

**ВИБІР РУХОМОГО СКЛАДУ ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ
ДЛЯ РОБОТИ НА МІСЬКОМУ МАРШРУТІ**

Андрусенко С.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, sergeandrusenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9914-0200

Подписнов В.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна, vpodpisnov@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8583-1502

Будниченко І.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, repair2006@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3073-4913

Дикий В.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна, vladislav.dykyi@gmail.com, orcid.org/0009-0003-7084-8672

**SELECTION OF ROLLING STOCK FOR PASSENGER TRANSPORTION
ON A CITY ROUTE**

Andrusenko S.I., Ph.D. in Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, sergeandrusenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9914-0200

Podpisnov V.S., National Transport University, Kyiv, Ukraine, vpodpisnov@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8583-1502

Budnychenko I.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, repair2006@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3073-4913

Dykyi V.S., National Transport University, Kyiv, Ukraine, vladislav.dykyi@gmail.com, orcid.org/0009-0003-7084-8672

Постановка проблеми.

Муніципальний транспорт в європейських містах усе частіше переходить на електричну тягу. Такий перехід обумовлений проблемами екології та вартістю органічного палива. Переважно збільшується використання електробусів, у той же час частка тролейбусів зменшується. Це викликано тим, що будівництво та підтримання в експлуатації контактної мережі та тягових підстанцій вимагає значних витрат, що стримує розвиток тролейбусних маршрутів. Крім того, наявність контактної мережі в містах, особливо в центрі, разом з іншими комунікаціями значно ускладнює її експлуатацію, а також експлуатацію інших мереж. Тому в деяких випадках тролейбусну контактну мережу в центрі міста демонтують і замінюють тролейбусні маршрути автобусними. Для виходу з такої ситуації з метою використання переваг тролейбусів перед автобусами з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) почали використовувати тролейбуси з автономним ходом (АХ), які мають змогу долати певну частину маршруту без контактної мережі. Джерелом живлення для руху в цьому випадку стають акумуляторні батареї (АКБ), які підзаряджаються під час руху тролейбуса від контактної мережі. Також відомі конструкції і випадки використання тролейбусів з дизель-генераторною установкою (ДГУ) для автономного ходу.

Отже, важливим є вирішення питання, який вид рухомого складу обирати для використання в якості міського пасажирського транспорту з міркувань економічності, екологічності та надійності функціонування всієї транспортної мережі. Тому використання електробусів з їхньою високою мобільністю або тролейбусів зі значним запасом автономного ходу видається більш доцільним з екологічної точки зору і може бути економічно вигіднішим для великих міст, де вже існує тролейбусна інфраструктура, яка потребує розвитку.

Під час оцінювання економічної доцільності необхідно брати до уваги первинну вартість автобусів з ДВЗ, тролейбусів, електробусів або тролейбусів з автономним ходом. Також слід враховувати таке явище, яке набуло поширення в Україні, як капітальний ремонт тролейбусів та трамвайних вагонів, що виконується силами міських підприємств пасажирського транспорту. Такі відновлені транспортні засоби (ТЗ) коштують місту значно дешевше, ніж купівля нового рухомого складу.

Виходячи з цього удосконалення методики оцінки вартості експлуатації рухомого складу міського пасажирського транспорту з різними видами силових установок та вибору рухомого складу для конкретного маршруту є важливою задачею.

Аналіз відомих нам публікацій показує, що проблемі використання електробусів та тролейбусів з автономним ходом присвячена велика кількість публікацій, у яких розглядалися різні аспекти експлуатації цих ТЗ. Але робіт, присвячених розробленню детальної методики оцінки економічної ефективності використання таких ТЗ на маршрутах зі значною часткою автономного ходу, небагато, наприклад [1-4], і вони спрямовані на власне розроблення методики, а не на аналіз переваг та недоліків різних типів рухомого складу.

Метою досліджень, які передбачається виконати, є мінімізація витрат на пасажирські перевезення на визначеному міському маршруті, зокрема витрат експлуатаційних підприємств на оплату енергоносія.

Для досягнення вищезначеної мети роботи мають бути вирішені наступні завдання:

1) удосконалення методики порівняльного аналізу експлуатаційних витрат автобусів, електробусів та тролейбусів з різними видами силових установок для визначення доцільності і ефективності використання різних типів транспортних засобів на заданих маршрутах з частковим автономним ходом;

2) розроблення методики порівняння ефективності використання ТЗ різної пасажиромісткості на заданому маршруті, яка забезпечує раціональний вибір рухомого складу виходячи з вартості експлуатації, інтервалів руху та інших параметрів;

3) порівняння прямих витрат на експлуатацію різних типів рухомого складу міського пасажирського транспорту за однакових умов перевезень (на одному маршруті та в однаковий період часу).

Виклад основного матеріалу дослідження.

Під час дослідження використовувалася методика, описана в [1-4] з урахуванням [5, 6].

Аналіз складових собівартості показав, що суттєвими факторами, які визначають ефективність експлуатації різних типів рухомого складу за інших незмінних або майже незмінних, можуть бути такі:

- витрати на паливо та електроенергію на рух;
- величина амортизації транспортних засобів як складова собівартості експлуатації;
- величина амортизації таких суттєвих складових ТЗ з автономним ходом, як ДГУ та тягова АКБ, маючи на увазі те, що термін їхнього використання на маршруті є відмінним від терміну використання всього ТЗ;
- витрати на утримання 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.

Також експлуатація автомобільного та електротранспорту принципово відрізняється наявністю таких специфічних елементів електротранспорту, як тягові підстанції і контактна-кабельна мережа, будівництво та експлуатація яких вимагають витрат. Цих статей витрат немає за експлуатації транспортних засобів, джерелом рушійної сили яких є органічне паливо.

Під час аналізу значення показників статей собівартості визначаються розрахунком або використовуються фактичні значення цих показників за експлуатації в умовах певного підприємства.

Виконувався порівняльний аналіз витрат на експлуатацію наступних типів рухомого складу, які найбільш розповсюджені, наприклад, у Києві:

- тролейбус PTS T12309;
- тролейбус PTS T12 (з автономним ходом);
- автобус МАЗ 203 дизельний;
- автобус МАЗ газовий;
- автобус дизельний Атаман А092Н6;
- тролейбус з ДГУ (виробництво Кривий Ріг);
- електробус Богдан Е701.

Форма представлення та числові значення вихідних даних у програмному продукті Microsoft Excel наведені на рис. 1. Значення вихідних даних мають орієнтовний характер і можуть бути змінені в програмному продукті під час розрахунків конкретних випадків щодо підприємства, особливостей маршруту та типів і характеристик рухомого складу пасажирських перевезень.

Калькуляція питомих прямих витрат на експлуатацію різних типів транспортних засобів								
Вихідні дані для розрахунку								
№	Показники	Тип транспортного засобу (ТЗ)						
		Тролейбус PTS T12309	Автобус дизель MAZ 203	Автобус Атаман A092H6	Тролейбус з ДГУ	Тролейбус з АХ PTS- T12	Електробус Богдан E701	Автобус MAZ 203965 газ
1	2	3	4	5	6	7	8	
	Первісна/переоцінена вартість ТЗ, т.грн	8000	8000	2000	8000	8000	8000	8500
	Залишкова вартість ТЗ, тис.грн	800	800	200	800	800	800	850
	Пасажиромісткість мах, пас.	102	105	52	70	77	80	106
	Сер.швидкість на маршруті, км/год	20	20	20	20	20	20	20
	Споряджена / повна маса, т.	18	18	8,78	18	18,6	18,5	18,5
	Термін корисного використання ТЗ, рок.	7	7	7	7	7	7	7
	Вартість ДГУ або АКБ, тис.грн			0	2000	1500	1500	
	Ресурс, мотогодин, циклів			0	23000	5000	5000	
	Пробіг за 1 цикл зарядки, км					30	240	
	Витрати електроенергії на тягу,квт-год/км	2,5		0	2,5	2,5	2,5	
	Витрати пального при роботі на маршруті, л(м3)/100км		38	16	69,2			42
	Витрати палива ДГУ, л/мотогодину			0	13,84			
	Вартість дизель/газ пального,грн/л(м3)		47	47	47			24
	Вартість електроенергії, грн/квт-год	2,68			2,68	2,68	2,68	
	Середньодобовий пробіг, км	168,2	168,2	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	0,7	0,7
	Коефіцієнт техн.гот. (КТГ) РС	0,89	0,89	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	54,926	54,926
	Частка маршруту на автономн.ході	0,000	1,000	1,000	0,250	0,250	1,000	1,000
	Пит. трудоміст. ТО ТЗ,люд-год/1000км	25	15,3	15	25	25	25	18,3
	Пит. Трудоміст. Ремонту ТЗ,л-год/1000км	8	11	10	8	8	8	11,85
	Пит.трудом. ТО,Р ДГУ, л-год./1000мото-год				12,5			
	Пит.трудом. ТО,Р ДГУ, л-год./1000км				0,625			
	Питома труд.ТО АКБ, л-год/1000км					0,5	0,5	
	Зарплата водія, грн	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
	Зарплата контролера-касира, грн	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
	Зарплата рем.робітника, грн	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
	Сукупна вартість 1 н-год ТО та Р, грн	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67
	Кількість колес на ТЗ	6	6	6	6	6	6	6
	Вартість однієї шини, грн	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700
	Норма пробігу шини, тис.км	70	70	70	70	70	70	70
	Питомі витрати на утримання тягових підстанцій та конт-каб мережі, грн/км	5,76			4,32	5,76	5,76	
	Інші питомі прямі витрати, тис.грн	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78

Рисунок 1 – Вихідні дані для розрахунку прямих питомих витрат експлуатації транспортних засобів пасажирських перевезень
Figure 1 – Input data for direct specific costs calculation for passenger transportation

Форма та результати розрахунку прямих експлуатаційних витрат наведені на рис. 2.

Програмою порівняльного аналізу передбачалося порівняння прямих експлуатаційних витрат на пасажирські перевезення різними типами транспортних засобів на маршруті з частковою відсутністю контактної мережі.

Для зручності сприйняття використовуються чотири види графіків, які відрізняються ступенем деталізації. Ці графіки наведені на рис. 3-6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
42		Результати розрахунків питомих прямих витрат на експлуатацію різних типів транспортних засобів							
43		Стаття калькуляції							
44			Тролейбус PTS T12309	Автобус дизель MAZ 203	Автобус Атаман A092H6	Тролейбус з ДГУ	Тролейбус з АХ PTS- T12	Електробус Богдан E701	Автобус МАЗ 203965 газ
45		Питомі прямі витрати на перевезення грн/км	45,52	51,45	26,13	52,25	50,62	48,37	44,72
46		Витрати на енергоносії, грн/км	6,70	17,86	7,52	13,16	6,79	7,05	10,08
47		електроенергія на рух	6,70			5,03	6,79	7,05	
48		паливо для автобусів		17,86	7,52	8,13			10,08
49		Оплата праці водіїв та кондукторів	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17
50		заробітна плата та інші виплати основному виробничому персоналу (водіям, кондукторам)	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69
51		суми ЄСВ працівників, безпосередньо зайнятих здійсненням перевезень пасажирів.	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
52		в) Інші прямі витрати, у т.ч.:							
53		амортизація основних засобів (автобуси, амортизація ДГУ або АКБ	18,726	18,726	4,682	18,726	18,726	18,726	19,897
54		Амортизація рухомого складу, грн/км	18,73	18,73	4,68	19,81	21,23	19,98	19,90
56		заробітна плата ремонтних робітників по ТЗ з ЄСВ	3,98	3,17	3,02	3,98	3,98	3,98	3,64
57		заробітна плата ремонтних робітників по ДГУ або АКБ з ЄСВ				0,0189	0,0151	0,0000	
58		Заробітна плата рем.робітн, грн/км	3,98	3,17	3,02	4,00	4,00	3,98	3,64
59	1	витрати на мастильні та експлуатаційні матеріали		1,34	0,56	0,61	0,00	0,00	0,76
60		витрати на тягові АКБ на 1 км пробігу					2,500	1,250	
61		шини	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
62		витрати на утримання контактної та кабельної мережі тролейбусів та тягових підстанцій, інші.	5,76			4,32	5,76	5,76	
63		Інші витрати, грн/км	7,94	3,52	2,75	7,11	10,44	9,19	2,94
65			Тролейбус PTS T12309	Автобус дизель MAZ 203	Автобус Атаман A092H6	Тролейбус з ДГУ	Тролейбус з АХ PTS- T12	Електробус Богдан E701	Автобус МАЗ 203965 газ
66		Питомі прямі витрати на перевезення, грн	45,52	51,45	26,13	52,25	50,62	48,37	44,72
67		Питомі прямі витрати на перевезення одного пасажиря, грн/(км*пас)	0,45	0,49	0,50	0,75	0,66	0,60	0,42

Рисунок 2 – Форма та результати розрахунку прямих експлуатаційних витрат
Figure 2 – Form and results of direct operating costs calculation

Необхідно зазначити, що порівняльні розрахунки необхідно здійснювати для однакових умов експлуатації, що визначаються місцем і часом виконання. Основним чинниками, які впливають на вартість експлуатації ТЗ, є ціни на такі елементи експлуатації, як рухомий склад і його складові, енергоносії, вартості робочої сили, трудомісткості обслуговування, споживання енергоносіїв, пасажиромісткість ТЗ. Аналіз показав, що всі ці елементи можуть змінюватись у значній мірі, що показано в багатьох джерелах, наприклад у [7-10] та ін. Тому в даному дослідженні використовуються дані, які орієнтовно характеризують експлуатацію різних типів пасажирських КТЗ. Також для більшої наочності виявлення впливу різних експлуатаційних параметрів ТЗ розглядалась однакова вартість (як комерційна характеристика) різних типів ТЗ однакової маси. При цьому додатково враховувалась вартість ДГУ, тягових АКБ та газових балонів у разі їхньої наявності.



Рисунок 3 – Питомі прямі витрати на експлуатацію пасажирських КТЗ
 Figure 3 – Specific direct costs for passenger transport vehicles operation

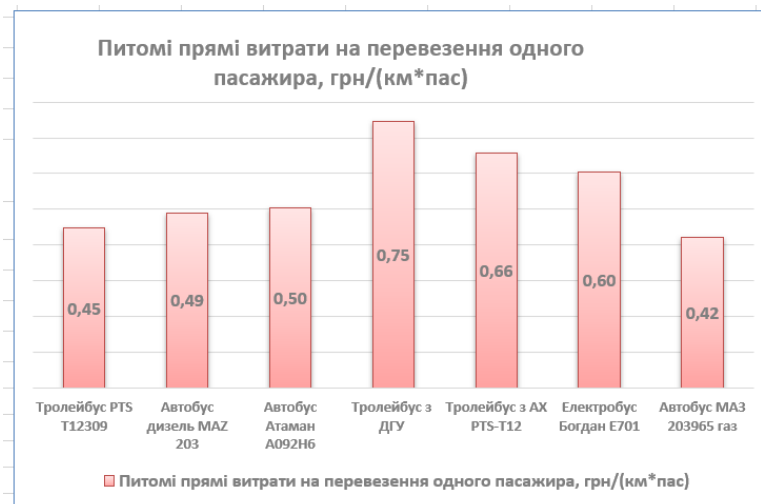


Рисунок 4 – Питомі прямі витрати на перевезення одного пасажиря
 Figure 4 – Specific direct costs for a passenger transportation



Рисунок 5 – Деякі суттєві складові собівартості експлуатації певних видів КТЗ
 Figure 5 – Some essential components of operation cost for certain vehicle types

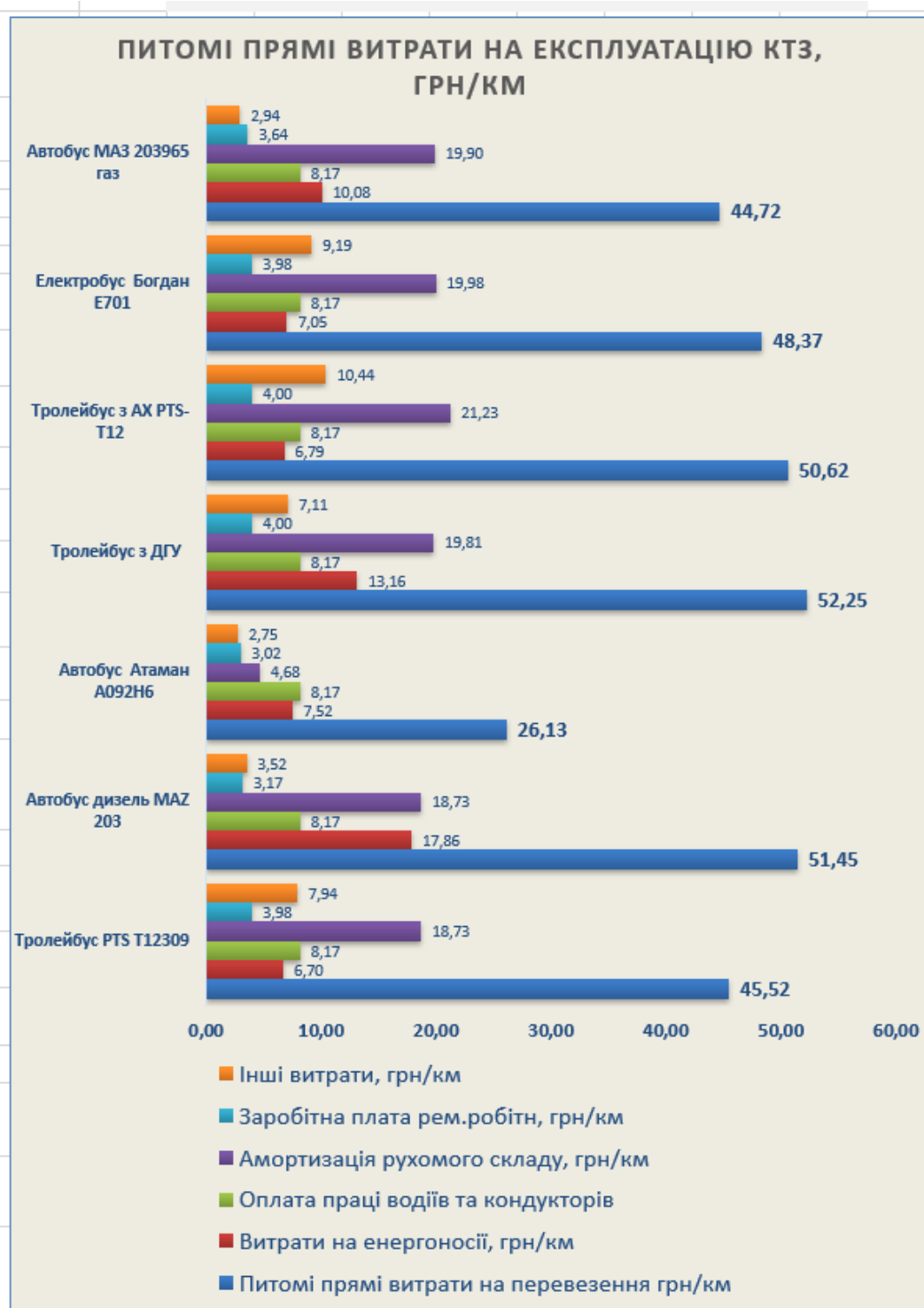


Рисунок 6 – Складові собівартості експлуатації деяких пасажирських КТЗ
Figure 6 – Operating costs components for some passenger vehicles

Собівартість експлуатації різних типів ТЗ показана на рис. 2-6. Розглядалися ТЗ приблизно однакової максимальної маси 18 тонн з різними силовими установками, крім автобусів типу МАЗ (18 т) та «Атаман» (8,78 т). Собівартість експлуатації ТЗ залежить насамперед від його вартості, економічності силової установки та маси. Тому цей показник для автобуса МАЗ дизельного (51,45 грн/км) є приблизно вдвічі вищим, ніж в автобуса «Атаман» (26,13 грн/км), який має меншу вартість та масу за однакової економічності дизеля. Газовий автобус МАЗ також є більш економічно вигідним (44,72 грн/км) за дизельний варіант через меншу ціну палива (дизель 47 грн/л, газ 24 грн/м³).

Разом із тим собівартість перевезення одного пасажирського місця є найменшою в газовому автобусі (0,42 грн/км-пас), трохи вища в тролейбусі (0,45 грн/км-пас), далі йдуть автобуси дизельні

(0,49-0,5 грн/км-пас) та ТЗ з електричними силовими установками (0,6-0,75 грн/км-пас), що викликано переважним впливом вартостей ТЗ, їхньою пасажиромісткістю та потребою врахування вартостей експлуатації контактної мережі.

Питомі прямі витрати на енергоносії визначаються їхньою вартістю та споживанням палива ТЗ (рис. 5). Серед автобусів найменші питомі витрати має автобус «Атаман» (7,52 грн/км) через меншу масу і менший двигун, далі йдуть газовий МАЗ (10,08 грн/км) і дизельний МАЗ (17,86 грн/км), що викликано вдвічі нижчою, на момент дослідження, ціною газу порівняно з дизельним паливом.

Серед ТЗ з електричною тягою мінімальне енергоспоживання має тролейбус звичайний (6,7 грн/км), далі йдуть тролейбус з АКБ (6,79 грн/км, більше через втрати під час підзарядки АКБ і частковий автономний хід 25 %), електробус (7,05 грн/км, більше через втрати під час підзарядки АКБ і повний автономний хід), тролейбус з ДГУ (13,16 грн/км, більше через значні витрати дизельного палива за часткового автономного ходу 25 %).

Виконувались розрахунки питомої вартості експлуатації ТЗ різних типів та питомої вартості енергоносіїв за таких часток автономного ходу: 0 % (відсутність АКБ); 25 % АКБ; 50 % АКБ; 75 % АКБ; 100 % АКБ. При цьому тролейбус звичайний на маршруті не має автономного ходу (0 % АКБ, живлення від контактної мережі), електробус – 100 % автономний хід на маршруті з підзарядкою на зупинках або в кінці зміни від контактної мережі, автобуси не залежать від контактної мережі. Енергоспоживання для цих ТЗ є сталим на всьому маршруті і не залежить від частки автономного ходу. Водночас середнє енергоспоживання на маршруті тролейбусів з ДГУ і тяговою АКБ залежить від величини частки АКБ. Вищеозначене проілюстровано графіками на рис. 7, 8.

На рис. 7 вказані залежності питомої собівартості експлуатації (прямих питомих витрат на перевезення) різних типів ТЗ від величини частки АКБ на маршруті. Як сказано вище, ці витрати для ТЗ без АКБ (тролейбус, електробус, автобуси) є сталими на всьому маршруті і не залежать від частки автономного ходу, що відображено горизонтальними прямими на графіку рис. 8. Конкретні значення цих витрат наведені в таблиці на графіку рис. 8. Ці значення визначаються конструкцією ТЗ і є різними (між 26,13 грн/км для автобуса «Атаман» до 51,46 грн/км у автобуса МАЗ 203). Водночас середні питомі витрати на перевезення на маршруті тролейбусами з ДГУ і тяговою АКБ залежать від величини частки АКБ. Їхнє мінімальне значення за частки АКБ 0 % дорівнює цьому значенню для звичайного тролейбуса (45,52 грн/км) і далі збільшується до 77,44 грн/км за 100 % АКБ для тролейбуса з ДГУ і до 65,93 грн/км для тролейбуса з АКБ. За 100 % АКБ ці ТЗ перетворюються фактично на електробус і гідридний електромобіль. Таке значне підвищення питомих витрат викликано двома факторами. **По-перше**, це збільшення амортизаційної складової ДГУ або АКБ, яка пропорційна частці АКБ, на якій ДГУ і АКБ задіяні (мінімум 0 % і максимум 100 %). **По-друге**, збільшення споживання енергоносія зі збільшенням частки автономного ходу. Тролейбус з ДГУ за 100 % автономного ходу перетворюється на дизельний гібридний автобус зі значно більшим споживанням дизельного палива порівняно зі звичайним автобусом через довгий ланцюжок перетворення енергії палива спочатку на механічну енергію в дизелі, потім на електричну енергію в генераторі, потім – знову на механічну енергію на рух в електродвигуні зі значно меншим сукупним ККД, ніж у дизельному автобусі.

Щодо доцільності застосування тролейбусів з АКБ на маршрутах з частковою відсутністю контактної мережі можна сказати, що такі ТЗ можуть бути замінені на автобуси або електробуси, які є автономними і енергоспоживання яких не залежить від наявності або відсутності контактної мережі (графік енергоспоживання є горизонтальною прямою). Але якщо орієнтуватись на **собівартість експлуатації з урахуванням амортизації** (рис. 7), існує зона, **приблизно 25-30 % АКБ**, в якій питома вартість експлуатації ТЗ з АКБ є меншою, ніж для автобусів подібних розмірів.

На рис. 8 показані залежності питомої собівартості енергоспоживання різних типів ТЗ від величини частки АКБ на маршруті. Як зазначалось раніше, енергоспоживання ТЗ без засобів АКБ є сталим на всьому маршруті і не залежить від частки автономного ходу. Водночас середнє енергоспоживання на маршруті тролейбусів з ДГУ і тяговою АКБ залежить від величини частки АКБ (рис. 8).

Щодо доцільності застосування ТЗ з АКБ на маршрутах з частковою відсутністю контактної мережі з точки зору **величини енергоспоживання** із рис. 8 видно, що тролейбус з АКБ для АКБ має енергоспоживання дещо більше звичайного тролейбуса (7,05 грн/км проти 6,7 грн/км за 100 % АКБ) і однакове з електробусом за 100% АКБ. Тобто на маршрутах з частковою відсутністю контактної мережі використання електробусів або тролейбусів з АКБ для АКБ є вигідним для будь-якої частки відсутності контактної мережі. Використання тролейбусів з АКБ для АКБ визначається лише технічною можливістю забезпечити необхідний пробіг на АКБ за зміну або між підзарядками на

маршруті. Стосовно тролейбусів з ДГУ, як зазначалось вище, споживання ними палива стрімко зростає (рис. 8) зі збільшенням частки АХ. Але за умов, що вивчаються, використання тролейбусів з ДГУ з точки зору енергоспоживання є економічно вигідним порівняно з газовим автобусом до приблизно 10 % АХ, а з автобусом дизельним – з приблизно до 40 % АХ.

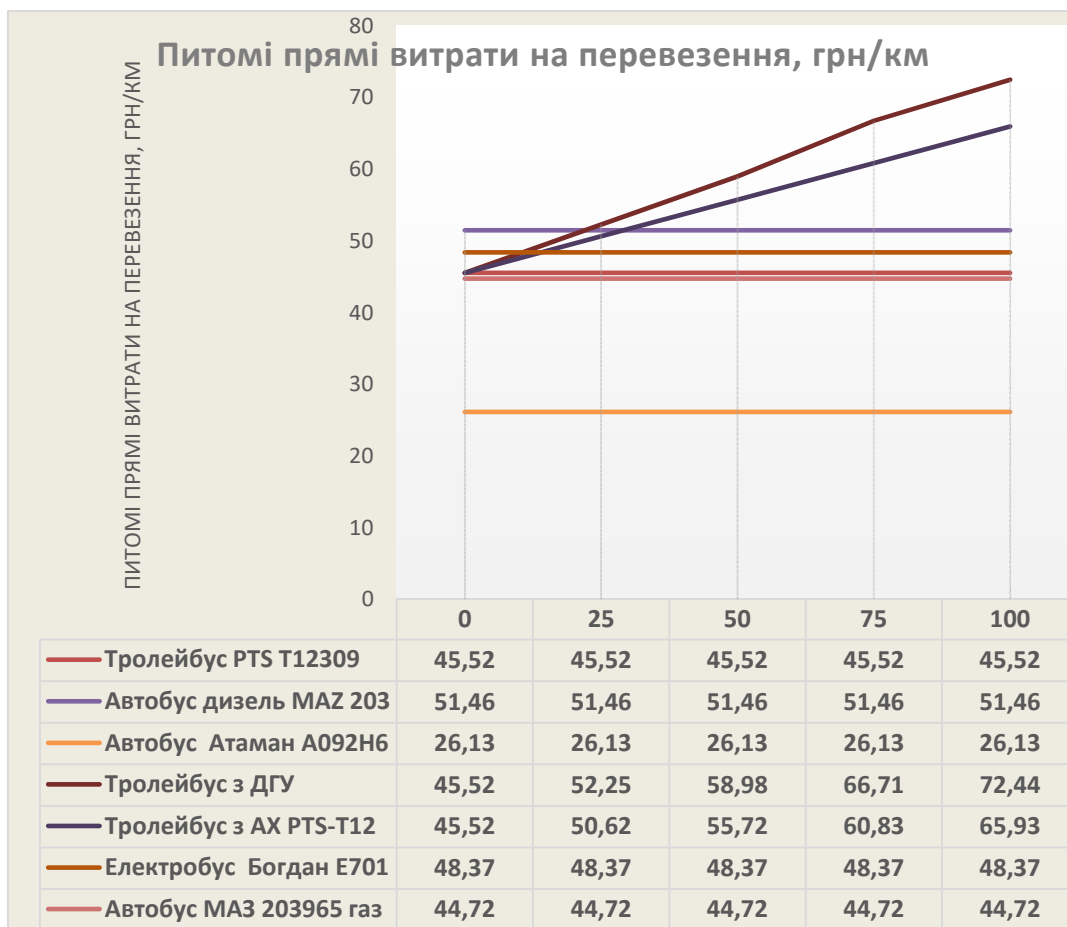


Рисунок 7 – Собівартості експлуатації деяких пасажирських КТЗ за різних часток автономного ходу 0, 0,25, 0,50, 0,75 та 100 %

Figure 7 – Some passenger transport vehicles operating costs at different rates of autonomous running: 0, 0.25, 0.50, 0.75 and 100 %

Виконувалось порівняння ефективності використання різних типів транспортних засобів на визначеному маршруті з відомими пасажиропотоком та швидкістю сполучення. Методика передбачає розрахунок прямих експлуатаційних витрат на пасажирські перевезення, що дозволяє оцінити доцільність використання певних типів і видів пасажирських КТЗ.

Кількість рухомого складу, який має бути випущений на маршрут, визначається за відомими методиками [11, 12], що базуються на показниках інтенсивності пасажиропотоку, пасажиромісткості транспортного засобу, інтервалу руху та швидкості сполучення. Також враховувались окремі вимоги нормативно-правових актів [13, 14]. Як правило, визначається кількість рухомого складу, яку треба випустити на маршрут у пікові та непікові години доби через нерівномірність пасажиропотоку. Економічні питання тут не розглядаються.

Економічна ефективність будь-яких заходів зазвичай визначається за певний період часу. Це може бути рік, квартал, місяць. За цей період розраховуються або фіксуються такі інтегральні показники, як дохід, витрати, прибуток. Мінімальним часом оптимізації для даного дослідження визначимо **добу**, тому що це технологічно зрозуміла мінімальна частина процесу перевезень, яка є складовою більших проміжків часу. Зазвичай ефективність будь-яких заходів оцінюється річними показниками. Для вибору оптимальної кількості та типу рухомого складу будемо базуватись на кількості перевезених пасажирів на цьому маршруті за рік (або період). Оскільки пасажирський транспорт працює кожен день, то можна визначити середню кількість перевезених пасажирів за добу на даному маршруті, розділивши річну кількість перевезених пасажирів на кількість днів у році (або періоді часу, що розглядається).

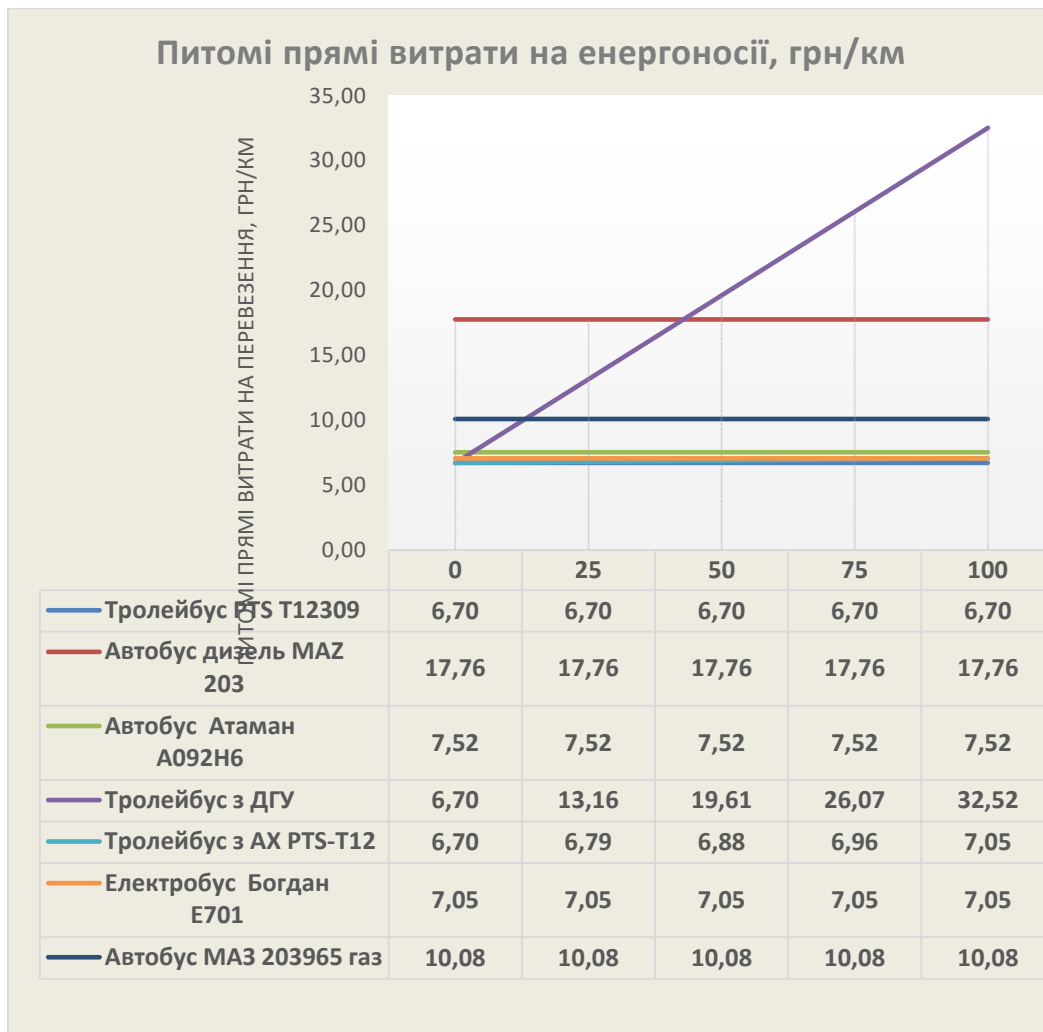


Рисунок 8 – Собівартості енергоспоживання деяких пасажирських КТЗ за різних часток автономного ходу 0, 0,25, 0,50, 0,75 та 100 %
 Figure 8 – Energy consumption costs for some passenger vehicles at different rates of autonomous running: 0, 0.25, 0.50, 0.75 and 100 %

Як суттєві характеристики маршруту використаємо такі параметри:

- довжина маршруту DM ;
- час роботи за добу (час оптимізації) T_{on} ;
- кількість перевезених пасажирів P ;
- середня швидкість руху $Ш_г$;
- середня кількість перевезених пасажирів за добу $KП_д$;

Характеристики ТЗ:

- пасажиромісткість ТЗ $П_{мз}$;
- питома вартість енергоносія на км $ПВЕ$;
- прямі питомі витрати на перевезення (на експлуатацію ТЗ) $ППВ$.

Алгоритм розрахунків наступний:

1) визначимо тривалість оборотного рейсу як відношення довжини маршруту у двох напрямках до середньої швидкості руху ТЗ:

$$T_{op} = DM / Ш_г; \quad (1)$$

2) визначимо кількість оборотів за добу як відношення часу оптимізації (роботи за добу) до тривалості оборотного рейсу:

$$K_{об} = T_{он} / T_{оп}; \quad (2)$$

3) визначимо середню кількість перевезених пасажирів за оборотний рейс як відношення кількості перевезених пасажирів за добу до кількості оборотів:

$$KП_{оп} = KП_{д} / K_{об}; \quad (3)$$

4) визначимо потрібну кількість ТЗ на маршруті як відношення кількості перевезених пасажирів за оборотний рейс до пасажиромісткості ТЗ:

$$K_{мз} = KП_{оп} / П_{мз}; \quad (4)$$

5) визначимо інтервал руху між ТЗ як відношення тривалості оборотного рейсу до кількості ТЗ на маршруті:

$$IP = 60 \cdot T_{оп} / K_{мз}; \quad (5)$$

6) визначимо сукупний пробіг всіх ТЗ на маршруті за добу як добуток довжини маршруту, кількості оборотних рейсів за добу та кількості транспортних засобів:

$$ППС = ДМ \cdot K_{об} \cdot K_{мз}; \quad (6)$$

7) визначимо витрати на енергоносії за добу (час оптимізації) як добуток сукупного добового пробігу всіх ТЗ на маршруті на питому вартість енергоносія на км пробігу:

$$V_{ен} = ППС \cdot ПВЕ; \quad (7)$$

8) визначимо прямі витрати на перевезення за добу на маршруті як добуток сукупного добового пробігу на питомі прямі витрати на перевезення (експлуатацію ТЗ):

$$ПВП_{ер} = ППС \cdot ППВ. \quad (8)$$

Економічний ефект від використання тих чи інших ТЗ на маршруті зазвичай оцінюють порівнянням прямих витрат на експлуатацію різних ТЗ на маршруті за певний період часу – рік, квартал, місяць, або інший. Ці періоди характеризуються кількістю днів роботи транспортного засобу (наприклад за рік 365 днів роботи). Тому сукупні витрати на перевезення або на енергоносії підраховують як добуток значень таких витрат за добу на кількість днів роботи за період.

На рис. 9 наведений приклад порівняння добових витрат на дизельне паливо на маршруті довжиною 10 км з кількістю перевезених пасажирів за добу 6000 осіб транспортними засобами різної пасажиромісткості відповідно до їхньої класифікації в табл. 1. У даному прикладі у межах класу КТЗ для кожного транспортного засобу пасажиромісткість приймалась як середнє значення між границями класу.

Таблиця 1 – Спрощена класифікація транспортних засобів залежно від номінальної місткості ТЗ (для міських умов)

Table 1 – Simplified vehicles classification depending on the vehicle nominal capacity (for urban conditions)

Клас КТЗ категорії М ₂ класу А та М ₃ класу І	Клас	Номінальна місткість, осіб
Особливо малої місткості	ОМВ	15-30
Малої місткості	МВ	30-70
Середньої місткості	СВ	70-100
Великої місткості	ВВ	100-130
Особливо великої місткості	ОВВ	130-190



Рисунок 9 – Порівняння вартостей спожитого дизельного палива транспортними засобами різної пасажиромісткості та інтервалів руху на маршруті 10 км за добу
 Figure 9 – Comparison of costs for diesel fuel consumed by vehicles of different passenger capacities and driving intervals on a route of 10 km per day

Аналіз графіків показує, що сукупна вартість спожитого палива під час перевезення однакової кількості пасажирів зменшується зі збільшенням пасажиромісткості ТЗ. Але одночасно збільшується інтервал руху між ТЗ на маршруті. Так, за пасажиромісткості ТЗ у 22 пас. для перевезення 6000 пасажирів за добу необхідно 7,58 одиниць ТЗ. При цьому інтервал руху складе 4 хвилини, а вартість спожитого палива 23072,3 грн. Зі збільшенням пасажиромісткості ТЗ до 160 осіб вартість спожитого палива зменшиться до 6678,9 грн, але для забезпечення перевезень буде потрібно 1,04 одиниці ТЗ, за яких інтервал руху складе 28,8 хвилин. Тут організатори перевезень мають шукати компроміс між вартістю, екологічністю та зручностями для пасажирів.

На рис. 10 наведений приклад порівняння прямих витрат на перевезення 6000 пасажирів на маршруті 10 км за добу різними типами ТЗ, які розглядалися раніше.

За величиною прямих витрат на перевезення вартість використання ТЗ на маршруті від меншої до більшої виглядає так (рис. 10): автобус МАЗ газовий, тролейбус, автобус МАЗ дизельний, автобус «Атаман», електробус, тролейбус з АКБ для АХ, тролейбус з ДГУ для АХ. Пояснити таке розташування можна, проаналізувавши результати розрахунку в таблиці на рис. 2 та графіки на рис. 9-10.

Порівняння витрат на енергоносії для різних типів транспортних засобів на маршруті за добу також показано на рис. 10. За вартістю енергоносіїв ТЗ ранжуються так: тролейбус, тролейбус з АКБ для АХ, електробус, автобус МАЗ газовий, автобус «Атаман», автобус МАЗ дизельний, тролейбус з

ДГУ для АХ. Таке розташування викликане переважним впливом вартості енергоносія: електроенергія та газ є дешевшими за дизельне паливо.



Рисунок 10 – Порівняння прямих витрат на експлуатацію ТЗ та на енергоносії для різних типів транспортних засобів на маршруті 10 км за добу
Figure 10 – Comparison of direct vehicle operating costs and energy costs for different types of vehicles on a route of 10 km per day

Висновки.

Запропоновані методики можуть бути застосовані підприємствами комунального транспорту та міськими адміністраціями для визначення доцільності використання автобусів та тролейбусів з різними видами силових установок на маршрутах з частковою відсутністю контактної мережі, де використовується транспортний засіб з автономним ходом.

Перспективи подальшого дослідження.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення методики за напрямом оцінки ризиків та інших факторів і розрахунків конкретних варіантів транспортного процесу для розуміння впливу різних параметрів на собівартість та надійність діяльності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 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. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – № 2 (86) – С. 3-12. – Режим доступу: <http://ten.ztu.edu.ua/issue/view/13186>.
2. 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) 2022. – С. 15-25. DOI: 10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25.
3. 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>.
4. 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. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55). – С. 12-23. – (doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-012-023). – Режим доступу: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/55/012.pdf>.
5. Методика розрахунку тарифів на послуги пасажирського автомобільного транспорту (затв. наказом Міністерства транспорту та зв'язку України 17.11.2009 № 1175, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 27 листопада 2009 р. № 1146/17162) // Офіційний вісник України від 18.12.2009. – 2009. – № 95. – С. 168. – Ст. 3290.
6. Порядок формування тарифів на послуги міського електричного транспорту (трамвай, тролейбус) (затв. наказом Міністерства інфраструктури України 25.11.2013 № 940, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 28.11.2013 р. за № 2035/24567) // Офіційний вісник України від 20.12.2013. – 2013. – № 96. – С. 213. – Ст. 3572.
7. В Україні експлуатуються наступні марки міських газових автобусів. – Режим доступу: <https://avtek.ua/ua/c-avtobusy-gorodskie>.
8. 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>.
9. Розбіг цін на тролейбуси в Україні. – Режим доступу: <http://nashigroshi.org/2018/04/20/rozbih-tsin-na-trolejbusy-v-ukrajini>.
10. Кульбашна Н.І. Організація експлуатації міського електротранспорту: конспект лекцій для здобувачів усіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка, освітньої програми «Електромеханіка» / Н.І. Кульбашна; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2021. – 133 с.
11. Методичні рекомендації до проведення розрахунково-графічного завдання з навчальної дисципліни «Організація експлуатації міського електротранспорту» (для студентів денної та заочної форм навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка, освітньої програми «Електромеханіка») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Н.І. Кульбашна. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2020. – 30 с.
12. Методичні рекомендації до виконання циклу розрахункових робіт з дисципліни «Взаємодія видів транспорту» для студентів денної форми навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» / Розробники: В.П. Поліщук, О.Я. Коцюк, О.Д. Гульчак, С.О. Котова, О.О. Коляда, О.В. Семенченко, І.А. Виговська, А.А. Корчевська, Л.В. Сауляк. – К.: НТУ, 2020. – 38 с.

13. ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій» (затв. наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 26.04.2019 р. № 104)

14. Правила надання населенню послуг з перевезень міським електротранспортом. Загальні положення (затв. постановою Кабінету Міністрів України від 22.04.1997 р. № 386).

REFERENCES

1. Andrusenko, S.I., Buhaichuk, O.S., Loboda, A.V., Savostin-Kosiak, D.O. (2020). Otsinka vartostei ekspluatatsii transportnykh zasobiv z riznyimi tyypamy sylovykh ustanovok [*Estimation of operating costs of vehicles with different types of power plants*]. Tekhnichna inzheneriia: naukovyi zhurnal – *Technical engineering: A scientific journal*. Vol. 2 (86). P.3-12. Retrieved from: [https://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-3-12](https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-3-12) [in Ukrainian].

2. Andrusenko, S.I., Buhaichuk, O.S., Podpisnov, V.S. (2022). Rozrobka metodyky vyznachennia ekspluatatsiinykh vytrat avtobusiv ta troleibusiv z riznyimi vydamy sylovykh ustanovok [*Development of methods for operating costs calculating for buses and trolleybuses equipped with different types of power plants*]. Naukovo-vyrobnychiy zhurnal «Avtoshliakhovyk Ukrainy» (Avtomobilnyi transport) – *Research and production magazine "Automobile of Ukraine" (Motor transport)*. Vol. 2 (270). P. 15-25. Retrieved from: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25> [in Ukrainian].

3. Andrusenko, S.I., Budnychenko, V.B., & Podpisnov, V.S. (2022). Metodyka otsinky spozhyvannia enerhii elektrobusom ta parametriv tiahovoi akumuliatornoj batarei v umovakh ekspluatatsii [*Methodology for estimating energy consumption for an electric bus and traction battery parameters in operating conditions*]. Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii – *Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*. Vol. 22 (2022). P. 64-71. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.8>. <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/268300/266081> [in Ukrainian].

4. Andrusenko S.I., Ivanushko O.M., Podpisnov V.S., Budnychenko I.V. (2023). Osoblyvosti vyboru rukhomoho skladu miskoho pasazhyrskoho transportu za suchasnykh umov v Ukraini [*Features of rolling stock choice for urban passenger transport in modern conditions in Ukraine*]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Serii "Tekhnichni nauky". Naukovyi zhurnal – *Bulletin of National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal*. Vol. 1(55). P. 12-23. Retrieved from: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-012-023> [in Ukrainian].

5. Tariffs calculation methodology for passenger road transport services: approved by Order of the Ministry of Transport and Communications of Ukraine (November 11, 2009 No. 1175), registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 27.11.2009 under № 1146/17162. *Ofitsiinyi visnyk Ukrainy* (December 18, 2009). 2009. No. 95. 168, 3290 [in Ukrainian].

6. Setting tariffs procedure for urban electric transport services (tram, trolleybus): approved by Order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine (November 25, 2013 No. 940), registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 28.11.2013 under № 2035/24567. *Ofitsiinyi visnyk Ukrainy*. 2013. No. 96. 213, 3572 [in Ukrainian].

7. V Ukraini ekspluatuiutsia nastupni marky miskykh hazovykh avtobusiv [*The following brands of city gas buses are in operation in Ukraine*]. Retrieved from: <https://avtek.ua/ua/c-avtobusy-gorodskie> [in Ukrainian].

8. Voytkiv, S. (2022). Ekonomichni ta sotsialni aspekty rozvytku ta zastosuvannia troleibusiv z avtonomnym rukhom v Ukraini [*Economic and social aspects of development and application of trolleybuses with autonomous running in Ukraine*]. Sotsialno-ekonomichni problemy i derzhava (elektronnyi zhurnal) – *Socio-Economic Problems and the State (electronic journal)*, Vol. 27, no. 2, pp. 3-14. Retrieved from: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2022/22vsvrvu.pdf> [in Ukrainian].

9. Rozbih tsin na troleibusy v Ukraini [*The spread of prices for trolleybuses in Ukraine*]. Retrieved from: <http://nashigroshi.org/2018/04/20/rozbih-tsin-na-trolejbusy-v-ukrajini/> [in Ukrainian].

10. Kulbashna N.I. (2021). Orhanizatsiia ekspluatatsii miskoho elektrotransportu: konspekt leksii dlia zdobuvachiv usikh form navchannia ta slukhachiv druhoi vyshchoi osvity spetsialnosti 141 – Elektroenerhetyka, elektrotekhnika, elektromekhanika, osvithnoi prohramy «Elektromekhanika» [*Organizing of city electric transport operation: lecture synopsis for applicants of all forms of education and students of*

the second higher education, specialty 141 – Electric power engineering, electrical engineering, electromechanics, educational program "Electromechanics"]. O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, 133 p. [in Ukrainian].

11. Kulbashna N.I. (2020). Metodichni rekomendatsii do provedennia rozrakhunkovo-hrafichnoho zavdannia z navchalnoi dystsypliny «Orhanizatsiia ekspluatatsii miskoho elektrotransportu» (dlia studentiv dennoi ta zaochnoi form navchannia ta slukhachiv druhoi vyshchoi osvity spetsialnosti 141 – Elektroenerhetyka, elektrotehnika, elektromekhanika, osvithnoi prohramy «Elektromekhanika») Methodical recommendations for carrying out a calculation and graphic task in the academic discipline [Methodological recommendations for implementation of a calculation and graphic work in the academic discipline "Organization of urban electric transport operation" (for full-time and part-time students and students of the second higher education, specialty 141 – Electric power, electrical engineering, electromechanics, educational program "Electromechanics")]. O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, 30 p. [in Ukrainian].

12. V.P. Polishchuk, O.Ia. Kotsiuk, O.D. Hulchak, S.O. Kotova, O.O. Koliada, O.V. Semenchenko, I.A. Vyhovska, A.A. Korchevska, L.V. Sauliak (2020). Metodichni rekomendatsii do vykonannia tsykladu rozrakhunkovykh robot z dystsypliny «Vzaiemodiia vydiv transportu» dlia studentiv dennoi formy navchannia pershoho (bakalavrskoho) rivnia vyshchoi osvity za spetsialnistiu 275 «Transportni tekhnologii (na avtomobilnomu transporti)» [Methodical recommendations for calculation works cycle implementation in the discipline "Interaction of modes of transport" for full-time students of the first (bachelor's) level of higher education in the specialty 275 "Transport technologies (road transport)"]. Kyiv, National Transport University, 38 p. [in Ukrainian].

13. State building rules B.2.2-12:2019 "Territory Planning and Development": approved by order of the Ministry of Regional Development, Construction, Housing and Communal Services of Ukraine (April 24, 2019 No. 104) [in Ukrainian].

14. Rules for providing public transportation services by urban electric transport. General provisions: approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine Resolution of April 22, 1997 No. 386 [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Андрусенко С.І. Вибір рухомого складу пасажирського транспорту для роботи на міському маршруті / С.І. Андрусенко, В.С. Подпіснєв, І.В. Будниченко, В.С. Дикий // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 3 (57).

У статті викладена методика обґрунтування вибору рухомого складу міського колісного пасажирського транспорту на основі мінімізації вартості експлуатації рухомого складу для роботи на визначеному маршруті та результати розрахунків.

Об'єкт дослідження – процес перевезень пасажирів у містах колісними транспортними засобами різних типів та розмірів.

Мета роботи – розроблення методики обґрунтування доцільності застосування автобуса, тролейбуса чи електробуса на основі мінімізації експлуатаційних витрат на визначеному міському маршруті з частковим автономним ходом.

Методи дослідження – математичне моделювання формування експлуатаційних витрат автобусів та тролейбусів з різними видами силових установок під час використання на маршрутах з частковою відсутністю контактної мережі, де необхідно використовувати автономний хід (АХ).

Виконаний огляд існуючих пасажирських колісних транспортних засобів та запропонована їхня класифікація за пасажиромісткістю. Проаналізований склад експлуатаційних витрат на міські перевезення та визначені такі, що чинять найбільший вплив на собівартість перевезень. Це є: вартості рухомого складу і його складових, енергоносіїв, робочої сили, трудомісткості обслуговування, споживання енергоносіїв, пасажиромісткість ТЗ.

Сформована база вихідних даних для розрахунків. Розроблені методики та програми розрахунку питомих експлуатаційних витрат на 1 км та на 1 пасажиро-кілометр для маршруту з урахуванням потреби в автономному ході та сукупних прямих витрат на перевезення для визначеного маршруту.

У результаті аналізу показано, що наявна суттєва вольтинність значень вартостей складових експлуатації і вибір має робитись для конкретного часу та місця.

За величиною прямих витрат на перевезення на даний момент вартість використання ТЗ на маршруті від меншої до більшої виглядає так: автобус МАЗ газовий, тролейбус, автобус МАЗ дизельний, автобус «Атаман», електробус, тролейбус з АКБ для АХ, тролейбус з ДГУ для АХ. Таке розташування викликано суттєво більшою вартістю ТЗ з засобами автономного ходу і тим, що пасажиромісткість тролейбусів з АХ та електробусів однакових розмірів з автобусами є меншою на 10-15 %.

За вартістю споживаних енергоносіїв на маршруті ТЗ ранжуються так: тролейбус звичайний, тролейбус з АКБ для АХ, електробус, автобус МАЗ газовий, автобус «Атаман», автобус МАЗ дизельний, тролейбус з ДГУ для АХ. Таке розташування викликане переважним впливом вартості енергоносія: електроенергія та газ є дешевшими за дизельне паливо.

Показано, що собівартість експлуатації тролейбуса PTS-T12 з АХ з урахуванням амортизації та інших витрат у зоні приблизно до 25-30 % АХ є меншою ніж дизельного автобуса МАЗ 203, але дещо більшою порівняно з газовим автобусом МАЗ та електробусом Богдан Е701.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕТОД, ОБГРУНТУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИТРАТИ, АВТОБУС, ТРОЛЕЙБУС, ЕЛЕКТРОБУС, АВТОНОМНИЙ ХІД, СИЛОВА УСТАНОВКА, КОНТАКТНА МЕРЕЖА, ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР, АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ, МАРШРУТ, ПАСАЖИРОПОТІК.

ABSTRACT

Andrusenko S.I., Podpisnov V.S., Budnychenko I.V., Dykiy V.S Selection of rolling stock for passenger transportation on a city route. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – К.: NTU, 2023. – Issue 3 (57).

The article presents a methodology for justifying the choice of rolling stock for urban wheeled passenger transport based on minimizing the cost of operating rolling stock for operation on a certain route and the results of calculations.

The object of study is the process of passenger transportation in cities by wheeled vehicles of various types and sizes.

The purpose of the study is to develop a methodology for justifying the feasibility of using a bus, trolleybus or electric bus based on minimizing operating costs on a specific city route with partial autonomous driving.

Research methods – mathematical modeling of operating costs transformation for buses and trolleybuses with different types of power plants when used on routes with partial absence of catenary where it is necessary to use autonomous driving (AD).

The existing passenger wheeled vehicles are reviewed and their classification by passenger capacity is proposed. The composition of operating costs for urban transportation is analyzed and those that have the greatest impact on the cost of transportation are identified. These are the cost of rolling stock and its components, energy, labor, labor intensity of maintenance, energy consumption, and passenger capacity of vehicles.

A database of source data for calculations was formed. Methods and programs for calculating specific operating costs per 1 km and per 1 passenger-kilometer for a route have been developed, taking into account the need for autonomous driving and total direct transportation costs for a particular route.

The analysis shows that there is a significant volatility in the values of operating components costs and the selection should be made for a specific time and place.

In terms of direct transportation costs, the current cost of using a vehicle on a route from lower to higher is as follows: MAZ gas bus, trolleybus, MAZ diesel bus, 'Ataman' bus, electric bus, trolleybus with battery for AD, trolleybus with diesel generator set for AD. This arrangement is caused by the significantly higher cost of vehicles with autonomous driving and the fact that the passenger capacity of trolleybuses with AD and electric buses of the same size as buses is 10-15% lower.

According to the cost of energy consumed on the route, the vehicles are ranked as follows: conventional trolleybus, trolleybus with battery for AD, electric bus, MAZ gas bus, 'Ataman bus', MAZ

diesel bus, trolleybus with diesel engine for AD. This arrangement is caused by the predominant influence of energy cost: electricity and gas are cheaper than diesel fuel.

It is shown that the cost of PTS-T12 trolleybus with AD operation, taking into account depreciation and other costs in the range of about 25-30 % of AD, is lower than that of the MAZ 203 diesel bus but somewhat higher than that of MAZ gas bus and Bogdan E701 electric bus.

KEY WORDS: METHOD, JUSTIFICATION, OPERATING COSTS, BUS, TROLLEYBUS, ELECTRIC BUS, AUTONOMOUS DRIVING, POWER PLANT, CATENARY, DIESEL GENERATOR, BATTERY, ROUTE, PASSENGER FLOW.

АВТОРИ:

Андрусенко Сергій Іванович, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com, тел. +380634720587, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410А, orcid.org/0000-0002-9914-0200.

Подписнов Владислав Сергійович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: vpodpisnov@ukr.net, тел. +380989623871, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0002-8583-1502.

Будниченко Ігор Валерійович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: repair2006@ukr.net, тел. +380674655796, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0003-3073-4913.

Дикий Владислав Сергійович, Національний транспортний університет, студент спеціальності «Автомобільний транспорт», Київ, Україна, e-mail: vladislav.dykyi@gmail.com, тел. +380992679908, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, <https://orcid.org/0009-0003-7084-8672>.

AUTHORS:

Andrusenko Serhii I., Ph.D. in Technical Science, Professor, National Transport University, Head of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com, tel. +380634720587, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410A, orcid.org/0000-0002-9914-0200.

Podpisnov Vladyslav S., National Transport University, Senior Lecturer of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: vpodpisnov@ukr.net, tel. +380989623871, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410, orcid.org/0000-0002-8583-1502.

Budnychenko Ihor V., National Transport University, Doctoral Student of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: repair2006@ukr.net, tel. +380674655796, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410, orcid.org/0000-0003-3073-4913.

Dykyi Vladyslav S., National Transport University, student majoring in "Road Transport", Kyiv, Ukraine, e-mail: vladislav.dykyi@gmail.com, tel. +380992679908, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410, <https://orcid.org/0009-0003-7084-8672>.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Далека В.Х., доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, професор кафедри електричного транспорту, Харків, Україна.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Daleka V.Kh., Doctor of Technical Science, Professor, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Professor of the Department of Electric Transport, Kharkiv, Ukraine.

Sakhno V.P., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of the Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.