

*Є. С. РЯБОВ, Д. І. ЯКУНІН, С. В. РОЙ, В. О. ЯГОТІН, А. В. КАЧАН***ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ PLUG-IN ГІБРИДНОЇ ТЯГОВОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО МАНЕВРОВОГО ЛОКОМОТИВУ**

Досліджено роботу маневрових локомотивів ТЕМ2 та ЧМЕ3 на промислових підприємствах. Шляхом аналізу даних бортових систем обліку параметрів руху визначено параметри та показники експлуатаційних режимів для тепловозів, які виконують маневрові операції та вивізну роботу. Встановлено, що при виконанні маневрових операцій тепловоз працює з дотичною потужністю, яка не перевищує 150 кВт при найбільшій силі тяги, рівній 250 кН. При виконанні вивізної роботи тепловоз працює з дотичною потужністю не вище 420 кВт при найбільшій силі тяги, рівній 350 кН. Визначено, що при виконанні маневрових операцій споживання енергії не перевищує 1000 кВт·год за одну зміну. Для створення уніфікованого локомотиву запропоновано застосування *plug-in* гібридної тягової системи. Прогнозується, що виконання маневрових операцій буде здійснюватися при живленні від *plug-in* накопичувача. У випадку виконання вивізної роботи живлення тягового електроприводу буде здійснюватися сумісно від накопичувача та дизель-генератора.

Ключові слова: маневрові локомотиви, експлуатаційні режими, дотична потужність, *plug-in* гібридна тягова система.

*YE. RIABOV, D. YAKUNIN, S. ROI, V. YAHOTIN, A. KACHAN***DETERMINATION OF PARAMETERS FOR A PLUG-IN HYBRID TRACTION SYSTEM FOR AN INDUSTRIAL SHUNTING LOCOMOTIVE**

The paper investigates the operation of shunting locomotives TEM2 and ChME3 at industrial enterprises. By analysing the data from on-board systems for recording motion parameters, the parameters and indicators of operating modes for diesel locomotives performing shunting operations and haulage work are determined. It is established that when performing shunting operations, a diesel locomotive operates with a tangential power not exceeding 150 kW at a maximum traction force of 250 kN. When performing shunting operations, the locomotive operates with a tangential power not exceeding 420 kW at a maximum traction force of 350 kN. It was determined that during shunting operations, energy consumption does not exceed 1000 kW·h per shift. The use of a plug-in hybrid traction system is proposed to create a unified locomotive. It is predicted that shunting operations will be carried out when powered by a plug-in storage device. In the case of haulage operations, the traction electric drive will be powered jointly by the storage and a diesel generator.

Keywords: shunting locomotives, operational modes, tractive power, plug-in hybrid traction system.

Вступ

Залізничні перевезення є складовою частиною багатьох технологічних процесів на промислових підприємствах. Для виконання транспортних операцій застосовуються маневрові тепловози. Найпоширенішими є маневрові тепловози ЧМЕ3 та ТЕМ2 та промислові тепловози серії ТГМ. Численні дослідження роботи цих тепловозів на промислових підприємствах, показують «надлишковість» їх тягових властивостей. Для тепловозів ЧМЕ3 та ТЕМ2 це є наслідком того, що вони «запозичені» з магістральних залізниць, де для виконання маневрової роботи необхідні високі значення сили тяги та потужність. Тепловози серії ТГМ хоча і створювалися безпосередньо для експлуатації на промислових підприємствах, однак їх тягові властивості також є надлишковими для переважної частини експлуатаційних режимів [1]. З урахуванням того, що вказані тепловози є технічно та морально застарілими, їх експлуатація призводить до підвищених витрат на паливно-енергетичні ресурси, обслуговування та ремонт [2]. До цього варто додати необхідність дотримання сучасних екологічних вимог, що неможливо при експлуатації застарілих дизельних двигунів. Для усунення зазначених недоліків необхідне оновлення локомотивного парку промислових підприємств.

Пріоритетним напрямом є модернізація теп-

ловозів [2]. Найпоширенішим видом модернізації тепловозів є застосування сучасних дизельних двигунів з низьким споживанням пального, оскільки витрати на паливо є значною частиною експлуатаційних витрат. При цьому тяговий електропривід або гідروпередача зберігаються. Такий підхід зменшує витрати на модернізацію.

Однак у випадку змін у тяговому приводі (або при його заміні) виникає можливість адаптувати тягові властивості тепловозів до умов експлуатації [3]. Тому задача визначення режимів роботи тягового приводу промислових тепловозів є актуальною. Невід'ємною складовою є визначення параметрів енергетичної установки.

Мета роботи

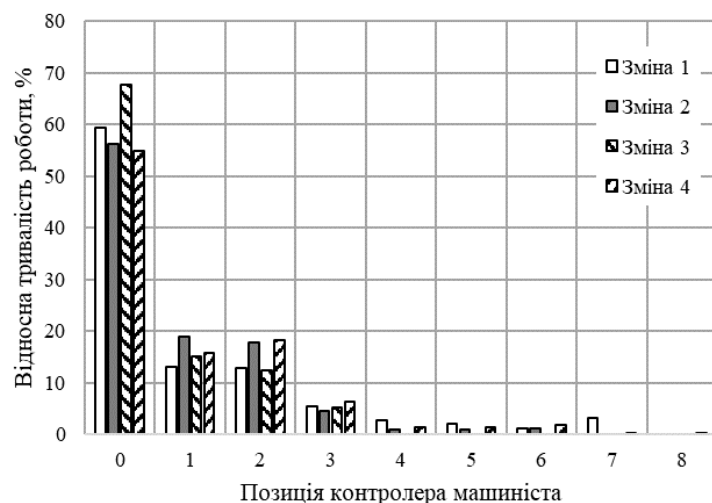
Метою роботи є визначення параметрів тягової системи промислового маневрового локомотиву на основі аналізу параметрів та показників експлуатаційних режимів при виконанні маневрової та вивізної роботи.

Виклад основного матеріалу

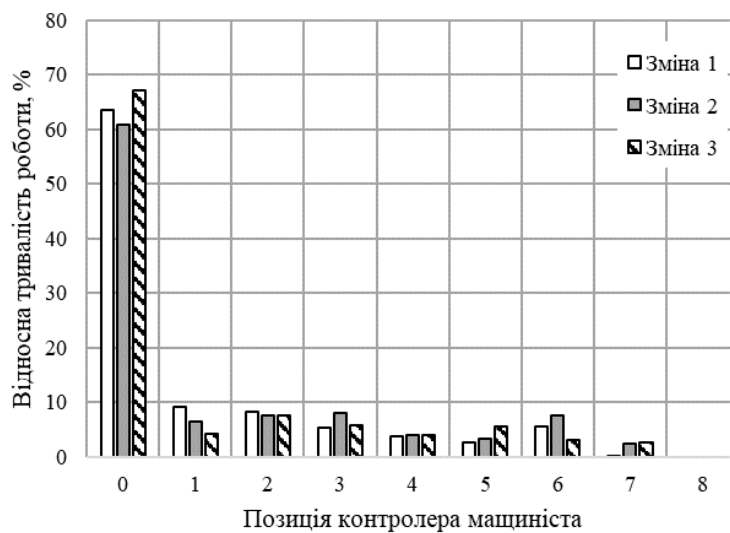
Для визначення параметрів режимів роботи використано дані бортових систем діагностики, які встановлені на тепловозах.

На рис. 1а показано залежність тривалості роботи по позиціях контролера машиніста тепловозу ЧМЕЗ при роботі на ПрАТ «Полтавський ГЗК» протягом чотирьох змін тривалістю 12 годин кожна. Тепловоз виконує переміщення составів при навантаженні окатків на дробарній фабриці та перестановку навантажених составів на залізничну станцію, яка знаходиться поряд з комбінатом. На рис. 1б показано залежність тривалості роботи по позиціях контролера машиніста тепловозу ТЕМ2

при роботі на ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» протягом трьох змін. Тепловоз виконує маневрову роботу, яка передбачає переміщення составів із суміжних шахт на центральну збагачувальну фабрику, маневрування при розвантаженні та навантаженні вугілля на збагачувальній фабриці, та переміщення составу на залізничну станцію. При цьому шахти і залізнична станція знаходяться на відстані до 10 км від збагачувальної фабрики.



а



б

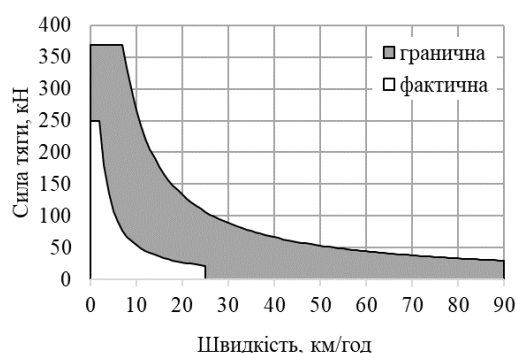
Рис. 1 – Дані по роботі тепловозів на промислових підприємствах:
а – тривалість роботи по позиціях контролера машиніста тепловозу ЧМЕЗ при роботі на ПрАТ «Полтавський ГЗК»; б – тривалість роботи по позиціях контролера машиніста тепловозу ТЕМ2 при роботі на ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»

З рис. 1а слідує, що у тягових режимах найбільш тривала робота здійснюється з першої по

третьої позиції контролера машиніста. Робота на вищих позиціях практично відсутня. Згідного бор-

тової системи найбільша швидкість руху становить 25 км/год. Пройдений за зміну шлях становить від 30 км до 50 км. Це можна пояснити тим, що значна частка роботи доводиться на маневрування при навантаженні. Для цього не потрібні значна потужність та тяга.

Згідно даним рис. 1б, тягові режими охоплюють з першої по шосту позиції контролера машиніста (ПКМ), сьома ПКМ використовується не завжди та в короткий період часу. Згідного бортової системи швидкість руху не перевищує 30 км/год. Пройдений за зміну шлях становить 70 – 90 км. У цьому випадку тепловоз здійснює вивізну роботу, яка потребує достатньо високої потужності при русі на перегоні.



У обох випадках робота на холостому ходу складає від 55 % до 65 % тривалості зміни. Робота на восьмій позиції контролера машиніста не зафіксована.

На рис. 2 показано тягові області, які відповідають найбільш тривалим режимам тяги досліджуваних тепловозів. При побудові прийнято, що дотична потужність тепловозу ЧМЕЗ складає 150 кВт (приблизно відповідає дотичній потужності на 3ПКМ). Дотична потужність тепловоза ТЕМ2 складає 420 кВт (відповідає дотичній потужності на 6ПКМ). Пускові сили тяги на побудованих характеристиках відповідають нормативним характеристикам серійним тепловозів.

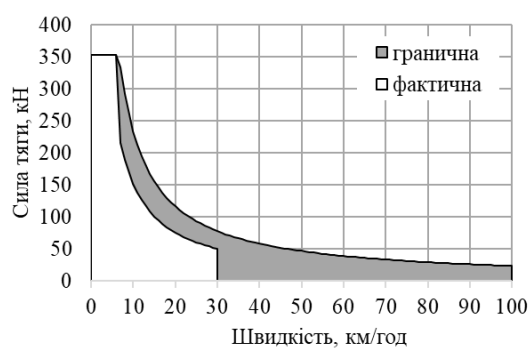


Рис. 2 – Області роботи тепловозів: а – тепловоз ЧМЕЗ; б – тепловоз ТЕМ2

Показані на рис. 2 області роботи є типовим для поїзної роботи на промислових підприємствах. Звісно, розрахунки є наближеними, однак загальні тенденції відображаються коректно. Як бачимо з рис. 2, у обох випадках потужність, яка використовується при роботі тепловозу, нижча номінальної потужності дизеля. Найбільша швидкість руху тепловозів становить від 25 км/год до 30 км/год при конструкційній 95 – 100 км/год. Пускова сила тяги позначена згідно тягових характеристик тепловозів. Однак питання, чи необхідно її реалізувати, потребує окремого вивчення.

Щодо тепловозів серії ТГМ, то можна відзначити, що вони здебільшого використовуються для операцій перестановки окремих вагонів та сцепів. Це не потребує значних тягових зусиль, а швидкість руху не перевищує 20 км/год.

В цілому, можна сказати, що доцільно мати два типи тепловозів: перший використовується для виконання легких маневрових операцій та господарської роботи. Для другого типу характерна вивізні роботи між підприємствами чи його віддаленими підрозділами. Однак з метою уніфікації парку доцільно мати локомотив одного типу, на якому необхідно впровадити адаптацію його характеристик до поточного режиму роботи. Це забезпечується шляхом застосування раціональної структу-

ри тягової системи – енергетичної установки та тягового електроприводу, а також керування ними.

З рис. 2 слідує, що дотична потужність тепловозу, який використовується на маневрових операціях, складає близько 150 кВт, та тепловозу, який використовується у вивізній роботі, – близько 420 кВт. З урахуванням потужності, яку споживають допоміжні системи, та втрат у тяговому приводі загальна потужність енергетичної установки може бути оцінена у 250 – 300 кВт та 550 – 600 кВт – відповідно.

Зменшенню споживання сприяє застосування гібридних енергетичних установок. Особливо суттєво на зниження вартості паливно-енергетичних ресурсів впливає *plug-in* режим заряджання тягової акумуляторної батареї від стаціонарного джерела електроенергії [4]. Останнє сприяє досягненню кліматичної нейтральності.

У [4], [5] досліджено режими роботи тепловозу ЧМЕЗ, який працює на маневровій та господарчій роботі та показано, що споживання енергії за зміну може бути оцінено у 700 – 800 кВт·год. Тому вбачається доцільним застосування в енергетичній установці тягової акумуляторної батареї гарантованою потужністю 250 – 300 кВт та дизель-генератора такої ж потужності. Для локомотиву, задіяного на маневровій роботі основне живлення

може здійснюватися від тягової акумуляторної батареї, а дизель-генератор буде виконувати функції резервного живлення. Для локомотива, що виконує вивізну роботу, забезпечувати необхідну потужність при русі на перегоні буде спільна робота тягової акумуляторної батареї та дизель-генератора. Ємність тягової акумуляторної батареї визначається на основі детального аналізу режимів експлуатації та з урахуванням можливості розміщення на локомотиві. Аналіз варіантів побудови схем тягових систем наведено у [6] – [8].

При розробці тягового електроприводу доцільно врахувати, що раціональним способом зменшення втрат енергії у тяговому електроприводі є розподіл навантаження між електродвигунами у режимах з частковим навантаженням (тягою чи потужністю) [9], [10]. Крім того, розподіл навантаження дозволяє покращити тягові властивості шляхом довантаження осей, які мають більше навантаження.

Важливим є вибір типу приводу колісних пар. На поширених тепловозах ЧМЕЗ, ТЕМ2 з електричною передачею потужності застосовується тяговий електропривод на основі колекторних електродвигунів з індивідуальним приводом колісних пар. У [11] показано, що тягові колекторні електродвигуни при застосуванні на маневрових локомотивах мають не високу енергетичну ефективність. Тому доцільно використовувати електродвигуни змінного струму (асинхронні або синхронні різних типів). Такі електродвигуни мають вищі показники моменту, що дозволяє або підвищити тягові властивості локомотиву, або зменшити кількість обмоторених осей. При цьому є можливим удосконалення тягового редуктора для забезпечення високої енергоефективності тягового електродвигуна.

Живлення та керування тяговими електродвигунами може бути як індивідуальним, так і груповим (повізковим).

На рис. 3 показано узагальнений варіант структурної схеми тягової системи (на прикладі локомотиву з чотирма тяговими електродвигунами).

Тягова акумуляторна батарея ТАБ підключається до проміжного контуру через погоджувальний перетворювач ПП. Цей перетворювач стабілізує напругу проміжного контуру при живленні від тягової акумуляторної батареї, а також здійснює її заряджання при електродинамічному гальмуванні чи при заряджанні від зовнішнього джерела електроенергії.

Дизель Д, генератор змінного струму Г та випрямляч В утворюють джерело живлення, яке також під'єднане до проміжного контуру. Тип і структура випрямляча залежать від того, чи передбачається сумісне живлення проміжного контуру від тягової акумуляторної батареї та дизель-

генератора. У цьому випадку необхідне застосування активного випрямляча. Якщо сумісне живлення не застосовується, а дизель-генератор використовується як резервне джерело, то доцільно використовувати некерований випрямляч. Також випрямляч може бути використаний для живлення проміжного контуру від зовнішньої електромережі змінного струму при заряджання тягової акумуляторної батареї.

Навантаження енергетичної установки складають тяговий електропривод та допоміжні системи. Тяговий електропривод утворений автономними інверторами напруги АІН, які підключені до проміжного контуру, та електродвигунами змінного струму М, через механічно сполучені з колісними парами локомотиву. Блок допоміжних перетворювачів БДП містить напівпровідникові перетворювачі, які живлять допоміжні системи локомотиву (компресор, вентилятори охолодження, бортова мережа тощо).

Для модернізації тепловозів серії ТГМ з груповим приводом колісних пар також може бути застосований електричний привод. Прикладом такої модернізації є тепловоз ТГМ6Д №0123, на якому застосовано тяговий електропривод на основі асинхронного електродвигуна [12]. Енергетична установка утворена сучасним дизельним двигуном та синхронним генератором. Збереження групового приводу колісних пар забезпечить стабільність зчеплення колеса з рейкою, тобто забезпечить високі зчепні властивості.

Побудова енергетичної установки може бути виконана подібною до описаної вище. Можливі варіанти побудови приводу колісних пар, які передбачають застосування двох електродвигунів, наведено в [12].

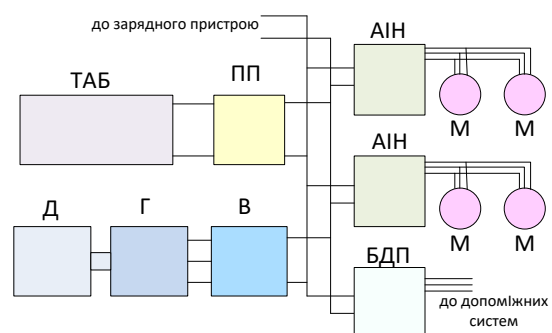


Рис. 3 – Узагальнений варіант структурної схеми тягової системи:

ТАБ – тягова акумуляторна батарея;
 ПП – погоджувальний перетворювач; Д – дизель;
 Г – генератор; В – випрямляч; АІН – автономний інвертор напруги; М – тяговий електродвигун;
 БДП – блок допоміжних перетворювачів

Важливим параметром для локомотиву є сила тяги при рушанні. У [13] показано, що збільшення сили тяги при рушанні є доцільним, оскільки впливає на тривалість розгону, а отже, і час виконання маневрових операцій. Граничне значення сили тяги, яке створюється однією віссю, може бути прийнятим до 75 – 80 кН при осьовому навантаженні 22,5 – 23 т.

Виходячи з наведеного, можна визначити параметри тягової системи локомотиву для промислового транспорту (табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри тягової системи локомотиву для промислового транспорту

Параметр	Значення	
Кількість осей локомотиву, шт.	4	6
Сила тяги при рушанні, кН	300	450
Найбільша експлуатаційна швидкість, км/год	40	40
Потужність тягової акумуляторної батареї, кВт	200	300
Ємність тягової акумуляторної батареї, кВт·год	600	1000
Потужність дизель-генератора, кВт	200	300
Тип тягових електродвигунів	змінного струму	
Тип приводу колісних пар	Індивідуальний або груповий	

Вказані у табл. 1 значення є орієнтовними і потребують уточнення на основі фактичних даних щодо експлуатаційних режимів локомотиву на промисловому підприємстві.

Переважає від застосування такого локомотиву вбачається у можливості використання *plug-in* режиму заряджання тягової акумуляторної батареї від стаціонарного джерела електроенергії з низькою вартістю кіловат-години енергії. Наявність тягової акумуляторної батареї дозволить виключити роботу дизеля на холостому ході, відсоток якої досягає 50 % – 60 %. Це не тільки скоротить споживання пального, а й збереже ресурс дизельного двигуна. Важливим аспектом від застосування *plug-in* тягової акумуляторної батареї є можливість використовувати «зелені» джерела енергії для її заряджання, внаслідок чого можна досягти низьких рівнів вуглецевих викидів, які виникають при виробництві продукції на підприємстві.

Таким чином, використання *plug-in* гібридних промислових локомотивів є перспективним на промислових підприємствах.

Висновки

1 Розглянуто використання локомотивів на промислових підприємствах. Шляхом аналізу параметрів експлуатаційних режимів визначено, що при виконанні маневрових операцій дотична по-

тужність локомотиву не перевищує 150 кВт. При виконанні вивізної роботи дотична потужність оцінюється у 420 кВт.

2 На основі аналізу енергетичних показників запропоновано застосування *plug-in* гібридної тягової системи на промисловому маневровому локомотиві. В залежності від осьової формули локомотиву ємність тягової акумуляторної батареї оцінюється у 600–1000 кВт·год, а її потужність, а також потужність дизель-генератора, має становити 200–300 кВт.

Список літератури

- Maslak A. New energy-saving technologies in transport services for industrial enterprises / A. Maslak, O. Krasulin // European science. – 2023. – 3(sge17-03). – PP. 69–94. – DOI: <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2023-17-03-006>.
- Єжов Ю. В. Шляхи оновлення парку тепловозів в Україні / Ю. В. Єжов, Ю. С. Павленко, С. М. Полудяк // Рейковий рухомий склад. – 2020. – Вип. 20. – С. 14–26. – ISSN 2304-6309 (print).
- Сиротенко Ю. В. Удосконалення характеристик маневрових тепловозів з адаптацією до умов їх експлуатації: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Сиротенко Юрій Валентинович; Укр. держ. ун-т залізн. трансп. – Харків, 2016. – 20 с. : рис.
- Riabov Ie. Prospects for a hybrid shunting locomotive in industrial enterprise environment / Ie. Riabov, B. Yeritsyan, A. Kachan, S. Roi, A. Tykhonov // Proceedings of the 28th International Scientific Conference. Transport Means 2024. – 2024. – PP. 253–257. – DOI: <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.P253-257>.
- Riabov Ie. Analysis of Operating Modes of Shunting Locomotives at Industrial Enterprises / Ie. Riabov, S. Roi, A. Kachan, A. Tykhonov, B. Yeritsyan // Proceedings of the 27th International Scientific Conference. Transport Means 2023. Part II. – PP. 554–557. – DOI: <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2023.P2>.
- Kinoshita H. Series Hybrid Locomotive Equipped with Energy-Saving Electrical Equipment for European Market / H. Kinoshita, K. Ogawa // Toshiba Review. – 2021. – Vol. 76, No. 4. – PP. 1–5. – URL: [https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/infrastructure/www/infrastructure/en/railway/assets/pdf/Toshiba%20Review%20\(Hybrid%20Locomotive\).pdf](https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/infrastructure/www/infrastructure/en/railway/assets/pdf/Toshiba%20Review%20(Hybrid%20Locomotive).pdf) (дата звернення 22.12.2024).
- 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>.
- Ihme J. Driving Machines, Power Transmission / J. Ihme // Rail Vehicle Technology. – Springer, 2022. – PP. 51–106. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-658-36969-9_3.
- Riabov I. Increasing the energy efficiency of the multi-motor traction electric drive of an electric locomotive for railway quarry transport / I. Riabov, S. Goolak, L. Kondratieva, L. Overianova // Engineering Science and Technology, an International Journal. – 2023. – Vol. 42, No. 101416. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2023.101416>.
- 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>.
- Kuznetsov V. Method of Selecting Energy-Efficient Parameters of an Electric Asynchronous Traction Motor for Diesel Shunt-

- ing Locomotives—Case Study on the Example of a Locomotive Series ChME3 (ЧМЭЗ, ČME3, ČKD S200) / V. Kuznetsov, E. Kardas-Cinal, P. Gołębiowski, B. Liubarskyi, M. Gasanov, Ie. Riabov, L. Kondratieva, M. Opala // *Energies*. – 2022. – Vol. 15, Is. 1, 317. – DOI: <https://doi.org/10.3390/en15010317>.
12. Рой С. В. Застосування тягового електроприводу при модернізації тепловозу ТГМ6 / С. В. Рой, А. В. Качан, А. С. Тихонов, Д. І. Якунін, Є. С. Рябов // *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*. – 2023. – Вип. 46. – С. 93–102. – DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.46.2023.288177>.
 13. Kuznetsov V. Recommendations for the selection of parameters for shunting locomotives / V. Kuznetsov, B. Lyubarskyi, E. Kardas-Cinal, B. Yeritsyan, Ie. Riabov, I. Rubanik // *Archives of Transport*. – 2020. – Vol. 56, Is. 4. – PP. 119–133. – DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.5650>.
- References (transliterated)**
1. Maslak A., Krasulin O. (2023), “New Energy-Saving Technologies in Transport Services for Industrial Enterprises”, *European Science*, vol. 3(sge17-03), pp. 69–94, <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2023-17-03-006>.
 2. Yezhov Yu. V., Pavlenko Yu. S., Poluliakh S. M. (2020), “Shljahy onovlennja parku teplovoziv v Ukraini [Ways to upgrade the diesel locomotive fleet in Ukraine]”, *Rejkovij ruhomij sklad* [Rail rolling stock], no. 20, pp. 14–26, ISSN 2304-6309 (print).
 3. Syrotenko, Yu. V. (2016), “Udoskonalennia kharakterystyk manevrovoykh teplovoziv z adaptatsiieiu do umov yikh ekspluatatsii [Improving the performance of shunting locomotives with adaptation to their operating conditions]”, *Abstract of Ph.D. dissertation*, Kharkiv, Ukraine.
 4. Riabov Ie., Yeritsyan B., Kachan A., Roi S., Tykhonov A. (2024), “Prospects for a hybrid shunting locomotive in industrial enterprise environment”, *Proceedings of the 28th International Scientific Conference. Transport Means 2024*, pp. 253–257, <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.P253-257>.
 5. Roi, S., Kachan, A., Tykhonov, A., Yeritsyan, B., Riabov, I. (2023) “Analysis of Operating Modes of Shunting Locomotives at Industrial Enterprises” *Proceedings of the 27th International Scientific Conference. Transport Means 2023. Part II*, pp. 554–557, <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2023.P2>.
 6. Kinoshita H., Ogawa K. (2021), “Series Hybrid Locomotive Equipped with Energy-Saving Electrical Equipment for European Market”, *Toshiba review*, vol. 76, no. 4, pp. 1–5, Access mode: <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/infra> solution/www/infrastructure/en/railway/assets/pdf/Toshiba%20Review%20(Hybrid%20Locomotive).pdf (accessed 22 December 2024).
 7. 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*, vol. 43, pp. 100–110, <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2024-43-8>.
 8. Ihme J. (2022), “Driving Machines, Power Transmission”, *Rail Vehicle Technology*, Springer, Germany, https://doi.org/10.1007/978-3-658-36969-9_3.
 9. Riabov I., Goolak S., Kondratieva L., Overianova L. (2023), “Increasing the energy efficiency of the multi-motor traction electric drive of an electric locomotive for railway quarry transport”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 42, no. 101416, <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2023.101416>.
 10. Gorobchenko O., Zaika D. (2024), “Stvorennja matematychnoi modeli vyznachennja tjavovo-energetychnykh pokaznykiv manevrovogo lokomotyva [Development of a mathematical model for determining traction and energy performance indicators of a maneuvering locomotive]”, *Collected scientific works of Ukrainian state university of railway transport*, vol. 208, pp. 146–162, <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308485>.
 11. Kuznetsov V., Kardas-Cinal E., Gołębiowski 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 (ЧМЭЗ, ČME3, ČKD S200)”, *Energies*, vol. 15, is. 1, 317, <https://doi.org/10.3390/en15010317>.
 12. Roi S., Kachan A., Tykhonov A., Yakunin D., Riabov Ye. (2023), “Zastosuvannja tjavovogo elektropyvodu pry modernizatsii teplovozu TGM6 [Application of electric traction drive for the modernization of locomotives with hydraulic power transmission]”, *Reporter of the Priazovskiy State Technical University. Section: Technical sciences*, vol. 46, pp. 93–102, <https://doi.org/10.31498/2225-6733.46.2023.288177>.
 13. Kuznetsov V., Lyubarskyi B., Kardas-Cinal E., Yeritsyan B., Riabov L., & Rubanik I. (2020), “Recommendations for the selection of parameters for shunting locomotives”, *Archives of Transport*, vol. 56, is. 4, pp. 119–133, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.5650>.

Надійшла (received) 12.11.2024

Відомості про авторів / About the Authors

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>.

Якунін Дмитро Ігорович (Iakunin Dmytro) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Електричний транспорт та тепловозобудування»; м. Харків; тел.: (097) 715-58-94; e-mail: unicomber@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3995-3162>.

Рой Сергій Вікторович (Roi Serhii) – аспірант кафедри «Електричний транспорт та тепловозобудування», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків; ТОВ «Миколаївський тепловозоремонтний завод», директор; тел.: (0512) 70-99-70; e-mail: rsvntr@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0610-308X>.

Яготін Володимир Олексійович (Yahotin Volodymyr) – аспірант кафедри «Електричний транспорт та тепловозобудування», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків; ТОВ «Миколаївський тепловозоремонтний завод», головний інженер; тел.: (0512) 70-99-70; e-mail: ntr.gm@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6691-8166>.

Качан Андрій Володимирович (Kachan Andrii) – аспірант кафедри «Електричний транспорт та тепловозобудування», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків; ТОВ «Миколаївський тепловозоремонтний завод», інженер; тел.: (0512) 70-99-70; e-mail: infbox.ak@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9961-322X>.