

Андрусенко С.І.¹, Дембіцький В.М.², Будниченко І.В.¹, Дикий В.С.¹

¹Національний транспортний університет, м.Київ, Україна,

²Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОБУСІВ НА АВТОБУСНИХ ТА ТРОЛЕЙБУСНИХ МАРШРУТАХ У МІСТАХ

Проаналізовані можливості та економічна ефективність використання різних типів транспортних засобів з електричними силовими установками та двигунами внутрішнього згоряння, які можуть працювати на міських маршрутах пасажирських перевезень з повною або частковою відсутністю контактної мережі.

Порівнювались витрати на експлуатацію електробуса Богдан Е7014; тролейбуса PTS Т12309; автобусів МАЗ 203 з дизелем та газового; тролейбуса з автономним ходом PTS-Т12.

Оцінювались сукупні витрати на: пальне та електроенергію на рух; амортизацію ТЗ та тягової акумуляторної батареї; додаткове будівництво і утримання контактної мережі та тягових підстанцій; заробітну плату працівників з ТО та ремонту рухомого складу та водіїв; експлуатаційні матеріали та шини.

Показано, що ТЗ на електричній тязі є більш економічними по витратам на енергоносії. Але за сукупними витратами найбільш дорогим виявився електробус із-за більшої вартості. Найдешевшим в експлуатації є газовий автобус.

При частці автономного ходу менше 50% тролейбус з автономним ходом є більш вигідним ніж дизельний автобус.

При існуючому співвідношенні вартостей окремих складових експлуатації, добування додаткової тролейбусної лінії для використання звичайного тролейбуса може бути більш вигідною ніж використання дизельного автобуса при автономному ході до 25%, і більш вигідним ніж використання електробуса до, приблизно, 45% автономного ходу. Але при всіх варіантах найбільш економічним є використання газового автобуса, потім тролейбуса з автономним ходом.

Заміна автобусів на електробуси на теперішній момент виглядає проблематичною із-за відсутності необхідної електричної потужності та зарядної інфраструктури в автобусних парках. Але є надлишок електричної потужності і інфраструктури в тролейбусних парках. Тому альтернативою електробусу є використання тролейбусів з автономним ходом, які мають тягові акумуляторні батареї значно меншої ємності, та яка може заряджатись під час руху. Таку заміну доцільно організувати особливо там, де тролейбусні маршрути частково співпадають з автобусними.

Ключові слова: електробус, автобус, електрочарядна інфраструктура, тролейбус, автономний хід, тягова акумуляторна батарея, витрати на експлуатацію, вибір

ВСТУП

У відповідності до Закону України «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрочарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів» [1] передбачено, що на міських автобусних маршрутах загального користування у містах із загальною чисельністю населення понад 250 тисяч осіб кількість електробусів та/або автобусів, оснащених двигунами внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працюють виключно на стисненому природному газі метані, зрідженому природному газі метані або біогазі, та/або автобусів з водневим паливним елементом (коміркою) у відсотковій частці серед парку автобусів повинна становити не менше ніж 25 відсотків на 1 січня 2030 року, не менше ніж 50 відсотків на 1 січня 2033 року, якщо рішення щодо інших часток та/або інших термінів не було ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних міст.

Також забезпечення розвитку електромобілів та інфраструктури станцій зарядки електромобілів визначається пріоритетом формування державної політики у сфері автомобільного транспорту.

Державним та комунальним комерційним підприємствам, суб'єктам господарювання державного сектору економіки до 31 грудня 2024 року предписано забезпечити існуючі об'єкти, що перебувають у власності відповідних суб'єктів або закріплені за відповідними суб'єктами на праві господарського відання, необхідною договірною потужністю та станціями зарядки електромобілів на існуючих автостоянках, у гаражах та інших місцях для паркування (крім тих, що використовуються виключно такими суб'єктами) відповідно до їх нормативної чисельності, передбаченої для подібних об'єктів у разі їх будівництва та/або реконструкції, та відповідно до програм розвитку електрочарядної інфраструктури.

До перевезень пасажирів на міських автобусних маршрутах загального користування в режимі регулярних пасажирських перевезень у містах районного та обласного значення з 1 січня 2036 року допускаються виключно електробуси (в тому числі електробуси з подовженим запасом ходу) та/або автобуси, оснащені двигунами внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працюють виключно на стисненому природному газі метані, зрідженому природному газі метані або біогазі, та/або автобуси з водневим паливним елементом (коміркою), якщо рішення щодо інших термінів не було ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних міст.

У містах з населенням понад 250 тисяч осіб:

з 1 січня 2028 року заборонено здійснювати закупівлю у сфері громадського транспорту понад 50 відсотків автобусів з двигунами внутрішнього згоряння (крім автобусів, оснащених двигунами внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працюють виключно на стисненому природному газі метані, зрідженому природному газі метані або біогазі, та автобусів з водневим паливним елементом (коміркою) протягом календарного року, якщо рішення щодо інших часток та/або інших термінів не було ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних міст;

з 1 січня 2030 року заборонено здійснювати закупівлю у сфері громадського транспорту автобусів з двигунами внутрішнього згоряння (крім автобусів, оснащених двигунами внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працюють виключно на стисненому природному газі метані, зрідженому природному газі метані або біогазі, та автобусів з водневим паливним елементом (коміркою), якщо рішення щодо інших термінів не було ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних міст.

В усіх інших населених пунктах з 1 січня 2030 року заборонено здійснювати закупівлю у сфері громадського транспорту автобусів з двигунами внутрішнього згоряння на дизельному пальному.

Постає питання визначення структурних можливостей та економічної доцільності на теперішній момент швидкого впровадження використання електробусів для регулярних перевезень у містах, а також визначення альтернатив використанню таких транспортних засобів (ТЗ).

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Аналіз відомих публікацій показує, що в останні роки виконано багато досліджень, присвячених питанням ефективності експлуатації та енергоефективності електричних і інших транспортних засобів (ТЗ), які використовуються для міських пасажирських перевезень. Аналіз цих робіт свідчить, що показники ефективності, які розглядалися, можна розділити на дві групи: технічні - відносно стабільні, які залежать переважно від фізичних властивостей ТЗ та їх складових і значно не змінюються в часі [2-8], та економічні - нестабільні, величина яких в більшій мірі залежить від економічної кон'юнктури, яка визначає зокрема, ціни на складові експлуатації ТЗ [9-16]. До першої групи відносяться такі показники, як енергоспоживання ТЗ у фізичному вимірі – кількість електроенергії або пального, спожитих в одиницю часу або на одиницю шляху. До другої групи входять, наприклад, витрати на експлуатацію ТЗ, які визначаються вартістю суттєвих складових експлуатації, таких, як вартості ТЗ, енергоносіїв, робочої сили. Ці фактори можуть суттєво змінюватись у залежності від часу та місця проведення аналізу.

МЕТОЮ ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ є оцінка можливості та економічної доцільності використання електробусів на автобусних та тролейбусних маршрутах у містах під час регулярних перевезень на певний момент часу.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як вже вказувалось авторами раніше [13-16], критеріями вибору напрямів розвитку транспортної інфраструктури міст та придбання рухомого складу пасажирських перевезень мають бути екологічність, економічна ефективність, зручність, надійність та перспективність обраних рішень.

Економічна ефективність у цьому дослідженні оцінювалась питомими прямими витратами на експлуатацію рухомого складу пасажирського транспорту в грн/км [13-16], а можливості – теперішнім станом інфраструктури транспорту, а також подальшими витратами і перспективами її розвитку у періоди часу, передбаченими Законом [1].

Для оцінювання економічної ефективності запропонованих заходів [1] порівнювались прямі питомі витрати на експлуатацію таких видів пасажирських транспортних засобів, як електробуси, тролейбуси з живленням від контактної мережі, тролейбуси з автономним ходом, автобуси дизельні та газові. При цьому для виключення впливу інших факторів обирався рухомий склад орієнтовно однакової маси та розмірів, який експлуатується в одному або ідентичних за обсягами діяльності

підприємствах міського пасажирського транспорту на одному або подібних маршрутах. Для усунення впливу ціни транспортного засобу на експлуатаційні витрати, яка є суттєво суб'єктивним фактором, об'єктивно і однозначно не характеризує собівартість виробництва та фізичні властивості ТЗ, прийнята орієнтовно однакова вартість різних ТЗ подібних розмірів.

Як складові експлуатаційних витрат розглядалися: витрати на паливо та електроенергію на рух; величина амортизації ТЗ та тягової акумуляторної батареї (ТАБ), як складова собівартості експлуатації; витрати на додаткове будівництво та утримання наявної контактної-кабельної мережі та тягових підстанцій для руху тролейбусів; витрати на заробітну плату з нарахуваннями працівників, які безпосередньо виконують роботи з ТО та ремонту рухомого складу, та водіїв – у разі різної заробітної плати водіїв різних видів ТЗ; витрати на експлуатаційні матеріали та шини.

Виконувався порівняльний аналіз витрат на експлуатацію таких типів рухомого складу, як: електробус типу Богдан Е7014; тролейбус типу PTS Т12309; автобус МАЗ 203 з дизелем; автобус МАЗ 203965 газовий; тролейбус з автономним ходом PTS-Т12. Розрахунок прямих витрат на експлуатацію ТЗ виконувався з використанням методики, описаної у [13].

Наведемо деякі особливості конструкції та експлуатації різних типів рухомого складу пасажирського транспорту та їх характеристики, які будуть потрібні для подальших розрахунків.

Електробуси однакової довжини з дизельними автобусами або тролейбусами мають меншу пасажиромісткість, що викликано обмеженням по масі ТЗ та навантаженню на дорогу із за великої ваги тягових акумуляторних батарей [17]. Наприклад, електробус Богдан Е701 довжиною 12 метрів важить 18,5 т і вміщує максимально 80 пасажирів, має ТАБ на 300 кВт*год та оголошений запас ходу 250 км [18]. Дизельний автобус Богдан А70132 довжиною 12 м має повну масу 18,5 т, двигун 194 кВт, вміщує 106 пасажирів [19].

В [9,17] проаналізовані основні параметри тролейбусів з АХ, обладнаних тяговими АКБ. Показано, що за рахунок процесу рекуперації під час гальмування можна заощадити до 20 % електричної енергії порівняно з класичними тролейбусами. Те ж саме спостерігається і в електробусах. Хоча загальна вартість тролейбусів з АХ є дещо більшою, ніж традиційних тролейбусів, витрати на їх експлуатацію, зокрема на технічне обслуговування, загалом менші.

Для заряджання тягових АКБ тролейбусів з АХ енергоємністю 30–35 кВт*год 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 [9,17]. 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.

Тролейбус БКМ-321 для забезпечення автономного руху на ділянках маршрутів протяжністю до 20 км обладнують тяговими АКБ енергоємністю 40 кВт год., маса яких 960 кг, або тяговими суперконденсаторами (СК), відповідні параметри яких 34 кВт год та маса 1400 кг [20]. Тягові АКБ типу LiFePO₄ тролейбусів з АХ 4-го покоління базової моделі БКМ-420 при тій же енергопотужності мають масу 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 пасажирів 68 кг.

За даними, наведеними у [17] вартість тягових СК енергоємністю 1,0 кВт год. становить до 2 000 дол. США, а тягових АКБ типу NiCd (нікель-кадмієвих) – 800–1500 дол. США, типу Li-Ion (літійіонних) – 600–2500 дол. США. Вартість 1,0 кВт год. тягових АКБ типу LiFePO₄ (літійзалізо-фосфатних), якими найчастіше обладнуються тролейбуси з АХ, зокрема, такими обладнані тролейбуси модифікації БКМ-420, 400–600 дол. США [17].

Питома усереднена витрата електроенергії на рух тролейбусів за даними, наведеними у роботі [17], для тролейбусів різних моделей становить $0,140-0,168)10^{-3}$ кВт год/км кг. Тобто для тролейбусів довжиною 12 м і масою 18 т складе 2,52 – 3,0 кВт год/км. З урахуванням усіх витрат електроенергії на власні нужди для забезпечення надійної роботи конструктивна ємність ТАБ для електробуса на базі тролейбуса PTS-12 має бути прийнята 3,8 кВт*год/км, що з ймовірністю 0,99 забезпечить безвідмовну роботу ТАБ [21,22].

Вихідні дані для розрахунку питомих витрат на експлуатацію різних типів рухомого складу ТЗ для пасажирських перевезень з різними енергетичними установками наведені в табл.1.

Так як досліджувався вплив частки автономного ходу на питомі прямі експлуатаційні витрати, методика [13] удосконалена врахуванням необхідних витрат на добудову тролейбусної лінії, де вона

відсутня, і без якої звичайний тролейбус не може працювати. Тобто з'явилась можливість орієнтовно оцінити що є більш вигідним – використовувати ТЗ, які не потребують контактної мережі (автобуси, електробуси), тролейбуси з автономним ходом, або добудувати контактну мережу і використовувати звичайний тролейбус. Вартість такої добудови значно відрізняється в різних пропозиціях [23, 24] у межах 100-900 тис. євро за кілометр двосторонньої тролейбусної лінії.

Прямі витрати на експлуатацію різних видів в ТЗ проілюстровані на рис.1.

Таблиця 1 - Вихідні дані для розрахунку прямих питомих витрат на експлуатацію різних типів рухомого складу ТЗ для пасажирських перевезень з різними енергетичними установками

Показники	Тип транспортного засобу (ТЗ)				
	Тролейбус PTS T12309	Автобус дизель MAZ 203	Тролейбус з АХ PTS-T12	Електробус с Богдан Е701	Автобус MAZ 203965 газ
2	3	4	7	8	9
Первісна/переоцінена вартість ТЗ, т.грн	8000	8000	8000	8000	8500
Залишкова вартість ТЗ, тис.грн	800	800	800	800	850
Довжина маршруту, км	10				
Вартість будівництва додаткової тролейб.лінії, тис.євр	100				
Пасажиромісткість мах, пас.	102	105	77	80	106
Сер.швидкість на маршруті, км/год	20	20	20	20	20
Споряджена / повна маса, т.	18	18	18,6	18,5	18,5
Термін корисного використання ТЗ, рок.	10	10	10	10	10
Вартість ТАБ, будівництва трол.лінії, тис.грн	10000		1200	6000	
Ресурс, мотогодин, циклів			5000	5000	
Пробіг за 1 цикл зарядки, км			30	150	
Витрати електроенергії на тягу,квт-год/км	2,5		2,5	2,5	
Витрати пального при роботі на маршруті, л(м3)/100км		38			42
Вартість дизель/газ пального,грн/л(м3)		51			27
Вартість електроенергії, грн/квт-год	2,68		2,68	2,68	
Середньодобовий пробіг, км	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2
Час простою ТЗ в ТО та Р на 1000км	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Коефіцієнт техн.гот. (КТГ) РС	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
Річний пробіг одиниці РС, тис-км	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926
Частка маршруту на автономн.ході	0,25	1,00	0,25	1,00	1,00
Пит. трудоміст. ТО ТЗ,люд-год/1000км	25	15,3	25	25	18,3
Пит. Трудоміст. Ремонту ТЗ,л-год/1000км	8	11	8	8	11,85
Питома труд.ТО АКБ, л-год/1000км			0,5	0,5	
Зарплата водія, грн	16000	16000	16000	16000	16000
Зарплата контролера, грн	6700	6700	6700	6700	6700
Зарплата рем.робітника, грн	16000	16000	16000	16000	16000
Сукупна вартість 1 н-год ТО та Р, грн	137,91	137,91	137,91	137,91	137,91
Кількість колес на ТЗ	6	6	6	6	6
Вартість однієї шини, грн	4700	4700	4700	4700	4700
Норма пробігу шини, тис.км	70	70	70	70	70
Питомі витрати на утримання тягових підстанцій та конт-каб мережі, грн/км	9		9	9	
Інші питомі прямі витрати, тис.грн	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78

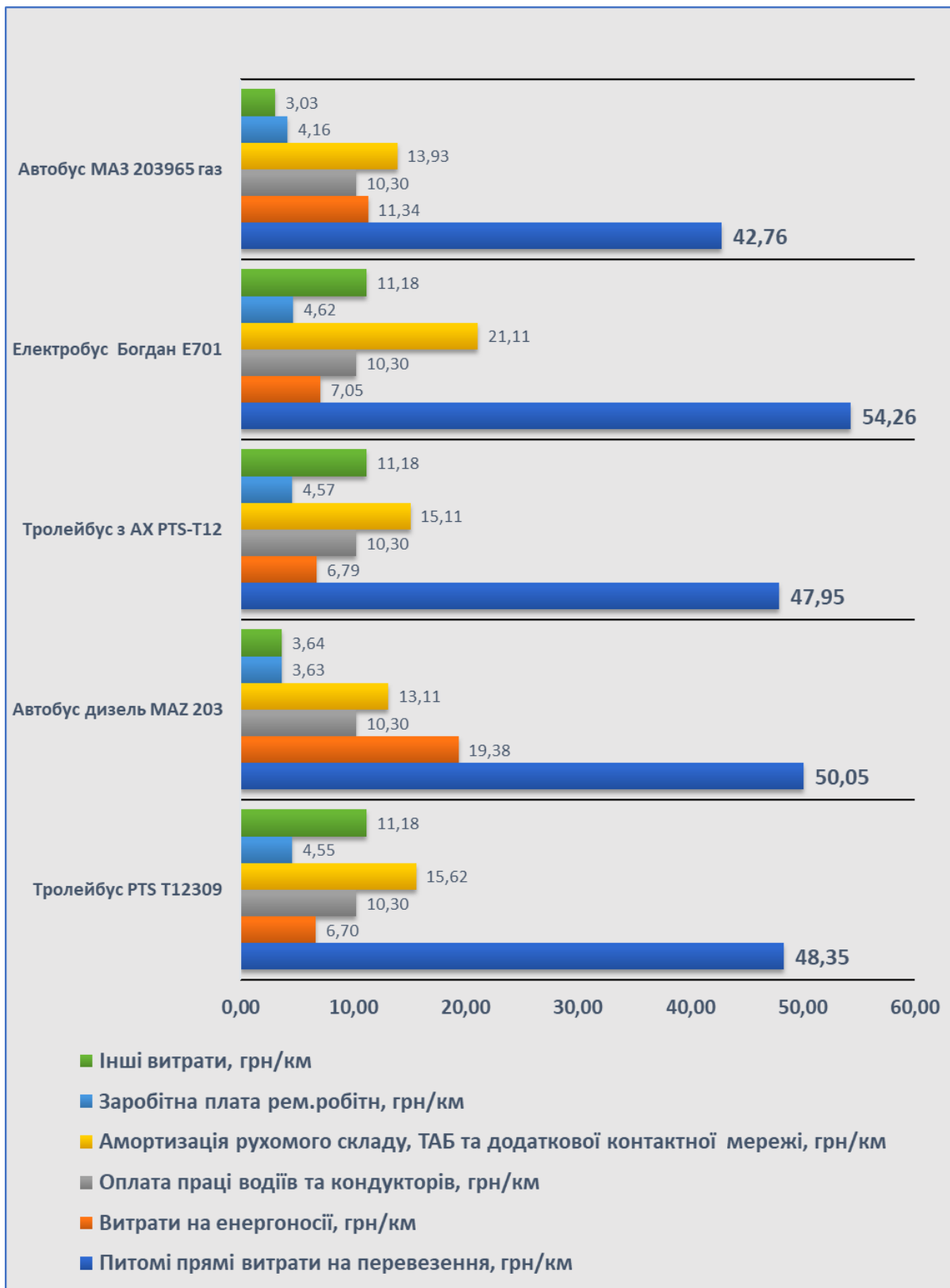


Рисунок 1 –Питомі прямі витрати на експлуатацію різних видів ТЗ та їх основні складові при 25% автономного ходу

Аналіз графіків на рис.1 показує, що в порядку збільшення сукупних прямих витрат на експлуатацію при 25% автономного ходу ТЗ розташовуються в наступному порядку: 1-автобус МАЗ газовий 42,76 грн/км; 2- тролейбус РТС з АХ 47,95 грн/км; 3- тролейбус РТС звичайний 48,35 грн/км; 4-автобус МАЗ дизельний 50,05 грн/км; 5-електробус Богдан 54,26 грн/км.

Разом з тим по витратах на енергоносії ТЗ розташовуються наступним чином: 1-тролейбус РТС звичайний 6,7 грн/км; 2-тролейбус РТС з АХ 6,79 грн/км; 3-електробус Богдан 7,05 грн/км; 4-автобус МАЗ газовий 11,34 грн/км; 5-автобус МАЗ дизельний 19,38 грн/км.

Як і очікувалось ТЗ на електричній тязі є більш економними з точки зору витрат на енергоносії, що викликано меншою ціною електроенергії у порівнянні з органічним паливом. Найбільш дорогим за сукупними витратами виявився електробус. Це пояснюється більшою вартістю як самого електробуса, так і тягової батареї, а значить і більшими амортизаційними відрахуваннями. Найдешевшим по сукупним прямим витратам в експлуатації є газовий автобус. Звичайний троллейбус не займає перших місць по причині необхідності великих витрат на будівництво додаткової троллейбусної лінії.

На рис.2. показані прямі витрати на перевезення одного пасажера різними типами рухомого складу пасажирського транспорту. Найменша вартість притаманна ТЗ, що мають найбільшу пасажиромісткість.

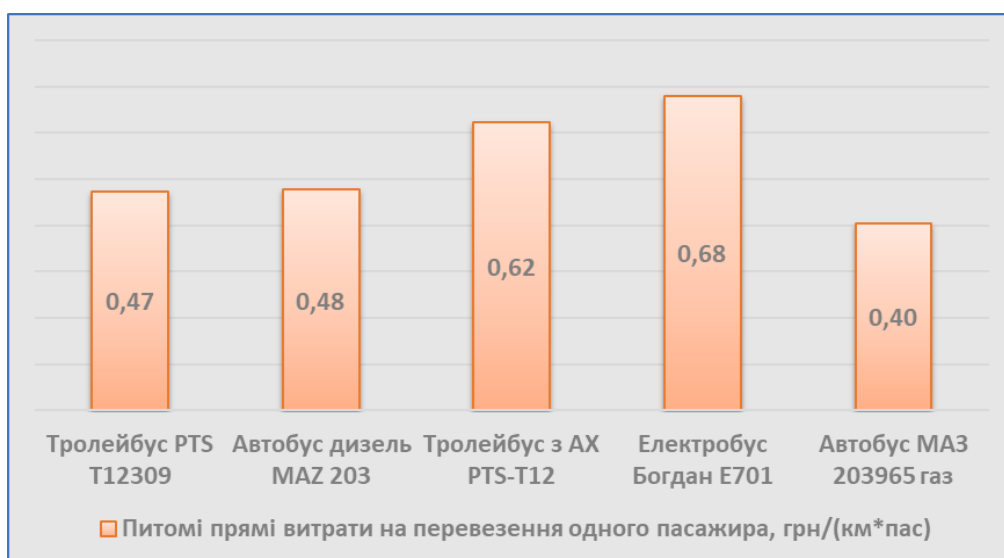


Рисунок 2 – Сукупні питомі прямі витрати на перевезення одного пасажера різними типами рухомого складу пасажирського транспорту.

Результати розрахунку питомих сукупних прямих витрат на експлуатацію пасажирських ТЗ при різних частках автономного ходу на маршруті показані на рис.3. Крім того, що було зазначено вище, необхідно відмітити наступне. Питомі витрати на експлуатацію троллейбуса з АХ підвищуються зі збільшенням частки АХ на маршруті. При досягненні 100% автономного ходу троллейбус з АХ перетворюється на електробус з однаковими витратами на експлуатацію, а при відсутності потреби в АХ троллейбус з АХ стає звичайним троллейбусом. Взагалі енергоспоживання електробуса є дещо вищим ніж у звичайного троллейбуса при відсутності автономного ходу тому що при зарядці ТАБ існують втрати, а сукупні витрати на експлуатацію є більшими із-за вищої ціни електробуса. При частці АХ 50% витрати на експлуатацію дизельного автобуса та троллейбуса з АХ є однаковими. При менших частках АХ використання троллейбусів з АХ є більш вигідним ніж дизельного автобуса.

Порівняння варіанту з будівництвом додаткової троллейбусної лінії з використанням різних ТЗ з АХ показало, що при даному співвідношенні вартостей окремих складових експлуатації, добування додаткової троллейбусної лінії для використання звичайного троллейбуса може бути більш вигідною ніж використання дизельного автобуса при АХ до 25%, і більш вигідним ніж використання електробуса до, приблизно, 45% АХ. Але при всіх варіантах найбільш вигідним є використання газового автобуса, потім троллейбуса з автономним ходом.

Для можливості визначення економічного ефекту від використання того чи іншого типу ТЗ підраховані добові прямі сукупні витрати на перевезення 6000 пасажирів на гіпотетичному маршруті 10 км за 18 год., та витрати на енергоносії. Результати таких розрахунків проілюстровані на рис.4. Як і очікувалось найбільш вигідними по споживанню енергоносіїв є троллейбус з АХ, потім електробус. Далі йдуть з деяким відривом автобуси газовий та дизельний. Але якщо оцінювати сукупні прямі витрати на експлуатацію, то при прийнятному співвідношенню цін на складові експлуатаційних витрат найбільш вигідним є використання газового автобуса.

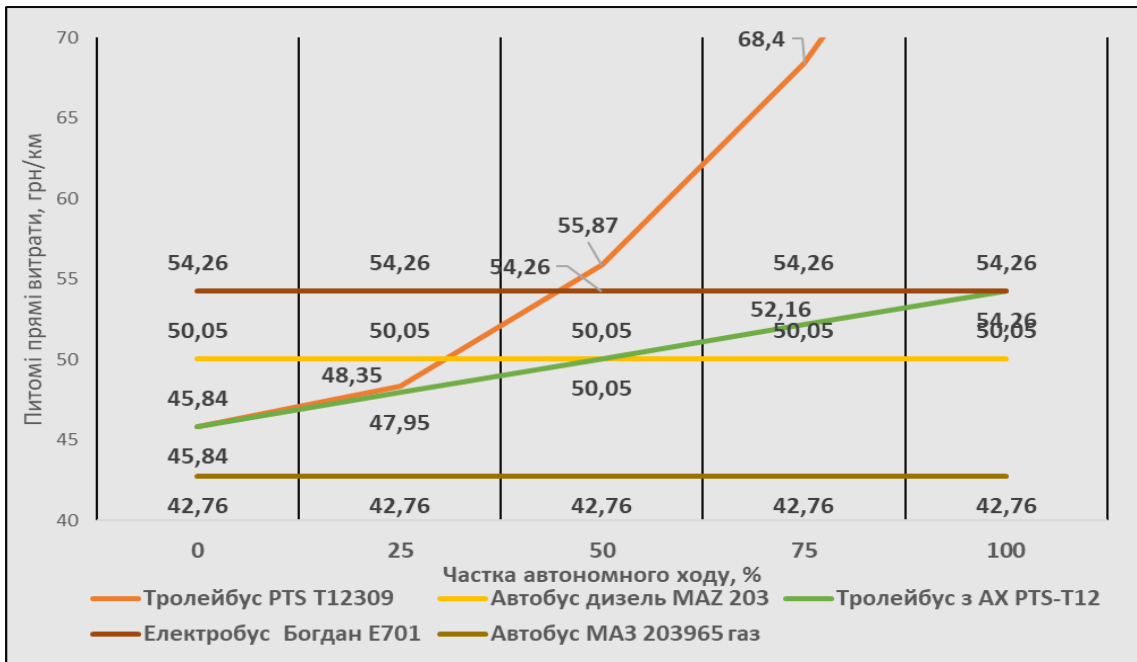


Рисунок 3 – Питомі сукупні прямі витрати на експлуатацію пасажирських ТЗ при різних частках автономного ходу на маршруті

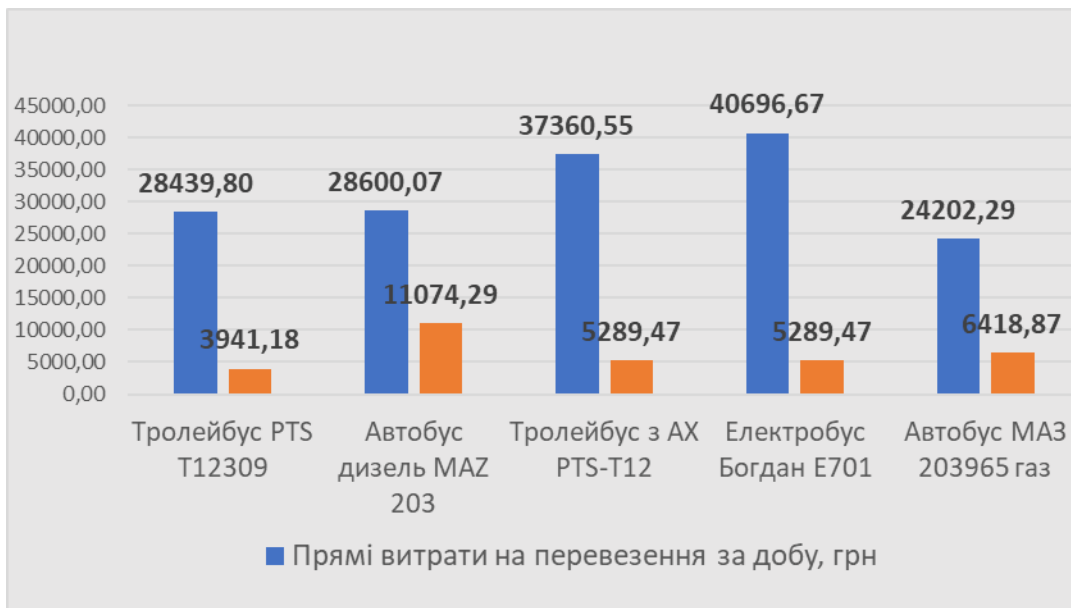


Рисунок 4 – Прямі витрати на перевезення 6000 пасажирів на маршруті 10 км за 18 год. (враховані витрати на будівництво тролейбусної лінії на частці 25% автономного ходу)

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

На теперішній момент ситуація на ринку пасажирських перевезень муніципальним транспортом у місті Києві наступна [25]. Маршрутна мережа наземного міського пасажирського транспорту складається з 160 маршрутів, а саме: 48 тролейбусних, 18 трамвайних, 86 автобусних, 8 таксомоторних маршрутів. Цю мережу обслуговує комунальне підприємство «Київпастранс».

У зв'язку з повномасштабною військовою агресією Російської Федерації проти України з 24 лютого 2022 року в Україні введено воєнний стан. Військові дії спричинили руйнування інфраструктури та масове порушення ланцюгів економічної діяльності, що, насамперед, призвело до значних економічних втрат в Україні, та на підприємстві. Зараз комунальний транспорт не здійснює перевезення пасажирів поки діє комендантська година. Також заборонено рух громадського транспорту під час повітряної тривоги. В результаті, підприємство зазнає значних збитків.

В кінці 2022 року через дефіцит електроенергії було припинено роботу наземного електротранспорту - трамваїв та тролейбусів. З метою зменшення навантаження на енергосистему та

економією електроенергії на всіх тролейбусних та трамвайних маршрутах працювали автобуси. Аби забезпечити перевезення пасажирів на маршрутах, де їздили трамваї і тролейбуси, було випущено 222 автобуси. Загалом на 124 автобусних маршрутах міста працювали 440 автобусів.

З 16 лютого 2023 відновлено роботу всіх тролейбусних та трамвайних маршрутів та фунікулеру. Збільшено випуск рухомого складу на маршрутах електротранспорту. Також відновлено роботу автобусних маршрутів за постійними схемами руху.

На кінець березня 2023 року в робочий день Київпастрас обслуговував 46 тролейбусних маршрутів з випуском 260 одиниць, 22 трамвайних маршрутів з випуском 188 одиниць та 74 автобусних маршрутів з випуском 262 одиниці.

На балансі Підприємства (станом на 01.01.2023) налічується: - 2 979 одиниць транспортних засобів для перевезення пасажирів, у тому числі 505 трамвайних вагонів, 630 тролейбусів, 1844 автобуси. Також на балансі Київпастрасу є 229,0 км трамвайних колій, 2 019,1 км контактної мережі, 91 тягова підстанція загальною потужністю 342,3 тис.кВА, які здійснюють електропостачання трамвайного і тролейбусного рухів.

У 2021 році за результатами діяльності КП Київпастрас сукупний пробіг тролейбусів склав 20743 тис. машино кілометрів, а автобусів - 29760 тис. машино кілометрів. У 2022 році ці цифри зменшились для тролейбусів до 8318 тис. машино кілометрів, а для автобусів до 18634 тис. машино кілометрів. Тобто у 2022 році в порівнянні з аналогічним періодом минулого року обсяги транспортної роботи (тис.маш-км) у звичайному режимі руху зменшились на 47,4%, в т.ч. по трамваю на 50,4%, тролейбусу на 59,9%, та автобусу на 37,4%.

Не зважаючи на значне скорочення транспортної роботи електричного транспорту електричної енергії все одно не вистачає, але спостерігається надлишок електричної потужності інфраструктури тролейбусних та трамвайних парків.

Тому заміна автобусів на електробуси виглядає проблематичною із-за відсутності необхідної кількості електричної енергії та потужності зарядної інфраструктури в автобусних парках.

Варіантом вирішення проблеми є використання тролейбусів з автономним ходом, які мають ТАБ значно меншої ємності ніж електробус, та яка може заряджатись під час руху. Таку заміну доцільно організувати особливо там, де тролейбусні маршрути частково співпадають з автобусними.

До цього слід додати, що автобусні парки не мають інфраструктури для зарядки електробусів, а в тролейбусних парках така інфраструктура вже існує, як і необхідні електричні потужності.

ВИСНОВКИ

Виконаний порівняльний аналіз можливостей та економічної ефективності використання різних типів транспортних засобів з електричними силовими установками та двигунами внутрішнього згоряння, які можуть працювати на міських маршрутах пасажирських перевезень з повною або частковою відсутністю контактної мережі який показав наступне.

Економічна ефективність у цьому дослідженні оцінювалась питомими прямими витратами на експлуатацію рухомого складу пасажирського транспорту, а можливості – теперішнім станом інфраструктури транспорту, а також подальшими витратами і перспективами її розвитку.

Як складові експлуатаційних витрат розглядалися: витрати на паливе та електроенергію на рух; величина амортизації ТЗ та тягової акумуляторної батареї (ТАБ); витрати на додаткове будівництво та утримання наявної контактної-кабельної мережі та тягових підстанцій для руху тролейбусів; витрати на заробітну плату з нарахуваннями працівників, які безпосередньо виконують роботи з ТО та ремонту рухомого складу, та водіїв; витрати на експлуатаційні матеріали та шини.

Виконувався порівняльний аналіз витрат на експлуатацію таких видів рухомого складу, як: електробус Богдан Е7014; тролейбус PTS Т12309; автобус МАЗ 203 з дизелем; автобус МАЗ 203965 газовий; тролейбус з автономним ходом PTS-Т12.

Розрахунок прямих витрат на експлуатацію ТЗ виконувався з використанням методики [13], яка розроблена авторами і удосконалена врахуванням необхідних витрат на добудову тролейбусної лінії, де вона відсутня.

Розрахунки показали, що ТЗ на електричній тязі є більш економічними з точки зору витрат на енергоносії. Але за сукупними витратами найбільш дорогим виявився електробус. Це пояснюється значною вартістю як самого електробуса, так і тягової батареї, а значить, і більшими амортизаційними відрахуваннями. Надешевшим по сукупним прямим витратам в експлуатації є газовий автобус. Звичайний тролейбус не займає перших місць по причині необхідності великих витрат на будівництво додаткової тролейбусної лінії на маршруті з частковим автономним ходом.

Питомі витрати на експлуатацію тролейбуса з АХ підвищуються зі збільшенням частки АХ на маршруті. При досягненні 100% автономного ходу тролейбус з АХ перетворюється на електробус, а при відсутності потреби в АХ тролейбус з АХ стає звичайним тролейбусом. Взагалі енергоспоживання електробуса є дещо вищим ніж у звичайного тролейбуса при відсутності автономного ходу тому що при зарядці ТАБ існують втрати, а сукупні витрати на експлуатацію є більшими із-за вищої ціни електробуса. При частці АХ 50% витрати на експлуатацію дизельного автобуса та тролейбуса з АХ приблизно однакові. При менших частках АХ використання тролейбусів з АХ є більш вигідним ніж дизельного автобуса.

Порівняння варіанту з будівництвом додаткової тролейбусної лінії з використанням різних ТЗ з АХ показало, що при даному співвідношенню вартостей окремих складових експлуатації, будова додаткової тролейбусної лінії для використання звичайного тролейбуса може бути більш вигідною ніж використання дизельного автобуса при АХ до 25%, і більш вигідним ніж використання електробуса до, приблизно, 45% автономного ходу. Але при всіх варіантах найбільш економічним є використання газового автобуса, потім тролейбуса з автономним ходом.

Широке впровадження електробусів на міських маршрутах на теперішній момент не є найкращим рішенням з економічної точки зору.

Не зважаючи на значне скорочення транспортної роботи електричного транспорту електричної енергії все одно не вистачає, але спостерігається надлишок електричної потужності інфраструктури тролейбусних та трамвайних парків.

Тому заміна автобусів на електробуси виглядає проблематичною із-за відсутності необхідної електричної потужності та зарядної інфраструктури в автобусних парках.

Варіантом вирішення проблеми може бути використання тролейбусів з автономним ходом, які мають ТАБ значно меншої ємності ніж електробус, та яка може заряджатись під час руху. Таку заміну доцільно організувати особливо там, де тролейбусні маршрути частково співпадають з автобусними.

До цього слід додати, що автобусні парки не мають інфраструктури для зарядки електробусів, а в тролейбусних парках така інфраструктура вже існує, як і необхідні електричні потужності. Використання такої технології забезпечить виконання Закону [1] та зробить поліпшення екологічного стану міст більш швидким та економічно вигідним.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Закон України Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електророзрядної інфраструктури та електричних транспортних засобів. {Із змінами, внесеними згідно із Законом [№ 3220-IX від 30.06.2023](#)}. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2956-20#Text>
2. Андрусенко С.І. Математична модель енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпісов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2021. – Вип. 3 (50). – С. 3–10. – (doi.org/10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010).
3. Андрусенко С.І. Оптимізація параметрів тягової акумуляторної батареї у тролейбусах із частковим автономним ходом / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпісов // Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт). – 2021. – № 3 (267)'2021. – С. 15–21. – (doi.org/10.33868/0365-8392-2021-3-267-15-21).
4. Витрати електроенергії трамвайними вагонами та тролейбусами. Нормативи. Метод розрахунку: ГKN 02.07.005-2001. – [Чинний від 2002-01-01]. Київ: ДП НДКТІ МГ, 2002. – 28 с. – (Державний комітет житлово комунального господарства України).
5. Вимоги до методів визначення та оптимізації витрат електроенергії трамвайними вагонами та тролейбусами на рух: СОУ ЖКГ 09.05 - 009:2010.–[Чинний від 2010-05-01]. Київ: ДП НДКТІ МГ, 2010. – 27 с. – (Державний комітет житлово комунального господарства України).
6. Дембіцький Валерій. Дослідження енергетичних показників транспортних засобів з електричним приводом. Монографія / за заг. ред. Д.В. Ломотька. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. – 2022. Т1 – 216 с. (с. 77 – 114).
7. Valerii Dembitskyi, Vitalij Grabovets, Modeling of a power consumption by bus in the real operating conditions, Transportation Engineering, Volume 14, 2023, 100216, ISSN 2666-691X, <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100216>.

8. Будніченко В.Б., Гордієнко М.М. (2019). Аналіз показника енерговитрат транспортних засобів з електричним двигуном. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 3. 149. 158-163 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/UJRN,doi:10.33042/2522-1809-2019-3-149-158-163>.
9. Wolek 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>.
10. 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>.
11. 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>.
12. Андрусенко С.І. Оцінка вартостей експлуатації транспортних засобів з різними типами силових установок / Андрусенко С.І., Бугайчук О.С., Лобода А.В., Савостін-Косяк Д.О. // Технічна інженерія: науковий журнал. – Ж.: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – №2 (86) – С.3 – 12.
13. Андрусенко С.І. Розробка методики визначення експлуатаційних витрат автобусів та тролейбусів з різними видами силових установок / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт). – 2022. – № 2 (270). – С. 15-25. – DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25>.
14. Андрусенко С.І. Вибір рухомого складу міського пасажирського транспорту на основі оптимізації витрат на експлуатацію та ризиків / С.І. Андрусенко, О.С. Бугайчук, В.С. Подпіснєв, О.Д. Пилипівський // Міжнародна конференція «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин». Збірник тез доповідей (16-17 листопада 2022 р.). – К.: НТУ, 2022. – 186 с. (с. 64-66). – DOI: <https://doi.org/10.33744/978-966-632-316-6-2022-1>
15. Андрусенко С.І. Особливості вибору рухомого складу міського пасажирського транспорту за сучасних умов в Україні./С.І.Андрусенко, О.М.Іванушко, В.С. Подпіснєв, І.В. Будниченко// Вісник Національного транспортного університету, 2023 | Стаття в журналі, DOI: [10.33744/2308-6645-2023-1-55-012-023](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-012-023).
16. Андрусенко С.І. Підбір рухомого складу для пасажирських перевезень по міському маршруту/ Андрусенко С.І., Подпіснєв В.В.; Будниченко І.В.; Дикий В. С.// Вісник Національного транспортного університету, 2023 | Стаття в журналі . DOI: [10.33744/2308-6645-2023-3-57-003-019](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-3-57-003-019).
17. Войтків С. Економічні та соціальні аспекти розвитку та застосування тролейбусів 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>
18. Електробус Богдан. Електронний ресурс. Дата звернення 12.02.2024 р. Режим доступу: https://www.google.com/search?q=%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%81+%D0%91%D0%BE%D0%B3%D0%B4%D0%B0%D0%BD&sca_esv=f917e2823a31333e&source=hp&ei=MEPLZa3PIKqFxc8PrZSFgAs&iflsig=ANes7DEAAAAAZctRQC7GL7TraJ3vdKwSGz4CdIUUpMIu&udm=&oq=&gs_lp=Egdnd3Mtd2l6IlgBIAFAAWABwAHgAkAEAmAEAoAEAggEAuAESyAEA-AEG&gs_ivs=1&sclient=gws-wiz#vhid=1mxd9A9fX0njM&vssid=1
19. Богдан-Авто. [Богдан А701 Характеристики – Богдан-Авто](https://bogdanauto.com.ua) Електронний ресурс. Дата звернення 12.02.2024 р. Режим доступу: bogdanauto.com.ua
20. ВКМ 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> .
21. Андрусенко С.І. Методика оцінки споживання енергії електробусом та параметрів тягової акумуляторної батареї в умовах експлуатації / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – 2022. – № 22 (2022). – С. 64-71. – (doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.8). – Режим доступу: <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/268300/266081>
22. [Проект «Міський громадський транспорт в Україні» Електронний ресурс. Дата звернення 12.02.2024 р. Режим доступу: https://mtu.gov.ua/news/27947.html?PrintVersion](https://mtu.gov.ua/news/27947.html?PrintVersion)

23. "Львівелектротранс" адекватно формує ціну на реконструкцію кабельних ліній, "Львівавтодор – ні", – Антон Лягушкін Проект «Міський громадський транспорт в Україні» Електронний ресурс. Дата звернення 12.02.2024 р. <https://zahid.espreso.tv/lvivelektrotrans-adekvatno-formue-tsinu-na-rekonstruktsiyu-kabelnikh-liniy-lvivavtodor-ni-anton-lyagushkin>

24. Звіт з управління КП «Київпастрас» за 2022 рік. Електронний ресурс. Дата звернення 12.02.2024 р. Режим доступу: https://kpt.kyiv.ua/uploads/u/1/37exsY14-elEnKUMd_xfxaGGtSG7dGfH.pdf

25. Примітки до фінансової звітності КП «Київпастрас» за 1 квартал 2023 року. Електронний ресурс. Дата звернення 12.02.2024 р. Режим доступу: <https://kpt.kyiv.ua/uploads/u/1/kLJ1XaK3CWBU9l2heva-Jqkp1f7raq0Q.pdf>

REFERENCES

1. The Law of Ukraine On Some Issues of Using Vehicles Equipped with Electric Engines and Amendments to Some Laws of Ukraine Regarding Overcoming Fuel Dependence and Development of Electric Charging Infrastructure and Electric Vehicles. {With changes introduced in accordance with Law No. 3220-IX dated 06.30.2023}. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2956-20#Text>

2. Andrusenko S.I. Mathematical model of the energy capacity of the traction battery / S.I. Andrusenko, V.B. Budnychenko, V.S. Podpisnov // Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection. - K.: NTU, 2021. - Issue 3 (50). – P. 3–10. – (doi.org/10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010).

3. Andrusenko S.I. Optimization of traction battery parameters in trolleybuses with partial autonomous operation / S.I. Andrusenko, V.B. Budnychenko, V.S. Podpisnov // Research and production journal "Automobile of Ukraine" (Automotive transport). – 2021. – No. 3 (267)'2021. – pp. 15–21. – (doi.org/10.33868/0365-8392-2021-3-267-15-21).

4. Electricity consumption by tram cars and trolleybuses. Norms. Calculation method: GKN 07.02.005-2001. – [Effective from 2002-01-01]. Kyiv: SE NDKTI MG, 2002. – 28 p. – (State Committee of Housing and Communal Economy of Ukraine).

5. Requirements for the methods of determining and optimizing electricity consumption by tram cars and trolleybuses for movement: SOU ZHCG 09.05 - 009:2010.–[Effective from 2010-05-01]. Kyiv: SE NDKTI MG, 2010. – 27 p. – (State Committee of Housing and Communal Economy of Ukraine).

6. Valery Dembitskyi. Research of energy indicators of vehicles with an electric drive. Monograph / by general ed. D.V. Lomotka - Academy of Technical Sciences of Ukraine. – Ivano-Frankivsk: Publisher H.M. Kushnir. – 2022. T1 – 216 p. (pp. 77-114).

7. Valerii Dembitskyi, Vitalij Grabovets, Modeling of a power consumption by bus in the real operating conditions, Transportation Engineering, Volume 14, 2023, 100216, ISSN 2666-691X, <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100216>.

8. Budnichenko V.B., Gordienko M.M. (2019). Analysis of the energy consumption indicator of vehicles with an electric motor. Communal management of cities. Series: Technical sciences and architecture. 3. 149. 158-163 [Electronic resource]. – Access mode: <http://nbuv.gov.ua/UJRN,doi:10.33042/2522-1809-2019-3-149-158-163>.

9. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123807>.

10. 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). R. 32-45. DOI: <https://doi.org/10.3390/wevj2020120>.

11. 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. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures6040061>.

12. Andrusenko S.I. Estimation of operating costs of vehicles with different types of power plants / Andrusenko S.I., Bugaichuk O.S., Loboda A.V., Savostin-Kosyak D.O. // Technical engineering: scientific journal. - Zh.: Zhytomyr Polytechnic State University, 2020. - No. 2 (86) - P.3 - 12.

13. Andrusenko S.I. Development of a methodology for determining operating costs of buses and trolleybuses with various types of power plants / S.I. Andrusenko, V.B. Budnychenko, V.S. Podpisnov // Research and production journal "Automobile of Ukraine" (Automotive transport). – 2022. – No. 2 (270). - pp. 15-25. - DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25>.

14. Andrusenko S.I. Selection of urban passenger transport rolling stock based on optimization of operating costs and risks / S.I. Andrusenko, O.S. Bugaichuk, V.S. Podpisnov, O.D. Pylypivskiy // International conference "Improvement of constructive and operational indicators of cars and machines". Collection of theses of reports (November 16-17, 2022). - K.: NTU, 2022. - 186 с. (с. 64-66). – DOI: <https://doi.org/10.33744/978-966-632-316-6-2022-1>
15. Andrusenko S.I. Peculiarities of the choice of rolling stock of urban passenger transport under modern conditions in Ukraine./S.I. Andruseno, O.M. Ivanushko, V.S. Podpisnov, I.V. Budnychenko// Bulletin of the National Transport University, 2023 | Journal article, DOI: 10.33744/2308-6645-2023-1-55-012-023 .
16. Andrusenko S.I. Selection of rolling stock for passenger transportation on the city route / Andrusenko S.I., Podpisnov V.V.; I.V. Budnychenko; V. S. Dykiy// Bulletin of the National Transport University, 2023 | Article in the magazine. DOI: 10.33744/2308-6645-2023-3-57-003-019.
17. Voitkiv C. Economic and social aspects of the development and application of trolleybuses with autonomous movement in Ukraine [Electronic resource] / Stanislav Voitkiv // Social and economic problems and the state. — 2022. — Issue 2 (27). — P. 3-14. — Access mode: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2022/22vsrvvu.pdf>
18. Electric bus Bohdan. Electronic resource. Application date 02/12/2024 Access mode: https://www.google.com/search?q=%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%81+%D0%91%D0%BE%D0%B3%D0%B4%D0%B0%D0%BD&sca_esv=f917e2823a31333e&source=hp&ei=MEPLZa3PIKqFxc8PrZSFgAs&iflsig=ANes7DEAAAAAZctRQC7GL7TraJ3vdKwSGz4CdIUUpMIu&udm=&og=&gs_lp=Egdnd3Mtd2l6IgbIAFAAWABwAHgAkAEAmAEAoAEAqgEAuAESyAEA-AEG&gs_ivs=1&scient=gws-wiz#vhid=1mxd9AyfX0njM&vssid=1
19. Bohdan-Avto. Bohdan A701 Characteristics - Bohdan-Auto Electronic resource. Application date: February 12, 2024. Access mode: bogdanauto.com.ua
20. VKM Holding. Innovations in urban passenger transport / BKM-Ukraine LLC. 19 p. URL: <https://bkm.com.ua/wp-content/uploads/2020/09/bkm-ukrayina-prezentacziya-ukr.>
21. Andrusenko S.I. Methodology for estimating energy consumption by an electric bus and traction battery parameters under operating conditions / S.I. Andrusenko, V.B. Budnychenko, V.S. Podpisnov // Automobile and electronics. Modern technology. – 2022. – No. 22 (2022). - С. 64-71. – (doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.8). – Access mode: <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/268300/266081>
22. Project "Urban Public Transport in Ukraine" Electronic resource. Application date 02/12/2024 Access mode: <https://mtu.gov.ua/news/27947.html?PrintVersion>
23. "Lvivelectrotrans" adequately forms the price for the reconstruction of cable lines, "Lvivavtodor - no", - Anton Lyagushkin Project "Urban public transport in Ukraine" Electronic resource. Application date 02/12/2024 <https://zahid.espresso.tv/lvivelectrotrans-adekvatno-formue-tsinu-na-rekonstruktsiyu-kabelnikh-liniy-lvivavtodor-ni-anton-lyagushkin>
24. Report on the management of KP "Kyivpastrans" for 2022. Electronic resource. Application date: February 12, 2024. Access mode: https://kpt.kyiv.ua/uploads/u/1/37cxsY14-elEnKUmd_xfxaGGtSG7dGIh.pdf
25. Notes to the financial statements of KP "Kyivnastrans" for the 1st quarter of 2023. Electronic resource. Application date: February 12, 2024. Access mode: <https://kpt.kyiv.ua/uploads/u/1/kLJ1XaK3CWBu9l2heva-Jqkp1f7raq0Q.pdf>

Andrusenko S.I., Dembitskyi V.M., Budnychenko I.V., Dykiy V.S. Research on the feasibility of using electric buses on bus and trolleybus routes in cities

The possibilities and cost-effectiveness of using different types of vehicles with electric power plants and internal combustion engines, which can work on urban passenger transportation routes with a complete or partial absence of a contact network, are analyzed.

The costs of operating the Bohdan E7014 electric bus were compared; trolleybus PTS T12309; buses MAZ 203 with diesel and gas; PTS-T12 self-propelled trolleybus.

Total costs for: fuel and electricity for movement were estimated; depreciation of vehicles and traction battery; additional construction and maintenance of contact and cable network and traction substations; salaries of workers in maintenance and repair of rolling stock and drivers; operating materials and tires.

It is shown that vehicles with electric traction are more economical in terms of energy costs. But in terms of total costs, the electric bus turned out to be the most expensive due to its higher cost. The cheapest to operate is a gas bus.

If the share of autonomous driving is less than 50%, a trolleybus with autonomous driving is more profitable than a diesel bus.

With the existing ratio of the costs of individual components of operation, the completion of an additional trolleybus line for the use of a conventional trolleybus can be more profitable than the use of a diesel bus with an autonomous operation of up to 25%, and more profitable than the use of an electric bus up to approximately 45% of an autonomous operation. But with all options, the most economical is the use of a gas bus, then a trolleybus with autonomous operation.

The replacement of buses with electric buses at the moment looks problematic due to the lack of the necessary electric power and charging infrastructure in bus fleets. But there is a surplus of electric power and infrastructure in trolleybus parks. Therefore, an alternative to an electric bus is the use of trolleybuses with autonomous operation, which have traction batteries of a much smaller capacity, and which can be charged while driving. It is expedient to organize such a replacement, especially where trolleybus routes partially coincide with bus routes.

Keywords: electric bus, bus, electric charging infrastructure, trolleybus, autonomous drive, traction battery, operating costs, choice.

АНДРУСЕНКО Сергій Іванович, кандидат технічних наук, професор кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-9914-0200>.

ДЕМБІЦЬКИЙ Валерій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, ЛНТУ, e-mail: dvm2@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1006-9218>

БУДНИЧЕНКО Ігор Валерійович, аспірант, Національний транспортний університет, e-mail: igor.v.budnichenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3073-4913>.

ДИКИЙ Владислав Сергійович, магістр, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vladislav.dykyi@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-7084-8672>

Serhii ANDRUSENKO, Ph.D in Engineering, Professor of department of technical operation of cars and car service, National Transport University, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-9914-0200>.

Valerii DEMBITSKYI, Ph.D. in Engineering associate professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: dvm2@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1006-9218>

Igor BUDNYCHENKO Postgraduate, National Transport University, e-mail: igor.v.budnichenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3073-4913>.

Vladyslav DYKYI, Master, National Transport University, Kyiv, Ukraine, vladislav.dykyi@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-7084-8672>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1348