], \quad (3)$$

де добуток $[C\Phi]$ визначається за характеристиками навантаження, $[C\Phi] = f(I_{\text{ТЕДзб}}; I_{\text{ТЕД}})$.

Напруга електродвигуна

$$U_{\text{ТЕД}} = E_{\text{ТЕД}} + I_{\text{ТЕД}} (R_{\text{я}} + \alpha R_{\text{шт}} + R_{\text{дп}}) + \Delta U_b, \quad (4)$$

де $R_{\text{я}}$, $R_{\text{шт}}$, $R_{\text{дп}}$ – електричні опори обмоток якоря, головних полюсів та додаткових полюсів у нагрітому стані. Температуру обмоток прийнято такою, що дорівнює 130 °С (з досвіду практичних

розрахунків);

ΔU_b – падіння напруги під щітками, дорівнює 2 В.

Потужність, яку споживає електродвигун,

$$P_{\text{ТЕД}} = U_{\text{ТЕД}} I_{\text{ТЕД}}. \quad (5)$$

Електричні втрати у обмотках двигуна

$$\Delta P'_{\text{ТЕДел}} = I_{\text{ТЕД}}^2 (R_{\text{ят}} + \alpha R_{\text{тнт}} + R_{\text{днт}}). \quad (6)$$

Магнітні втрати у магнітопроводі двигуна

$$\Delta P'_{\text{ТЕДmag}} = \left(\frac{[C\Phi]}{[C\Phi]_{\text{ном}}} \right)^2 \left(\frac{n_{\text{ТЕД}}}{n_{\text{ТЕДном}}} \right)^{1.5} \Delta P_{\text{ТЕДmag}}, \quad (7)$$

де добуток $[C\Phi]_{\text{ном}}$ визначається за характеристиками навантаження $[C\Phi] = f(I_{\text{ТЕД36}}; I_{\text{ТЕД}})$ для номінальних струмів збудження та якоря;

$n_{\text{ТЕДном}}$ – номінальна частота обертання тягового двигуна;

$\Delta P_{\text{ТЕДmag}}$ – магнітні втрати двигуна в номінальному режимі.

Механічні втрати, до яких входять втрати на тертя в якірних вальницях та втрати від щіток об поверхню колектора визначаються пропорційно відношенню поточної частоти обертання двигуна n до номінальної $n_{\text{ТЕДном}}$,

$$\Delta P'_{\text{ТЕДmec}} = \frac{n}{n_{\text{ТЕДном}}} \Delta P_{\text{ТЕДmec nom}}, \quad (8)$$

де $\Delta P_{\text{ТЕДmec nom}}$ – механічні втрати електродвигуна при номінальній частоті обертання.

Додаткові втрати

$$\Delta P'_{\text{ТЕДad}} = K_{ad} \Delta P_{\text{ТЕДmag}}, \quad (9)$$

де K_{ad} – коефіцієнт додаткових втрат визначається залежно від частки струму якоря двигуна від номінального, $\frac{I_{\text{ТЕД}}}{I_{\text{ТЕДном}}}$, згідно з ДСТУ ГОСТ 2582 [10].

Втрати у перехідному контакті «щітка-колектор»

$$\Delta P'_{\text{ТЕДbk}} = \Delta U_b I_{\text{ТЕД}}. \quad (10)$$

Сумарні втрати у двигуні

$$\Sigma \Delta P'_{\text{ТЕД}} = \Delta P'_{\text{ТЕДел}} + \Delta P'_{\text{ТЕДmag}} + \Delta P'_{\text{ТЕДmec}} + \Delta P'_{\text{ТЕДad}} + \Delta P'_{\text{ТЕДbk}}. \quad (11)$$

Коефіцієнт корисної дії тягового електродвигуна

$$\eta_{\text{ТЕД}} = 1 - \frac{\Sigma \Delta P'_{\text{ТЕД}}}{P_{\text{ТЕД}}}. \quad (12)$$

Момент на валу тягового електродвигуна

$$M_{\text{ТЕД}} = 9550 \frac{P_{\text{ТЕД}} \eta_{\text{ТЕД}}}{n_{\text{ТЕД}}}. \quad (13)$$

Сила тяги локомотива

$$F_k = N_{\text{ТЕД}} \frac{2M_{\text{ТЕД}}}{d_w} \mu_{\text{ред}} \eta_{\text{ред}}, \quad (14)$$

де $N_{\text{ТЕД}}$ – кількість тягових електродвигунів на тепловозі;

$\eta_{\text{ред}}$ – ККД редуктора, визначений з урахуванням потужності, яка передається через редуктор.

ККД редуктора визначається через відносну потужність, виражену у відсотках,

$$\eta_{\text{ред}} = 1 - \frac{\Delta p_{\text{ред}}}{100 \eta_{\text{ТЕД}}}, \quad (15)$$

де $\Delta p_{\text{ред}}$ – відносні втрати в тяговому редукторі, визначаються за [5].

ККД тягового електроприводу

$$\eta_{\text{ТЕП}} = \eta_{\text{ТЕД}} \eta_{\text{ред}}. \quad (16)$$

Математичне моделювання здійснювалось для діапазону лінійних швидкостей тепловозу від 0 до 60 км/год при роботі двох, чотирьох та шести тягових електродвигунів. На рис. 1 наведено розрахункові залежності ККД тягового електроприводу від швидкості руху для режимів перших шести позицій контролера машиніста, наведених в табл. 2. Аналіз залежностей на рис. 1 дозволяє з'ясувати особливості роботи тягового електроприводу.

При роботі на 1 позиції контролера машиніста 1ПКМ (рис. 1а) найвищі значення ККД досягаються при русі з двома увімкненими тяговими електродвигунами при швидкості руху більше 3 км/год. При цьому спостерігається певна стабілізація залежності ККД у діапазоні швидкостей від 5 км/год до 15 км/год. При русі з чотирма та шістьма працюючими електродвигунами при швидкостях руху більше 3 км/год значення ККД нижчі. Причому зі зростанням швидкості спостерігається зниження ККД. При швидкості руху нижче 3 км/год більші значення ККД забезпечуються при роботі чотирьох або шести тягових електродвигунів.

При роботі на 2 позиції контролера машиніста 2ПКМ (рис. 1б) при швидкостях руху більше 10 км/год найвищий ККД досягається при русі з двома працюючими електродвигунами. При цьому залежність ККД достатньо стабільна при зміні швидкості. При швидкостях руху нижче 10 км/год більш високим є ККД при русі з чотирма або шістьма працюючими електродвигунами.

При роботі на 3 позиції контролера машиніста 3ПКМ (рис. 1в) більші значення ККД досягаються при роботі двох електродвигунів при швидкостях руху більше 20 км/год. Значення ККД становлять близько 90 %. При швидкостях руху нижче 20 км/год більші ККД досягаються при роботі з чотирма та шістьма електродвигунами.

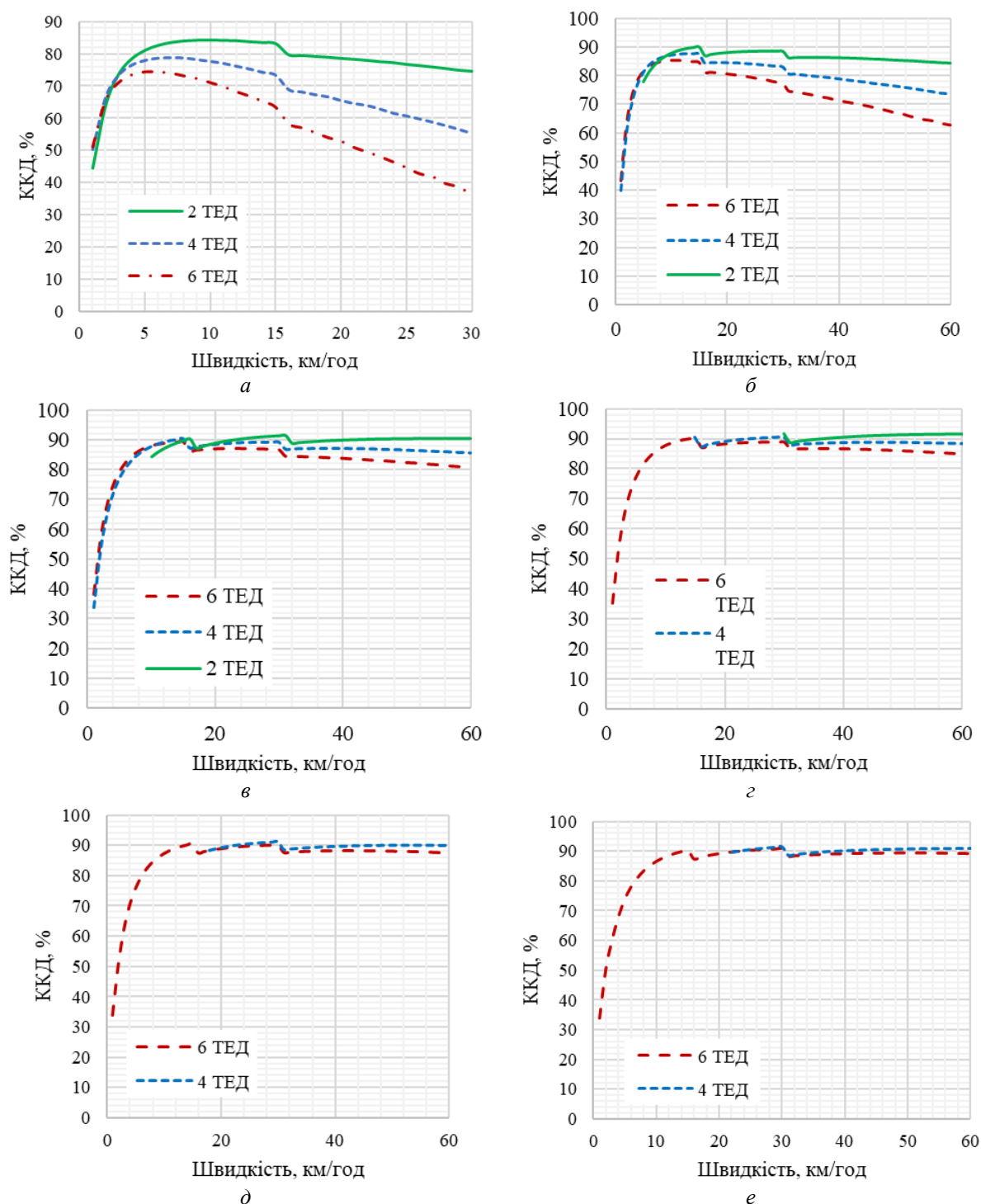


Рис. 1 – Розрахункові залежності ККД тягового електроприводу від лінійної швидкості руху:

ПКМ – позиція контролера машиніста; ТЕД – тяговий електродвигун;

а – 1ПКМ; б – 2ПКМ; в – 3ПКМ; г – 4ПКМ; д – 5ПКМ; е – 6ПКМ

При роботі на 4 позиції контролера машиніста 4ПКМ (рис. 1г) робота з двома електродвигунами забезпечує збільшення ККД при швидкостях руху вище 30 км/год. Водночас значення ККД для різних варіантів працюючих електродвигунів різняться незначно.

При роботі на п'ятій 5ПКМ та шостій 6ПКМ позиціях контролера машиніста (рис. 1д, е) робота може здійснюватися з чотирма та шістьма електродвигунами. Залежності ККД показують, що у випадку роботи чотирьох електродвигунів є незначне підвищення ККД.

Отже, результати розрахунків показують, що для підвищення енергоефективності тягового електроприводу тепловозу ЧМЕЗ є доцільним впровадження часткового навантаження тягових електродвигунів. Найбільший ефект спостерігається для 1 та 2 позицій контролера машиніста, менший вплив буде на 3 та 4 позицій машиніста. На 5 та 6 позицій машиніста підвищення енергоефективності практично відсутнє. Водночас при русанні доцільно застосувати більшу кількість тягових електродвигунів, що забезпечить стабільність зчеплення колісних пар з рейками. При підвищенні швидкості можна застосовувати роботу з частиною електродвигунів.

Для впровадження запропонованого алгоритму навантаження необхідно, по-перше, модернізація тягового електроприводу із застосуванням напівпровідникових перетворювачів для керування тяговими електродвигунами [11]. По-друге, ефективність може бути підвищена при використанні систем керування, які дозволяють враховувати фактичні експлуатаційні навантаження [12]. Розроблена методика визначення ефективних режимів роботи тягового електроприводу при частковому навантаженні тягових електродвигунів може бути адаптована для маневрових тепловозів інших серій. Це дозволить підвищити тягово-енергетичні властивості маневрових тепловозів та зменшити споживання дизельного.

Висновки

Оновлення тягового рухомого складу є запорукою стабільної роботи залізничного транспорту.

Для підвищення енергоефективності тягового електроприводу маневрових тепловозів серії ЧМЕЗ досліджено режими роботи його тягового електроприводу з використанням різної кількості тягових електродвигунів.

Розроблено математичну модель, що дозволяє оцінити ККД електроприводу залежно від кількості задіяних двигунів, швидкості руху та інших параметрів. Показано, що для роботи з частиною працюючих електродвигунів дозволяє підвищити енергоефективність для першої, другої, третьої та четвертої позицій контролера машиніста.

Отримані результати мають практичне значення для модернізації існуючого парку локомотивів, зниження витрат пального, підвищення надійності та екологічності залізничного транспорту.

Список літератури

1. Goolak S. Analysis of operation modes of shunting diesel locomotives when performing shunting work / S. Goolak, I. Kostenko, R. Keršys, I. Riabov, O. Demydov // *Transport Systems and Technologies*. – 2023. – No. 41. – PP. 8–23. – DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-1>.
2. Goolak, S. Improvement of Locomotives for Shunting Work / S. Goolak, I. Kostenko, O. Nezlina, Ie. Riabov, O. Demydov //

- 27th International Scientific Conference on Transport Means 2023, Palanga, Lithuania 4–6 October 2023. Part I. – 2023. – PP. 202–206. – ISBN: 978-1-7138-7953-4.
3. Буряковский С. Г. Обгрунтування необхідності модернізації тепловозу ЧМЕЗ із використанням гібридної силової установки / С. Г. Буряковский, А. С. Маслій, Д. П. Помазан, І. В. Деніс // *Електрифікація транспорту*. – 2016. – № 12. – С. 82–86. – ISSN 2307-4221.
4. Горобченко О. М. Створення математичної моделі визначення тягово-енергетичних показників маневрового локомотива / О. М. Горобченко, Д. О. Заїка // *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. – 2024. – Вип. 208. – С. 146–162. – DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308485>.
5. Маслій В. Г. Сучасні конструкції та динаміка рухомого складу залізниць : навч. посіб. / В. Г. Маслій. – Харків : Підручник НТУ «ХПІ», 2014. – 106 с. – ISBN 978-617-687-041-8.
6. Правила капітальних ремонтів КР-1, КР-2 тепловозів серії ЧМЕЗ, ЧМЕЗТ, ЧМЕЗЕ (ЦТ-0124), які затверджені наказом Укрзалізничці від 13.12.2005 № 691-ЦЗ. https://uz.gov.ua/about/technical_and_social_policy/repair_docs/ndi/ (дата звернення 24.10.2024)
7. Ципленков Д. В. Проектування електричних машин : навч. посіб. / Д. В. Ципленков, О. Б. Іванов, О. В. Бобров, В. В. Кузнецов, В. В. Артемчук, М. О. Баб'як ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпропетровськ : НТУ «ДП», 2020. – 408 с. – ISBN 978-966-350-738-5.
8. Kuznetsov V. Method of Selecting Energy-Efficient Parameters of an Electric Asynchronous Traction Motor for Diesel Shunting Locomotives – Case Study on the Example of a Locomotive Series ChME3 (ЧМЕЗ, ЧМЕЗТ, ЧМЕЗЕ S200) / V. Kuznetsov, E. Kardas-Cinal, P. Gołębiowski, B. Liubarskiy, M. Gasanov, I. Riabov, L. Kondratieva, M. Opala // *Energies*. – 2022. – Vol. 15, Is. 1. – PP. 317. – DOI: <https://doi.org/10.3390/en15010317>.
9. Безрученко В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак ; Дніпропетр. нац. ун-т заліз. транспорту ім. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с. – ISBN 966-8471-00-8.
10. ДСТУ ГОСТ 2582:2017 Машини електричні обертові тягові. Загальні технічні умови (ГОСТ 2582-2013, IDT; ІЕС 60349-1:2010, NEQ; ІЕС 60349-2:2010, NEQ) / Науково-дослідний інститут залізничного транспорту. – Чинний 01.03.2017.
11. Kostenko I. Development of the traction system structure of a shunting diesel locomotive with a hybrid power supply scheme / I. Kostenko, O. Nezlina, S. Maliuk, Y. Lysenko, D. Popovich // *Transport Systems and Technologies*. – 2024. – No. 43. – PP. 100–110. – DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2024-43-8>.
12. Заїка Д. О. Вдосконалення управління тяговою передачею маневрових локомотивів шляхом використання методів штучного інтелекту : дис. ... PhD : 273 – Залізничний транспорт / Заїка Денис Олександрович ; Державний університет інфраструктури та технологій. – Київ, 2024. – 180 с.

References (transliterated)

1. Goolak S., Kostenko I., Keršys R., Riabov I., Demydov O. (2023), “Analysis of operation modes of shunting diesel locomotives when performing shunting work”, *Transport Systems and Technologies*, no. 41, pp. 8–23. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-1>.
2. Goolak, S., Kostenko I., Nezlina O., Riabov Ie., Demydov O. (2023), “Improvement of Locomotives for Shunting Work”, *27th International Scientific Conference on Transport Means 2023, Palanga, Lithuania 4–6 October 2023*. Part I, pp. 202–206, ISBN: 978-1-7138-7953-4.
3. Buryakovskyy S. H., Masliy A. S., Pomazan D. P., Denys I. V. (2016), “Obgruntuvannja neobhidnosti modernizacii teplovozu ChME3 iz vykorystannjam gibrydnoi sylovoi ustanovky [Ra-

- tionale for Modernization of Diesel Locomotives CHME3 Using Hybrid Propulsion System], *Electrification of Transport*, no. 12, pp. 82–86, ISSN 2307-4221.
4. Gorobchenko O., Zaika D. (2024), “‘Ctvorenna matematychnoi’ modeli vyznachennja tjavovo-energetychnyh pokaznykiv manevrovogo lokomotyva [Development of a Mathematical Model for Determining Traction and Energy Performance Indicators of a Maneuvering Locomotive]”, *Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, no. 208, pp. 146–162, <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308485>.
 5. Maslijev V. G. (2014), *Suchasni konstrukcii ta dynamika ruhomogo skladu zaliznyv* [Modern designs and dynamics of railway rolling stock], Kharkiv, 106 p., ISBN 978-617-687-041-8, Ukraine.
 6. (2005), *Pravyla kapital'nyh remontiv KR-1, KR-2 teplovoziv serii' ChME3, ChME3T, ChME3E (CT-0124), jaki zatverdzeni nakazom Ukrzaliznyci vid 13.12.2005 № 691-CZ* [Rules for overhaul of KR-1, KR-2 diesel locomotives of the ChME3, ChME3T, ChME3E series (CT-0124), approved by Ukrzaliznytsia order dated 13.12.2005 No. 691-CZ], Access mode: https://uz.gov.ua/about/technical_and_social_policy/repair_docs/ndi/ (accessed 20 October 2024).
 7. Cyplenkov D. V., Ivanov O. B., Bobrov O. V., Kuznecov V. V., Artemchuk V. V., Bab'jak M. O. (2020), *Proektuvannja elektrychnyh mashyn* [Design of electrical machines], Dnepropetrovsk, 408 p., ISBN 978-966-350-738-5, Ukraine.
 8. Kuznetsov V., Kardas-Cinal E., Gołębowski P., Liubarskyi B., Gasanov M., Riabov I., Kondratieva L., Opala M. (2022), “Method of Selecting Energy-Efficient Parameters of an Electric Asynchronous Traction Motor for Diesel Shunting Locomotives – Case Study on the Example of a Locomotive Series ChME3 (ЧМЭ3, ЧМЕ3, ЧКД S200)”, *Energies*, vol. 15, is. 1, pp. 317, <https://doi.org/10.3390/en15010317>.
 9. Bezruchenko V. M., Varchenko V. K., Chumak V. V. (2003), *Tjavovi elektrychni mashyny elektroruhomogo skladu* [Traction electric machines of electric rolling stock], 252 p., Dnepropetrovsk, ISBN 966-8471-00-8, Ukraine.
 10. Naukovo-doslidnyj instytut zaliznychnogo transportu (2017), *DSTU GOST 2582:2017 Mashyny elektrychni obertovi tjavovi. Zagal'ni tehnicni umovy (GOST 2582-2013, IDT; IEC 60349-1:2010, NEQ; IEC 60349-2:2010, NEQ)* [Electric rotary traction machines. General technical conditions].
 11. Kostenko, I., Nezlina, O., Maliuk, S., Lysenko, Y., Popovich, D. (2024), “Development of the traction system structure of a shunting diesel locomotive with a hybrid power supply scheme”, *Transport Systems and Technologies*, no. 43, pp. 100–110, <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2024-43-8>.
 12. Zaika D. O. (2024), “Vdoskonalennja upravlinnja tjavovoju peredacheju manevrovih lokomotyviv shljahom vykorystannja metodiv shtuchnogo intelektu [Improvement of traction transmission control in shunting locomotives through the use of artificial intelligence methods]”, *Ph.D. Thesis*, Kyiv, Ukraine.

Надійшла (received) 20.12.2024

Відомості про авторів / About the Authors

Шайда Віктор Петрович (Shaida Viktor) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач аспірантури; м. Харків; тел.: (097)454-34-15; e-mail: viktor.shaida@khpri.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4281-5545>.

Юр'єва Олена Юріївна (Yurieva Olena) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Електричні машини»; м. Харків; тел.: (067)731-72-29; e-mail: olena.yurieva@khpri.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4156-8087>.

Лисенко Євген В'ячеславович (Lysenko Yevhen) – аспірант кафедри «Електричний транспорт та тепловозобудування», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків; тел.: (050)931-15-50; e-mail: yevhen.lysenko@ieee.khpri.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1263-7446>.

Сич Олег Анатолійович (Sych Oleg) – аспірант кафедри «Електричний транспорт та тепловозобудування», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків; тел.: (050)634-07-78 ; e-mail: oleh.sych@ieee.khpri.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2720-2460>.