

ВИБІР ПРИВОДУ КОЛІСНИХ ПАР ЛОКОМОТИВУ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

- Рой С.В.** директор, ТОВ «Миколаївський тепловозоремонтний завод», м. Миколаїв; аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0610-308X>, e-mail: rsyntz@gmail.com;
- Яготін В.О.** головний інженер, ТОВ «Миколаївський тепловозоремонтний завод», м. Миколаїв; аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6691-8166>, e-mail: ntrz.gm@gmail.com;
- Прокопов А.Є.** головний механік, ТОВ «Миколаївський тепловозоремонтний завод», м. Миколаїв; аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9567-0033>, e-mail: prokopovglmtrz@gmail.com;
- Рябов Є.С.** канд. техн. наук, ст. науковий співробітник, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0753-514X>, e-mail: riabov.ievgen@gmail.com

Розглянуто тяговий рухомий склад, який використовується у промисловому залізничному транспорті, обґрунтовано необхідність та напрямки його оновлення. Показано, що тягові властивості локомотиву залежать від типу приводу колісних пар. Розглянуто конструкції приводів колісних пар локомотивів з індивідуальними та груповим приводом. Запропоновано та виконано аналіз різних типів приводів колісних пар за критеріями, які визначають їх властивості та характеристики. Визначено наступні критерії: масо-габаритні, тягові та гальмівні властивості, енергоефективність, вплив на колію, складність конструкції приводу та технологічні вимоги до виготовлення, технічне обслуговування та ремонтпридатність, надійність, економічні показники. Для кожного з критеріїв запропоновано додаткові показники, з урахуванням яких проведений аналіз різних видів групового і індивідуального приводу. За результатами аналізу встановлено, індивідуальний привод має децю кращу енергоефективність, однак потребує більшої кількості обладнання. Це підвищує як капітальні витрати, так і витрати при експлуатації цього типу приводу. Груповий привод забезпечує високі тягові властивості в умовах нестабільного зчеплення колеса з рейкою, а динамічний вплив на колію є нижчим. Меньша кількість вузлів у груповому приводі сприяє зниженню його вартості та витрат на технічне обслуговування та ремонт. Запропоновано спосіб для кількісної оцінки, на основі якого побудовано пелюсткову діаграму для наочного порівняння типів приводів колісних пар. З урахуванням отриманих у статті результатів вбачається доцільним використання групового приводу колісних пар для локомотивів промислового залізничного транспорту. Доцільним є використання мономоторних візків, використання яких покращує розміщення обладнання та дозволяє використовувати енергозбереження засобами тягового електроприводу.

Ключові слова: локомотив, привід колісної пари, візок, зчеплення, редуктор, електродвигун, тягова система.

Постановка проблеми

Великі вітчизняні гірничо-збагачувальні комбінати та підприємства по видобутку корисних копалин відкритим способом для транспортування сировини та продуктів її переробки зазвичай використовують залізничний транспорт. Для водіння поїздів використовується спеціалізований рухомий склад – тягові агрегати змінного струму ОПЕ1А, ОПЕ1АМ, постійного струму ПЕ2М, ПЕ2У, промислові електровози постійного струму серії EL21, магістральні тепловози серій 2ТЕ10М, 2ТЕ10У, 2ТЕ116, М62 вї та маневрово-вिवізні локомотиви ТЕМ7. У маневровій роботі використовуються тепловози ТЕМ2, ЧМЕ3, ТГМ4, ТГМ6.

Аналіз експлуатаційних даних виявив, що рухомий склад на цих підприємствах експлуатується у режимах, що суттєво відрізняються від проектних. Це відбувається як у наслідок невідповідності умов експлуатації показникам тягового рухомого складу, так і

невідповідності характеристик рухомого складу тій поїзній роботі, яку він виконує.

На сьогоднішній день зношеність локомотивного парку досягла критичного рівня. Близько 90% локомотивів, що працюють в промисловості, відпрацювали свій нормативний строк служби. Тому питання оновлення рухомого складу промислових залізниць є актуальним. Частково це здійснюється шляхом модернізації. Наприклад, ТОВ «МТРЗ» виконав модернізації тепловозів 2ТЕ10, ТЕМ7, тягового агрегату ОПЕ1АМ, що підвищило їх тягово-енергетичні властивості, зменшило споживання паливно-енергетичних ресурсів, підвищило надійність [1]. Однак при модернізації використовується серійний рухомий склад, що унеможливило адаптацію його певних властивостей і характеристик до умов експлуатації. Тому завдання створення нового тягового рухомого складу для промислових залізниць є актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Одним з найважливіших елементів рухомого складу, від якого залежать тягові властивості, є привод колісних пар [2].

Традиційним для тягового рухомого складу є індивідуальний привід колісних пар, при якому кожна колісна пара приводить у рух окремим електродвигуном. Він може бути побудований з редуктором (це найбільш поширений варіант) та безредукторним.

На тяговому рухомому складі кар'єрних залізниць використовуються «запозичені» з магістральних ліній тепловози, для яких характерне опорно-осьове підвішування тягового електродвигуна з жорстким одностороннім приводом (рис. 1а). Для тягових агрегатів та промислових електровозів (як і для магістральних електровозів) характерне опорно-осьове підвішування тягового двигуна з жорстким двостороннім приводом

(рис. 1б). В обох випадках використовуються підшипники ковзання. Такі рішення поєднують високу надійність, простоту обслуговування та ефективність передачі тягового зусилля [3]. На сучасному тяговому рухомому складі використовують колісно-моторні блоки з підшипниками кочення та одностороннім приводом (рис. 1в). У конструкціях вітчизняних колісно-моторних блоків використовуються одноступінчасті редуктори.

Іншим варіантом індивідуального тягового приводу є безредукторний, при якому ротор електродвигуна безпосередньо з'єднаний з колісною парою. На сьогоднішній день такий тип приводу достатньо поширений на моторвагонному рухомому складі та міському електротранспорті. Компанія CRRC створила магістральний електровоз з безредукторним приводом колісних пар [4].

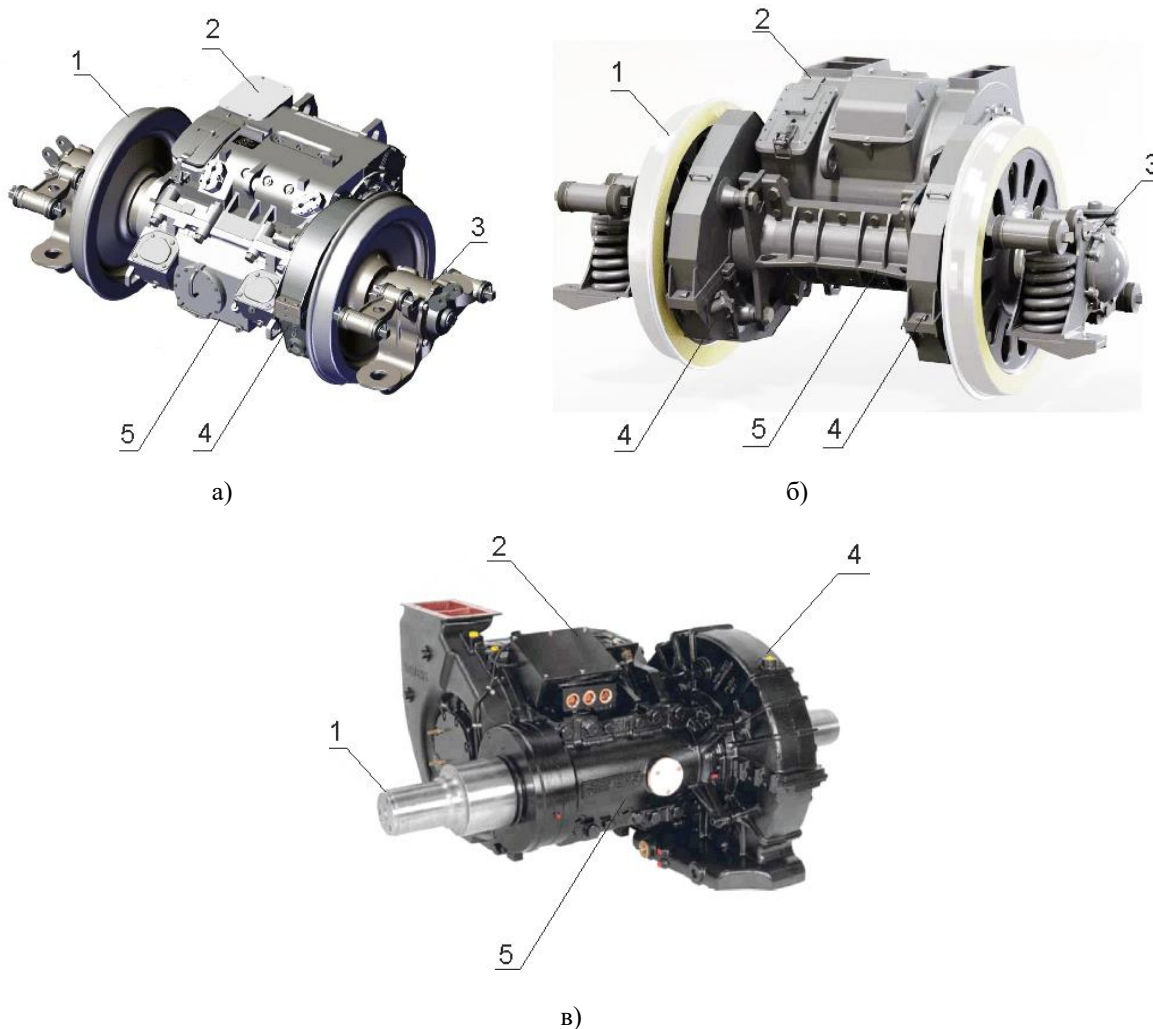


Рис. 1 – Опорно-осьове підвішування тягового двигуна (рисунок з мережі Internet): а) з одностороннім приводом та підшипниками ковзання, б) з двостороннім приводом, в) з одностороннім приводом та підшипниками кочення. 1 – колісна пара або вісь колісної пари; 2 – тяговий двигун; 3 – буксовий вузол; 4 – тяговий редуктор; 5 – кришки моторно осьових підшипників

Альтернативою індивідуальному приводу є груповий привод колісних пар. Аналіз конструкцій виявив, що його можна розділити на привод з центральним мотор-редуктором та на привод із застосуванням моноторних візків.

У приводі з центральним мотор-редуктором використовується мотор-редукторний блок, який за допомогою карданних валів з'єднується з осьовими редукторами візків (рис. 2). Особливістю є постійне механічне з'єднання усіх колісних пар локомотива.

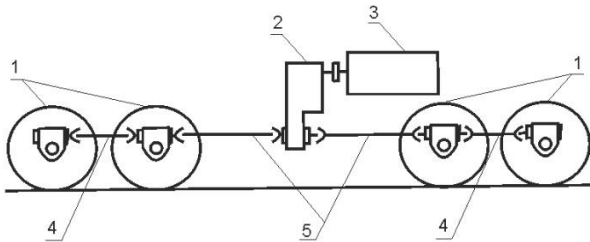


Рис. 2 – Схема приводу з центральним мотор-редуктором та карданним приводом осьових редукторів: 1 – колісні пари з осьовими редукторами; 2 – гідропередача; 3 – дизельний двигун; 4 – карданні вали візків; 5 – карданні вали роздаткові

На залізницях світу експлуатувались та експлуатується низка локомотивів з груповим приводом [3, 5]. В останній час в різних країнах є спроби побудови як нових, так і модернізації старих локомотивів з груповим приводом. Тепловоз BR203H – це модернізація

тепловозу V100 з гідравлічною передачею потужності, яка була виконана компанією Alstom [6]. Від старого тепловозу використана екіпажна частина, до якої був зроблений тяговий електропривод змінного струму. Чеська компанія Kolejové poňony використовує старі тепловози для створення акумуляторних локомотивів [7]. Гібридний локомотив LHy-M є прототипом локомотиву, на якому тестуються енергозберігаючі технології [8]. Відомим є проєкт HELMS компанії Toshiba з переобладнання застарілого тепловозу з гідравлічною передачею [9]. Як і в попередніх випадках, від старого тепловозу використовується екіпажна частина.

Французька компанія CFD пропонує нові локомотиви з груповим приводом колісних пар [10]. Також застосування групового приводу колісних пар можна знайти і на швидкісних локомотивах.

На вітчизняному рухомому складі груповий привод з центральним мотор-редуктором застосовується на тягових енергетичних модулях, які використовуються у колійному господарстві. Відомий тепловоз ТЕМ12, на якому застосовано груповий привод від тягових електродвигунів, які розміщені під головною рамою [5].

Також ТОВ «МТРЗ» модернізував тепловози ТГМ6 із застосуванням тягового асинхронного електроприводу при збереженні групового приводу колісних пар (рис. 3) [11].

Як бачимо, груповий привод з центральним мотор-редуктором здебільшого застосовується при модернізації застарілих тепловозів, від яких «успадковується» екіпажна частина.

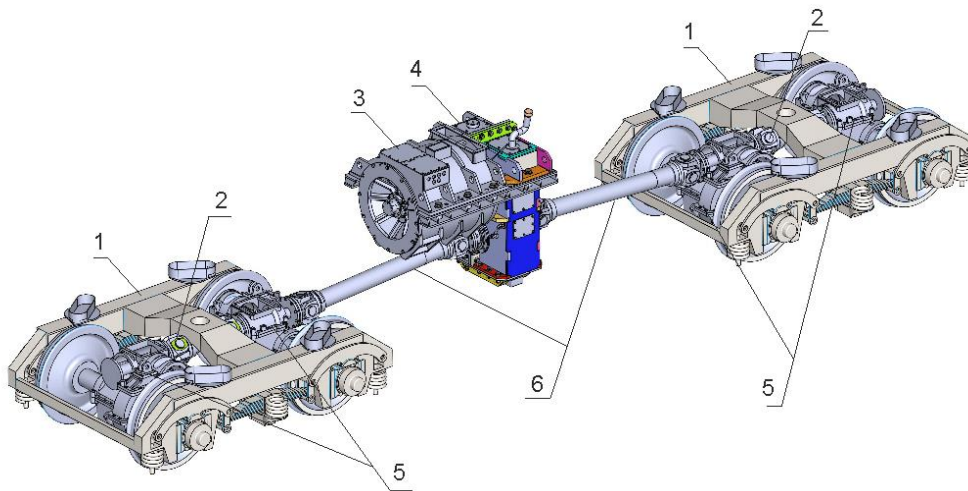


Рис. 3 – Схема приводу з центральним електричним мотор-редуктором та карданним приводом осьових редукторів тепловозу ТГМ6Д-МЕ: 1 – двовісний візок; 2 – вали карданні візкові; 3 – тяговий електричний двигун; 4 – тяговий редуктор; 5 – колісні пари з осьовими редукторами; 6 – карданні вали роздаткові

При використанні моноторних візків механічне з'єднання колісних пар здійснюється у межах одного візка [5]. У цьому випадку один електродвигун приводить у рух декілька механічно зв'язаних колісних пар. З'єднання колісних пар у візку відбувається за

допомогою роздаткових редукторів, або комбінацією роздаткового редуктора та осьових редукторів. Найрозповсюдженішими є двовісні моноторні візки (рис. 4а, 4в), але існують і конструкції тривісних моноторних візків (рис. 5, рис. 6).

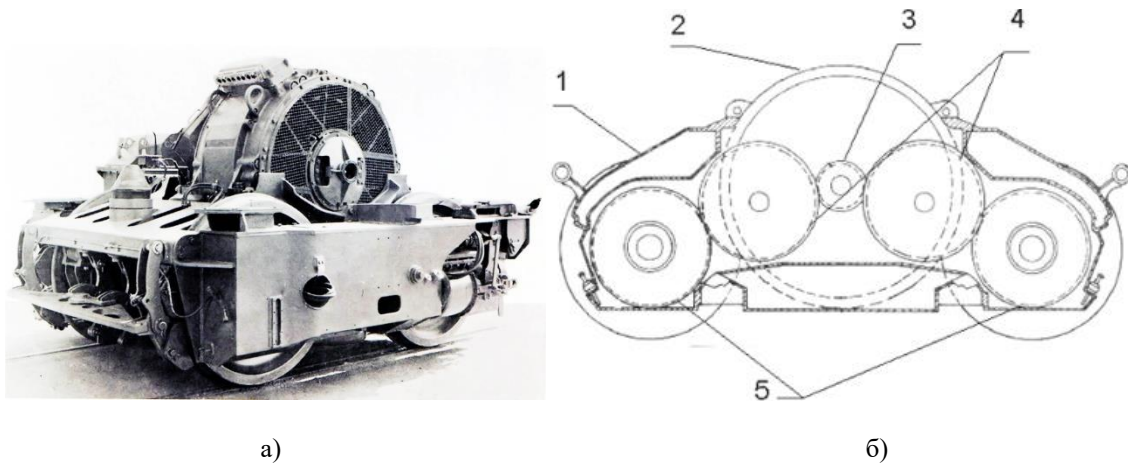


Рис. 4 – Двовісний монотворний візок електровозу BB16500, а) – загальний вигляд візка б) – схема приводу колісних пар візка: 1 – корпус редуктора, 2 – тяговий електродвигун, 3 – привідна шестерня, 4 – проміжні («паразитні») зубчасті колеса, 5 – зубчасті колеса колісних пар

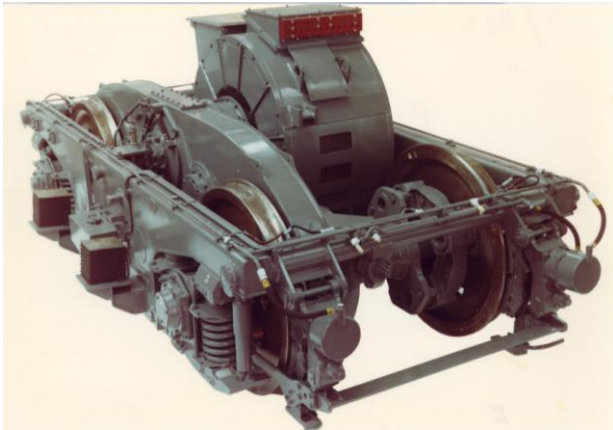


Рис. 5 – Загальний вигляд двовісного монотворного візка електровозу ВЛ83

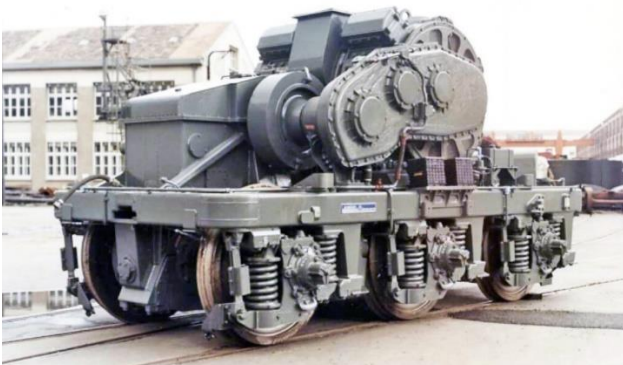


Рис. 6 – Загальний вигляд тривісного монотворного візка локомотивів СС6500, СС72000

Великий досвід у проектуванні, побудові та експлуатації локомотивів з монотворними візками мають французькі національні залізниці [12]. З 1960-х до 1990-х французьким концерном Alstom були спроектовані і побудовані низка локомотивів, які мали груповий привід візків [13]. Конструкція візків та приводу колісних пар на цих серіях схожа і відмінності полягають тільки у передаточному числі та конструкції двигунів, які в них застосовуються. Монотворні візки застосовуються як на електровозах, так і на тепловозах. Також є локомотиви, побудовані для французьких залізниць з тривісними монотворними візками [14]. Локомотиви з монотворними візками продовжують експлуатуватися в Іспанії [15], Угорщині [16] та інших європейських країнах.

Локомотиви з монотворними візками розроблялися і вітчизняними локомотивобудівними заводами. Відомі дослідні електровози ВЛ83 та ВЛ40, на яких тестувалися двовісні монотворні візки [5, 17].

Локомотиви з монотворними візками достатньо поширені, і свого часу були основою локомотивного парку багатьох залізничних операторів.

Таким чином, на сьогоднішній день на локомотивах може застосовуватися тягового приводу різних конструкцій. Аналіз їх властивостей є значущим етапом при виборі типу приводу колісних пар [18-20].

Мета статті

Метою статті є аналіз та порівняння різних типів приводу колісних пар для локомотивів промислового транспорту.

Виклад основного матеріалу

Аналіз та порівняння різних типів приводів колісних пар проведено з використанням критеріїв, які дозволяють оцінити технічні властивості та економічні

показники як безпосередньо типу приводу, так і оцінити його вплив на властивості локомотиву в цілому.

Прийняті наступні критерії, які відображають різні властивості та характеристики типу приводу колісних пар:

- масо-габаритні;
- тягові та гальмівні властивості;
- енергоефективність;
- вплив на колію;
- складність конструкції приводу та технологічні вимоги до виготовлення;

– технічне обслуговування та ремонтпридатність;

- надійність;
- економічні показники.

Кожен критерій є комплексним та включає декілька показників. Нижче наведено результати аналізу доступних джерел інформації, присвячених тяговим приводам колісних пар та їх впливу на властивості локомотиву.

Масо-габаритний критерій враховує:

- загальну кількість обладнання;
- масу та розміри обладнання;
- розміри та масу візків;
- раціональне розміщення на локомотиві.

Груповий привід відрізняється від індивідуального меншою загальною кількістю обладнання. В першу чергу, це стосується тягових електродвигунів. Використання меншої кількості тягових електродвигунів тягне за собою зменшення кількості супутнього тягового електрообладнання, мотор-вентиляторів охолодження і т.д. Конструкції редукторного і безредукторного приводів залежать від типу рухомого складу, однак кількість різнотипного обладнання в них більша.

При груповому приводі зменшення маси та розмірів обладнання, в першу чергу – електричного, пов'язане з підвищенням питомих масо-габаритних показників при зростанні потужності обладнання. Наприклад, на основі досвіду французьких локомотивобудівників маємо такі данні. У чотиривісних електровозів, що мають тривалу потужність 2135 кВт та 2580 кВт, використання двох тягових електродвигунів замість чотирьох призвело до зниження загальної маси електродвигунів майже на 25% при збереженні загальної потужності. Також при використанні групового приводу зменшується використання кабельної продукції. Водночас при індивідуальному приводі є більші можливості для оптимізації обладнання за масо-габаритними показниками.

При груповому приводі зменшуються розміри і маса візків. Зменшення маси тягових електродвигунів та можливість використання тягових редукторів у якості несучої конструкції візка також сприяють зменшенню маси рами візка. Також у локомотивів з груповим приводом, на відміну від індивідуального, конструктивно візки мають менші розміри, що пояснюється особливостями конструкції та принципами передачі тягового зусилля. Отже, компактність візків із

груповим приводом досягається завдяки спрощенню конструкції приводу та перенесенню частини обладнання з візків на основну раму локомотива. Це дає переваги у вазі, розмірах і вартості, але може мати обмеження у точності розподілу тягового зусилля між осями. Завдяки компактнішій конструкції візки з груповим приводом мають більшу жорсткість і стійкість до деформацій під час експлуатації.

Безредукторний привод колісних пар також дозволяє зменшити габаритні розміри візків.

Раціональне розміщення обладнання на локомотиві є важливим для забезпечення його ефективної роботи, зручного обслуговування, безпеки експлуатації та економічної доцільності. Використання меншої кількості обладнання при груповому приводі полегшує його розташування у кузові локомотива та у візках. Механічні елементи групового приводу зазвичай компактніші порівняно з індивідуальними приводами. Дає можливість розмістити обладнання, так щоб були враховані усі вимоги до ергономічності, безпеки, легкості та зручності обслуговування, електричної сумісності, вібро- та шумоізоляції, теплові і аеродинамічні аспекти.

Тягові та гальмівні властивості локомотива можуть бути оцінені наступними показниками:

- використання зчіпної маси;
- реалізація граничних зусиль;
- передача сил тяги та гальмування з візка на кузов.

При груповому приводі використання зчіпної маси та величина коефіцієнта зчеплення на 6%...35% вище, ніж локомотивів з індивідуальним приводом колісних пар. Це пов'язане із замкнутістю ланцюга передачі зусиль у груповому приводі, що викликає перерозподіл тягово-гальмівних зусиль по колісним парам у разі зміни значень зовнішніх факторів (навантаження на вісь, коефіцієнта зчеплення та ін.). Тобто при груповому приводі спостерігається підвищення стабільності зчеплення колеса з рейкою, чого не має при індивідуальному приводі колісних пар.

Реалізація граничних зусиль залежить від коефіцієнта зчеплення. Як було зазначено вище, замкнутість ланцюга передачі зусиль у груповому приводі викликає перерозподіл тягово-гальмівних зусиль. Цим пояснюється і менша ймовірність боксування та юза локомотивів із груповим приводом.

Досвід французьких локомотивобудівельників говорить про наступне. Коефіцієнт зчеплення локомотивів, маючих механічний зв'язок між колісними парами, у інтервалі швидкостей 10 км/год...30 км/год вищий на 15%, ніж у локомотивів з індивідуальним приводом. При русанні також відзначається вищий на 7% коефіцієнт зчеплення. У діапазоні швидкості від 0 км/год до 10 км/год на годину коефіцієнт зчеплення інтенсивно зменшується, а у діапазоні швидкостей до 50-60 км на годин змінюється дуже мало. З цього виходить, що у локомотивів з груповим приводом завдяки вищому коефіцієнту зчеплення на низьких і середніх швидкостях

ефективніше реалізує тягове зусилля, особливо при русанні з місця та на складних ділянках колії.

Реалізація граничних тягових зусиль при індивідуальному приводі колісних пар потребує індивідуального живлення і керування тяговими електродвигунами. Також підвищенню тягових властивостей приєє застосування пристроїв для довантаження візків.

Традиційно для *передачі сил тяги та гальмування* між візком і кузовом зусиль при індивідуальному приводі використовується центральний шкворень, який з'єднує візок із кузовом локомотива. Така система характерна майже для усього вітчизняного тягового рухомого складу з індивідуальним приводом. Однак у локомотивах з груповим приводом використання шкворня неможливе. Це зумовлено розташуванням тягового двигуна на візку, і унеможливленню використання центрального шкворню та опорно-повертаючих пристроїв. Такі локомотиви використовують різні види люлькового підвішування та багатовузлові похилі зв'язки з кузовом локомотива, через які передаються тягові зусилля. Система складніша, але забезпечує більшу гнучкість у передачі зусиль, підвищує плавності ходу локомотива, а також забезпечує високу надійність і міцність конструкції, рівномірність розподілу зусиль на весь кузов, що позитивно впливає на використання зчпної маси. Застосування таких зв'язків візка і кузова доцільно і на локомотивах з індивідуальним приводом колісних пар.

За критерієм енергоефективності розглянуто наступні показники:

- коефіцієнт корисної дії приводу;
- опір рухові;
- енергозбереження засобами тягового електроприводу.

Коефіцієнт корисної дії приводу та опір рухові тісно пов'язані між собою. При груповому приводі причини зменшення коефіцієнту корисної дії (ККД) та збільшення опору руху локомотивів викликані одними й тими ж факторами. Додаткові статичні та динамічні навантаження, які виникають внаслідок замкнутості ланцюга передачі тягового зусилля, призводять до: зниження надійності елементів групового тягового приводу порівняно з індивідуальним; зменшення коефіцієнта корисної дії приводу на 2-6 %, що пов'язано не тільки зі втратами енергії внаслідок надлишкових зв'язків, а і зі збільшенням числа зубчастих коліс та підшипників в осьових редукторах. Водночас зростання потужності тягових електродвигунів призводить до підвищення їх коефіцієнту корисної дії приводу.

У безредукторному приводі досягається найвищий ККД, оскільки привод не містить редукторів. Однак це вимагає суттєвого збільшення обертаючого моменту електродвигуна, який безпосередньо з'єднується з колісною парою.

Енергозбереження засобами тягового електроприводу локомотива базується на впровадженні сучасних технологій керування, підвищенні ефективності перетворення та використання електричної енергії.

Основні напрямки включають застосування тягових електродвигунів змінного струму, які мають вищий ККД в широкому діапазоні навантаження, забезпечують більш точний контроль швидкості та зусилля, мінімізуючи втрати енергії.

Локомотиви з індивідуальним приводом, де кожна колісна пара має окремий електродвигун, забезпечують точніше керування тягою та електродинамічним гальмуванням, що дає змогу зменшити споживання енергії у русі. Проте в таких локомотивах складніші системи керування і є необхідним застосування вартісних напівпровідникових перетворювачів. Загалом, вибір оптимальної системи залежить від умов експлуатації.

Вплив на колію оцінено за такими показниками:

- динамічний вплив на колію;
- вписування локомотива у криві ділянки шляху.

Зменшенню *динамічного впливу на колію* сприяє зниження так званої «наведеної маси», яка залежить від радіуса, на якому розташовані центри мас тягових двигунів відносно центру ваги візка. Тому очевидно, що візки з одним тяговим двигуном, який розміщений у центрі візка, мають найменшу «наведену масу» і, як показують експериментальні дослідження, зумовлюють незначний вплив на шлях. Практично єдиними засобом зменшення «наведеної маси» є зменшення цього радіуса шляхом розміщення тягових двигунів якомога ближче до центральної частини візка або ж використання одного двигуна замість двох або трьох.

При безредукторному приводі можливе створення візків з меншою базою, що дещо знижує «наведену масу».

Вписування локомотива в криві ділянки шляху є однією з критичних характеристик локомотиву. При використанні одного двигуна на візок з'являється можливість зменшити діаметр колісних пар локомотива та понизити центр ваги локомотива. У свою чергу пониження центру ваги дозволяє локомотивам краще проходити криві, особливо з підвищенням зовнішньої рейки. Також при пониженому центрі ваги у локомотива збільшується опір перекиданню на кривих ділянках шляху. Зменшення бази візка полегшує проходження кривих ділянок.

Порівняльний аналіз складності конструкції приводу та технологічних вимог до його виготовлення показує наступне.

Локомотиви з груповим приводом мають вищу механічну *складність конструкції* через необхідність використання спільного приводу для кількох колісних пар, що потребує високої технологічної точності виготовлення механічних компонентів. В таких локомотивах система передачі тяги між кількома колісними парами потребує додаткових механічних елементів, таких як редуктори, карданні вали, шестерні тощо. Водночас удосконалення індивідуального приводу також відбувається шляхом створення інтегрованих колісних моторних блоків з вузлами, які потребують підвищеної точності виготовлення та специфічних матеріалів.

Вимоги до технологічної точності елементів групового приводу (редукторів, карданних валів, зубчатих коліс) має критичне значення для збереження рівномірного розподілу тяги та мінімізації втрат енергії. Технологічна точність виготовлення таких компонентів має бути високою, щоб забезпечити безперебійну роботу. Це підвищує складність конструкції при використанні групового приводу, оскільки потрібно забезпечити точну взаємодію цих компонентів для ефектively передачі тягових зусиль. Але для обох видів характерним є те, що механічні елементи мають витримувати значні динамічні навантаження, що також потребує особливої уваги до технологічної точності у виготовленні для збереження надійності обох типів приводу.

В сучасних умовах та реаліях експлуатації тягового рухомого складу технічне обслуговування та ремонтпридатність займають одне з найважливіших місць при оцінці ефективності того чи іншого виду локомотивів та його складових. Тож згідно цих критеріїв можна оцінити приводи по наступним показникам:

- трудомісткість технічного обслуговування і ремонту;
- чутливість до зміни розмірів.

Зменшення трудомісткості технічного обслуговування і ремонту локомотивів з груповим приводом оцінюється на 40-50% меншою у порівнянні з індивідуальним приводом. Це пов'язано з меншою кількістю обладнання. Зокрема, відсутність необхідності в обслуговуванні окремих електродвигунів для кожної колісної пари та зменшення кількості електронних компонентів призводить до скорочення часу, необхідного для діагностики, проведення перевірок, ремонтів та налагодження систем приводу. Вбачається, що для групового приводу можлива спрощена система обслуговування, що дозволяє швидше виконувати перевірки, заміни деталей та інші операції, що, в свою чергу, знижує загальний час простою локомотива і підвищує ефективність його експлуатації.

Таким чином, локомотиви з груповим приводом є більш економічними в плані трудомісткості обслуговування та ремонту, що особливо важливо для операторів, які мають великий парк рухомого складу і повинні знижувати витрати на технічне обслуговування без шкоди для надійності та ефективності роботи.

Варто відзначити, що для безредукторного приводу та сучасних конструкцій редукторних приводів їх ремонт потребує розформування і повторного формування колісних пар, що значно підвищує витрати на проведення таких робіт.

Чутливість до зміни розмірів визначає працездатність приводу при зміні розмірів його елементів, що є неминучим при експлуатації. Особливо варто відзначити підвищені вимоги до різниці діаметрів по колу катання колісних пар локомотивів з груповим приводом. У таких локомотивів ця різниця має більший вплив та значною мірою визначає перерозподіл тягово-гальмівних зусиль по осях у русі, ніж у локомотивів з

індивідуальним приводом колісних пар. Вона в середньому встановлюється для локомотивів з груповим приводом 1 мм [5]. Це означає більш прискіпливий контроль за станом колісних пар та збільшення технічних обслуговувань, пов'язаних з їх обточуванням у процесі експлуатації.

Надійність оцінено за такими показниками:

- надійність елементів тягового приводу;
- надійність локомотиву в цілому;
- живучість.

Надійність елементів тягового приводу та надійність локомотиву пов'язані і аналіз показує наступне. У локомотивів з груповим приводом, завдяки використанню меншого числа обладнання, простішим електричним схемам та компонентам регулювання передачі, спостерігається підвищення коефіцієнта надійності. Також зазвичай механічні компоненти локомотивів з груповим приводом мають більший запас міцності. Це пов'язано з тим, що елементи такого приводу сприймають дещо більші навантаження.

Локомотиви з індивідуальним приводом навпаки мають простішу будову механічних систем, але за рахунок більшої кількості електронних компонентів, вищу ймовірність їх поломок. Тому обидві системи можна оцінити приблизно однаково по цим критеріям.

Живучість локомотивів з груповим приводом дещо нижча, оскільки відмова одного тягового агрегату може повністю зупинити локомотив. Вихід з ладу одного тягового двигуна чи елементів візка суттєво впливає на експлуатаційну готовність локомотива. У той час, як відмова одного елемента у тягової одиниці з індивідуальним приводом не завжди призводить до зупинки всього локомотива, оскільки інші двигуни можуть продовжувати працювати, хоча і з деяким зниженням тягово-гальмівних зусиль та ефективності.

Економічний критерій оцінено за такими показниками:

- вартість обладнання;
- вартість технічного обслуговування і ремонту.

Окрім очевидної меншої вартості обладнання через меншу його кількість при побудові локомотивів з груповим приводом також спостерігається зменшення використання кабельної продукції, що теж впливає на вартість локомотива в цілому. Вбачається, що локомотиви з груповим приводом дешевші, ніж локомотиви з індивідуальним, внаслідок того, що в них використовується менша кількість кольорових металів.

Початкова вартість локомотивів з індивідуальним приводом вища через більшу кількість електронних компонентів, таких як інвертори, контролери швидкості та електродвигуни для кожної осі. Вартість електричних систем та їх компонентів у локомотивів з індивідуальним приводом вище ще і за рахунок необхідності забезпечення високої надійності електронних систем та їх складного налаштування для взаємодії між собою.

Вартість технічного обслуговування і ремонту суттєво залежить від типу приводу. Як зауважено вище, для тягового рухомого складу з груповим приводом характерна менша кількість обладнання, простіша конструкція елементів приводу, трудомісткість планових видів ремонту нижча на 40-50%. Оскільки конструкція базується на механічних компонентах, їх обслуговування здебільшого обмежується перевіркою та заміною зношених деталей, таких як редуктори, шестерні та підшипники. Такі роботи не потребують складного діагностичного обладнання або спеціалізованих інструментів, тому витрати на обслуговування будуть відносно нижчими у порівнянні з індивідуальним.

Локомотиви з груповим приводом мають нижчу початкову вартість і менші витрати на технічне

обслуговування та ремонт. Це зумовлено меншою кількістю електронних компонентів і меншою складністю конструкції. Локомотиви з індивідуальним приводом мають вищу початкову вартість через складніші електронні системи, а також більші витрати на технічне обслуговування та ремонт через високу вартість електронних компонентів і необхідність спеціалізованого обслуговування.

Таким чином, у кожного типу приводу є переваги і недоліки. У табл. 1 наведено узагальнені кількісні оцінки по кожному критерію з урахуванням показників, опис яких наведено вище. Кожен з критеріїв оцінюється за п'ятибальною шкалою. Вищий бал ставиться у випадку, коли за цим показником характеризується як «найкращий».

Таблиця 1

Узагальнені оцінки типів приводів колісних пар

Критерій	Індивідуальний привод		Груповий привод	
	з редуктором	безредукторний	з центральним мотор-редуктором	з моноmotorними візками
Масо-габаритні показники	3	3	5	4
Тягові та гальмівні властивості	4	4	5	5
Енергоефективність	5	5	4	4
Вплив на колію	4	4	5	4
Складність конструкції приводу та технологічні вимоги до виготовлення	4	4	4	4
Технічне обслуговування та ремонтпридатність	4	4	4	4
Надійність	4	4	4	4
Економічні показники	3	4	5	5

На основі табл. 1 побудовано порівняльну діаграму (рис. 7), у якій кожний критерій оцінювання має свою вісь.

Головною перевагою індивідуального приводу є можливість окремого керування процесами електродвигунів кожної колісної пари. Це дозволяє врахувати розкид параметрів електродвигуна, діаметр колісної пари, фактичне навантаження колісної пари і стан зчеплення колеса з рейкою, здійснювати енергозберігаюче керування тощо. Однак для реалізації цих переваг необхідно забезпечити індивідуальне живлення і керування електродвигунів, що тягне за собою підвищення вартості тягового електроприводу. А це вже є недоліком. При груповому приводі колісних пар кількість

обладнання зменшується, а постійний механічний зв'язок окремих колісних пар забезпечує стабільність зчеплення та зростання тягових властивостей. Однак при груповому приводі колісних пар допускаються суттєво менші відхилення параметрів від нормативних значень.

Аналіз експлуатаційних режимів роботи тягового рухомого складу на промислових залізницях свідчить, що значну частину часу рухомий склад працює в умовах, які суттєво відрізняються від проектних. Унаслідок цього обладнання використовується неефективно та має обмежений термін служби. В таких умовах доцільно застосовувати технічні рішення з невисокою вартістю.



Рис. 7 – Порівняльна діаграма різних типів приводу колісних пар локомотивів

Одним із перспективних варіантів є використання групового приводу колісних пар, що може забезпечити:

- покращення тягових характеристик завдяки підвищенню коефіцієнта зчеплення і стабільності його значень;
- зменшення динамічного впливу на колію, що сприятиме її збереженню та зменшенню витрат на утримання інфраструктури.;
- зменшення вартості на технічне обслуговування та ремонт;
- підвищення ефективності використання рухомого складу та зменшення експлуатаційних витрат.

Особливий акцент на застосуванні групового приводу пов'язаний із незадовільним станом колій промислових підприємств: саме незадовільний стан колії викликає сумніви щодо можливості реалізації високих тягових зусиль при індивідуальному приводі. Натомість експлуатація тепловозів з гідравлічною передачею потужності, які мають груповий привод колісних пар, підтверджує високі тягові властивості локомотивів з груповим приводом колісних пар. Очікується, що впровадження такого рішення дозволить знизити витрати на технічне обслуговування і ремонт обладнання, а також зменшити вартість як нових, так і модернізованих локомотивів. Запровадження такого рішення відповідає сучасним вимогам до економічності, надійності та збереження інфраструктури. Воно має значний потенціал для оптимізації роботи промислових залізниць і зменшення витрат як для операторів, так і для підприємств

Висновки

Оновлення тягового рухомого складу промислового залізничного транспорту є важливим для

забезпечення стабільної роботи підприємств. Для забезпечення ефективного використання локомотивів їх властивості і характеристик мають бути адаптовані до умов роботи на підприємствах.

За результатами проведеного в дослідженні аналізу типу приводів колісних пар перспективним для застосування на промислових локомотивах є груповий привод колісних пар, зокрема з використанням моноmotorних візків. У цьому випадку забезпечуються високі тягові властивості, прийнятний вплив на колію та хороші можливості для розміщення обладнання. Використання енергозберігаючих технологій у тяговій системі дозволить підвищити енергоефективність локомотиву з моноmotorними візками.

Перелік використаних джерел

- [1] Проекти модернізації. URL: <https://ntrz.com.ua/realizovannie-proekti-modernizatsii/> (дата звернення: 01.03.2025).
- [2] Гетьман Г.К., Голік С.М. Тягові передачі електрорухомого складу: Навчальний посібник. Дніпро: Вид-во ПФ «Стандарт-Сервіс», 2020. 260 с.
- [3] Конструкція та динаміка електричного рухомого складу: підручник : у 2 ч. / Панченко С.В., Бабаєв М.М., Блиндюк В.С., Нерубацький В.П. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Ч. 1. 280 с.
- [4] CRRC introduces 10.4 MW freight electric locomotive to domestic service in China. URL: <https://en.railmarket.com/news/rolling-stock/19350-crrc-introduces-10-4-mw-freight-electric-locomotive-to-domestic-service-in-china> (дата звернення: 01.03.2025).
- [5] Маневровий локомотив з електричною передачею потужності та груповим приводом колісних пар / Рябов Є.С., Єріцян Б.Х., Якунін Д.І., Демидов О.В.

- Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. 30-ї Міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2022, м. Харків, 19-21 жовтня 2022 р. Харків : НТУ «ХПІ», 2022. С. 179.*
- [6] Hybrid locomotives overview of construction solutions / Konarzewski M., Niezgodna T., Stankiewicz M., Szurgott P. *Journal of KONES*. 2013. № 20. Pp. 127-134. DOI: <https://doi.org/10.5604/12314005.1135325>.
- [7] Kolejové pohony a.s. URL: <https://www.kolejovepohony.cz/en/> (дата звернення: 01.03.2025).
- [8] Locomotiva hibrid de manevră – premieră mondială. Transformarea locomotivei diesel hidraulică LDH 1250 CP în Locomotiva hibrid LHy-M. URL: <http://www.locomotivahibrid.ro/wp-content/uploads/2017/10/LHy-M- Studiu-de-solutii-Etapa-1-1.pdf> (дата звернення: 01.03.2025).
- [9] HELMS. Hybrid Electro-Mechanical Shunter. URL: https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/infraolution/www/infrastructure/en/railway/assets/pdf/TOSHIBA_HELMS_Poster.pdf (дата звернення: 01.03.2025).
- [10] Compagnie de Chemins de Fer Départementaux. URL: <https://www.cfd.group/> (дата звернення: 01.03.2025).
- [11] Застосування тягового електроприводу при модернізації тепловозу ТГМ6 / С. Рой та ін. 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>.
- [12] Transmission de l'effort de traction du moteur à l'essieu. URL: <https://actgv.fr/wp-content/uploads/2014/06/train-dengrenage-organes-m%C3%A9canique.pdf> (дата звернення: 01.03.2025).
- [13] Locomotives with Mono Motor Bogies. URL: <https://www.loco-info.com/view.aspx?id=-594&type=Type&cookies=accept> (дата звернення: 01.03.2025).
- [14] CC6500 locomotive. URL: <https://docrail.fr/les-cc-6501-a-6574-les-plus-belles-de-toutes> (дата звернення: 01.03.2025).
- [15] Locomotoras eléctricas 250 y 251. URL: http://users.fini.net/~bersano/espanol-spanish/Fichas_material_motor_Renfe.pdf (дата звернення: 01.03.2025).
- [16] SÜVEGES LÁSZLÓ A MÁV «igáslova», a V43 sorozatú villamosmozdony 60 éves. URL: https://vasutgepeszet.hu/wp-content/uploads/vasutgepeszet_2023_2_belivek-web-14-suveges-B.pdf (дата звернення: 01.03.2025).
- [17] Конструкція та динаміка електричного рухомого складу: підручник : у 2 ч. / Панченко С.В., Бабаєв М.М., Блиндюк В.С., Нерубацький В.П. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Ч. 2. 204 с.
- [18] Мороз В.І., Громов В.І., Логвіненко О.А. Збільшення технічного ресурсу тягових зубчатих передач рухомого складу залізниць. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2023, м. Харків, 17-20 травня 2023 р. Харків: НТУ «ХПІ». С. 242.*
- [19] Басов Г.Г., Яцько С.І. Розвиток електричного моторвагонного рухомого складу: навч. посібник. Харків: Апекс+, 2005. 248 с.
- [20] Чигирик Н.Д., Найдъон Є.О., Сумцов А.Л. Аналіз схемних рішень та вибір тягового привода швидкісного рухомого складу. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. № 103. С. 103-111. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.164.2016.92524>.

CHOICE OF LOCOMOTIVE WHEEL PAIR DRIVE FOR INDUSTRIAL RAIL TRANSPORT

Roi S.V.	<i>director, Mykolaiv Locomotive Repair Plant LLC, Mykolaiv; postgraduate student, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, ORCID: https://orcid.org/0009-0009-0610-308X, e-mail: rsvntrz@gmail.com;</i>
Yagotin V.O.	<i>chief engineer, Mykolaiv Locomotive Repair Plant LLC, Mykolaiv; postgraduate student, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, ORCID: https://orcid.org/0009-0006-6691-8166, e-mail: ntrz_gm@gmail.com;</i>
Prokopov A.E.	<i>chief mechanic, Mykolaiv Locomotive Repair Plant LLC, Mykolaiv; postgraduate student, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-9567-0033, e-mail: prokopovglmntrz@gmail.com;</i>
Riabov Ie.S.	<i>PhD (Engineering), senior research fellow, associate professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0753-514X, e-mail: riabov.ievgen@gmail.com</i>

The traction rolling stock used in industrial railway transport is considered, the necessity and directions of its renewal are substantiated. It is shown that the traction properties of a locomotive depend on the type of wheelset drive. The designs of locomotive wheelset drives with individual and group drives are considered. An analysis of different types of wheelset drives is proposed and performed according to the criteria that determine their properties and characteristics. The following criteria have been identified: weight and dimensions, traction and braking properties, energy efficiency, impact on the track, complexity of the drive design and technological requirements for manufacturing, maintenance and maintainability, reliability, and economic indicators. For each of the criteria, additional indicators are proposed, taking into account which the analysis of different types of group and individual drives was carried out. The analysis shows that an individual drive has slightly better energy efficiency, but requires more equipment. This increases both capital and operating costs of this type of drive. The group drive ensures high traction properties in conditions of unstable wheel-rail adhesion, and the dynamic impact on the track is lower. A smaller number of units in the group drive helps to reduce its cost and maintenance and repair costs. A method for quantitative assessment is proposed, on the basis of which a petal diagram is constructed for a visual comparison of the types of wheelset drives. Taking into account the results obtained in the article, it seems expedient to use a group drive of wheelsets for locomotives of industrial railway transport. It is advisable to use mono-engine bogies, the use of which improves the placement of equipment and allows the use of energy saving by means of a traction electric drive.

Keywords: locomotive, wheelset drive, bogie, adhesion, gearbox, electric motor, traction system.

References

- [1] Modernization proposals. [Online]. Available at: <https://ntrz.com.ua/realizovannie-proekti-modernizatsii/>. Accessed on: March 01, 2025.
- [2] H.K. Hetman, and S.M. Holik, *Tiahovi peredachi elektorukhomoho skladu: Navchalnyi posibnyk* [Traction drives of electric rolling stock: Training manual]. Dnipro, Ukraine: PF «Standart-Servis» Publ., 2020. (Ukr.)
- [3] S.V. Panchenko, M.M. Babaiev, V.S. Blyndiuk, and V.P. Nerubatskyi, *Konstruksiia ta dynamika elektrychnoho rukhomoho skladu* [Design and Dynamics of Electric Rolling Stock: Textbook], vol. 1. Kharkiv, Ukraine: UkrDUZT Publ., 2018. (Ukr.)
- [4] CRRC launches a freight electric locomotive with a capacity of 10.4 MW for domestic traffic in China. [Online]. Available at: <https://en.railmarket.com/news/rolling-stock/19350-crrc-introduces-10-4-mw-freight-electric-locomotive-to-domestic-service-in-china>. Accessed on: March 01, 2025.
- [5] E.S. Ryabov, B.H. Yeritsyan, D.I. Yakunin, and O.V. Demidov, «Manevrovyi lokomotyv z elektrychnoiu peredacheiu potuzhnosti ta hrupovym pryvodom kolisnykh par» [«Shunting locomotive with electric power transmission and group drive of wheel pairs»], in Abstracts of the 30th International scientific and practical conference MicroCAD-2022 «Information technologies: science, engineering, technology, education, health», Kharkiv, Ukraine, 2022, p. 179. (Ukr.)
- [6] M. Konarzewski, T. Niezgodna, M. Stankiewicz, and P. Szurgott, «Hybrid locomotives overview of construction solutions», *Journal of KONES*, № 20, pp. 127-134, 2013. doi: 10.5604/12314005.1135325.
- [7] 7 Kolejové pohony a.s. [Online]. Available at: <https://www.kolejovopohony.cz/en/>. Accessed on: March 01, 2025.
- [8] Locomotiva hibrid de manevră – premieră mondială. Transformarea locomotivei diesel hidraulică LDH 1250 CP în Locomotiva hibrid LHy-M. [Online]. Available at: <http://www.locomotivahibrid.ro/wp-content/uploads/2017/10/LHy-M-Studiu-de-solutii-Etapa-1-1.pdf>. Accessed on: March 01, 2025.
- [9] HELMS. Hybrid Electro-Mechanical Shunter. [Online]. Available at: https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/infrasolution/www/infrastructure/en/railway/assets/pdf/TOSHIBA_HELMS_Poster.pdf. Accessed on: March 01, 2025.
- [10] Compagnie de Chemins de Fer Départementaux. [Online]. Available at: <https://www.cfd.group/>. Accessed on: March 01, 2025.
- [11] A. Kachan, A. Tikhonov, D. Yakunin, and E. Ryabov, «Zastosuvannia tiahovoho elektropryvodu pry modernizatsii teplovozu THM6» [«Application of traction electric drive in the modernization of the TGM6 diesel locomotive»], *Visnyk Pryazovs'koho Derzhavnoho Tekhnichnoho Universytetu. Seriya: Tekhnichni Nauky – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, vol. 46, pp. 93-102, 2023. doi: 10.31498/2225-6733.46.2023.288177.
- [12] Transmission de l'effort de traction du moteur à l'esieu. [Online]. Available at: <https://actgv.fr/wp-content/uploads/2014/06/train-dengrenage-organes-m%C3%A9canique.pdf>. Accessed on: March 01, 2025.
- [13] Locomotives with Mono Motor Bogies. [Online]. Available at: <https://www.loco-info.com/view.aspx?id=-594&type=Type&cookies=accept>. Accessed on: March 01, 2025.
- [14] CC6500 locomotive. [Online]. Available at: <https://docrail.fr/les-cc-6501-a-6574-les-plus-belles-de-toutes>. Accessed on: March 01, 2025.
- [15] Locomotoras eléctricas 250 y 251. [Online]. Available at: <https://www.loco-info.com/view.aspx?id=-594&type=Type&cookies=accept>. Accessed on: March 01, 2025.

- [16] SÜVEGES LÁSZLÓ A MÁV «igáslova», a V43 sorozatú villamosmozdony 60 éves. [Online]. Accessed on: https://vasutgepeszet.hu/wp-content/uploads/vasutgepeszet_2023_2_belivek-web-14-suveges-B.pdf. Accessed on: March 01, 2025.
- [17] S.V. Panchenko, M.M. Babaiev, V.S. Blyndiuk, and V.P. Nerubatskyi, *Konstruktsiia ta dynamika elektrychnoho rukhomoho skladu* [Design and Dynamics of Electric Rolling Stock: Textbook], vol. 1. Kharkiv, Ukraine: UkrDUZT Publ., 2018. (Ukr.)
- [18] V.I. Moroz, V.I. Gromov, and O.A. Logvinenko, «Zbilshennia tekhnichnoho resursu tiahovykh zubchatykh peredach rukhomoho skladu zaliznyts» [«Increasing the technical resource of traction gear transmissions of railway rolling stock»], in abstracts of the XXXI Int. scientific and practical conference MicroCAD-2023 «Information technologies: science, engineering, technology, education, health», Kharkiv, Ukraine, 2023, p. 242. (Ukr.)
- [19] G.G. Basov, and S.I. Yatsko, *Rozvytok elektrychnoho motorvahonnoho rukhomoho skladu: navch. posibnyk* [Development of electric motor-car rolling stock : textbook]. Kharkiv, Ukraine: Apeks+ Publ., 2005. (Ukr.)
- [20] N.D. Chygyryk, E.O. Naidyon, and A.L. Sumtsov, «Analiz skhemnykh rishen ta vybir tiahovoho pryvoda shvydkisnoho rukhomoho skladu» [«Analysis of circuit solutions and choice of traction drive of high-speed rolling stock»], *Zbirnyk naukovykh prats Ukraïnskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport*, no. 103, pp. 103-111, 2016. doi: **10.18664/1994-7852.164.2016.92524**. (Ukr.)

Стаття надійшла 04.03.2025

Стаття прийнята 23.03.2025

Стаття опублікована 30.06.2025

Цитуйте цю статтю як: Вибір приводу колісних пар локомотиву для промислового залізничного транспорту / Рой С.В., Яготін В.О., Прокопов А.Є., Рябов Є.С. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. Серія: Технічні науки. 2025. Вип. 50. С. 84-95. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.50.2025.336271>.