

УДК 629.434:621.33

**М. В. Митко, канд. техн. наук, доц; С. А. Бурлака, д-р філос., доц.****ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ АВТОНОМНОГО ТРОЛЕЙБУСА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СТАЦІОНАРНИХ ЗАТОРІВ ТА РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ**

*В цій статті розглянуто питання підвищення енергетичної ефективності та автономності тролейбусного парку м. Вінниця шляхом впровадження інтелектуальних систем керування енергобалансом. Визначено роль автономних тролейбусів як гнучкого інструменту модернізації транспортної мережі, що дозволяє мінімізувати залежність від стаціонарної контактної інфраструктури в умовах щільної забудови та енергетичного дефіциту. Проаналізовано динаміку енергоспоживання на ключових маршрутах міста та виявлено потенціал використання ділянок з високою інтенсивністю руху.*

*Особливу увагу приділено розробці концепції «корисного затору», яка передбачає використання зон стаціонарних заторів (передмостові ділянки, вузлові розв'язки) для підзарядження бортових накопичувачів через короткі сегменти контактної мережі. Проведено оцінку ефективності рекуперативного гальмування в режимі «stop-and-go», що є характерним для перевантажених магістралей міста, таких як вулиці Соборна, Пирогова та центральні мостові переходи. Доведено, що циклічне перетворення кінетичної енергії в електричну під час маневрування в заторах дозволяє повернути до 20 – 25 % витраченої енергії назад у акумуляторні системи.*

*Запропоновано математичну модель енергетичного балансу автономного тролейбуса, яка враховує параметри рекуперації, витрати на допоміжні системи та можливість поповнення заряду під час вимушених зупинок. Такий підхід сприяє формуванню екологічно стійкої та живучої системи міської мобільності, здатної функціонувати в умовах блекаутів та пошкоджень енергосистеми.*

*Обґрунтовано доцільність створення «зарядних островів» на вузлових напрямках, де транспортні потоки розходяться до віддалених районів міста. Розроблено рекомендації щодо інтеграції автономних тролейбусів у загальну схему руху Вінниці з оцінкою економічного ефекту від зменшення витрат на будівництво повнорозмірних контактних мереж та зниження зносу гальмівного обладнання завдяки електродинамічному гальмуванню. Запропоновані рішення можуть бути використані під час стратегічного планування розвитку транспортної стратегії «Вінниця-2030» та розробки систем SmartCity для управління громадським транспортом.*

**Ключові слова:** автономний тролейбус, енергетичний баланс, рекуперативне гальмування, стаціонарний затор, режим «stop-and-go», бортові накопичувачі, динамічне підзарядження, енергоефективність, транспортна інфраструктура, інтелектуальні транспортні системи.

**Вступ**

Сучасна стратегія розвитку міської мобільності «Вінниця-2030» [1] та майбутні європейські тренди на сьогодні вимагають докорінного перегляду підходів до організації громадського транспорту [2]. Попередні дослідження [3] підтвердили, що впровадження автономних тролейбусів (зокрема моделі «VinLine») дозволяє розширити маршрутну мережу без значних капіталовкладень у будівництво нових контактних ліній. Було математично обґрунтовано, що для забезпечення автономного пробігу на відстань 30 км за середнього енергоспоживання 1,5 кВт · год/км необхідна місткість бортового накопичувача не менше 45 кВт · год.

Але в реальних умовах міської експлуатації сьогодні ефективність таких систем стикається із двома критичними викликами: енергетичним дефіцитом внаслідок блекаутів та перевантаженням дорожньої мережі. Традиційно стаціонарні затори розглядаються як негативний фактор [4], що призводить до нераціональних витрат енергії на роботу систем життєзабезпечення (клімат-контроль, освітлення) за нульової корисної роботи двигуна. Проте, з точки зору енергетичного менеджменту, зони вимушеної зупинки транспорту можуть бути трансформовані в ресурс для поповнення енергобалансу [5].

Питаннями енергоефективності електротранспорту та дослідженням використанням автобусних та тролейбусних маршрутів міст займалися такі науковці як: Андрусенко С. І., Дембіцький В. М., Будниченко І. В., Дикий В. С. [6], Янківський, Д., Бризгалов В., Лягушкін, А. [7], а також розвитком громадського електротранспорту Корнікова К. М., Ільченко А. В., Шумляківський В. П. [8]. Ними було проведено та проаналізовано типи тягових батарей та загальні економічні аспекти впровадження автономного ходу. Разом з тим, питання динамічної оптимізації заряду безпосередньо в процесі подолання заторів та максимального використання потенціалу рекуперативного гальмування в режимі «stop-and-go» залишаються недостатньо висвітленими.

### Мета і завдання статті

**Метою роботи** є теоретичне обґрунтування та розробка математичної моделі оптимізації енергетичного балансу автономного тролейбуса шляхом використання рекуперативного гальмування та стратегічного вибору ділянок стаціонарних заторів для динамічного підзаряджання. Це дозволить підвищити енергоефективність пасажирських перевезень у м. Вінниця, забезпечити стійкість транспортної системи в умовах енергодефіциту та збільшити ресурс автономного ходу без додаткових капітальних витрат на тягові акумулятори.

*Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання дослідження:*

1. Проаналізувати технічний потенціал рекуперативного гальмування автономного тролейбуса (на прикладі моделі «VinLine») під час руху в режимі «stop-and-go», характерному для завантажених магістралей міста.

2. Дослідити локалізацію стаціонарних заторів у транспортній мережі м. Вінниця та визначити їх потенціал як «зарядних вікон» для поповнення енергобалансу бортових накопичувачів.

3. Розробити математичну модель енергетичного балансу, яка враховує не лише витрати на рух і допоміжні системи, а й динамічне повернення енергії через інверторні системи під час гальмування.

4. Розрахувати ефективність комбінованого методу заряджання, що поєднує стаціонарні зарядні станції та короткі сегменти контактної мережі в зонах примусового уповільнення трафіку.

5. Надати практичні рекомендації щодо модернізації контактної мережі Вінниці (встановлення «зарядних вставок» на підйомах та передмостових ділянках) для забезпечення безперебійної роботи автономного електротранспорту в умовах нестабільного енергопостачання.

### Аналіз результатів останніх досліджень та публікацій

Аналіз наукових праць [6], [7] та практичного досвіду експлуатації електротранспорту показує, що головною технічною суперечністю є баланс між масою акумулятора та радіусом автономного ходу. Сучасні дослідження фокусуються на переході від статичного заряджання в депо до технології In-Motion Charging (ІМС) – заряджання під час руху.

У країнах ЄС (Швейцарія [9], Швеція [10], Польща [11], [12]) акцент робиться на розбудові інтелектуальної інфраструктури, де зупинки громадського транспорту виконують функцію енергетичних хабів. Типова схема такої взаємодії передбачає використання автоматизованих систем підключення, що дозволяють мінімізувати час простою.

Цей підхід уже впроваджений у багатьох містах світу, наприклад, у Цюріху (Швейцарія) [9], Гетеборзі (Швеція) [10], а також тестується в деяких містах України. Зображення на рис. 1 ілюструє сучасну зупинку із зарядною станцією для автономних тролейбусів. Зарядка виконується через автоматизований пантограф, що під'єднується до тролейбуса.

Сьогодні є приклади компанії АВВ TOSA [9], які мають розробки для інноваційної технології «flashcharging» (надшвидка зарядка), яка розроблена цією компанією АВВ для

міських електробусів. На відміну від традиційних методів, ця система дозволяє заряджати автобус за 15 – 20 секунд безпосередньо на зупинках, поки пасажери заходять і виходять. Це екологічна альтернатива дизельному транспорту, яка не потребує громіздких контактних мереж (тролейбусних ліній).

Як показано на рис. 1, інтеграція зарядного пристрою безпосередньо в конструкцію зупинки дозволяє реалізувати концепцію «підживлення» (top-upcharging). Проте, аналіз показує, що для повного заряджання акумулятора на 100 кВт·год під час руху (In-Motion Charging) тролейбусу все ще необхідно подолати близько 50 – 70 км під контактною мережею. Це створює певні обмеження для маршрутів з короткими ділянками мережі та високою інтенсивністю руху.



Рис. 1. Сучасна зупинка із зарядною станцією для автономних тролейбусів, де зарядка виконується через автоматизований пантограф, що під'єднується до тролейбуса

У працях закордонних дослідників (зокрема на прикладі систем у Швейцарії [9], Швеції [10] та Польщі [11], [12]) визначено, що ефективність заряджання автономних тролейбусів залежить від трьох ключових параметрів:

1. Динаміка поповнення енергії: встановлено, що за ККД зарядної системи понад 90 % та потужності обладнання 100 – 200 кВт, для повного відновлення заряду батареї ємністю 100 кВт·год потрібно близько 50 – 70 км пробігу під контактною мережею.

2. Швидкісні інтервали на зупинках: досвід Цюриха та Гетеборга доводить ефективність «опортуністичного заряджання» (opportunity charging). Використання автоматизованих пантографів на зупинках дозволяє за 3 – 5 хвилин зупинки отримати енергію, достатню для 10 – 15 км додаткового автономного ходу.

3. Інноваційні методи: розглядаються системи індуктивного (безконтактного) заряджання, інтегрованого у дорожнє полотно, що мінімізує візуальне навантаження на архітектуру міст, проте потребує значних капітальних інвестицій.

В Україні дослідження енергоефективності автономних тролейбусів (зокрема на базі досвіду Вінниці та Львова, а також розробок ТОВ «Політехносервіс» що у Броварах), та практична реалізація проектів за підтримки міжнародних грантів у таких містах, як

Івано-Франківськ, Кременчук, Миколаїв, Хмельницький та Чернівці, демонструють специфічні умови експлуатації.

На відміну від європейських міст, українська інфраструктура часто стикається з:

- Нестабільністю напруги в контактній мережі під час пікових навантажень.
- Високою щільністю заторів у центральних частинах міст, що робить розрахунковий пробіг у 50 – 70 км для повної зарядки важкодосяжним через низьку середню швидкість.

Також в таблиці 1 зображено, яка кількість автономних тролейбусів вже є в Українських містах і тут також постає питання, оскільки прогнозована чисельність автономного транспорту зростатиме, і будуть збільшуватися і затори та проблеми, на які потрібно звертати увагу. А також якщо міста в майбутньому будуть змінювати інфраструктурну ідеологію, яка вже на випередження була розглянута в статті М. В. Митко і С. А. Бурлака [13], де розглянуто питання підвищення ефективності транспортної мережі м. Вінниця шляхом удосконалення взаємодії між різними видами транспорту та розвитку мостової інфраструктури.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика автономних тролейбусів в Україні на 2025 рік

Міста	Кількість тролейбусів із автономним ходом, од.	Відстань руху на автономному ходу, км.
Вінниця	~25 – 30 (моделі VinLine)	до 20
Івано-Франківськ	~20	до 15 – 20
Кременчук	~28 (Включно із партією від Європейського інвестиційного банку)	до 25 – 30
Львів	~11 (Модернізовані «Електрон»)	до 15 – 20
Миколаїв	~35 – 40 (активне поповнення парку)	до 20
Хмельницький	~30 (за контрактами 2024 – 2025 р.)	до 20
Чернівці	~15	до 15 – 30 (залежно від моделі)

Більшість сучасних публікацій розглядають затори виключно як фактор втрати енергії. Проте, аналіз досвіду експлуатації тролейбусів «VinLine» у Вінниці дає підстави для нової гіпотези. Якщо традиційна зупинка триває 30 – 60 секунд, то перебування в заторі під контактною мережею на вузлових ділянках (наприклад, перед мостами) може тривати 10 – 15 хвилин.

Це відкриває перспективу впровадження **комбінованого методу**, де затори інтегруються в графік заряджання. Замість того, щоб будувати дорогі індуктивні станції, пропонується використовувати «зарядні вікна» – ділянки наявної або модернізованої мережі в місцях гарантованого сповільнення трафіку. Це дозволяє перетворити час простою у чергах на корисний час рекуперації та поповнення енергії від мережі, що досі не було достатньо досліджено у фаховій літературі.

### Результати досліджень

У ході дослідження було визначено, що оптимізація енергобалансу тролейбусів «VinLine» у м. Вінниця вимагає переходу від пасивного очікування в заторах до активного енергозаміщення.

#### 1.1. Технічний потенціал та інфраструктурні рішення.

На основі аналізу встановлено, що найбільшперспективним для українських міст є комбінований тип зарядної інфраструктури. На відміну від статичних методів, ми пропонуємо використовувати ділянкизаторів як «зарядні вікна».

Варіанти впровадження контактних систем:

1. Контактна станція з пантографом (рис. 2): забезпечує високу потужність (до 300 кВт) на кінцевих вузлах. Для Вінниці це рішення дозволяє за 5 – 10 хв отримати запас ходу на 20 – 50 км.

2. Штангові «зарядні вставки»: короткі сегменти мережі в зонах заторів (наприклад, перед Центральним мостом), де троллейбус підключається штатними штангами.

### 1.2. Моделювання енергозбереження та переходу на автономний хід «VinLine».

Дослідження експлуатації троллейбусів «VinLine» (рис. 3) підтверджує, що завдяки використанню сучасної системи керування та тягових інверторіві транзисторних систем дозволяє економити до 40 % електроенергії порівняно із парком застарілих машин, таких наприклад як (ЗіУ-9).



Рис. 2. Сучасна контактна зарядна станція для автономних троллейбусів, оснащена пантографом, інтегрованим у компакту інфраструктуру

Згідно з даними Асоціації "Енергоефективні міста України" [14], троллейбуси «VinLine» є ключовим елементом оновлення парку міста Вінниці. Завдяки використанню літій-іонних акумуляторів вони забезпечують до 20 км автономного ходу, що в поєднанні з системами рекуперації дозволяє економити до 30 – 40 % електроенергії порівняно із старим рухомим складом, а також демонструють високі показники енергоефективності навіть у складних зимових умовах.

У Вінниці обґрунтовано доцільність створення «зарядних островів» на вузлових напрямках для переходу транспорту на автономне живлення, зокрема в районі «Вінницького національного аграрного університету», який розглядається як стратегічний «енергетичний хаб». Важливість впровадження таких енергоощадних одиниць, як 15-ий ювілейний троллейбус власної збірки, підтверджується даними про розвиток муніципального електротранспорту [15].

Для реалізації транспортної мережі Вінниці та сполучення Вінницької територіальної громади цей вузол є стратегічним: тут троллейбуси завершують рух під контактною мережею та переходять у режим автономного ходу для обслуговування приміських громад. Впровадження цієї технології дозволяє забезпечити сполучення на таких перспективних напрямках:

- **Вул. Юзвинська — Агрономічне:** ділянка з активним будівництвом, де будівництво мережі недоцільне.
- **Тубдиспансер — Бохоники — Горбанівка:** маршрути протяжністю 10 – 15 км у кожную сторону.

Згідно із даними [15], [16], троллейбус «VinLine», використовуючи технологію динамічної підзарядки (In-Moting Charging), прибуває на кінцеву зупинку «Вінницького національного аграрного університету» із рівнем заряду батареї 90 – 95 %. Цього запасу енергії достатньо для подолання дистанції до с. Бохоників та повернення до контактної мережі без ризику глибокого розряду (залишковий рівень заряду акумулятора «State of Charge» SOC > 30 %).



Рис. 3. Автономний троллейбус «VinLine» на вузловій станції «Вінницького національного Аграрного університету» під час переходу в режим автономного ходу[15]

### Математичне обґрунтування рекуперації в режимі «stop-and-go»:

В умовах затору троллейбус здійснює до 5 – 8 циклів «розгін-гальмування» на кожні 500 метрів. Завдяки системі рекуперації, енергія гальмування  $E_{rec}$  не розсіюється у вигляді тепла, а повертається в акумулятор:

1. Загальне рівняння енергетичного балансу автономного троллейбуса із урахуванням рекуперації енергії гальмування ( $E_{rec}$ ) має вигляд:

$$E_{total} = E_{grid} + E_{rec} - (E_{motion} + E_{aux}), \quad (1)$$

де  $E_{total}$  – загальний енергетичний баланс (залишковий запас енергії в накопичувачі), кВт·год;  $E_{grid}$  – кількість енергії, отримана троллейбусом від контактної мережі під час руху або підзарядки на зупинках, кВт·год;  $E_{rec}$  – енергія, що повертається в систему завдяки рекуперативному гальмуванню (зокрема під час руху в заторах), кВт·год;  $E_{motion}$  – енергія, витрачена безпосередньо на тягу (подолання сил опору руху та розгін), кВт·год;  $E_{aux}$  – витрати енергії на власні потреби: роботу клімат-контролю, освітлення, компресорів та інших допоміжних систем кВт·год.

В умовах затору троллейбус виконує циклічну роботу. Замість безцільної втрати енергії у вигляді виділення тепла на гальмівних резисторах, ми пропонуємо модель динамічного балансу.

2. Енергія, що повертається в акумулятор завдяки рекуперації ( $E_{rec}$ ), розраховується за уточненою формулою:

$$E_{rec} = \sum \left( \frac{m \cdot v^2}{2} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{bat} \right) - E_{aux} \cdot t_{stop}, \quad (2)$$

де:  $m$  – повна маса тролейбуса з пасажирями;  $v$  – швидкість перед початком гальмування в заторі;  $\eta_{inv}$ ;  $\eta_{bat}$  – ККД інвертора та батареї (зазвичай 0,92 та 0,95 відповідно);  $E_{aux}$  – потужність допоміжних систем (клімат-контроль тощо);  $t_{stop}$  – тривалість гальмування або вимушеного простою тролейбуса з пасажирями, с;

3. Ефективність комбінованого методу розрахунків, що показують стояння в заторі під контактною мережею протягом 10 хвилин при потужності зарядки 100 кВт (навіть при врахуванні ККД 0,9) дозволяє накопичити:

$$E_{накоп} = 100 \text{ кВт} \cdot \frac{10}{60} \text{ год} \cdot 0,9 = 15 \text{ кВт} / \text{год}, \quad (3)$$

Цього обсягу енергії достатньо для додаткових **10 км автономного пробігу**, що фактично нівелює енергетичні втрати від самого затору.

### 1.3. Перспективна модель «Розумної зупинки–затору»

У межах стратегії розбудови міста Вінниці за європейськими стандартами сталого розвитку, запропоновано концептуально нову модель транспортної інфраструктури. На ділянках із високою інтенсивністю руху та хронічними заторами передбачено впровадження інтелектуальних зупиночних комплексів, що суміщають зону очікування пасажирів із високо потужними зарядними лініями [3].

Перспективний вигляд такої моделі та її інтеграція в міське середовище наведені на рис. 4.



Рис. 4. Оновлений автономний тролейбус на базі «VinLine» біля сучасної зарядної станції: Поєднання функціональності та естетики міста [3]

## Висновки

У ході проведенного дослідження щодо оптимізації енергетичного балансу автономних тролейбусів у місті Вінниця було отримано наступні результати:

1. Доведено, що завдяки енергетичній ефективності рекуперації використання сучасних систем керування на базі моделі «VinLine» дозволяє економити до 40 % електроенергії. В умовах міського руху в режимі «stop-and-go» (5 – 8 циклів на 500 м) рекуперативне

гальмування перетворює кінетичну енергію тролейбуса на електричну, що дозволяє частково компенсувати витрати на роботу допоміжних систем (клімат-контроль, освітлення) під час простою в заторах.

2. Запропоновано змінити концептуальний підхід до оцінки заторів, де завдяки їхній інноваційній ролі стаціонарні затори під контактною мережею розглянуто як "зарядні вікна", а не лише як негативний чинник. Розрахунково обґрунтовано, що 10-хвилинне перебування тролейбуса під мережею із потужністю заряджання 100 кВт дозволяє накопичити близько 15 кВт·год енергії, що забезпечує до 10 км додаткового автономного пробігу.

3. Визначено стратегічне значення вузлових станцій, зокрема вузол біля Вінницького національного аграрного університету, який розглянуто, як ключову точку енергетичної стабілізації маршрутної мережі. Повне заряджання накопичувачів на цій ділянці забезпечує надійне обслуговування перспективних приміських маршрутів (Агрономічне, Бохоники, Горбанівка) без необхідності будівництва нових контактних ліній та розширення парку акумуляторів.

4. Показано переваги комбінованого методу заряджання, де інтеграція автоматизованих пантографів та "зарядних вставок" у місцях уповільнення трафіку створює стійку систему, здатну функціонувати в умовах нестабільного енергопостачання та пікових навантажень.

5. Обґрунтовано перспективи для міста, згідно з якими розбудова мережі автономних тролейбусів у Вінниці відповідає стратегії "Вінниця-2030" та є економічно доцільнішою за експлуатацію дизельних автобусів, забезпечуючи високий рівень екологічності та комфорту для пасажирів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вінницька міська рада. Стратегія розвитку Вінницької міської територіальної громади до 2030 року («Стратегію 3.0»). URL: <https://www.vmr.gov.ua/stratetiia>.
2. Комплексна стратегія міського транспорту і просторового розвитку: Вінницька міська рада | Департамент архітектури, містобудування та кадастру. Березень 2015 р. 110 с. URL: <https://2021.vmr.gov.ua/ContentLibrary/Стратегія%20транспорту.pdf>.
3. Integration of contact net work and autonomous trolleybuses for improving the city's transport system / M. Mytko et al. *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. Vol. 5. №1(85). P. 49–57. URL: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.340517>.
4. Митко М. В., Бурлака С. А., Бондар А. В. Сучасний стан та перспективи розвитку транспортних засобів і шляхів сполучення в міській інфраструктурі Вінниці з розробкою рекомендацій щодо зменшення завантаження доріг. *Наукові Праці ВНТУ*. 2025. №3. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/869>.
5. Vision Zero Ukraine. Порівняльний аналіз норм щодо трамваїв і тролейбусів в Україні та ЄС. 2025. URL: <https://visionzero.org.ua/tag/analitika/>.
6. Дослідження доцільності використання електробусів на автобусних та тролейбусних маршрутах у містах / С. І. Андрусенко та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал*. Луцьк: ЛНТУ. 2024. Том. 1 (22). С. 76–88. URL: <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1348>.
7. Янківський Д., Бризгалов В., Лягушкін А. Джерела живлення автономного електротранспорту та ефективність їх застосування. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження*. 2019. №23. С. 106–116. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2019.23.106>.
8. Kornikova K. M., Pchenko A. V., Shumliakivskiy V. P. Peculiarities of public electric transport development in some ukrainian cities. *Advances in mechanical engineering and transport*. 2021. Vol. 2. №17. P. 17–25. URL: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i17.630>.
9. Lonoce L., Warner B., Holz V. Grid Compatible Flash Charging Technology: TOSA e-businfrastructure. *1st E-Mobility Power System Integration Symposium* (Berlin, 2017). 2017. URL: [https://mobilityintegrationsymposium.org/wp-content/uploads/sites/7/2017/11/3B\\_2\\_EMob17\\_051\\_paper\\_Holz\\_Valentin.pdf](https://mobilityintegrationsymposium.org/wp-content/uploads/sites/7/2017/11/3B_2_EMob17_051_paper_Holz_Valentin.pdf).
10. Electric City. Cooperation on the electrified transport solutions of the future: Progress Report 2020. Retrieved from Electricity Gothenburg. URL: [https://www.electricitygoteborg.se/sites/default/files/2024-03/statusrapport\\_2019\\_en\\_webb.pdf](https://www.electricitygoteborg.se/sites/default/files/2024-03/statusrapport_2019_en_webb.pdf).
11. Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland) / M. Wołek et al. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 279. 123807. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123807>.
12. Bartłomiejczyk M., Połom M. Dynamic Charging of Electric Buses as a Way to Reduce Investment Risks of Urban Transport System Electrification. *Transbaltica 2019: Transportation Science and Technology*. Cham: Springer,

2020. Vol. 101. P. 297–319. DOI: 10.1007/978-3-030-38666-5\_32. URL: [https://books.google.com.ua/books?hl=pl&lr=&id=AyTLDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA297&ots=\\_vMuqpU3Hg&sig=ivQx6vVPz7q99av99gfWHsPw634&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=pl&lr=&id=AyTLDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA297&ots=_vMuqpU3Hg&sig=ivQx6vVPz7q99av99gfWHsPw634&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).

13. Митко М. В., Бурлака С. А. Підвищення ефективності пропускної здатності та розвиток інфраструктури мостів міста Вінниця при взаємодії різних видів транспорту і шляхів сполучення. *Наукові праці ВНТУ*. 2025. №4. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/897>.

14. Асоціація «Енергоефективні міста України» Вінниця розвиває власне складання тролейбусів. 2020. URL: <https://enefcities.org.ua/novyny/vinnytsya-rozvyvaye-vlasne-skladannya-trolleybusiv/> (дата звернення: 22.05.2024).

15. Ірина Стасюк. Хмарочос У Вінниці запускають новий енергоощадний тролейбус. 2022. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/10/24/u-vinnyczi-zapuskayut-novuj-energooshhadnyj-trolleybus-foto/>.

16. Митко М., Бурлака С., Ярошук, Р. Аналіз технічних і технологічних форм взаємодії різних видів транспорту. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2025. №349 (2). С. 77–82.

17. The impact of fuel costs on the feasibility of cooperation-based operations at auto transport enterprises. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2025. Vol. 126. P. 205–220. ISSN: 0209-3324. URL: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2025.126.13>.

Стаття надійшла до редакції 20.02.2026.

Стаття пройшла рецензування 16.03.2026.

**Митко Микола Васильович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: [mytko@vntu.edu.ua](mailto:mytko@vntu.edu.ua).

Вінницький національний технічний університет.

**Бурлака Сергій Андрійович** – д-р філос., доцент, доцент кафедри інженерної механіки та технологічних процесів в АПК, e-mail: [ipserhiy@gmail.com](mailto:ipserhiy@gmail.com).

Вінницький національний аграрний університет.