

Є. В. ЛИСЕНКО, Є. С. РЯБОВ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ
МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ**

Розглянуто підвищення енергетичної ефективності тягового електроприводу маневрового тепловозу. Показано, що при зміні кількості працюючих тягових електродвигунів змінюється ККД тягового електроприводу, що може бути використано для підвищення тягово-енергетичних показників тепловозу. Запропоновано та обґрунтовано використання осередненого ККД як критерію для вибору раціональної кількості працюючих електродвигунів. Осереднений ККД визначається з урахуванням тривалості роботи тягового електроприводу у певному режимі роботи. Показано, що для маневрового тепловозу доцільно визначати осереднений ККД для режимів роботи, які відповідають руху при маневрових переміщеннях. Досліджено енергоефективність тягового електроприводу для випадку виконання маневрових операцій та вивізної роботи при чотирьох та шести працюючих тягових електродвигунах. За результатами розрахунків показано, що при використанні чотирьох тягових електродвигунів осереднений ККД вищий. Роботу з чотирма тяговими електродвигунами доцільно визначити як пріоритетний режим роботи, як основного режиму роботи тепловозу. Результати досліджень можуть бути використані при модернізації маневрових тепловозів ЧМЕЗ з колекторним тяговим електроприводом. Запропонована методика може бути адаптована для інших тепловозів, а також може використовуватися при створенні нового рухомого складу.

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

YE. LYSENKO, YE. RIABOV

**IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE TRACTION ELECTRIC DRIVE OF
SHUNTING LOCOMOTIVES**

The increase in energy efficiency of the traction electric drive of a shunting diesel locomotive is considered. It is shown that when the number of operating traction electric motors changes, the efficiency of the traction electric drive changes, which can be used to improve the traction and energy performance of the diesel locomotive. The use of the average efficiency as a criterion for selecting the rational number of operating electric motors is proposed and justified. The average efficiency is determined taking into account the duration of operation of the traction electric drive in a specific operating mode. It is shown that for a shunting diesel locomotive, it is advisable to determine the average efficiency for operating modes that correspond to movement during shunting operations. The energy efficiency of the traction electric drive for shunting operations and haulage work with four and six operating traction electric motors has been investigated. The results of the calculations show that when using four traction motors, the average efficiency is higher. It is advisable to define the operation with four traction motors as the priority operating mode, as the main operating mode of the locomotive. The research results can be used in the modernisation of CHEM3 shunting locomotives with collector traction electric drives. The proposed methodology can be adapted for other locomotives and can also be used in the creation of new rolling stock.

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

Вступ

Маневрові операції є важливою складовою процесу перевезень. Для їх виконання використовують спеціалізовані маневрові тепловози. Найбільш поширеним в Україні є тепловоз ЧМЕЗ, який використовується як на магістральних залізницях, так і на промислових підприємствах. Випуск тепловозу почався у 1960-ті роки з використанням доступного на той час обладнання. На сьогодні тепловози серії ЧМЕЗ різних модифікацій поступаються сучасним зразкам за показниками паливної ефективності, шкідливих викидів, а тривалі строки експлуатації основного обладнання призводять до зниження його надійності, а в певних випадках – відсутності запчастин для виконання технічного обслуговування та ремонту.

Разом з тим, дослідження несучих конструкцій тепловозів показує можливість продовження терміну їх служби [1]. Це дає можливість проведення модернізації цих тепловозів з використанням сучасного обладнання.

На сьогодні відомі модернізації тепловозів ЧМЕЗ в використанні сучасних дизельних двигунів *Caterpillar* та застосування електричної пе-

редачі потужності змінно-постійного струму [2], [3]. Тепловози ТЕМ2 модернізовано з використанням дизельних двигунів Cummins [3], [4]. Ключовим напрямом цих проєктів є використання сучасного дизельного двигуна з високими показниками паливної ефективності і відповідністю екологічним нормам. Використання тягової електричної передачі потужності змінно-постійного струму, електричного приводу мотор-вентиляторів, електронної системи керування підвищує надійність роботи обладнання та тепловозу в цілому. За результатами експлуатації модернізованих тепловозів зменшення споживання палива досягає 30 % – 45 % в залежності від виду роботи [5].

Проте багатьма дослідниками відзначається, що застосування дизельного двигуна потужністю близько 900 кВт, що відповідає потужності серійного тепловозу, є надлишковим. Численні результати спостережень за режимами роботи дизель-генераторних установок маневрових тепловозів показують, що тривалість їх роботи на холостому ході складає не менше 50 % загального часу роботи [6], [7]. Найбільш тривалі режими роботи припадають на 2 – 4 позиції контролера машиніста, потужність на яких складає 100 – 300 кВт. Водно-

© Є. В. Лисенко, Є. С. Рябов, 2025

час для руху на перегоні та маневровій роботі з важкими поїздами доцільним є використання тепловозу з високою потужністю. Для задоволення таких вимог можна використовувати гібридні енергетичні установки з накопичувачами енергії [8] – [10] або багатодизельні (найчастіше – дводизельні) енергетичні установки [11].

Незалежно від типу енергетичної установки, важливим є забезпечення високої енергетичної ефективності тягового електроприводу. Техно-економічний аналіз показує, що при модернізації доцільним є збереження тягового електроприводу на основі серійних тягових електродвигунів (ТЕД) постійного струму серії ТЕ006. Це дозволяє суттєво знизити витрати на модернізацію, оскільки в такому випадку необхідним є лише ремонт наявних електродвигунів. При цьому використання тягового електроприводу на основі серійних електродвигунів достатньо для багатьох поїзних задач.

Разом з тим, як зазначено вище, найчастіше робота тягового електроприводу здійснюється з потужністю, яка значно нижче номінальної. Для таких режимів роботи доцільним є дослідження енергоефективності тягового електроприводу та пошук напрямів її підвищення. У [12] досліджено та обґрунтовано можливість підвищення ККД тягового електроприводу серійного тепловозу ЧМЕЗ шляхом раціонального вибору кількості працюючих електродвигунів. Відключення частини електродвигунів при роботі на 1 – 4 позиції контролера машиніста призводить до зростання ККД електроприводу практично без зменшення тягових властивостей. Подібний підхід використано [13], де показано, що зменшення кількості працюючих електродвигунів зменшує витрату пального при русі поїзду.

Мета роботи

Метою роботи є підвищення енергоефективності тягового електроприводу маневрових тепловозів шляхом урахування енергетичних характеристик тягового електроприводу при визначенні раціональних режимів його роботи.

Виклад основного матеріалу

При здійсненні руху у тяговому режимі маневровий тепловоз працює на певній позиції контролеру машиніста, якій відповідає певна тягова характеристика. Розглянемо залежність ККД від швидкості тепловозу при роботі на тяговій характеристиці. (рис. 1). Припустимо, що тяговий електропривод може працювати у i режимах, яким відповідає діапазон швидкості ΔV_i і ККД η_i , яке при невеликих значення ΔV_i може бути прийняте незмінним для діапазону швидкості.

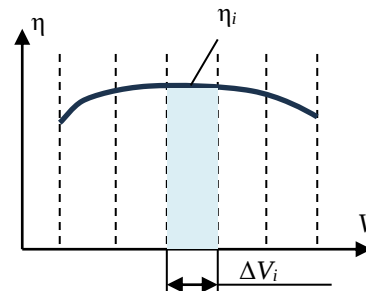


Рис. 1 – Типова залежність ККД від швидкості руху

Дотична робота «на колесі» протягом руху визначиться за виразом

$$A = \sum_{i=1}^N P_i t_i \eta_i, \quad (1)$$

де P_i – потужність, яка підведена до тягового електроприводу;

t_i – тривалість роботи у i -му режимі;

η_i – ККД у i -му режимі.

Знехтувавши режимами роботи, які здійснюються при пусковій силі тяги і тривалість яких не значна у порівнянні з роботою при постійній потужності, вираз (1) можна подати у вигляді

$$A = P_d \sum_{i=1}^N t_i \eta_i, \quad (2)$$

де P_d – потужність, яка підведена до тягового електроприводу.

Робота «на колесі» може бути обчислена наступним чином

$$A = P_d t_{\Sigma} \eta_e, \quad (3)$$

де t_{Σ} – загальна тривалість роботи, яка визначається за виразом $t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N t_i$;

η_e – осереднений ККД за цикл роботи.

Прирівнявши (2) та (3), осереднений ККД може бути визначений наступним чином

$$\eta_e = \sum_{i=1}^N \alpha_i \eta_i, \quad (4)$$

де α_i – відносна тривалість роботи у i -му режимі, $\alpha_i = \frac{t_i}{t_{\Sigma}}$.

Таким чином, чим вищий осереднений ККД, тим ефективніше працює привод.

Для використання осередненого ККД для оцінки енергоефективності тягового електроприводу необхідно розрахувати залежність ККД тягового електроприводу при постійній потужності за однією з відомих методик (наприклад, [12]), визначити діапазон швидкості, відносну тривалість роботи та провести обчислення за (4).

Як зазначалося вище, маневрові тепловози мають два суттєво відмінні режими роботи: маневровий, для якого характерні невисока потужність та низькі швидкості руху, та вивізний, який передбачає рух з найбільшою допустимою швидкістю при потужності, близькій до номінальної. Нижче розглянуто ці режими роботи та досліджено можливість підвищення ККД тягового електроприводу в цих режимах.

У маневровому режимі роботи маневрові операції виконуються зі швидкістю від 5 км/год до 25 км/год, при чому швидкість довільно змінюється у цьому діапазоні. Внаслідок цього можна припустити, що відносна тривалість роботи у i -му режимі є однаковою для усіх діапазонів швидкості. Виходячи з вище наведеного, виконано розрахунки осередненого ККД як залежності потужності, яка підводиться до тягового електроприводу, для діапазону швидкості 5 – 25 км/год (рис. 2). Розрахунки проведено при двох, чотирьох та шести працюючих електродвигунах.

З рис. 2 видно, що у діапазоні потужності 50 – 170 кВт найвищі значення осередненого ККД досягаються при роботі двома електродвигунами (2 ТЕД). У діапазоні потужності 170 – 280 кВт найвищі значення осередненого ККД досягаються при роботі чотирьох електродвигунів (4 ТЕД). При потужності вище 280 кВт найвищі значення осередненого ККД досягаються при роботі шістьма електродвигунами (6 ТЕД).

З рис. 2 слідує, що достатньо суттєва різниця між осередненими ККД спостерігається при підведеній потужності менше 100 кВт. При потужності вище 100 кВт різниця між осередненими ККД не перевищує 2 %.

З аналізу залежностей, зображених на рис. 2, слідує, що для підвищення енергетичної ефективності тягового електроприводу раціонально змінювати кількість тягових електродвигунів в залежності від потужності.

Розглянемо параметри режимів роботи маневрового тепловозу, які наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри режимів роботи маневрового тепловозу [14]

Позиція контролера машиніста	Потужність, підведена до тягових електродвигунів, кВт	Сила тяги при зрушенні, кН	Відносна тривалість роботи, %
0	–	–	45,5
1	28	90	4,9
2	98	180	17,5
3	220	246	17,5
4	310	312	8,8
5	410	360	4,1
6	530	360	1,2
7	720	360	0,3
8	880	360	0,2

Аналіз даних табл. 1 показує, що найбільш тривалою є робота на 2, 3 та 4 позиції контролера машиніста з підведеною потужністю 98, 220 та 310 кВт відповідно. При цьому сила тяги при русі складає від 180, 246 та 312 кН. Це дає підставу запропонувати використання чотирьох електродвигунів як основного стану роботи тягового електроприводу. При роботі з чотирма тяговими електродвигунами найбільша сила тяги складе близько 240 кН, чого достатньо для більшості маневрових операцій.

Додатковими режимами роботи є робота з двома електродвигунами. При роботі з двома електродвигунами найбільша сила тяги оцінюється у 120 кН, чого достатньо для легкої маневрової роботи (маневрові операції з пасажирськими составами, переміщення з невеликою кількістю вантажних вагонів), а також руху одиночного тепловозу.

При роботі з шістьма тяговими електродвигунами сила тяги складе 360 кН, що необхідно для роботи з составами на ділянках з ухилом.

При виконанні вивізних операцій швидкість руху поїзду може складати до 60 км/год, а потужність досягати номінального значення. Швидкість руху може бути довільною. Для розрахунків приймемо, що швидкість здійснюється у діапазоні 30 – 60 км/год, що відповідає фактичним швидкостям руху на перегонах. Як і в попередньому випадку, можна припустити, що тривалість роботи тягового електроприводу у різних діапазонах швидкості є однаковою. На рис. 3 наведено залежності осередненого ККД від потужності для діапазону швидкостей. Розрахунки проведено для роботи чотирма та шістьма електродвигунами, оскільки при русі на перегоні необхідно досягати достатньо високих значень сили тяги.

З рис. 3 слідує, що осереднений ККД у випадку роботи чотирьох електродвигунів вищий, ніж при роботі шістьох електродвигунів. При потужності, підведеній до тягового електроприводу, вищій за 400 кВт, різниця між ККД не перевищує 2 %. З урахуванням цього, пріоритетним режимом роботи тягового електроприводу доцільно встановлювати роботу з чотирма електродвигунами. Рух з шістьма електродвигунами має здійснюватися при необхідності на основі даних про параметри составу та профіль ділянки.

Таким чином, для забезпечення високої енергетичної ефективності тягового електроприводу при виконанні вивізних операцій доцільно здійснювати роботу з чотирма працюючими електродвигунами. Робота шістьох електродвигунів має здійснюватися тільки при необхідності.

Для впровадження вище наведених рекомендацій необхідно забезпечити вибір режимів роботи тягового електроприводу – вибір кількості тягових електродвигунів, які будуть працювати.

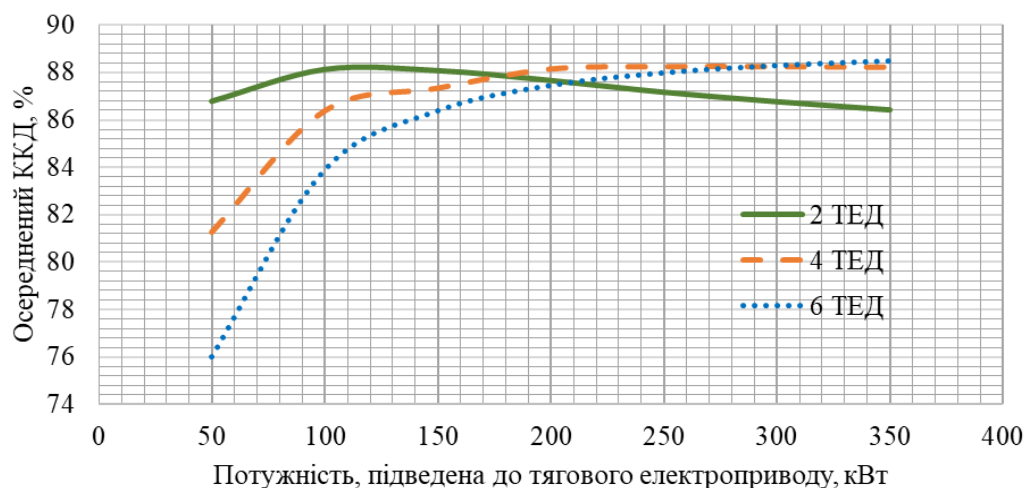


Рис. 2 – Залежність осередненого ККД від потужності для умов маневрових операцій:
2, 4, 6 – кількість електродвигунів

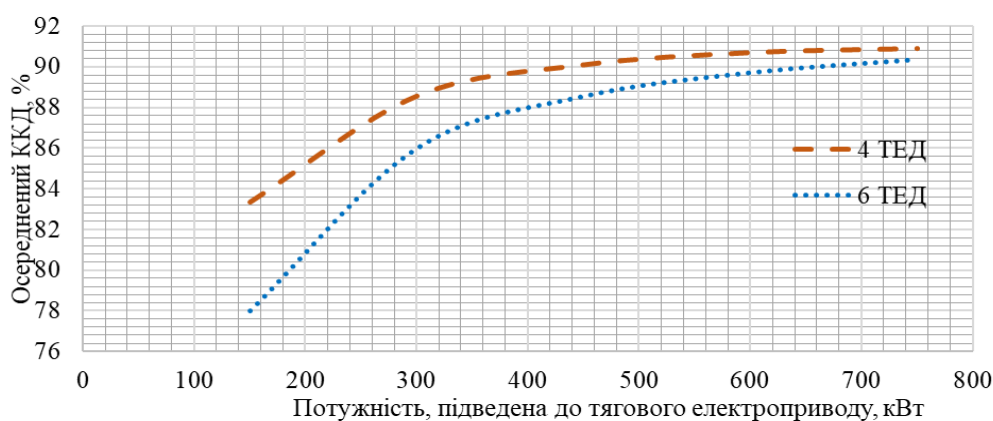


Рис. 3 – Залежність осередненого ККД від потужності при вивізній роботі:
2, 4 – кількість електродвигунів

Вибір режиму роботи може здійснюватися машиністом вручну або автоматично [15], [16]. Для здійснення ручного вибору мають бути розроблені рекомендації, за допомогою яких машиніст на основі інформації про параметри складу, маршрут руху, характер маневрових операцій вибирає кількість працюючих електродвигунів. Такий спосіб не потребує додаткового обладнання у тяговій системі, оскільки може бути реалізований шляхом включення або відключення електродвигунів за допомогою електричних апаратів, застосування яких передбачене у схемі.

При автоматичному виборі режиму роботи тягового електроприводу необхідна побудова системи, які в режимі реального часу будуть здійснювати аналіз параметрів руху та коригувати кількість працюючих електродвигунів. Реалізація таких систем потребує застосування напівпровідникових перетворювачів у тяговій системі.

Таким чином, наведені вище результати розрахунків дозволяють підвищити енергетичну ефе-

ктивність маневрових тепловозів при виконанні маневрових операцій та вивізній роботі.

Висновки

Оновлення маневрових тепловозів потребує використання сучасних технологій, які забезпечують високі тягово-енергетичні характеристики, надійність, відповідність екологічним вимогам.

Для підвищення енергоефективності тягового електроприводу маневрових тепловозів серії ЧМЕЗ досліджено режими роботи його тягового електроприводу при виконанні маневрових операцій і вивізній роботі. Для підвищення енергетичної ефективності електроприводу запропоновано змінювати кількість працюючих тягових електродвигунів на основі розрахунку осередненого ККД в залежності від потужності. За результатами дослідження запропоновано режим роботи з чотирма працюючими тяговими електродвигунами як основний. Робота з двома та шістьма працюючими електродвигунами є додатковими режимами.

Розроблений у статті підхід до визначення раціональної кількості працюючих електродвигунів може бути застосований для тепловозів інших серій. Впровадження цього підходу сприятиме зниженню споживання пального та зменшенню шкідливих викидів.

Список літератури

1. Кара С. В. Дослідження несучих конструкцій тепловозів серії ЧМЕЗ та визначення можливості продовження терміну їх експлуатації / С. В. Кара, В. О. Петренко, П. М. Прокопенко, Т. М. Гордієнко // *Залізничний транспорт України*. – 2019. – № 3. – С. 9–13. – DOI: <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2019-131-2-09-13>.
2. Reference projects / CZ LOKO. – URL: <https://www.czloko.com/reference-projects-1.htm> (дата звернення 12.03.2025).
3. Модернізація тягового рухомого складу / ТОВ «Полтавський Тепловозремонтний завод». – URL: <https://trz.com.ua/modernization-ua/> (дата звернення 12.03.2025).
4. Csetvei G. A korszerűsített TEM2 és TGM4B típusú mozdonyok bemutatása. / G. Csetvei, B. Csuka & P. Szóráth // *VASÚTGÉPÉSZET*. – 2017. – No. 1. – PP. 30–38. – URL: http://vasutgepeszet.hu/wp-content/uploads/vasutgepeszet_2017-1_Csetvei_Csuka_Szorath.pdf (дата звернення 12.03.2025).
5. Бураковский С. Г. Дослідження режимів роботи тепловоза ЧМЕЗ на імітаційній моделі / С. Г. Бураковский, А. С. Маслій, В. В. Панченко, Д. П. Помазан, І. В. Деніс // *Електротехніка і Електромеханіка*. – 2018. – № 2. – С. 59–62. – DOI: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2018.2.10>.
6. 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>.
7. Сиротенко Ю. В. Удосконалення характеристик маневрових тепловозів з адаптацією до умов їх експлуатації : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів : захищена 17.03.2016 / Юрій Валентинівич Сиротенко ; Український державний університет залізничного транспорту. – Харків, 2016. – 20 с.
8. Яровий Р. О. Підвищення експлуатаційних характеристик маневрових тепловозів шляхом використання комбінованих накопичувачів енергії : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів / Роман Олександрович Яровий // *Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля*. – Северодонецьк, 2019. – 23 с. – URL: http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/28099/1/aref_Yarovyi.pdf (дата звернення 12.03.2025).
9. Володарець М. В. Удосконалення методів та моделей визначення техніко-економічних показників гібридних локомотивів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів / Микита Віталійович Володарець // *Український державний університет залізничного транспорту*. – Харків, 2016. – 20 с. – URL: http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/5003/1/aref_Volodarets.pdf (дата звернення 12.03.2025).
10. Деніс І. В. Покращення динамічних показників роботи гібридного тепловозу з вентиляльно-індукторним приводом : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів / Ігор Володимирович Деніс // *Державний університет інфраструктури та технологій*. – Київ, 2019. – 25 с. – URL: https://files.duit.edu.ua/uploads/Сайт/3_НАУКА/СПЕЦ_РАД_И/К-26-820-01/Деніс-І-В/avtoreferat_Denis_IV.pdf (дата звернення 12.03.2025).
11. Lysenko Y. Analysis of Multi-Diesel Shunting Locomotives' Traction Systems / Y. Lysenko, Y. Chernyshenko, D. Iakunin, O. Demydov, Ie. Riabov // 27th international scientific conference TRANSPORT MEANS 2023 will be held on 4–6 October, 2023 in Palanga at the Hotel Gabija (Vytauto str. 40, Palanga, Lithuania). – 2023. – Part 1. – PP. 397–401. – ISSN 1822-296X (print). – ISSN 2351-7034 (on-line). – URL: <https://ebooks.ktu.edu/reader/563027/&returnUrl%3DaHR0cHM6Ly9lYm9va3Mua3R1LmVkdS9wcm9kdWN0LzU2MzAyNWw%3D%3D?productType=ebook&themeName=Lucent-Theme> (дата звернення 12.03.2025).
12. Шайда В. П. Підвищення енергетичної ефективності тягового колекторного електроприводу для маневрових тепловозів / В. П. Шайда, О. Ю. Юр'єва, Є. В. Лисенко, О. А. Сич // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – 2024. – № 2(18). – С. 77–82. – DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2024.02.10>.
13. 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. – ISSN 1994-7852 (print). – ISSN 2413-3795 (on-line). – DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308485>.
14. Богаєвський О. Б. Методика оцінки експлуатаційної економічності транспортних дизель-генераторів / О. Б. Богаєвський, І. В. Аргун // *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. – 2022. – Vol. 22. – С. 28–36. – DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.4>.
15. Gorobchenko O. Theoretical basics of the self-learning system of intelligent locomotive decision support systems / O. Gorobchenko, H. Holub, D. Zaika // *Archives of Transport*. – 2024. – Vol. 71, Is. 3. – PP. 169–186. – DOI: <https://doi.org/10.61089/aot2024.gaevsp41>.
16. Gorobchenko O. Development of the structure of an intelligent locomotive DSS and assessment of its effectiveness / O. Gorobchenko, O. Nevedrov // *Archives of Transport*. – 2020. – Vol. 56, Is. 4. – PP. 47–58. – DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.5517>.

References (transliterated)

1. Kara S. V., Petrenko V. O., Prokopenko P. M., Gordijenko T. M. (2019), “Doslidzhennja nesuchykh konstrukcij teplovoziv serii' ChME3 ta vyznachennja mozhlyvosti prodovzhennja terminu i'h ekspluatatsii' [Research on the load-bearing structures of ChME3 series diesel locomotives and determination of the possibility of extending their service life]”, *Zaliznychnyj transport Ukrainy* [Railway transport of Ukraine], no. 3, pp. 9–13, <https://doi.org/10.34029/2311-4061-2019-131-2-09-13>.
2. CZ LOKO (2025), *Reference projects*, Access mode: <https://www.czloko.com/reference-projects-1.htm> (accessed 12 March 2025).
3. Poltava Locomotive Repair Plant (2025), *Modernizacija tjavovogo ruhomogo skladu* [Modernization of locomotives], Access mode: <https://trz.com.ua/modernization-ua/> (accessed 12 March 2025).
4. Csetvei G., Csuka B., Szóráth P. (2017), “A korszerűsített TEM2 és TGM4B típusú mozdonyok bemutatása”, *VASÚTGÉPÉSZET*, no. 1, pp. 30–38, Access mode: http://vasutgepeszet.hu/wp-content/uploads/vasutgepeszet_2017-1_Csetvei_Csuka_Szorath.pdf (accessed 12 March 2025).
5. Buriakovskiy S. G., Maslii A. S., Panchenko V. V., Pomazan D. P., Denis I. V. (2018), “Doslidzhennja rezhymiv roboty teplovoza ChME3 na imitacijnij modeli [The Research of the Operation Modes of the Diesel Locomotive CHME3 on the Imitation Model]”, *Electrical Engineering & Electromechanics*, no. 2, pp. 59–62, <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2018.2.10>.
6. 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>.
7. Sirotenko U. V. (2016), *Udoskonalennja harakterystyk manevrovych teplovoziv z adaptacijeu do umov i'h ekspluatacij* [Perfection of characteristics of shunting diesel locomotives with adaptation to a place of their operation], Ph.D. Thesis, Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine.
 8. Yarovy R. O. (2019), *Pidvyshhennja ekspluatacijnyh harakterystyk manevrovych teplovoziv shljahom vykorystannja kombinovanyh nakopychuvachiv energii* [Increasing the operational characteristics of shunting locomotives through the use of combined energy storage. The qualification scientific work on the rights of the manuscript], Abstract of Ph.D. dissertation, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine, Access mode: http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/28099/1/aref_Yarovyi.pdf (accessed 12 March 2025).
 9. Volodarets M. V. (2016), *Udoskonalennja metodiv ta modelej vyznachennja tehniko-ekonomichnyh pokaznykiv gibrydnyh lokomotyviv* [Improvement of methods and models for determining the technical and economic parameters of hybrid locomotives], Abstract of Ph.D. dissertation, Ukrainian State University of Railway Transport MES of Ukraine, Kharkiv, Ukraine, Access mode: http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/5003/1/aref_Volodarets.pdf (accessed 12 March 2025).
 10. Denys I. V. (2019), *Pokrashhennja dynamichnyh pokaznykiv roboty gibrydnogo teplovozu z ventyl'no-induktornym pryvodom* [Improvement of dynamic performance of hybrid diesel locomotive with valve-induction drive], Abstract of Ph.D. dissertation, State University of Infrastructure and Technology, Kiev, Ukraine, Access mode: https://files.duit.edu.ua/uploads/Сайт/3_НАУКА/СПЕЦ_ПАД_И/К-26-820-01/Деніс-І-В/avtoreferat_Denis_IV.pdf (accessed 12 March 2025).
 11. Lysenko Y., Chernyshenko Y., Iakunin D., Demydov O., Riabov Ie. (2023), "Analysis of Multi-Diesel Shunting Locomotives' Traction Systems", *27th international scientific conference TRANSPORT MEANS 2023 will be held on 4–6 October, 2023 in Palanga at the Hotel Gabija (Vytauto str. 40, Palanga, Lithuania)*, Part 1, pp. 397–401, ISSN 1822-296X (print), ISSN 2351-7034 (on-line), Access mode: <https://ebooks.ktu.edu/reader/563027/&returnUrl%3DaHR0cHM6Ly9lYm9va3Mua3R1LmVkdS9wcm9kdWN0LzU2MzAyNWw%3D%3D?productType=ebook&themeName=Lucent-Theme> (accessed 12 March 2025).
 12. Shaida V., Yurieva O., Lysenko Ye., Sych O. (2024), "Increasing the Energy Efficiency of the Traction Collector Electric Drive for Shunting Diesel Locomotives", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 2(18), pp. 77–82, ISSN 2078-774X (print), ISSN 2707-7543 (on-line), <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2024.02.10>.
 13. Gorobchenko O., Zaika D. (2024), "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*, vol. 208, pp. 146–162, ISSN 1994-7852 (print), ISSN 2413-3795 (on-line), <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308485>.
 14. Bogajevskiy A., Arhun S. (2022), "Metodyka ocinky ekspluatacijnoi ekonomichnosti transportnyh dyzel-generatoriv [Methodology for assessing the operational efficiency of transport diesel generators]", *Vehicle and electronics. Innovative technologies*, vol. 22, pp. 28–36, <https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.4>.
 15. Gorobchenko O., Holub H., Zaika D. (2024), "Theoretical basics of the self-learning system of intelligent locomotive decision support systems", *Archives of Transport*, vol. 71, is. 3, pp. 169–186, <https://doi.org/10.61089/aot2024.gaevsp41>.
 16. Gorobchenko O., Nevedrov O. (2020), "Development of the structure of an intelligent locomotive DSS and assessment of its effectiveness", *Archives of Transport*, vol. 56, is. 4, pp. 47–58, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.5517>.

Надійшла (received) 18.09.2025

Відомості про авторів / About the Authors

Лисенко Євген Вячеславович (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@iee.khpi.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1263-7446>.

Рябов Євген Сергійович (Riabov Ievgen) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Електричний транспорт та тепловозобудування»; м. Харків; тел.: 097-302-14-54; e-mail: riabov.ievgen@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0753-514X>.