



Voytkiv, S. (2022) Economic and social aspects of development and application of trolleybuses with autonomous running in Ukraine. *Socio-Economic Problems and the State* (electronic journal), Vol. 27, no. 2, pp. 3-14.
URL: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2022/22vsrvvu.pdf>



ЕКОНОМІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ТРОЛЕЙБУСІВ З АВТОНОМНИМ РУХОМ В УКРАЇНІ

Станіслав ВОЙТКІВ

Науково-технічний центр "Автополіпром"
вул. Зубрівська, 32/24, м. Львів, Україна, 79066
e-mail: voytktivsv@ukr.net
ORCID ID: <https://orcid.org//0000-0002-7789-2081>



Article history:

Received: October, 2022
1st Revision: October, 2022
Accepted: November, 2022

JEL classification:

R40

UDC:

338.45:261
338.47
629.014.6

DOI:

<https://doi.org/10.33108/sepd.2022.nom2.003>

Анотація. Однією з вагомих складових системи перевезень пасажирів у багатьох вітчизняних містах є троллейбусний транспорт як один з типів екологічно чистих міських пасажирських транспортних засобів громадського користування. З початку 2000-х років у багатьох країнах світу він інтенсивно розвивається на новому рівні завдяки застосуванню троллейбусів з автономним рухом (ходом), здатних перевозити пасажирів на ділянках маршрутів, не обладнаних контактною електричною мережею. Метою даного дослідження є аналіз економічних та соціальних аспектів розвитку й застосування троллейбусів з автономним рухом в Україні. На основі аналізу основних конструктивних параметрів троллейбусів з автономним рухом оцінено вплив величини автономного пробігу на зменшення номінальної пасажиромісткості без збільшення допустимої повної маси, регламентованої для класичних троллейбусів і автобусів. Проаналізовано ринкову вартість нових сучасних моделей троллейбусів українських та білоруських виробників, оснащених різними автономними джерелами електроенергії, зокрема тяговими акумуляторними батареями та суперконденсаторами. Показано неадекватність ринкової вартості троллейбусів з автономним рухом, яка є набагато більшою стосовно класичних троллейбусів. Запропоновано узагальнений оцінювальний показник технічної досконалості троллейбусів з автономним рухом, який враховує повну конструктивну масу, номінальну пасажиромісткість та величину автономного пробігу. Розглянуто два варіанти розвитку троллейбусного транспорту та його інтеграції в міські транспортні системи, пов'язані або з існуючими троллейбусними електромережами, або, в найближчій перспективі, з реконструкцією та будівництвом потужніших електричних підстанцій для швидшого заряджання автономних джерел електричної енергії. Їх упровадження забезпечить суттєве збільшення автономного пробігу троллейбусів без суттєвого збільшення потужності автономних джерел електроенергії. Запропоновано заходи щодо забезпечення активного розвитку систем міського та приміського пасажирського транспорту на основі використання троллейбусів з автономним рухом.

Ключові слова: троллейбус з автономним рухом, автономні джерела електроенергії, економічні аспекти, соціальні аспекти, ринкова вартість троллейбусів.



Войтків С. Економічні та соціальні аспекти розвитку та застосування троллейбусів з автономним рухом в Україні [Електронний ресурс] / Станіслав Войтків // Соціально-економічні проблеми і держава. — 2022. — Вип. 2 (27). — С. 3-14. — Режим доступу: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2022/22vsrvvu.pdf>



This open access article is distributed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 license.

1. Постановка проблеми.

"Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року", схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів №430-р від 30 травня 2018 року, має на меті формування концептуальних засад для реалізації державної політики, спрямованої на забезпечення стабільного та ефективного функціонування транспортного сектора, створення передумов соціально-економічного розвитку країни, підвищення конкурентоспроможності національної економіки та добробуту громадян. Серед завдань одного з пріоритетних напрямків "Надання якісних та ефективних послуг перевезень", наведеного в Оновленій транспортній стратегії України [1], основними є:

- впровадження інтегрованих транспортних систем, які задовольнятимуть вимоги користувачів завдяки підвищенню економічних переваг експлуатації існуючих основних засобів;
- застосування нових технологій з метою підвищення ефективності перевезень;
- пріоритезація належного утримання основних засобів над новими інвестиціями;
- підвищення енергоефективності та впровадження політики захисту довкілля.

Наведені завдання, у першу чергу, відносяться до міських перевезень пасажирів. Практично в усіх розвинених країнах світу нині відбувається перехід до експлуатації на міських маршрутах екологічно чистих типів пасажирських транспортних засобів громадського користування (ПТЗ ГК).

Однією з вагомих складових системи міських перевезень пасажирів є тролейбусний, який, безумовно, відноситься до екологічно чистих типів транспорту. З початку 2000-х років відбувається його активний розвиток на новому рівні. Поряд з класичними, широкого застосування набувають тролейбуси з автономним рухом або ходом (АХ), здатні перевозити пасажирів на деяких ділянках маршрутів, не обладнаних контактною електричною мережею. Такі тролейбуси обладнуються автономними джерелами електричної енергії (ДЕЕ) у вигляді тягових акумуляторних батарей (АКБ) або суперконденсаторів (СК). Автономними ДЕЕ, які першими почали застосовуватися у конструкціях тролейбусів з АХ, були дизель-генераторні установки (ДГУ).

Проте попри активне застосування тролейбусів з АХ у багатьох країнах і навіть розширення тролейбусних мереж у багатьох містах, й понині проводяться дискусії стосовно перспектив ПТЗ ГК цього типу. Адже у деяких країнах та містах від експлуатації тролейбусів на користь застосування електробусів відмовляються.

Саме тому оцінювання доцільності застосування тролейбусів з АХ у системах пасажирських перевезень вітчизняних міст з різною чисельністю населення та вибір їх типів повинні базуватися на основі аналізу їх основних технічних параметрів, ринкової вартості й сучасних досліджень щодо ефективності експлуатації таких ПТЗ ГК.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій.

З огляду на основні цілі та наслідки розвитку міського громадського транспорту в найближчий період, тролейбусна підсистема з її характеристиками та продуктивністю має добрі перспективи для майбутнього розвитку завдяки застосуванню тролейбусів з АХ. Станом на 2011 рік приблизно в 370 містах у 47 різних країн тролейбусна підсистема утримувала основну частку місцевого громадського транспорту. Наприклад, країни колишнього СРСР (Україна, Білорусь, Молдова, Казахстан, Грузія, Естонія, Латвія та Литва) експлуатували загалом близько 11 200 тролейбусів. Інші країни Східної Європи експлуатували близько 2 800 таких транспортних засобів, а на американському континенті – близько 3 100 тролейбусів [2].

На сьогодні тролейбусний транспорт функціонує лише у 268 містах. Та все ж тролейбусна підсистема є основним видом міського громадського транспорту у багатьох містах країн ЄС. Лідерами в розвитку тролейбусних технологій є Італія та Швейцарія, але й у багатьох інших країнах цей вид транспорту продовжує застосовуватись на якісно новому рівні.

Широке поширення тролейбусів з АХ у 21-му столітті тісно пов'язане з розвитком і вдосконаленням конструкцій тягових АКБ. Як показано у роботі [3], лише з появою відносно недорогих літій-іонних (Li-Ion) та інших типів тягових АКБ з прийнятним терміном експлуатації тролейбуси з АХ почали застосовувати підприємства-перевізники в багатьох країнах світу. Сучасні тролейбуси з АХ завдяки застосуванню тягових АКБ типу Li-Ion можуть експлуатуватись на ділянках маршрутів без тролейбусної контактної мережі сумарною протяжністю до 50 км. Автори роботи прогнозують відродження тролейбусного транспорту ще й в інших європейських містах.

Перспективність розвитку тролейбусних мереж та експлуатація тролейбусів з АХ, обладнаних тяговими АКБ, проаналізовано у роботі [4]. Розглянуто питання щодо модернізації або будівництва тролейбусних електричних мереж та електричних підстанцій. На даний момент дводровові електричні мережі потужністю 500 кВт є найпотужнішою концепцією розвитку тролейбусного транспорту. Саме тому тролейбуси з АХ з системою заряджання ІМС (англ. *In-Motion-Charging* – зарядка в русі) часто зумовлюють найнижчі експлуатаційні витрати.

Огляду інноваційних технологій у сфері тролейбусного транспорту присвячена робота [5], у якій ключовим фактором, що визначає розвиток тролейбусного транспорту з використанням технології ІМС, є прогрес у розробленні тягових АКБ і суттєве зменшення їх вартості. У роботі наголошено, що важливим аспектом є те, що у Польщі тролейбуси з АХ курсують поза контактною мережею на відносно короткій відстані (2–5 км). Але досвід і аналітичні дослідження показали, що цю відстань можна суттєво збільшити.

Оцінювання концептуального напрямку створення тролейбусів з АХ на основі спільного застосування тягових АКБ та СК наведено в роботі [6]. Наголошено, що використання СК може виявитися доцільним завдяки високій питомій потужності, високій ефективності та тривалому терміну служби.

Автори [7] проаналізували основні параметри тролейбусів з АХ, обладнаних тяговими АКБ, які мають обмежувальний вплив на рівень їх технічної досконалості. Показано, що за рахунок процесу рекуперації під час гальмування можна заощадити до 20 % електричної енергії порівняно з класичними тролейбусами. Хоча загальна вартість тролейбусів з АХ є дещо більшою, ніж традиційних тролейбусів (йдеться про досвід європейських країн), витрати на їх експлуатацію, зокрема на технічне обслуговування, загалом менші.

Ряд актуальних економічних та соціальних питань, пов'язаних зі збільшенням частки міських перевезень пасажирів тролейбусним транспортом за умов використання існуючої інфраструктури, що включає різні технічні, організаційні та функціональні аспекти, розглянуто у роботі [8]. У ній наведено приклад застосування тролейбусів з АХ, обладнаних дизель-генераторною установкою, розміщеною в одновісному причепі ще у минулому столітті.

3. Постановка завдання.

Метою статті є аналіз економічних та соціальних аспектів і оцінювання перспектив розвитку вітчизняного тролейбусного транспорту на основі застосування тролейбусів з АХ. Для досягнення поставленої мети необхідно виконання:

- аналізу основних конструктивних параметрів тролейбусів з АХ з точки зору

ефективності їх експлуатації, зокрема номінальної пасажиромісткості та величини автономного руху при різних допустимих повних масах;

- аналізу доцільності створення тролейбусів з АХ, обладнаних виключно тяговими АКБ або тяговими СК, а також комбінованими (гібридними) автономними ДЕЕ на основі спільного застосування тягових АКБ та СК;
- оцінювання рівня та адекватності ринкових цін класичних тролейбусів та тролейбусів з АХ, реалізованих вітчизняним міським комунальним підприємствам через систему тендерних торгів "Прозорро".

4. Виклад основного матеріалу.

Вибір екологічно чистих колісних ПТЗ ГК для міських перевезень пасажирів фактично зводиться до вибору одного з двох їх типів – тролейбусів або електробусів у різних конструктивних варіантах. Загалом підсистема тролейбусного транспорту, як і експлуатація електробусів з автономними ДЕЕ, за винятком обладнаних ДГУ, повністю відповідає вимогам щодо забезпечення екологічної безпеки стосовно зменшення викидів відпрацьованих газів різними типами транспортних засобів та зниження рівнів шуму.

На сьогодні найбільшого застосування цих типів транспортних засобів отримали:

- тролейбуси – класичні (стандартні), з живленням лише від дводрової електричної мережі, тобто без автономних ДЕЕ;
- тролейбуси з АХ, обладнані додатковим автономним ДЕЕ;
- електробуси, обладнані автономними ДЕЕ, які відрізняються системою їх заряджання або підзаряджання.

За системами заряджання/підзаряджання автономних ДЕЕ розрізняють електробуси із заряджанням тягових АКБ у нічний час, із заряджанням під час зупинок та із заряджанням у процесі руху за маршрутом. До останніх відносяться електробуси типу ІМС, обладнані тролейбусними контактними штангами.

Загалом тролейбуси з АХ та електробуси конструктивно дуже близькі, адже вони обладнані автономними ДЕЕ й системою з контактними штангами для їх заряджання від тролейбусної електричної мережі. Основна відмінність у конструкціях цих типів транспортних засобів полягає в різних енергопотужностях автономних ДЕЕ, у якості яких нині застосовуються тягові АКБ або тягові СК. Для електробусів ІМС вони є основним ДЕЕ, а для тролейбусів з АХ – лише додатковим, яке забезпечує у кілька (5–10) разів менший автономний пробіг.

Звісно, кожному з цих типів ПТЗ ГК властиві як переваги, так і недоліки. Електробус типу ІМС при більшому автономному пробігу має суттєво меншу номінальну пасажиромісткість при однаковій допустимій повній масі, адже більшу частину маршруту він долає за умови живлення електродвигуна від тягових АКБ. Зате тролейбус з АХ більше прив'язаний до контактної електричної мережі.

Відсутність автономних ДЕЕ у конструкціях класичних (традиційних) тролейбусів забезпечує:

- значне зменшення спорядженої маси;
- найбільшу номінальну пасажиромісткість серед усіх типів колісних ПТЗ ГК, зокрема автобусів, гібридних автобусів та електробусів;
- можливість кращого використання простору пасажирського салону для розміщення сидінь та пересування пасажирів;
- низький рівень внутрішнього та зовнішнього шуму, що робить їх разом з електробусами найтихішими транспортними засобами в системі міського громадського транспорту;
- більшу надійність завдяки меншій кількості агрегатів.

Тролейбуси з АХ, поряд з можливістю автономного руху на ділянках маршрутів, не обладнаних контактною мережею, завдяки застосуванню автономних ДЕЕ характеризуються суттєво меншою номінальною пасажиромісткістю. Наприклад, номінальна вмістимість класичних троллейбусів довжиною кузовів 12,0 м становить 100–106 чол., а їх модифікацій з АХ – лише 80–99 чол., тобто вона менша на 5–25 чол. при різних повних масах залежно від величини автономного пробігу (табл. 1).

Таблиця 1. Параметри номінальної пасажиромісткості троллейбусів різних типів

Модель троллейбуса	Виробник	Повна маса, кг:		Номінальна місткість, чол.:	
		базовий	з АХ	базовий	з АХ
T70117	ДП АСЗ № 1 АТ "АК "Богдан Моторс"	18 890	18 940	105	80
T19102	СП "Електронтранс" (м. Львів)	18 600		106	95
PTS-12	КП "Вінницька транспортна компанія"	18 000	18 600	102	77
T203	ВО "ПівденьМаш" (м. Дніпро)		18 000	100	90
МАЗ-203Т70	ВАТ "МАЗ" (Білорусь)		18 000	102	88
БКМ-321	"БКМ Holding" ("Белкомунмаш", Білорусь)	17 990	18 500	105	99
БКМ-420		17 960	18 235	103	98

За умови забезпечення автономного руху протягом 20 км номінальна пасажиромісткість троллейбусів з АХ сягає 77–99 чол. за умови збільшення допустимої повної маси понад регламентовану величину $[M_n] = 18\,000$ кг для двомостових колісних транспортних засобів, зокрема автобусів.

Конструктивна ефективність троллейбусів будь-якого типу за номінальною пасажиромісткістю оцінюється коефіцієнтом, який враховує повну масу та відносну витрату електроенергії на перевезення пасажирів і визначається за виразом:

$$k_{ef}^k = \frac{\Delta q_e \cdot M_{mp}}{N_{ном}}, \quad (1)$$

де Δq_e – середня питома витрата електроенергії на перевезення пасажирів, кВт год/км кг; M_{mp} – повна конструктивна маса троллейбуса, кг; $N_{ном}$ – номінальна пасажиромісткість троллейбуса, чол.

Питома витрата електроенергії на рух троллейбусів залежить від багатьох чинників, зокрема від дорожніх і кліматичних умов, стилю водіння троллейбуса, величини використання електроенергії автономних ДЕЕ на допоміжні потреби тощо. За даними, наведеними у роботі [9], ця усереднена величина для троллейбусів різних моделей становить $(0,140-0,168)10^{-3}$ кВт год/км кг.

За умови однакових повних конструктивних мас класичних троллейбусів і троллейбусів з АХ та при однаковій питомій витраті електроенергії, коефіцієнт конструктивної ефективності троллейбусів з АХ на основі виразу (1) визначається так:

$$k_{efAX}^k = \frac{N_{номAX}}{N_{номC}} \cdot k_{efC}^k, \quad (2)$$

де $N_{номAX}$ – номінальна пасажиромісткість троллейбуса з АХ, чол.; $N_{номC}$ – номінальна пасажиромісткість класичного троллейбуса, чол.; k_{efC}^k – коефіцієнт конструктивної ефективності троллейбусів класичного типу.

Для модифікацій тролейбусів з АХ моделей Т203 і МА3-203Т70 з повною конструктивною масою 18 000 кг, наведених у табл. 1, коефіцієнт конструктивної ефективності, за прийнятих умов, становить $k_{\text{эф.АХ}}^{\text{к}} = (0,755-0,943) k_{\text{эф.С}}^{\text{к}}$.

Окрім зменшення номінальної пасажиромісткості або її підвищення за рахунок збільшення повної конструктивної маси до допустимої для гібридних транспортних засобів величини, що дорівнює $[M_{\text{н.АХ}}] = 19\,500$ кг, тролейбуси з АХ потребують для заряджання тягових АКБ використання більшої потужності, ніж звичайні (класичні) лише для руху. Як наголошено у роботі [3], для оптимальної роботи транспортних засобів, обладнаних системою заряджання ІМС автономних ДЕЕ, потужність зарядки тягових АКБ є вирішальним параметром. Хоча новітні тягові АКБ можуть сприймати зарядну потужність до 500 кВт, допустима потужність їх заряджання на тролейбусах з АХ з огляду на допустиме теплове навантаження на контактні штанги (пантографи) обмежується потужністю до 120 кВт під час руху та до 80 кВт під час зупинок. Такий процес заряджання тягових АКБ, зазвичай, може бути відносно легко реалізований в існуючих тролейбусних системах.

Для заряджання тягових АКБ тролейбусів з АХ енергопотужністю 30–35 кВт від тролейбусної мережі потужністю 120 кВт за умови середньої швидкості руху 14–18 км/год. необхідні ділянки маршруту, покриті тяговою мережею, протяжністю не менше 30–35 % усієї довжини. А при збільшенні зарядної потужності мережі до більш оптимальної у 250 кВт достатньо покриття тяговою мережею усього 20 % маршруту. Але збільшення зарядної потужності тролейбусної мережі більш ніж удвічі в багатьох випадках потребуватиме оновлення існуючої інфраструктури та відповідного фінансування.

Одним із соціальних аспектів розвитку тролейбусного транспорту є вибір типу тролейбусів для існуючих або нових маршрутів, який потребує вирішення питань, пов'язаних з вартістю як самих транспортних засобів так і необхідної інфраструктури, зокрема:

- з типом автономних ДЕЕ – тягових АКБ або тягових СК (іоністорів), а у перспективі і тягових паливних елементів (ПЕ);
- з енергопотужністю автономних ДЕЕ, від якої дуже залежить величина автономного пробігу тролейбусів з АХ.

Застосування тягових АКБ у конструкціях тролейбусів з АХ наразі найбільш поширене, хоча протягом останніх 10 років створено багато тролейбусів з АХ, обладнаних тяговими СК. Загалом, блоки тягових АКБ значно легші ніж блоки тягових СК при однаковому автономному пробігу, що забезпечує трохи більшу пасажиромісткість тролейбусів з такими автономними ДЕЕ. Наприклад, модифікації тролейбусів з АХ базової моделі 3-го покоління БКМ-321 для забезпечення автономного руху на ділянках маршрутів протяжністю до 20 км обладнують тяговими АКБ енергопотужністю 40 кВт год., маса яких 960 кг, або тяговими СК, відповідні параметри яких 34 кВт год. та 1400 кг [10]. Тягові АКБ типу LiFePO_4 тролейбусів з АХ 4 – го покоління базової моделі БКМ-420 при тій же енергопотужності мають масу лише 650 кг. Отже, при однаковій повній конструктивній масі номінальна пасажиромісткість тролейбусів з АХ, обладнаних тяговими АКБ, більша на 6–11 чол. при розрахунковій масі 1-го пасажера 68 кг.

Проте тягові АКБ характеризуються значно меншим терміном експлуатації, адже витримують за дотримання відповідних вимог лише до 20 000 циклів заряджання/розряджання, водночас цей показник для тягових СК сягає 90 000 циклів.

Окрім того, собівартість виробництва модифікацій тролейбусів з АХ з однаковими автономними пробігами, обладнаних тяговими СК, зазвичай дещо більша, ніж обладнаних літій-іонними тяговими АКБ. За даними, наведеними у роботі [11],

вартість тягових СК енергопотужністю 1,0 кВт год. становить до 2 000 дол. США, а тягових АКБ типу NiCd (нікель-кадмієвих) – 800-1500 дол. США, типу Li-Ion (літій-іонних) – 600–2500 дол. США. Вартість 1,0 кВт год. тягових АКБ типу LiFePO₄ (літій-залізо-фосфатних), якими найчастіше обладнуються тролейбуси з АХ, зокрема, такими обладнані тролейбуси модифікації БКМ-420, 400–600 дол. США. Тобто вартість 1 кВт год. СК щонайменше до 3,3–5,0 разів більша, ніж тягових АКБ типу LiFePO₄. Відтак і ринкова вартість тролейбусів з АХ, обладнаних тяговими СК, є суттєво вищою. Наприклад, за попередніми оцінками, вартість тролейбуса з АХ, створеного в СП "Електронтранс" на базі моделі Т19102, оцінюється більшою на 10–15 %. За інформацією з відкритих джерел вартість базових класичних тролейбусів, реалізованих для потреб КП "Львівелектротранс", становила 211 000 євро/од. Отже, орієнтовна вартість тролейбусів з АХ модифікації Т19102 може становити 232 100–242 650 євро, а середня вартість комплектувальних виробів додаткової системи з тяговими АКБ складатиме 26 375 євро. Відповідно, середнє збільшення ринкової вартості тролейбуса з АХ з тією ж величиною автономного руху (20 км), обладнаного тяговими СК, становитиме щонайменше 87 000 євро. Тобто вартість тролейбуса з АХ, обладнаного СК, вища більш ніж на 60 000 Євро.

Водночас, теоретичний життєвий цикл СК майже у 5 разів довший, ніж у тягових АКБ типу Li-Ion. Отже, за адекватний період експлуатації тролейбусів з АХ, обладнаних СК доведеться 2–3 рази міняти тягові АКБ новими. Тобто, придбання тролейбусів з АХ, обладнаних тяговим АКБ, видається економічнішим варіантом, але у довготривалій експлуатації оптимальним варіантом все ж є тролейбуси з АХ, обладнані СК. Хоча такий висновок зроблений без урахування витрат на допоміжну інфраструктуру, пов'язану із зарядними станціями.

Ще одним соціальним аспектом розвитку тролейбусного транспорту є їх ринкова вартість, хоча правильніше – принципи її формування. На основі результатів проведених торгів через тендерну систему Прозорро у табл. 2 наведено вартість реалізації одинарних тролейбусів різних моделей довжиною кузова близько 12,0 м, зокрема і тролейбусів з АХ у різних містах України у 2016–2019 роках [12].

Таблиця 2. Ринкова вартість тролейбусів різних типів, реалізованих у 2016-2022 роках

Модель тролейбуса	Довжина кузова, м	Вартість, млн грн в роках						
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Т70117	11,96	4,58; 4,9	4,95	5,2735 ²	5,618	-		
		5,0585; 5,35	5,147	-				
Т19102	12,0	6,33	-	-		-		
Т121.10		3,894						
Т203		-	4,96; 5,11	-	-			
		7,8235 ¹	4,253; 4,287	7,4573 ¹	4,805	-	10,809 ¹	-
PTS-12		-	4,698; 5,559	-	5,457; 5,7	-	-	-
БКМ-321	11,935	-			6,316 ²			
		4,144	4,365; 4,3765	-				
		4,5	7,2435 ¹	-				

Примітки: ¹Тролейбуси з АХ; ²Тролейбус з аварійним АХ (0,5-1,0 км)

Аналіз наведених у табл. 2 реалізаційної вартості тролейбусів різних типів призводить до кількох цікавих висновків, а саме:

– вартість реалізації класичних тролейбусів навіть одного виробника та однієї і тієї ж моделі або модифікації при фактично близькому курсі валют у 2016–2021 роках на рівні 26,7–27,6 дол США/грн різняться на 22,7 % (Т70117), 31,2 % (Т121.10) та на 34 % (Т203);

- вартість реалізації тролейбусів з АХ різних виробників у 2016–2018 роках різниться значно менше – всього на 8 %;
- вартість реалізації тролейбусів з АХ моделі Т203 "Дніпро" у 2021 році значно зростає, аж на 2,984–3,317 млн грн у порівнянні з 2016–2018 роками, що становить 38,1–44,9 %.

Загалом, вартість реалізації тролейбусів з АХ більша за вартість реалізації класичних тролейбусів на 2,2645–3,9295 млн грн., або в 1,4–2,0 рази, що значно перевищує наведені вище 10–15 %, тобто у 1,1–1,15 рази. Навіть за умови питомої вартості тягових АКБ на рівні 600 дол США/кВт·год. при енергопотужності 40 кВт год., необхідній для забезпечення величини автономного руху у 20 км, їхня вартість становитиме всього 24 000 дол США, або за курсом 27,6 дол США/грн – 662 400 грн. Зрозуміло, що інші складові тієї системи тягового привода тролейбусів з АХ, яка забезпечує їх автономний рух, не може бути більшою у 2,42–4,93 рази за вартість тягових АКБ. Напрошується логічний висновок: вартість тролейбусів з АХ значно завищена їх виробниками. Таким чином, навіть проведення закупівель тролейбусного транспорту через тендерну систему Прозоро не сприяє оптимізації їх закупівельної вартості.

Отже, одним з принципово важливих питань, яке потребує всебічного аналізу, є вибір напрямку розвитку тролейбусного транспорту у вітчизняних містах. Воно стосується одного з трьох можливих варіантів розширення мережі тролейбусних маршрутів:

- шляхом формування нових ділянок маршрутів на основі будівництва нових мереж контактних електричних ліній та реконструкції існуючих або будівництва нових тягових електричних підстанцій з більшою потужністю;
- за рахунок застосування тролейбусів з АХ, тобто шляхом залучення до уже існуючих маршрутів нових ділянок без наявності контактної електричної мережі;
- обома шляхами залежно від конкретних умов та потужностей існуючих тягових електричних підстанцій.

Кожен з наведених варіантів розвитку мережі тролейбусних маршрутів може застосовуватися у тому чи іншому місті після проведення ґрунтовного оцінювання наявних реальних умов. При виборі одного з варіантів розширення сфери перевезень пасажирів тролейбусним транспортом необхідно опиратися, перш за все, на можливості існуючої інфраструктури електричних станцій та підстанцій і можливих фінансових інвестицій в розвиток цього виду транспорту. Адже, з одного боку, будівництво нових ділянок двоконтактної тролейбусної електричної мережі потребує відповідних і доволі великих обсягів фінансування, вільних потужностей наявних електричних підстанцій або їх модернізації чи будівництва нових тощо. З іншого боку, слід враховувати реальні умови для їх будівництва з огляду на існуючу інфраструктуру та її естетичність.

Варто зауважити, що ще одним соціальним аспектом розвитку тролейбусного транспорту у вітчизняних містах є його сприйняття власне їх жителями. Наприклад, результати відповідних досліджень, проведених у рамках проекту "Тролей 2.0" у Польщі в 2019 році [3] показують, що лише 59,6 % опитаних мешканців підтримують подальший розвиток тролейбусного транспорту в країні, незважаючи на усвідомлення того, що цей вид громадського транспорту потребує більших експлуатаційних витрат порівняно з автобусним.

5. Висновки та перспективи подальших досліджень в даному напрямку.

Розвиток тролейбусного транспорту на основі застосування тролейбусів з АХ є доволі вигідним з огляду на економічні, екологічні та соціальні аспекти, а, отже, й з експлуатаційної та технологічної точок зору.

Розширення тролейбусних маршрутів у системах міських перевезень вітчизняних міст можливе за одним з двох варіантів, які передбачають:

- застосування тролейбусних електричних мереж із зарядною потужністю тягових АКБ 120 кВт під час руху тролейбусів з АХ;
- реконструкцію або будівництво нових електричних підстанцій та тролейбусних мереж, розрахованих на зарядну потужність тягових АКБ, принаймні у 250 кВт під час руху тролейбусів з АХ.

Другий варіант вбачається оптимальнішим у недалекій перспективі, оскільки забезпечує збільшення величини автономного пробігу тролейбусів з АХ без значного збільшення енергопотужності тягових АКБ і, відтак, без суттєвого зменшення їх номінальної пасажиромісткості.

Для успішного розвитку тролейбусного транспорту у вітчизняних містах необхідне впровадження наступних заходів:

- із захисту навколишнього середовища у сфері міських пасажирських перевезень та створення механізмів відшкодування збитків підприємствам-перевізникам;
- направлених на запровадження механізму економічного стимулювання перевізників щодо застосування для міських перевезень пасажирів екологічно чистих ПТЗ ГК, зокрема тролейбусів з АХ;
- з розроблення й реалізації комплексу нормативних актів щодо стимулювання проектування та виробництва перспективних і конкурентоспроможних моделей тролейбусів з АХ вітчизняними підприємствами.

У подальших дослідженнях доцільно оптимізувати основні конструктивні та експлуатаційні параметри тролейбусів з АХ, зокрема довжину кузовів та номінальну пасажиромісткість.

Author details (in English)

ECONOMIC AND SOCIAL ASPECTS OF DEVELOPMENT AND APPLICATION OF TROLLEYBUSES WITH AUTONOMOUS RUNNING IN UKRAINE

Stanislav VOYTKIV

Scientific and Technical Center "Autopoliprom"

32/24 Zubrivska str., 79066, Lviv, Ukraine

e-mail: voytkivsv@ukr.net

ORCID ID: <https://orcid.org//0000-0002-7789-2081>

Abstract. *One of the important components of the passenger transportation system in many domestic cities is trolleybus transport, as one of the types of environmentally friendly urban passenger vehicles for public use. Since the beginning of the 2000s, in many countries of the world, its intensive development has been taking place at a new level thanks to the use of trolleybuses with autonomous running, capable of transporting passengers on sections of routes not equipped with a contact electrical network. The purpose of this study is to analyze the economic and social aspects of the development and use of trolleybuses with autonomous running in Ukraine. Based on the analysis of the main design parameters of trolleybuses with autonomous running, the effect of autonomous mileage on reducing the nominal passenger capacity without increasing the permissible gross weight regulated for classic trolleybuses and buses was assessed. The market value of new modern models of trolleybuses of Ukrainian and Belarusian manufacturers, equipped with various autonomous sources of electricity, in particular traction batteries and supercapacitors, was analyzed. The inadequacy of the market value of trolleybuses with autonomous running is shown, which is much higher than classic trolleybuses. A generalized evaluation indicator of the technical excellence of trolleybuses with autonomous running is proposed, which takes into account the total structural weight, nominal passenger capacity and autonomous mileage. Two options for the development of trolleybus transport and its integration into urban transport systems are considered, related either to the existing trolleybus electric networks or, in the near future, to the reconstruction and construction of more powerful electric substations for faster charging of autonomous sources of electric energy. Their implementation will ensure a significant increase in the*

autonomous mileage of trolleybuses without a significant increase in the capacity of autonomous sources of electricity. Proposed measures to ensure the active development of urban and suburban passenger transport systems based on the use of trolleybuses with autonomous running.

Key words: *trolleybus with autonomous running, autonomous sources of electricity, economic aspects, market value of trolleybuses.*

Appendix A. Supplementary material

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2022/22vsrvvu.pdf>

Funding

The authors received no direct funding for this research.

Citation information

Voytkiv, S. (2022) Economic and social aspects of development and application of trolleybuses with autonomous running in Ukraine. *Socio-Economic Problems and the State* (electronic journal), Vol. 27, no. 2, pp. 3-14. URL: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2022/22vsrvvu.pdf>

Використана література

1. Оновлена транспортна стратегія України. Напрямки політики. Міністерство інфраструктури України. 40 с. URL: https://mtu.gov.ua/files/strategy_ukr.pdf.
2. Tica S., Filipović S., Živanović P., Bajčetić S. Development of trolleybus passenger transport subsystems in terms of sustainable development and quality of life in cities. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 2011. Vol. 1 (4). P. 196-205.
3. Wołek M., Wolanski M., Bartłomiejczyk M., Wyszomirski O., Grzelec K., Hebel K. Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 279. 14 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123807>.
4. In motion charging innovative trolleybus. Knowledge Brief. 2019. 8 p. URL: <https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2021/01/Knowledge-Brief-Infrastructure-May-2019-FINAL.pdf>.
5. Wolek M., Szmelter-Jarosz A., Koniak M., Golejewska A. Transformation of Trolleybus Transport in Poland. Does In-Motion Charging (Technology) Matter? *Sustainability*. 2020. Vol. 12 (9744). 25 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12229744/>.
6. Van Mulders F., Timmermans M., McCaffrey Z, Van Mierlo J., Van den Bossche P. Supercapacitor Enhanced Battery Traction Systems – Concept Evaluation. *The World Electric Vehicle Journal*. 2008. Vol. 2 (2). P. 32-45. DOI: <https://doi.org/10.3390/wevj2020120>.
7. Grygara D., Kohánia M., Štefún R., Drgoňa P. Analysis of limiting factors of battery assisted trolleybuses. *Transportation Research Procedia*. 2019. Vol. 40. P. 229-235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.035>.
8. Bartłomiejczyk M., Połom M. Sustainable Use of the Catenary by Trolleybuses with Auxiliary Power Sources on the Example of Gdynia. *Infrastructures*. 2021. Vol. 6 (61). 17 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures6040061>.
9. Сорока К. О., Павленко Т. П., Личов Д. О. Система автоматизованого вибору швидкісного режиму руху засобів електротранспорту з метою зменшення витрат електроенергії. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2017. № 3 (69). С. 77-90. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/104360>.

10. BKM Holding. Інновації у міському пасажирському транспорті / ТОВ "БКМ-Україна". 19 с. URL: <https://bkm.com.ua/wp-content/uploads/2020/09/bkm-ukrayina-prezentacziya-ukr.-07.20.pdf>.
11. Khalid M. A Review on the Selected Applications of Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage Systems for Microgrids. *Energies*. 2019. Vol. 12, 4559. 34 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12234559>.
12. Лягушкин А., Янківський Д. Поставки троллейбусов в Україні: заказчики, поставщики, цены. Закупка новых троллейбусов через тендеры в "Прозорро". *Пассажирский транспорт* : веб-сайт. 2019. URL: <https://traffic.od.ua/blogs/antonlyagushkin/1218483>.

References

1. Onovlena transportna stratehiia Ukrainy. Napriamky polityky [Updated transport strategy of Ukraine. Policy directions.]. Ministry of Infrastructure of Ukraine. 40 p. Available at: https://mtu.gov.ua/files/strategy_ukr.pdf. [In Ukrainian].
2. Tica S., Filipović S., Živanović P., Bajčetić S. (2011). Development of trolleybus passenger transport subsystems in terms of sustainable development and quality of life in cities. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, Vol. 1, No. 4, Pp. 196-205. URL: <http://ijtte.com/uploads/2011-12-19/d4c8811d-3ed9-537e196-205.pdf>.
3. Wołek M., Wolanski M., Bartłomiejczyk M., Wyszomirski O., Grzelec K. & Hebel K. (2021). Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). *Journal of Cleaner Production*, Vol. 279, 14 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123807>.
4. In motion charging innovative trolleybus. Knowledge Brief. (2019). 8 p. URL: <https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2021/01/Knowledge-Brief-Infrastructure-May-2019-FINAL.pdf>.
5. Wolek M., Szmelter-Jarosz A., Koniak M., Golejewska A. (2020). Transformation of Trolleybus Transport in Poland. Does In-Motion Charging (Technology) Matter? *Sustainability*, Vol. 12 (9744), 25 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12229744/>.
6. Van Mulders F., Timmermans J.-M., McCaffrey Z., Van Mierlo J., Van den Bossche P. (2008.). Supercapacitor Enhanced Battery Traction Systems – Concept Evaluation. *The World Electric Vehicle Journal*, 2 (2). pp. 32-45. DOI: <https://doi.org/10.3390/wevj2020120>.
7. Grygara D., Kohánia M., Štefún R., Drgoňa P., Grygara D. (2019). Analysis of limiting factors of battery assisted trolleybuses. *Transportation Research Procedia*, Vol. 40, Pp. 229-235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.035>.
8. Bartłomiejczyk M., Połom M. (2021). Sustainable Use of the Catenary by Trolleybuses with Auxiliary Power Sources on the Example of Gdynia. *Infrastructures*, Vol. 6, No. 61, 17 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures6040061>.
9. Soroka K. O., Pavlenko T. P., Lychov D. A. (2017). System for automatic selection of the speed rate of electric vehicles for reducing the power consumption. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, Vol. 3 (69), Pp. 77-90. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/104360>.
10. BKM Holding. Innovatsii u miskomu pasazhyrskomu transporti. TOV "BKM-Ukraina", 19. URL: <https://bkm.com.ua/wp-content/uploads/2020/09/bkm-ukrayina-prezentacziya-ukr.-07.20.pdf>.

11. Khalid M. (2019). A Review on the Selected Applications of Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage Systems for Microgrids. *Energies*, Vol.12 (4559), 34 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12234559>.
12. Liahushkyn A., Yankyvskiy D. (2019). Postavki trolleibusov v Ukraine: zakazchiki, postavshchiki, tseny. Zakupka novykh trolleibusov cherez tendery v "Prozorro" [Delivery of trolleybuses in Ukraine: customers, suppliers, prices. Purchase of new trolleybuses through tenders in "Prozorro"]. *Passazhyrskiy transport : Veb-sait*. URL: [https:// traffic.od.ua/blogs/antonlyagushkin/1218483](https://traffic.od.ua/blogs/antonlyagushkin/1218483).



© 2022 Socio-Economic Problems and the State. All rights reserved.
This open access article is distributed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 license.
You are free to:
Share — copy and redistribute the material in any medium or format Adapt — remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially.
The licensor cannot revoke these freedoms as long as you follow the license terms.
Under the following terms:
Attribution — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made.
You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.
No additional restrictions
You may not apply legal terms or technological measures that legally restrict others from doing anything the license permits.

Socio-Economic Problems and the State (ISSN: 2223-3822) is published by Academy of Social Management (ASM) and Ternopil Ivan Puluj National Technical University (TNTU), Ukraine, Europe.

Publishing with SEPS ensures:

- Immediate, universal access to your article on publication
- High visibility and discoverability via the SEPS website
- Rapid publication
- Guaranteed legacy preservation of your article
- Discounts and waivers for authors in developing regions

Submit your manuscript to a SEPS journal at <http://sepd.tntu.edu.ua>

