DOI: https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-36-03
УДК 629.423.1

[1]С. В. БІРЮКОВ,
аспірант кафедри комп'ютерного моделювання та інтегрованих технологій обробки тиском
e-mail: Serhii.Biriukov@mit.khpi.edu.ua ORCID: https://orcid.org/0009-0005-6403-5880
[1]С. О. ГУБСЬКИЙ, кандидат технічних наук
доцент кафедри комп'ютерного моделювання та інтегрованих технологій обробки тиском
e-mail: gubskiyso@gmail.com ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7797-9139
[1]*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*
вул. Кирпичова 2, м. Харків, 61002, Україна

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ВІТЧИЗНЯНИХ ВІЗКІВ ВАГОНІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ВАГОНОБУДУВАННЯ

У статті розглядаються конструкції візків вагонів електрорухомого складу, які експлуатуються на вітчизняних метрополітенах. Розглянуто основні складові частини візків різних типів: моделей старої конструкції, що експлуатуються на Харківському метрополітені та більш сучасних, які виробляються на ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» та експлуатуються на вагонах столичного метро. Відповідно до проведеного аналізу вказано на особливості конструкції сучасних візків, серед них варто виділити застосування листової рами, що підвищило міцність та надійність конструкції. Важливим кроком уперед стало впровадження асинхронного тягового привода, який забезпечує кращі тягові характеристики та енергоефективність. Системи безпеки покращилися завдяки використанню дискового гальма, а комфорт пасажирів значною мірою зріс завдяки пневматичним ресорам у центральному підвішуванні.

Також проаналізовано різні технічні рішення, що застосовуються в конструкції візків рухомого складу закордонних метрополітенів, насамперед ті, що відрізняються від класичного бачення ходової частини рухомого складу – наприклад, застосування нетрадиційних матеріалів, а саме - вуглецевого волокна, у несучій конструкції візка або застосування коліс із гумовими шинами замість традиційних сталевих.

У статті проведено порівняння основних експлуатаційних характеристик вітчизняних візків та закордонного аналога фірми Siemens, що має схожу конструкцію. Вказується на перспективність конструкції сучасних візків в плані підвищення безпеки руху, економічності та комфортності перевезень, а також на необхідність розвитку вітчизняного вагонобудування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *метрополітен, візок вагону, аналіз конструкції, рама візка, вуглецеве волокно, шинний хід, пневматичні ресори.*

Як цитувати: Бірюков С. В., Губський С. О. Аналіз конструкції вітчизняних візків вагонів метрополітену в контексті сучасних тенденцій розвитку вагонобудування. *Машинобудування*. 2025. Вип. 36. С. 25-36. DOI: https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-36-03

Вступ

Важливою частиною конструкції будь якого вагону метрополітену є візок, який не тільки сприймає на себе вагу кузова та рівномірно розподіляє її на колію, а й передає тягові та гальмівні зусилля на раму кузова під час руху вагону. Саме візки забезпечують безпечне та плавне пересування вагону вздовж залізничної колії. Тому конструкція візка повинна відповідати всім технічним вимогам для безпечної експлуатації рухомого складу [1].

Конструкція візка, що експлуатується на рухомому складі метрополітену може залежати від:

© Бірюков С. В., Губський С. О. 2025

Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

- типу вагону – моторний або безмоторний;
- моделі вагону - більш сучасні вагони зазвичай мають більш досконалу конструкцію візків;
- виробника візків – кожен виробник має власні напрацювання та погляди на конструкцію;
- технічних вимог конкретного метрополітену, що продиктовані зокрема шириною колії, яка може відрізнятися в різних країнах, мінімальним радіусом кривих ділянок колії.

Візок має складну конструкцію, яка постійно вдосконалюється, адже, як і всякий механізм, він має «слабкі місця», що виявляються під час експлуатації.

Мета роботи – проаналізувати конструкції існуючих моделей візків вагонів закордонних метрополітенів та порівняти їх із візками, що експлуатуються на вітчизняному рухомому складі.

Аналіз конструкції вітчизняних візків рухомого складу метрополітену

Візки вагонів, що застосовуються на вітчизняних метрополітенах, зокрема на КП «Харківський метрополітен», двовісні, обертальні, шарнірно з'єднані з кузовом вагону, що дозволяє йому обертатися в горизонтальній площині під час руху електропоїзду. Візок складається з таких основних вузлів: рама з кронштейнами, колісні пари [2] з буксами, тягові електродвигуни та редуктори, подвійне ресорне підвішування, струмоприймачі та деталі гальмівної важільної передачі.

На Харківському метрополітені експлуатується два типи візків: повідцевий та шпинтонний, які відрізняються конструкцією буксового вузла. Причому конструкція шпинтонного візка є наслідком модернізації повідцевого [3]. Ця модернізація була пов'язана з підвищенням надійності вузла зв'язку колісної пари з рамою візка. Необхідність даного вдосконалення була обумовлена дефіцитом візків для рухомого складу у другій половині 80-х років, коли інтенсивно будувалися та розвивалися вітчизняні метрополітени. Зокрема ставилася задача модернізації без суттєвої зміни конструкції візка, виробництво якого було вже налагоджено раніше. При вдосконаленні повідцевого візка на заводі виробнику вирішили відмовитись від повідцевого зв'язку буксового вузла з рамою візка на користь шпинтонного з'єднання, зокрема через велику схильність до тріщеноутворення повідцевого кронштейну візка при експлуатації [4, 5].

Повідцевий тип візка (рис. 1) встановлено на вагонах серії Еж - 3 та Ем – 508Т (використовується тільки як проміжний вагон), та на вагонах 81-717 та 81-714.

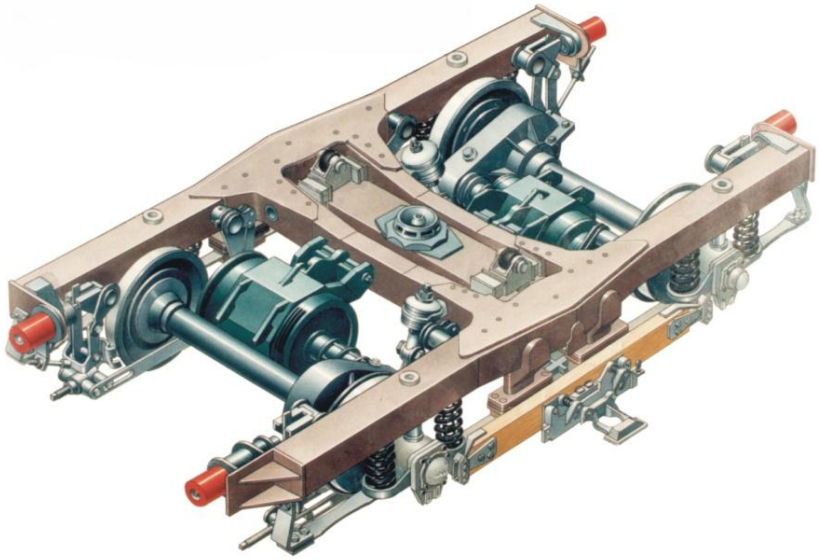

Рис. 1 – Повідцевий візок вагону електропоїзду метрополітена.
Fig. 1 – Bogie of an electric subway carriage.

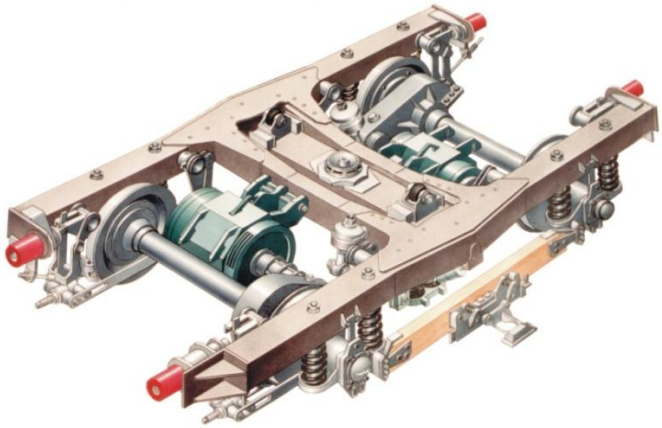

Рис. 2 – Шпинтонний візок.
Fig. 2 – Spindle bogie.

Шпинтонний тип візка (рис. 2) експлуатується на серії вагонів 81-717.5 (головний вагон) та 81-714.5 (проміжний вагон), які серійно почали виготовлятися у 1989 році, а також на їх модифікаціях. Також цей тип візків використовується на вагонах 81-718, 81-719 «ТІСУ» та на новому рухомому складі виробництва ПАТ "Крюківський вагонобудівний завод" моделі 81-7036, 81-7037, що експлуатується на Харківському метрополітені.

Одним із найважливіших елементів кожного візка є рама. Рами візків підтримують кузов та за допомогою центрального та буксового підвішування передають масу вагону на колісні пари. Обертальний момент, що розвивається тяговим електродвигуном, передається через карданну муфту на редуктор і далі на колісну пару, яка, в свою чергу, передає тягове зусилля через букси до рами. Від рами візка сумарні тягові зусилля від двох колісних пар передаються на раму вагона та далі на автозчеплення. Відповідно, основним призначенням рам візків є передача та розподіл вертикального навантаження між колісними парами та сприйняття тягових зусиль, що розвивається колісними парами.

Конструкції візків повідцевого та шпинтонного типу мають зварні Н-подібні рами без кінцевих балок, виготовлені з листової сталі товщиною 10 мм.

Основу рами візка складають дві поздовжні та дві поперечні балки. Поздовжні балки з'єднані з колісними парами через буксове підвішування та повідці або шпинтони, що відрізняє повідцевий тип візка від шпинтонного. Поперечні балки забезпечують зв'язок між поздовжніми балками та слугують для кріплення тягових електродвигунів, центрального підвішування та редукторів.

Буксове підвішування на обох типах візків – безщелепне [6], що покращує плавність руху вагону та знижує додаткові навантаження, що передаються рамі візка. На повідцевому візку кожну буксу колісної пари закріплюють трьома повідцями (рис. 3) до повздовжньої балки рами візка. Застосовують два прямих та один вигнутий повідець, які виконані із ресорної сталі. Саме через повідці відбувається передача тягових та гальмівних зусиль від колісної пари на раму візка.

Шпинтонне буксове підвішування (рис. 4) складається з двох однорядних циліндричних пружин, встановлених через підкладки на крилах букси та двох шпинтонів, що запресовані в раму візка.

Тягові електродвигуни постійного струму, які застосовуються на вагонах серії Е мають меншу потужність у порівнянні з двигунами постійного струму вагонів 81 серії: 72 кВт та 115 кВт відповідно. Це зумовило деякі конструкційні особливості візків, які експлуатуються на даних рухомих складах. На вагонах Е застосовується повідцевий візок із три точковим кріпленням електродвигуна до поперечної балки рами візка, на вагонах 81 – 717/714 – повідцевий візок, але через більш потужний двигун застосовується реактивна тяга [4], яка виступає третьою точкою кріплення у підвісці двигуна та знижує навантаження від його обертального моменту на поперечну балку рами візка. На вагонах серії 81 - 717.5/714.5 також застосована реактивна тяга, але візки вже шпинтонні.

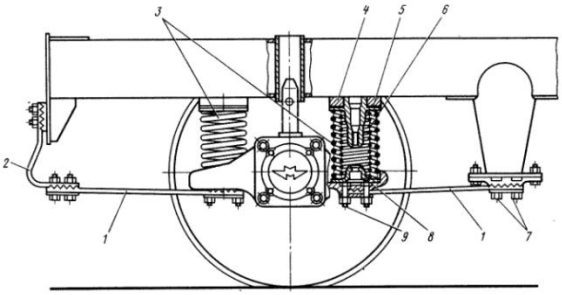

Рис. 3 – Буксове підвішування повідцевого візка: 1 – прямий повідець, 2 – вигнутий повідець, 3 – циліндричні пружини, 4 – гумова підкладка, 5 – регулювальна підкладка, 6 – верхня опора, 7 – кронштейн рами, 8 нижня опора, 9 – деталі кріплення.

Fig. 3 - Axle box suspension of the leash trolley: 1 - straight leash, 2 - curved leash, 3 - cylindrical springs, 4 - rubber pad, 5 - adjustment pad, 6 - upper support, 7 - frame bracket, 8 - lower support, 9 - fastening parts.

Рис. 4 – Буксове підвішування шпинтонного візка.

Fig. 4 - Axlebar suspension of the spindle carriage.

На візках вагонів метрополітену застосовується двохступінчасте ресорне підвішування [7] – центральне та буксове, яке слугує для забезпечення плавного та безпечного руху електропоїзда, а також для передачі навантаження від ваги вагону та розподілення її між колісними парами. В якості пружного елемента в ресорному підвішування застосовано дворядні циліндричні пружини.

Всі візки вагонів обладнано пневматичним колодковим гальмом із двостороннім натисненням колодок на бандаж колісної пари. Гальмівне обладнання вагону серії Е складається з пневматичного та ручного приводів та гальмівної важільної передачі. Візки 81-717, 81-714 та їх модифікацій замість ручного гальма мають стоянковий пневмопружинний, який разом із гальмівним циліндром поєднано у блок-гальмо.

З викладеного вище матеріалу видно, що візки, сконструйовані у 70-х та 80-х роках минулого сторіччя мають вже морально застарілу конструкцію, хоча постійно проходять через певні модернізації. Зокрема на ПАТ "Крюківський вагонобудівний завод" із застосуванням сучасних методів та матеріалів виробляються візки шпинтонного типу для вагонів метрополітену (модель візка 68-797, тип 1-7) [8].

Але на цьому заводі виробництво налагоджено також і для більш сучасної моделі візка – 68-7054 (рис. 5), який має більш прогресивну конструкцію та експлуатується на рухомому складі Київського метрополітену.

Рис. 5 - Візок моторний моделі 68-7054 з пневмопідвішуванням та дисковими гальмами.
Fig. 5 - Motor bogie model 68-7054 with pneumatic suspension and disc brakes.

Цей візок має ті ж самі основні вузли, що й візки повідцевого та шпинтонного типу, але значною мірою відрізняється за конструкцією цих вузлів:

- тяговий привід на основі асинхронного двигуна, на відміну від двигунів постійного струму послідовного збудження, що застосовані на старих візках. Також цей асинхронний двигун має більшу потужність;
- рама візка має зварну листову конструкцію та вигини поздовжніх балок по центру в горизонтальній площині, на старих візках рами зварені зі швелерів. Листова конструкція рами є більш технологічною, оскільки дозволяє знизити об'єми ручного зварювання та підвищити автоматичне, що позитивно відображається на автоматизації виробництва;
- вага моторного візка складає 7300 кг, що є легшим в порівнянні зі шпинтонним типом, вага якого 7500 кг;
- візок обладнаний дисковим гальмом з елементами протиюзової системи, на відміну від колодкового гальма на старих моделях візків;
- центральне ресорне підвішування виконано на основі пневматичних ресор [9], на шпинтонних та повідцевих візках центральне підвішування пружинне;
- застосована зубчаста муфта для з'єднання валів тягового двигуна та малої шестерні редуктора, на відміну від карданної муфти на старих візках, яка є досить проблемним вузлом та потребує ретельного догляду та обслуговування;
- на візку є система автоматизованого дозованого змащування рідиною гребенів коліс, тим часом коли на старих застосовано механічні рейкозмащувачі. Такі заходи зменшують зношення колісних пар при експлуатації.

Таким чином візок моделі 68-7054 відповідає сучасним світовим концепціям та інноваційним рішенням конструювання ходових частин вагону та складає гідну конкуренцію закордонним аналогам, що експлуатуються на метрополітенах інших країн.

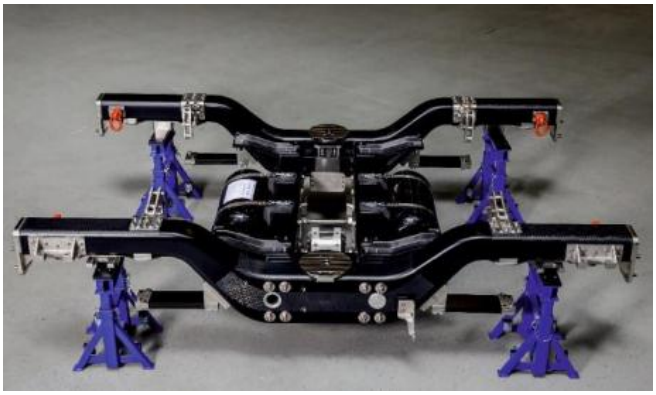

Рис. 6 – Прототип рами візка з вуглепластику.
Fig. 6 - Prototype of the bogie frame made of carbon fibre.

Сучасні візки вагонів, що експлуатуються на закордонних метрополітенах

На світовому ринку існує багато провідних компаній, які мають значний досвід у виробництві візків для вагонів метрополітену. Найвідоміші серед них: Alstom (Франція), Siemens Mobility (Німеччина), Hitachi Rail (Японія/Італія), CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles) (Іспанія), Hyundai Rotem (Південна Корея), CRRC (Китай), Bombardier Transportation (Канада/Франція) (тепер частина Alstom), Stadler Rail (Швейцарія). CRRC - найбільший виробник рухомого складу у світі, який також є значним постачальником візків для метрополітенів як в Китаї, так і за його межами.

Одним із сучасних напрямів удосконалення конструкції візка є зменшення його маси. Застосування композитних матеріалів на основі вуглецевого волокна відкриває нові можливості для полегшення компонентів візка в порівнянні з традиційним виконанням їх із металів, зокрема сталі або алюмінію. Зменшення маси рухомого складу призводить до зменшення споживання електроенергії, а також до зменшення зносу рейкової колії. Тому таке технічне рішення має великі перспективи у впровадженні на залізницях та метрополітенах [10, 11]. Зокрема з вуглецевого волокна вже реалізовані та випробувані такі елементи, як кузов вагону, рама візка (рис. 6), обшивка під підлогою вагону, платформа пантографу високошвидкісного потягу.

Після випробувань на статичні та циклічні навантаження на рамі візка з вуглепластику не було виявлено критичних пошкоджень, що підтверджує надійність конструкції. Доречі, рама з вуглецевого волокна має на 50% меншу вагу ніж аналогічна рама у сталевому виконанні [12].

Слід наголосити, що витрати на виробництво вуглепластикових рам вище, ніж у сталевих, але ці кошти згодом амортизуються за рахунок менших експлуатаційних витрат [13].

Такі візки з вуглецевого волокна експлуатуються на поїзді CETROVO 1.0 (рис. 7), який спільно розроблений китайською корпорацією CRRC та Qingdao Metro Group. Він був введений в експлуатацію на першій лінії метро Циндао в січні 2025 року та є першим в світі поїздом, де використані композитні матеріали з вуглецевого волокна в основних несучих конструкціях. Це дозволило зробити на 25% легший кузов, на 50% легший візок (рис. 8) у порівнянні з металевими аналогами. Загальна вага поїзда зменшилася на 11%, що дозволило зменшити експлуатаційне енергоспоживання на 7%.

Прикладом сучасної концепції ходової частини вагону метрополітену є візок моделі SF2000 (рис. 9) виробництва Siemens Mobility [14], що експлуатується на рухомому складі Тайбейського метрополітену (Тайвань) та метрополітені Бангкоку (Таїланд) є гарним зразком надійної та ефективної в експлуатації конструкції. Цей візок двовісний, виробляється у моторному або немоторному виконанні, причому обидві конструкції ідентичні, відрізняються лише відсутністю тягового приводу на немоторному візку, що значно спрощує обслуговування та ремонт, адже запасні частини взаємозамінні. Візки мають двоступеневе підвішування: буксове підвішування реалізовано за допомогою конічних ламінованих пружніх металогумових елементів, які також виконують функції осьового направлення, центральне підвішування виконано за допомогою пневматичних ресор, що забезпечують високий рівень комфорту та підтримують постійну висоту підлоги вагону незалежно від навантаження в салоні. На моторних візках встановлено трифазні асинхронні двигуни, які передають обертальний момент на колісні пари через малошумний редуктор, який з’єднаний із двигуном за допомогою пружньої муфти. Така конструкція дозволяє замінювати колісну пару та редуктор без демонтажу електродвигуна. Ефективне гальмування забезпечується дисковим гальмом на кожне колесо та має низький рівень шуму. Для полегшення обслуговування гальмівні блоки розташовані з зовнішньої сторони візка. Також використовується рекуперативне гальмування, якщо така система присутня на поїзді.

Рис. 7 – Поїзд метро з вуглецевого волокна CETROVO 1.0.
Fig. 7 - The CETROVO 1.0 carbon fibre subway train.

Цікавою також є концепція візка на шинному ходу, які застосовуються на рухомому складі моделі MP 14 (рис. 10) у метрополітені Парижа. Ці візки розроблені компанією Alstom, яка є однією зі світових лідерів з виробництва залізничного транспорту. На Паризькому метрополітені є лінії з шинним ходом, де і застосовуються ці візки, на яких замість сталевих коліс використовуються пневматичні шини для руху по спеціальних коліях. Така конструктція візка (рис. 11) забезпечує краще зчеплення коліс, що дозволяє швидше розганятися та гальмувати, а також долати крутіші підйоми та криві ділянки колії. Сталеві колеса на таких візках використовуються в якості допоміжних, для направлення та утримання вагону на рейках. Також застосовані горизонтальні напрямні колеса для додаткової стабільності та точнішого ведення поїзда по напрямних рейках. Ці візки мають менший рівень шуму, адже гумові шини значно тихіші за сталеві колеса. Як наслідок застосування пневматичних шин є зменшення зносу колії та коліс.

Виходячи з аналізу вітчизняних та світових тенденцій на сучасні конструкції візків для рухомого складу метрополітену можливо скласти порівняльну таблицю, що складається з основних параметрів, які характеризують візки. Для порівняння буде проаналізовано параметри візків шпинтонного типу моделі 68-797, які експлуатуються на Харківському метрополітені, візків виробництва КВБЗ моделі 68-7054, що експлуатуються на Київському метрополітені та візки моделі SF2000 від Siemens Mobility, метрополітенів Тайваню та Таїланду. Цю інформацію зведено до таблиці.

Рис. 8 – Візок із несучою рамою з вуглецевого волокна.
Fig. 8 - The bogie has a carbon fibre support frame.

Рис. 9 – Візок SF2000.
Fig. 9 – The SF2000 bogie.

Рис. 10 – Рухомий склад Паризького метрополітену на шинному ходу.
Fig. 10 - Rolling stock of the Paris Metro on tyres.

Рис. 11 – Візок поїзда MP 14.
Fig. 11 - The bogie of MP 14 train.

Таблиця
Порівняння вітчизняних та закордонних візків
Table
Comparison of domestic and foreign bogies

Параметр	Візок мод. 68-797 (шпинтонний)	Візок мод. 68-7054 (КВБЗ)	SF2000 (Siemens Mobility)
Маса візка, кг	7500	Моторний 7300 Немоторний 5150	Моторний 7500 Немоторний 5500
Конструкційна швидкість, км/год.	90	90 або 100	80
Ширина колії, мм	1520	1520	1435
Ресорне підвішування	Двохступінчасте, пружинне	Буксове – пружинне, центральне - пневматичне	Буксове – пружинне, центральне - пневматичне
Колісна база, мм	2100	2100	2300
Діаметр колеса, мм	780	860	850
Навантаження на вісь, тс	15	15	16.2
Потужність тягового двигуна, кВт	110	150-180	230
Гальмівна передача	колодочна	дискова	дискова

Висновки

Візки, що експлуатуються на рухомому складі Харківського метрополітену мають застарілу конструкцію, що впливає на вартість обслуговування та ремонту. В результаті порівняння цих візків із сучасними можна виділити такі особливості:

- на сучасних візках широко застосовуються передові матеріали, які можуть відрізнятися від традиційних та використовується комп'ютерне моделювання при проектуванні конструкції [15, 16];
- рама візка має іншу геометричну конфігурацію, збільшений термін служби (до 40 років для візка моделі 68-7054) та є більш технологічною у виробництві;
- застосування тягового приводу змінного струму та більшої потужності;
- дискове гальмо є більш ефективним в порівнянні з колодочним;
- застосування пневматичного ресорного підвішування підвищує рівень комфорту для пасажирів завдяки кращій амортизації та плавності ходу;
- сучасна система моніторингу стану візка за допомогою датчиків підвищує безпеку його експлуатації;
- покращення характеристик шумо та віброізоляції позитивно відображається на комфорті перевезення та навколишньому середовищі.

В Україні є власне виробництво візків для вагонів метрополітену, які відповідають сучасним стандартам якості та мають конкурентоспроможну конструкцію в порівнянні із конструкціями візків закордонних аналогів, що дозволяє не тільки забезпечувати потреби внутрішнього ринку, а і підвищити технологічну незалежність країни.

Тож подальша робота з удосконалення конструкції та технології виробництва елементів ходової частини рухомого складу метрополітену є перспективною та актуальною у вітчизняній галузі транспортного машинобудування, зокрема у вагонобудуванні.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Правила технічної експлуатації метрополітенів України. Харків, 2015. 304 с.
2. Колісні пари вагонів магістральних залізниць колії 1520 (1524) мм (конструкція, технічне обслуговування та ремонт) : підручник / С. В. Панченко, А. О. Каграманян, І. Е. Мартинов та ін. ; за заг. ред. С. В. Панченка. Харків : УкрДУЗТ, 2018. 367 с.
3. Дворецький В. І., Демченко Ю. В., Явдощина О. Ф., Федоренко В. І. Технологія відновлювального ремонту і модернізації рам візків вагонів метрополітену. Наука та інновації. 2007. Т 3. №2. С. 27-33. URL: http://scinn.org.ua/sites/default/files/pdf/2007/N2/Dvorecjkyj.pdf.
4. Артеменко А. В., Чепурненко И. В., Мазанько Д. Г. Анализ повреждений рам тележек вагонов метрополитена. Збірник наукових праць ДП «УкрНДІВ». Рейковий рухомий склад. 2012. Вип. 6. С. 29-33.
5. Атлас М. В., Донченко А. В., Водянніков Ю. Я., Шелейко Т. В. Дослідження конструкції рами візка вагона метрополітену з метою визначення надійності її елементів. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2010. Вип. 31. С. 7-10.
6. Кузова, візки, колісні пари та буксові вузли локомотивів: конспект лекцій. Ч. 3. Механічна частина ТРС / Д. О. Аулін, О. В. Клименко, Д. М. Коваленко, М. В. Максимов. Харків: УкрДУЗТ, 2022. 46 с.
7. Навчальний посібник по вивченню улаштування та роботи електричного, пневматичного та механічного обладнання вагонів метрополітену серії 81 - 717 та 81 – 714. КП «Київський метрополітен». Київ, 2005. 60 с.
8. Каталог. Крюківський вагонобудівний завод. URL: https://kvsz.com/images/stories/doc/albom_teh_vozm_tsn2024ua.pdf (дата звернення 11.05.2025).
9. Liubarskyi B., Petrenko O., Lakunin D., Nikonov O., Matsyi O. Building a mathematical model of the oscillations in subway cars equipped with electromechanical shock absorbers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6. Pp. 51-59. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217183 (дата звернення 17.09.2025).
10. Ulbricht A., Zeidler F., Renner S., Bilkenroth F., Günter S. Novel composite design approaches for structural lightweight components of railway vehicles - development, technological realization and test. Civil-Comp Conferences, Volume 1, Paper 32.5. 2022. DOI: 10.4203/ccc.1.32.5 (дата звернення 17.09.2025).
11. Bilkenroth F., Ramisch P., Yunlai Li, Ulbricht A. Enhancing Rail Vehicle Structural Performance Through High-Recyclability Thermoplastic Composite Lightweight Components. Materials. 2023. Vol.11. Article 3948.
12. Ulbricht A. Rail Vehicle in CFRP-intensive Design. Lightweight Design Worldwide. 2019. Vol. 12. Pp. 36-41.
13. Ulbricht A., Zeidler F., Bilkenroth F., Soltysiak S. Structural lightweight components for energy – efficient rail vehicles using high performance composite materials. Transportation Research Procedia. 2023. Vol. 72. Pp. 1685-1692. DOI: **10.1016/j.trpro.2023.11.641** (дата звернення 17.09.2025).
14. Siemens Mobility. Portfolio. Rolling stock components. Bogies. Data sheet bogie SF2000. URL: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:b2aafa39-b547-4f53-a5af-03aee90ea6f2/mobility-datasheet-bogies-sf2000-en.pdf (дата звернення 17.09.2025).
15. Cascino A., Meli E., Rindi A. A new strategy for railway bogie frame designing combining structural-topological optimization and sensitivity analysis. Vehicles. 2024. Vol 6. Pp. 651-665. URL: https://doi.org/10.3390/vehicles6020030 (дата звернення 17.09.2025).

16. Zhou, W., Zhang, G., Wang, H., Peng, C., Liu, X., Xiao, H., Liang, X. Experimental Fatigue Evaluation of Bogie Frames on Metro Trains. Machines. 2022. Vol. 10. 1003. URL: https://doi.org/10.3390/machines10111003 (дата звернення 17.09.2025).

Стаття надійшла для редакції 14.08.2025 Стаття рекомендована до друку 17.09.2025

[1] BIRIUKOV S.,
Postgraduate student of the Computer modelling and integrated pressure processing technologies Department
e-mail: Serhii.Biriukov@mit.khpi.edu.ua ORCID: https://orcid.org/0009-0005-6403-5880
[1] HUBSKYI S., Ph. D.,
Associate Professor of the Computer modelling and integrated pressure processing technologies Department
e-mail: gubskiyso@gmail.com ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7797-9139
[1]*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*
Kyrpichova St., 2, 61002, Kharkiv, Ukraine

ANALYSIS OF THE DESIGN OF DOMESTIC UNDERGROUND CARRIAGE BOGIES IN THE CONTEXT OF MODERN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF CARRIAGE BUILDING

The article deals with the design of bogies for electric rolling stock cars operated on domestic subways. The main components of bogies of different types are considered: models of the old design, which are used in the Kharkiv subway, and more modern ones, which are produced at PJSC ‘Kryukiv Carriage Works’ and are used on the cars of the capital's subway. According to the analysis, the design features of modern trolleys were identified, including the use of a sheet metal frame, which increased the strength and reliability of the structure. An important step forward was the introduction of an asynchronous traction drive, which provides better traction characteristics and energy efficiency. Safety systems have been improved by the use of a disc brake, and passenger comfort has been greatly enhanced by the use of air springs in the central suspension.

The paper also analyses various technical solutions used in the design of bogies in foreign subways, primarily those that differ from the classical vision of the rolling stock chassis, such as the use of non-traditional materials, such as carbon fibre, in the bogie's bearing structure or the use of wheels with rubber tyres instead of traditional steel ones.

The article compares the main operational characteristics of domestic bogies and a foreign analogue of Siemens, which has a similar design. It is pointed out that the design of modern bogies is promising in terms of improving traffic safety, efficiency and comfort of transportation, as well as the need to develop domestic car building.

KEYWORDS: *underground, car bogie, structural analysis, bogie frame, carbon fibre, tyre travel, pneumatic springs.*

In cites: Biriukov S., Hubskyi S. (2025), Analysis of the design of domestic underground carriage bogies in the context of modern trends in the development of carriage building. *Engineering, (36),* 25-36. https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-36-03

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of the manuscript. In addition, the authors fully complied with ethical standards, including plagiarism, data falsification and double publication.

References

1 *Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsii metropoliteniv* [Rules for the technical operation of subways in Ukraine], 2015. Kharkiv.
2. Panchenko S. V., Kahramanian A. O. and Martynov I. E., 2018. *Kolisni pary vahoniv mahistralnykh zaliznyts kolii 1520 (1524) mm (konstruktsiia, tekhnichne obsluhovuvannia ta remont)* [Wheelsets of

1520 (1524) mm gauge mainline railways (construction, maintenance and repair)].Kharkiv: UkrDUZT.

3. Dvoretskyi V. I., Demchenko Yu. V., Yavdoshchyna O. F., Fedorenko V. I. Technology for the restorative repair and modernisation of metro carriage frames. *Nauka ta innovatsii.* [online] Vol. 3, no. 2. Available at: <http://scinn.org.ua/sites/default/files/pdf/2007/N2/Dvorecjkyj.pdf> [Accessed 17 September 2025].
4. Artemenko A. V., Chepurnenko Y. V. and Mazanko D. H., 2012. Analyz povrezhdenyi ram telezhek vahonov metropolytena. [Analysis of damage to bogie frames of metro cars]. *Zbirnyk naukovykh prats DP «UkrNDIV»,* issue 6, pp. 29-33.
5. Atlas M. V., Donchenko A. V., Vodiannikov Yu. Ya. and Sheleiko T. V., 2010. Doslidzhennia konstruktsii ramy vizka vahona metropolitenu z metoiu vyznachennia nadiinosti yii elementiv. [Study of the subway carriage frame structure to determine the reliability of its elements]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana,* issue 31, pp. 7-10.
6. Aulin D. O., Klymenko O. V., Kovalenko D. M. and Maksymov M. V., 2022. *Kuzova, vizky, kolisni pary ta buksovi vuzly lokomotyviv: konspekt lektsii. Ch. 3. Mekhanichna chastyna TRS* [Locomotive bodies, bogies, wheelsets and axle assemblies: lecture notes. P. 3. Mechanical part of the rolling stock]. Kharkiv: UkrDUZT. Available at: < http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/9244/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9.pdf > [Accessed 11 May 2025].
7. *Navchalnyi posibnyk po vyvchenniu ulashtuvannia ta roboty elektrychnoho, pnevmatychnoho ta mekhanichnoho obladnannia vahoniv metropolitenu serii 81 - 717 ta 81 – 714.* [A textbook for studying the arrangement and operation of electrical, pneumatic and mechanical equipment of subway cars of the 81-717 and 81-714 series.], 2005. Kyiv.
8. *Catalogue. Kryukiv Carriage Works.* Available at: < https://kvsz.com/images/stories/doc/albom_teh_vozm_tsn2024ua.pdf > [Accessed 15 May 2025].
9. Liubarskyi B., Petrenko O., Lakunin D., Nikonov O. and Matsyi O. Building a mathematical model of the oscillations in subway cars equipped with electromechanical shock absorbers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2020. Vol. 6. Pp. 51-59. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217183 [Accessed 17 September2025].
10. Ulbricht A., Zeidler F., Renner S., Bilkenroth F. and Günter S. *Novel composite design approaches for structural lightweight components of railway vehicles - development, technological realization and test.* Civil-Comp Conferences, Volume 1, Paper 32.5. 2022. DOI: 10.4203/ccc.1.32.5 [Accessed 17 September2025].
11. Bilkenroth F., Ramisch P., Yunlai Li, and Ulbricht A. Enhancing Rail Vehicle Structural Performance Through High-Recyclability Thermoplastic Composite Lightweight Components. *Materials*. 2023. Vol.11. Article 3948.
12. Ulbricht A. Rail Vehicle in CFRP-intensive Design. *Lightweight Design Worldwide*. 2019. Vol. 12. Pp. 36-41.
13. Ulbricht A., Zeidler F., Bilkenroth F. and Soltysiak S. Structural lightweight components for energy – efficient rail vehicles using high performance composite materials. *Transportation Research Procedia*. 2023. Vol. 72. Pp. 1685-1692. DOI: 10.1016/j.trpro.2023.11.641 [Accessed 17 September 2025].
14. *Siemens Mobility. Portfolio. Rolling stock components. Bogies. Data sheet bogie SF2000*. URL: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:b2aafa39-b547-4f53-a5af-03aee90ea6f2/mobility-datasheet-bogies-sf2000-en.pdf [Accessed 17 September 2025].
15. Cascino A., Meli E. and Rindi A. A new strategy for railway bogie frame designing combining structural-topological optimization and sensitivity analysis. *Vehicles*. 2024. Vol 6. Pp. 651-665. URL: https://doi.org/10.3390/vehicles6020030 [Accessed 17 September2025].
16. Zhou, W., Zhang, G., Wang, H., Peng, C., Liu, X., Xiao, H. and Liang, X. Experimental Fatigue Evaluation of Bogie Frames on Metro Trains. *Machines*. 2022. Vol. 10. 1003. URL: https://doi.org/10.3390/machines10111003 [Accessed 17 September2025].

The article was received by the editors 08/14/2025 The article is recommended for printing 09/17/2025