

ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ РУХОМОГО СКЛАДУ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЗА СУЧАСНИХ УМОВ В УКРАЇНІ

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

Іванушко О.М., доктор філософії, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.ivanushko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-3759-5856

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

FEATURES OF ROLLING STOCK CHOICE FOR URBAN PASSENGER TRANSPORT IN MODERN CONDITIONS IN UKRAINE

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

Ivanushko O.M., Ph.D, National Transport University, Kyiv, Ukraine, o.ivanushko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-3759-5856

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

Постановка проблеми.

У містах рухомий склад пасажирського транспорту поступово зношується і підлягає заміні. Також певна частина транспортних засобів (ТЗ) на теперішній час в Україні зруйнована внаслідок воєнних дій. Виникає питання: який вид рухомого складу обирати для використання в якості міського пасажирського транспорту з міркувань економічності, екологічності та надійності функціонування всієї транспортної мережі?

Для перевезення пасажирів у містах існують наступні види колісних нерейкових транспортних засобів з різними видами силових установок, що забезпечують рух: автобуси дизельні; автобуси газові; електробуси; колісні транспортні засоби з іншими типами акумуляторів енергії (механічні маховики, суперконденсатори та інші, не менш екзотичні); тролейбуси з живленням від контактної мережі; тролейбуси з комбінованими установками, що забезпечують автономний хід. Серед останніх можна виділити тролейбуси з тяговою акумуляторною батареєю та тролейбуси з дизель-генератором.

Ці транспортні засоби відрізняються вартістю, енергоспоживанням, витратами в експлуатації, надійністю транспортного процесу та екологічністю.

Виникає питання критеріїв вибору видів рухомого складу.

Аналіз відомих нам публікацій показує, що проблемі використання різних видів рухомого складу на маршрутах, які вимагають часткового автономного ходу, що є властивим великим містам, особливо з пошкодженою інфраструктурою (тролейбусів з автономним ходом, електробусів, автобусів), присвячена велика кількість публікацій, наприклад [1...**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], в яких розглядалися різні аспекти експлуатації цих ТЗ. Але роботи, спрямовані на розробку детальної методики оцінки економічної ефективності використання таких ТЗ на маршрутах з урахуванням ризиків функціонування такої системи, нам невідомі.

Слід зазначити, що перераховані дослідження були спрямовані на вирішення конкретних проблем для умов, що є відмінними від існуючих на теперішній момент у містах України.

Метою даного дослідження є розробка методики вибору рухомого складу міського пасажирського транспорту за сучасних умов в Україні на основі вартості експлуатації рухомого складу та врахування ризиків для забезпечення надійності транспортного процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Під час дослідження використовувалася методика, описана в [8, 9].

Критеріями вибору напрямів розвитку транспортної інфраструктури міст та придбання рухомого складу пасажирських перевезень мають бути екологічність, економічна ефективність, зручність, надійність та перспективність обраних рішень.

Пропонується одними з критеріїв вибору видів рухомого складу обрати економічну ефективність експлуатації та забезпечення надійності транспортного процесу. Економічна ефективність у цьому дослідженні оцінювалася питомими прямими витратами на експлуатацію рухомого складу пасажирського транспорту в грн/км [8, 9].

Порівнювались витрати на експлуатацію таких видів пасажирських транспортних засобів, як тролейбуси з живленням від контактної мережі, тролейбуси з автономним ходом, що живляться як від контактної мережі, так і від акумуляторної батареї (АКБ) або встановленої дизель-генераторної установки (ДГУ), автобуси дизельні та газові. При цьому для виключення впливу всіх інших факторів обирався рухомий склад однакової пасажиромісткості та довжини, який експлуатується в одному або ідентичних за обсягами діяльності підприємствах міського пасажирського транспорту на одному або подібних маршрутах.

Також окремо оцінювався вплив вартості транспортного засобу на експлуатаційні витрати, оскільки вартість впливає на розмір амортизаційних відрахувань, які є складовою калькуляції витрат на експлуатацію.

Як складові експлуатаційних витрат розглядались:

- 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 час їхнього використання на маршруті відрізняється від часу 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 та шини.

Виконувався порівняльний аналіз витрат на експлуатацію наступних типів рухомого складу: тролейбус типу ЗИУ-682; автобус МАЗ з дизелем; автобус МАЗ газовий; тролейбус з ДГУ новий; тролейбус з ДГУ з капітального ремонту (майже в два рази дешевший); тролейбус з тяговою АКБ.

Розрахунок прямих витрат на експлуатацію ТЗ виконувався з використанням методик, описаних у [8, 9].

Розроблена програма розрахунку питомих експлуатаційних витрат на 1 км у програмному продукті Microsoft Excel для маршруту з частковим автономним ходом.

Для виявлення переважного впливу вартості енергоносіїв на питомі експлуатаційні витрати виконувався розрахунок для тролейбусного маршруту з 25 % автономного ходу за однакових вартостей рухомого складу. Такий маршрут розглядався як характерний для міст, на якому можуть використовуватись усі перераховані вище типи рухомого складу пасажирських перевезень, обрані для порівняння.

Також, для виявлення сукупного впливу вартостей рухомого складу та енергоносіїв оцінювалася питома вартість експлуатації за різних цін рухомого складу. Розрахунки виконувались за трьома варіантами:

- 1) однакові вартості одиниці рухомого складу (5 млн грн) та ціни на енергоносії у 2021 році;
- 2) однакові вартості одиниці рухомого складу (5 млн грн) та ціни на енергоносії у жовтні 2022 року;
- 3) орієнтовні ринкові ціни одиниці різних типів рухомого складу та поточні ціни на дизельне паливо та газ.

Результати розрахунків показали, що транспортні засоби за питомою вартістю експлуатації від меншої до більшої розташувались наступним чином:

Варіант 1: електробус, автобус газовий, автобус з дизелем, тролейбус з тяговою АКБ, тролейбус з дизель-генератором (рисунок 1).

Варіант 2: електробус, автобус газовий, тролейбус з тяговою АКБ, тролейбус з дизель-генератором, автобус з дизелем (рисунок 2).

Варіант 3: тролейбус з тяговою АКБ, автобус газ, електробус, автобус з дизелем, тролейбус з дизель-генератором (рисунок 3).

№	Показники	Тип транспортного засобу (ТЗ)						
		Тролейбус	Автобус дизель	Трол. ДГУ новий	Трол. ДГУ після КР	Тролейбус з АКБ новий	Електробус	Автобус газ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Первісна/переоцінена вартість ТЗ, т.грн	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
3	Залишкова вартість ТЗ, тис.грн	500	500	500	500	500	500	500
4	Пасажиромісткість, пас.							
5	Середня швидкість на маршруті, км/год	20	20	20	20	20	20	20
6	Споряджена / повна маса, т.	18	18	18	18	18	18	18
7	Термін корисного використання ТЗ, рок.	7	7	7	7	7	7	7
8	Вартість ДГУ або АКБ, тис.грн			2000	2000	1500	1500	
9	Ресурс, мотогодина, циклів			23000	23000	20000	20000	
10	Пробіг за 1 цикл зарядки, км					20	20	
11	Витрати електроенергії на тягу, кВт-год/км	2,5		2,5	2,5	2,5	2,5	
12	Витрати палива при роботі на маршруті, л(м3)/100км		38	69,2	69,2			42
13	Витрати палива ДГУ, л/мотогодину			13,84	13,84			
14	Вартість дизель-газ пального, грн/л(м3)		28	28	28			18
15	Вартість електроенергії, грн/квт-год	2,29		2,29	2,29	2,29	2,29	
16	Середньодобовий пробіг, км	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2
17	Час простоя ТЗ в ТО та Р на 1000км	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
18	Коефіцієнт техніч. год. (К.Т.Г.) РС	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
19	Річний пробіг одиниці РС, тис.км	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926
20	Частка маршруту на автономній ході	0,000	0,000	0,250	0,250	0,250	0,250	0,000
21	Пит. трудоміст. ТО ТЗ, люд-год/1000км	25	15,3	25	25	25	25	18,3
22	Пит. трудоміст. Ремонт ТЗ, л-год/1000км	8	11	8	8	8	8	11,83
23	Пит. трудом. ТО Р ДГУ, л-год/1000мото-год			12,5	12,5			
24	Пит. трудом. ТО Р ДГУ, л-год/1000км			0,625	0,625			
25	Питома труд. ТО АКБ, л-год/1000км					0,5	0,5	
26	Зарплата водія, грн	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
27	Зарплата контролера-касира, грн	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
28	Зарплата рем.робітника, грн	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
29	Суккупна вартість в н-год ТО та Р, грн	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67
30	Кількість колес на ТЗ	6	6	6	6	6	6	6
31	Вартість однієї шини, грн	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700
32	Норма пробігу шини, тис.км	70	70	70	70	70	70	70
33	Питомі витрати на утримання тягової підстанції та конг-каб мережі, грн/км			4,32	4,32	5,76	0	
34	Інші питомі прямі витрати, тис.грн	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
35	Інші питомі прямі витрати, тис.грн	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
36	Результати розрахунків питомих витрат на експлуатацію різних типів транспортних засобів							
37	Питомі прямі витрати на перевезення грн/км	37,52	36,66	40,96	40,96	38,63	32,87	33,82

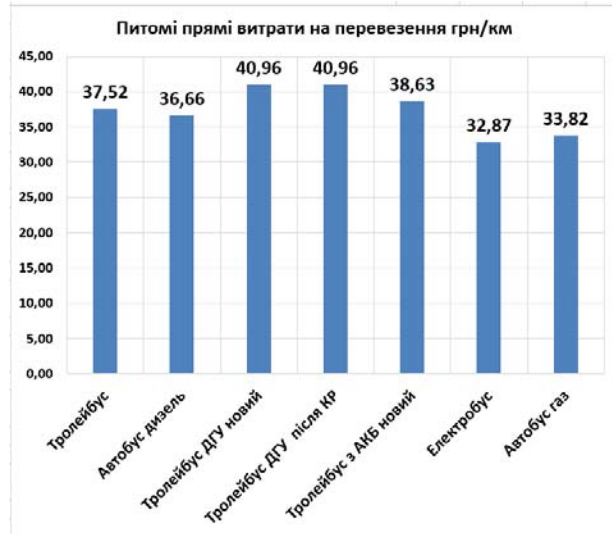


Рисунок 1 – Питомі прямі витрати на перевезення за однакових вартостей одиниці рухомого складу 5 млн грн та цін на енергоносії у 2021 році (Варіант 1)
 Figure 1 – Direct unit transportation costs at the same cost of a rolling stock unit UAH 5 million and energy prices in 2021 (Option 1)

№	Показники	Тип транспортного засобу (ТЗ)						
		Тролейбус	Автобус дизель	Трол. ДГУ новий	Трол. ДГУ після КР	Тролейбус з АКБ новий	Електробус	Автобус газ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Первісна/переоцінена вартість ТЗ, т.грн	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
3	Залишкова вартість ТЗ, тис.грн	500	500	500	500	500	500	500
4	Пасажиромісткість, пас.							
5	Середня швидкість на маршруті, км/год	20	20	20	20	20	20	20
6	Споряджена / повна маса, т.	18	18	18	18	18	18	18
7	Термін корисного використання ТЗ, рок.	7	7	7	7	7	7	7
8	Вартість ДГУ або АКБ, тис.грн			2000	2000	1500	1500	
9	Ресурс, мотогодина, циклів			23000	23000	20000	20000	
10	Пробіг за 1 цикл зарядки, км					20	20	
11	Витрати електроенергії на тягу, кВт-год/км	2,5		2,5	2,5	2,5	2,5	
12	Витрати палива при роботі на маршруті, л(м3)/100км		38	69,2	69,2			42
13	Витрати палива ДГУ, л/мотогодину			13,84	13,84			
14	Вартість дизель-газ пального, грн/л(м3)		57	57	57			27
15	Вартість електроенергії, грн/квт-год	2,29		2,29	2,29	2,29	2,29	
16	Середньодобовий пробіг, км	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2
17	Час простоя ТЗ в ТО та Р на 1000км	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
18	Коефіцієнт техніч. год. (К.Т.Г.) РС	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
19	Річний пробіг одиниці РС, тис.км	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926
20	Частка маршруту на автономній ході	0,000	0,000	0,250	0,250	0,250	0,250	0,000
21	Пит. трудоміст. ТО ТЗ, люд-год/1000км	25	15,3	25	25	25	25	18,3
22	Пит. трудоміст. Ремонт ТЗ, л-год/1000км	8	11	8	8	8	8	11,83
23	Пит. трудом. ТО Р ДГУ, л-год/1000мото-год			12,5	12,5			
24	Пит. трудом. ТО Р ДГУ, л-год/1000км			0,625	0,625			
25	Питома труд. ТО АКБ, л-год/1000км					0,5	0,5	
26	Зарплата водія, грн	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
27	Зарплата контролера-касира, грн	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
28	Зарплата рем.робітника, грн	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
29	Суккупна вартість в н-год ТО та Р, грн	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67
30	Кількість колес на ТЗ	6	6	6	6	6	6	6
31	Вартість однієї шини, грн	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700
32	Норма пробігу шини, тис.км	70	70	70	70	70	70	70
33	Питомі витрати на утримання тягової підстанції та конг-каб мережі, грн/км			4,32	4,32	5,76	0	
34	Інші питомі прямі витрати, тис.грн	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
35	Інші питомі прямі витрати, тис.грн	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
36	Результати розрахунків питомих витрат на експлуатацію різних типів транспортних засобів							
37	Питомі прямі витрати на перевезення грн/км	37,52	48,51	46,36	46,36	38,63	32,87	37,88

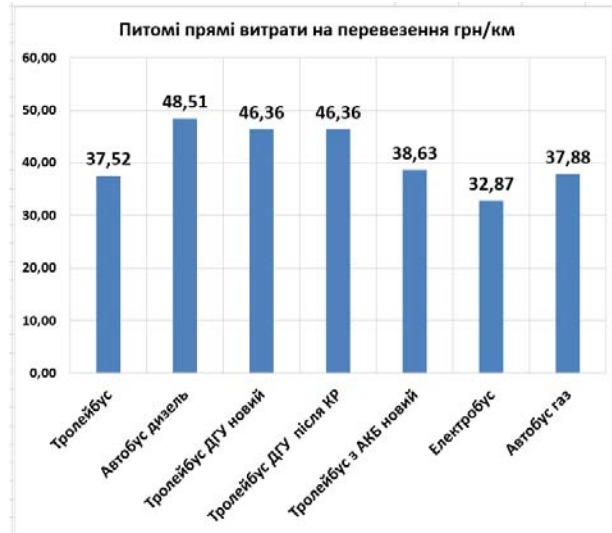


Рисунок 2 – Питомі прямі витрати на перевезення за однакових вартостей одиниці рухомого складу 5 млн грн та цін на енергоносії у жовтні 2022 року (Варіант 2)
 Figure 2 – Direct unit transportation costs at the same cost of a rolling stock unit UAH 5 million and energy prices in October 2022 (Option 2)

№	Показники	Тип транспортного засобу (ТЗ)						
		Тролейбус	Автобус дизель	Трол. ДГУ новий	Трол. ДГУ після КР	Тролейбус з АКБ новий	Електробус	Автобус газ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Порівняльна/пероцінена вартість ТЗ, т.грн	3000	3500	9000	4300	3500	3500	6000
3	Залишкова вартість ТЗ, тис.грн	500	500	500	500	500	500	500
4	Пасажирамисткість, пас.							
5	Спр. швидкість на маршруті, км/год	20	20	20	20	20	20	20
6	Спорядження / нова маса, т.	18	18	18	18	18	18	18
7	Термін корисного використання ТЗ, рок.	7	7	7	7	7	7	7
8	Вартість ДГУ або АКБ, тис.грн			2000	2000	1500	1500	
9	Ресурс, мотогонд, циклів			23000	23000	20000	20000	
10	Пробіг за 1 цикл зарядки, км					20	20	
11	Витрати електроенергії на тягу,квт-год/км	2,5		2,5	2,5	2,5	2,5	
12	Витрати палива при роботі на маршруті, л(м3)/100км		38	69,2	69,2			42
13	Витрати палива ДГУ, л/мотогодину			13,84	13,84			
14	Вартість дизель/газ пального, грн/л(м3)		57	57	57			27
15	Вартість електроенергії, грн/квт-год	2,29		2,29	2,29	2,29	2,29	
16	Середньодобовий пробіг, км	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2
17	Час простоя ТЗ в ТО та Р на 1000км	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
18	Коефіцієнт тех.гог. (КІТ) РС	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
19	Річний пробіг оцінки РС, тис.км	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926
20	Частка маршруту на автономні ходи	0,000	0,000	0,250	0,250	0,250	0,250	0,000
21	Пит. трудоміст. ТО ТЗ, год/1000км	25	15,3	25	25	25	25	18,3
22	Пит. Трудоміст. Ремонт ТЗ, л-год/1000км	8	11	8	8	8	8	11,83
23	Пит.трудом. ТО Р ДГУ, л-год/1000мото-год			12,5	12,5			
24	Пит.трудом. ТО Р ДГУ, л-год/1000км			0,625	0,625			
25	Питома труд.ТО АКБ, л-год/1000км					0,5	0,5	
26	Зарплата водія, грн	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
27	Зарплата контролера-касира, грн	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
28	Зарплата рем.робітника, грн	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
29	Сумарна вартість 1 н-год ТО та Р, грн	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67
30	Кількість колес на ТЗ	6	6	6	6	6	6	6
31	Вартість оцінки шин, грн	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700
32	Норма пробігу шин, тис.км	70	70	70	70	70	70	70
33	Питома витрати на управління тяговою							
34	підстанції та конг-каб мережі, грн/км	5,76		4,32	4,32	5,76	0	
35	Інші питомі прямі витрати, тис.грн	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
36	Результати розрахунків питомих прямих витрат на експлуатацію різних типів транспортних засобів							
37	Питома прямі витрати на перевезення грн/км	37,52	49,81	56,76	45,05	39,93	41,97	40,48

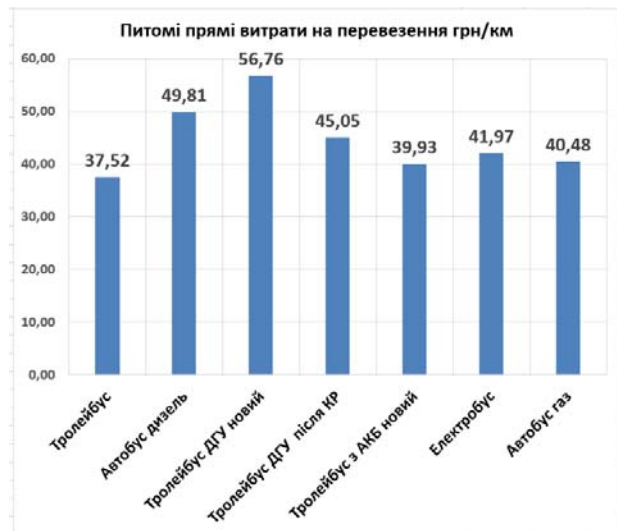


Рисунок 3 – Питомі прямі витрати на перевезення за теперішніх орієнтовних ринкових цін одиниці різних типів рухомого складу та поточних цін на дизельне паливо та газ (Варіант 3)
Figure 3 – Direct unit transportation costs at current estimated unit market prices of different rolling stock types and current diesel and gas prices (Option 3)

Розрахунки показали, що вибір має робитись для конкретного часу та місця. На теперішній момент за існуючого співвідношення цін на рухомий склад і енергоносії вигідним на маршрутах з частковим автономним ходом є використання тролейбусів з АКБ (питомі витрати на перевезення приблизно 40 грн/км), газових автобусів (40,5 грн/км), електробусів (42 грн/км), автобусів з дизелем (50 грн/км).

Але на цей час важливим є питання надійності постачання та вартості різних енергоносіїв (електрична енергія, дизельне паливо або газ), які важко піддаються прогнозуванню. Такі ризики можна оцінити ймовірністю відсутності певного виду енергоносія або стабільності вартості окремих складових процесу перевезень. Ймовірність відсутності, наприклад, електропостачання може бути розрахована як відношення часу передбачуваної відсутності енергоносія до загального часу роботи пасажирського транспорту. За таких умов рішення щодо вибору певного виду рухомого складу треба приймати з урахуванням величини таких ризиків. За значних ризиків видається, що використання автобусів на газовому або дизельному паливі є більш обґрунтованим і надійним, що підтверджується заміною в Києві тролейбусів та трамваїв на їхніх маршрутах автобусами.

Існує безліч різних видів ризиків, які можуть вплинути на бізнес і поведінку людей у різних сферах життя, наприклад фінансові, операційні, репутаційні, юридичні, природні, політичні, соціальні, цінові та інші.

Також є кілька ризиків зміни цін на складові перевізного процесу, серед яких:

- ризик зміни цін на паливо. Паливо є однією з основних складових витрат на експлуатацію транспортних засобів, а зміна цін на паливо може істотно вплинути на вартість перевезення;
- ризик зміни цін на запчастини та обладнання. Технічне обслуговування та ремонт транспортних засобів також є значними транспортними витратами. Зміна цін на запчастини та обладнання може призвести до зростання витрат на обслуговування і ремонт транспорту;
- ризик зміни тарифів на дорогах. Дороги є основною інфраструктурою для перевезень, а зміна тарифів на дороги може призвести до значного зростання транспортних витрат;
- ризик зміни цін на страхування. Страхування транспортних засобів і вантажів також є значною статтею транспортних витрат, і зміна цін на страхування може призвести до значного зростання витрат;
- курсовий ризик. Багато складових транспортних витрат, такі як паливо, деталі та обладнання, можуть бути придбані за кордоном і оплачені в іноземній валюті. Зміни курсів валют можуть істотно вплинути на вартість цих складових і, відповідно, на вартість перевезення в цілому.

З нашої точки зору на теперішній момент ці ризики є відносно стабільними та прогнозованими і на короткому проміжку часу не впливають на зміну прийнятих управлінських рішень.

Водночас існує значний ризик нестачі або зникнення певного виду енергоносія, особливо електроенергії, через можливе знищення елементів критичної інфраструктури внаслідок ракетних обстрілів. Спробуємо оцінити такий ризик.

Розрахунок ризиків нестачі енергоносіїв у процесі транспортування може бути виконаний наступними етапами:

1. Визначити витрати на енергію, необхідну для експлуатації транспорту. Включити в розрахунок витрати на паливо, електроенергію, газ та інші енергоносії, які використовуються в процесі транспортування.

2. Визначити частку енергетичних витрат у загальній вартості транспортування. Ця пропорція може змінюватися залежно від виду транспорту і умов експлуатації.

3. Оцінити ймовірність відсутності енергії в процесі транспортування. Сюди можна віднести аналіз ризиків, пов'язаних з енергопостачанням, станом інфраструктури, політичною та економічною ситуацією в регіоні та іншими факторами.

4. Визначити потенційну шкоду, яка може бути викликана нестачею енергії. Сюди можна віднести втрату доходів від невдалих поставок, збільшення витрат на пошук альтернативної енергетики, загальні втрати суспільства, штрафи та інші витрати.

5. Розрахувати ймовірні втрати від нестачі енергії, помноживши вартість енергії на частку енергетичних витрат та ймовірність відсутності енергоносіїв. Це може допомогти визначити обсяг необхідних резервних коштів або додаткові заходи безпеки, які можуть допомогти знизити ризики від нестачі енергії в процесі транспортування.

Існують математичні вирази для розрахунку ризиків, пов'язаних з нестачею енергії у процесі транспортування. В цілому розрахунок ризиків здійснюється за допомогою ймовірнісних моделей, які враховують ймовірність виникнення ризику і його можливі наслідки.

Для розрахунку ризиків відсутності енергоносіїв у процесі транспортування можуть використовуватися наступні математичні вирази.

Ймовірність нестачі:

$$P(\text{нестача енергії}) = n/N, \quad (1)$$

де n – кількість часу нестачі енергії;

N – загальний час трафіку.

Ймовірність настання негативних наслідків нестачі енергії:

$$P(\text{негативні наслідки}) = t/n, \quad (2)$$

де t – кількість випадків, коли відсутність енергоносіїв призводило до негативних наслідків.

Ризик нестачі енергії:

$$R(\text{відсутність енергії}) = P(\text{відсутність енергії}) \times P(\text{негативні наслідки}). \quad (3)$$

Для визначення потенційного збитку, заподіяного нестачею енергії в процесі транспортування, необхідно враховувати наступні фактори:

1. Витрати на енергоносії. Необхідно визначити, яку частку загальних витрат на транспортування складають витрати на енергоносії.

2. Тривалість перерви в енергопостачанні. Чим довша перерва, тим вищий потенційний збиток.

3. Вид і характер транспортування. Деякі види вантажів (наприклад, перевезення швидкокопсувних продуктів) більш чутливі до затримок, викликаних нестачею енергії.

4. Можливість енергозаміни. Наприклад, за відсутності дизельного палива можливе використання біопалива або електричної енергії.

5. Можливі соціальні втрати.

Потенційний збиток, заподіяний нестачею енергії в процесі перевезення пасажирів, буде складатись із двох, найбільш суттєвих на наш погляд, складових: потенційного (ймовірного) збитку суспільства (ПЗС) та потенційного (ймовірного) збитку власне підприємства (ПЗП).

Потенційний збиток суспільства (ПЗС) складається зі зменшення особистих доходів активного населення від втрат робочого часу та втрат підприємств через відсутність працівників або зниження продуктивності праці. Такий збиток для суспільства є очевидним, але важко піддається підрахунку. Вочевидь, чим меншою є ймовірність відсутності енергоносія, тим меншими є такі втрати.

Потенційний збиток транспортного підприємства (ПЗП) буде дорівнювати втраченому доходу *Дох* з причини зупинки транспортного процесу і підраховується як плановий дохід за відсутності ризику, помножений на відношення часу відсутності енергоносія до загального часу перевезень, тобто на ймовірність відсутності енергоносія:

$$ПЗП = Дох \cdot t / T, \quad (4)$$

$$ПЗП = Дох \cdot P, \quad (5)$$

де *t*, *T* – відповідно час нестачі енергоносія та запланований повний час транспортного процесу;

P – ймовірність нестачі енергоносія.

Дохід на одиницю пробігу під час транспортування фактично є тарифом на перевезення, який визначається відповідно до Методики [15] за рівнянням:

$$Дох = C + Пр, \quad \text{грн/км,}$$

(6)

де *C* – питома планова собівартість послуги з транспортування на маршруті, грн/км;

Пр – плановий питомий прибуток за транспортування, грн/км.

Планова собівартість послуги розраховується згідно з пунктами 2.4-2.18 цієї Методики [15].

Залежно від типів рухомого складу під час визначення повної собівартості транспортного процесу буде змінюватись тільки складова, яка характеризує прямі витрати на експлуатацію рухомого складу. Всі інші складові собівартості залишаться незмінними, тому що розглядається одне підприємство.

За відсутності енергоносія весь дохід від перевезень дорівнює нулю, тому що зупиняється транспортний процес і наявність інших ненульових складових собівартості не має значення.

Отже, ризик нестачі енергоносія вимірюється потенційним збитком і може бути підрахований як добуток ймовірності відсутності енергоносія на дохід від транспортного процесу за відсутності ризику.

Зменшення дії такого виду ризику може бути виконано шляхом заміни виду рухомого складу для пасажирських перевезень на більш дорогий, наприклад: використання тролейбусів з АКБ (питомі витрати на перевезення 40 грн/км) може бути замінено на використання газових автобусів (40,5 грн/км), електробусів (42 грн/км), автобусів з дизелем (50 грн/км), що здорожує транспортний процес на різницю *C2-C1*, де *C2* та *C1* відповідно питомі (на одиницю пробігу) собівартості транспортного процесу для другого і першого видів рухомого складу. При цьому *C2* є більшим за *C1*.

Постає питання, за яких умов доцільно здійснювати таку заміну.

На наш погляд, очевидним є твердження, що заміна рухомого складу на більш дорогий є доцільною за умови, коли здороження питомої собівартості перевезень є меншим за можливий потенційний збиток від ризику:

$$C2 - C1 < (ПЗП + ПЗС). \quad (7)$$

Проігноруємо ПЗС і будемо визначати лише ризик для підприємства як потенційний збиток для підприємства ПЗП у разі відсутності енергоносія:

$$C2 - C1 < P \cdot (C1 + Пр), \quad (8)$$

де *C1*, *C2* – відповідно питомі собівартості експлуатації першого та другого видів рухомого складу;

Пр – питомий плановий прибуток від перевезень;

$P = t / T$ – ймовірність нестачі енергоносія;

t, T – відповідно час нестачі енергоносія та запланований повний час транспортного процесу.

З цього рівняння можна визначити граничне значення P_{gr} ймовірності відсутності енергоносія, вище якого заміна рухомого складу на більш дорогий, але більш надійний, є доцільною:

$$P_{gr} = (C2 - C1) / (C1 + Pr). \quad (9)$$

Приклад.

Проблема. Існує ризик відсутності електроенергії. Виникає питання визначення доцільності заміни тролейбусів з частковим автономним ходом на акумуляторах ($C1 = 40$ грн/км) на маршруті на дизельний автобус ($C2 = 50$ грн/км). Оскільки експлуатація пасажирського транспорту є планово збитковою і міський транспорт отримує дотації, прийемо, що прибуток підприємства відсутній $Pr = 0$.

Потрібно визначити, за якої величини ймовірності P_{gr} відсутності електроенергії є доцільним замінити на маршруті тролейбус на дизельний автобус.

Розв'язання.

Здороження транспортного процесу за заміни тролейбуса на дизельний автобус складає:

$$(C2 - C1) = 50 \text{ грн/км} - 40 \text{ грн/км} = 10 \text{ грн/км.}$$

Гранична ймовірність, за якої потенційний збиток від ризику відсутності електроенергії складає:

$$P_{gr} = (C2 - C1) / (C1 + Pr) = (50 - 40) / (40 + 0) = 0,25.$$

За таких умов заміну тролейбусів на дизельні автобуси на маршруті доцільно проводити, якщо ймовірність відсутності електроенергії перевищує 25 %.

Із графіків відключення енергопостачання визначена ймовірність відсутності енергоносія $P = t / T$, наприклад, за тиждень, $P = 0,4$.

Оскільки ймовірність відсутності енергоносія 0,4 є більшою за її граничне значення 0,25, тобто заміна тролейбусів на маршруті на дизельні автобуси є доцільною.

Здороження собівартості 1 км перевезень складе 10 грн, але підприємство буде мати питомий дохід від автобусів $Дох2 = 50$ грн/км за ймовірності отримання 100 %, замість доходу $(1 - P) \cdot Дох1 = (1 - 0,4) \cdot 40 = 24$ грн/км за ймовірності наявності енергоносія 60 % у разі подальшого використання тролейбусів.

Також у разі використання автобусів замість тролейбусів потенційний збиток суспільства буде відсутній.

Висновки.

Вибір має робитись для конкретного часу та місця.

На теперішній момент за прийнятого в розрахунках (варіант 3) співвідношення цін на рухомий склад і енергоносії вигідним на маршрутах з часткою автономного ходу до 25 % є використання тролейбусів з АКБ. Далі йдуть газові автобуси та електробуси. Зі збільшенням частки маршруту без контактної мережі експлуатаційні витрати тролейбусів з АКБ та ДГУ зростають. Натомість такі витрати для автобусів не залежать від частки маршруту без контактної мережі тому, що вона їм не потрібна. За відсутності нестачі енергоносія автобус з дизелем є менш конкурентним через високу вартість дизельного палива.

Але важливим є питання надійності постачання різних енергоносіїв (електрична енергія, дизельне паливо або газ), що важко піддається прогнозуванню. Треба враховувати ризики, які можна оцінити ймовірністю зникнення певного виду енергоносія або суттєвої зміни його вартості.

Аналіз показав, що ризики можуть оцінюватись потенційними збитками підприємства ПЗП та суспільства ПЗС, які підраховується як добуток ймовірності відсутності енергоносія на потенційний дохід підприємства або суспільства за відсутності ризиків та потенційних втрат.

У разі відсутності електропостачання способом зниження ризику порушення транспортного процесу може бути заміна троллейбусів на автобуси на відповідних маршрутах, що призводить до здороження перевезень. Але при цьому зростає надійність здійснення транспортного процесу.

Визначене значення граничної величини ймовірності відсутності електроенергії залежно від питомих собівартостей перевезень різними видами транспорту, вище якого заміна рухомого складу на більш дорогий, але й надійний, є доцільною.

Якщо, наприклад, питома собівартість експлуатації троллейбуса складає 40 грн/км, а дизельного автобуса – 50 грн/км, то гранична величина ймовірності відсутності електроенергії, вище якої заміна троллейбусів на автобуси стає доцільно, складає 25 %. Тому видається, що в разі якщо ймовірність відсутності електроенергії більше цієї величини, використання автобусів на газовому або дизельному паливі є більш надійним та вигідним виходячи з меншої вразливості такої транспортної системи ризикам через відсутність контактної мережі та централізованого постачання електричної енергії.

Перспективи подальшого дослідження.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення методики оцінки ризиків та розрахунки конкретних варіантів транспортного процесу для розуміння впливу різних параметрів на собівартість та надійність діяльності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сайт «Хмарочос» – Транспорт міст під обстрілами сильно пошкоджений. Чи будуть його реформувати в Чернігові, Николаєві, Харкові? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/09/23/transport-mist-pid-obstrilamy-sylno-poshkodzhenyj-chy-budut-jogo-reformuvaty-v-chernigovi-mykolayevi-harkovi>.

2. Пять новых троллейбусов с автономным ходом в Запорожье готовятся к выходу на маршруты [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://iz.com.ua/zaporoje/pyat-novyih-trolleybusov-s-avtonomnym-hodom-v-zaporozhe-gotovyat-k-vyihodu-na-marshruty>.

3. Тяговые батареи троллейбусов с удлиненным автономным ходом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.liotech.ru/products/batarei-i-nakopiteli/tyagovye-batarei-trolleybusov-s-avtonomnym-khodom/>.

4. Троллейбус с увеличенным автономным ходом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.liotech.ru/docs/Katalog_Liotech.pdf.

5. Электробусы, троллейбусы. ВКМ Holding [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://holdingbkm.com/catalog/elektrobussy>.

6. В Ровно начали испытывать гибридный троллейбус с дизельным генератором [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://traffic.od.ua/news/eltransua/1186511>.

7. Розбіг цін на троллейбуси в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nashigroshi.org/2018/04/20/rozbih-tsin-na-trolejbusy-v-ukrajini>.

8. 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. – DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-3-12](https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-3-12).

9. Андрусенко С.І. Розробка методики визначення експлуатаційних витрат автобусів та троллейбусів 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>.

10. 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>.

11. Андрусенко С.І. Використання методів управління ризиками для зменшення аварійності на транспорті / С.І. Андрусенко, О.С. Бугайчук, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2021. – № 2 (17). – С. 31-40. – DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i17.632>.

12. Voytkiv, S. (2021). The method of optimizing the main technical parameters of the promising city electric buses of ONC Type. *Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, № 20 (2021), pp. 6-16. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.01>.

13. 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).

14. Андрусенко С.І. Методика оцінки споживання енергії електробусом та параметрів тягової акумуляторної батареї в умовах експлуатації / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подписнов // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – 2022. – № 22 (2022). – С. 64-71. – DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.8>. – Режим доступу: <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/268300/266081>.

15. Методика розрахунку тарифів на послуги пасажирського автомобільного транспорту; затверджено Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 17.11.2009 р. № 1175. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 27 листопада 2009 р. № 1146/17162 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1146-09>.

REFERENCES

1. Sait «Hmarochos» – Transport mist pid obstrilamy sylno poshkodzhenyi. Chy budut yoho reformuvaty v Chernigovi, Mykolaievi, Kharkovi? [Site "Skyscraper" – Transport of cities under shelling is badly damaged. Will it be reformed in Chernigov, Nikolaev, Kharkov?]. Retrieved from: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/09/23/transport-mist-pid-obstrilamy-sylno-poshkodzhenyj-chy-budut-jogo-reformuvaty-v-chernigovi-mykolayevi-harkovi/> [in Ukrainian].

2. Pjat' novykh trolleybusov s avtonomnym hodom v Zaporozh'e gotovjatsja k vyhodu na marshruty [Five new trolleybuses with autonomous running in Zaporozhye are preparing to enter the routes]. Retrieved from: <http://iz.com.ua/zaporoje/pyat-novyih-trolleybusov-s-avtonomnym-hodom-v-zaporozhe-gotovyat-k-vyihodu-na-marshruty> [in Russian].

3. Tjagovye batarei trolleybusov s udlinennym avtonomnym hodom [Traction batteries for trolleybuses with an extended autonomous run]. Retrieved from: <https://www.liotech.ru/products/batarei-i-nakopiteli/tyagovye-batarei-trolleybusov-s-avtonomnym-khodom/> [in Russian].

4. Trolleybus s uvelichennyim avtonomnym hodom [Trolleybus with increased autonomous running]. Retrieved from https://www.liotech.ru/docs/Katalog_Liotech.pdf [in Russian].

5. Jelektrobussy, trolleybussy. BKM Holding [Electric buses, trolleybuses. BKM Holding]. Retrieved from: <https://holdingbkm.com/catalog/elektrobussy/> [in Russian].

6. V Rovno nachali ispytyvat' gibridnyj trolleybus s dizel'nym generatorom [In Rivne testing of a hybrid trolleybus with a diesel generator has been begun]. Retrieved from: <https://traffic.od.ua/news/eltransua/1186511> [in Russian].

7. 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-troleibusy-v-ukrajini/> [in Ukrainian].

8. Andrusenko, S.I., Buhaichuk, O.S., Loboda, A.V., Savostin-Kosiak, D.O. (2020). Otsinka vartostei ekspluatatsii transportnykh zasobiv z riznyimi typaramy sylovykh ustanovok [Estimation of operating costs of vehicles with different types of power plants]. *Tekhnichna inzheneriia: naukovyi zhurnal – Technical engineering: A scientific journal*, № 2 (86), 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].

9. Andrusenko, S.I., Buhaichuk, O.S., Podpisnov, V.S. (2022). Rozrobka metodyky vyznachennia ekspluatatsiinykh vytrat avtobusiv ta troleibusiv z riznyimi vydami 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» (Automobilnyi transport) – Research and production magazine "Automobile of Ukraine" (Motor transport)*, № 2 (270), 15-25. Retrieved from: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25> [in Ukrainian].

10. Andrusenko, S.I., Buhaichuk, O.S., Podpisnov, V.S., Pylypivskyi, O.D. (2022). Vybir rukhomoho skladu miskoho pasazhyrskoho transportu na osnovi optymizatsii vytrat na ekspluatatsiiu ta ryzykiv [Selection of rolling stock for urban passenger transport based on optimization of operating costs and risks]. *Mizhnarodna konferentsiia «Pokrashchennia konstruktyvnykh ta ekspluatatsiinykh pokaznykiv avtomobiliv I mashyn. Zbirnyk tez dopovidei – International conference "Improvement of constructive and operational*

performances of vehicles and road machines". Collection of abstracts. 186 p. (pp. 64-66). Kyiv, NTU [in Ukrainian].

11. Andrusenko, S.I., Buhaichuk, O.S., Budnychenko, V.B., Podpisnov, V.S. (2021). Vykorystannia metodiv upravlinnia ryzykamy dlia zmenshennia avariinosti na transporti [Using risk management methods to reduce traffic accidents]. Naukovyi zhurnal «Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti» – Scientific journal «Modern technologies in mechanical engineering and transport», № 2 (17), 31-41. Retrieved from: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i17.632> [in Ukrainian].

12. Voytkiv, S. (2021). The method of optimizing the main technical parameters of the promising city electric buses of ONC Type. *Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, № 20, 6-16. Retrieved from: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.01> [in English].

13. Dembitskyi, V. (2022). Doslizhennia enerhgetychnykh pokaznykiv transportnykh zasobiv z elektrychnym pryvodom. Monografiia [Research of energy indicators of vehicles with an electric drive. Monograph]. (Vol. 1). Ivano-Frankivsk: Publisher Kushnir, H.M. [in Ukrainian].

14. Andrusenko, S.I., Budnychenko, V.B., & Podpisnov, V.S. (2022). Metodyka otsinky spozhyvannia enerhii elektrobosom ta parametriv tiahovoi akumuliatornoї 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*, № 22 (2022), 64-71. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.8>. Retrieved from: <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/268300/266081> [in Ukrainian].

15. Metodyka rozrakhunku taryfiv na posluhy pasazhyrskohgo avtomobilnohgo transport [Methodology for calculating tariffs for passenger road transport services]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1146-09> [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

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).

У статті викладена методика обґрунтування вибору рухомого складу міського колісного пасажирського транспорту на основі мінімізації вартості експлуатації рухомого складу з урахуванням ризиків нестачі енергоносіїв.

Об'єкт дослідження – процес перевезення пасажирів міським колісним транспортом.

Мета роботи – розробка методики вибору рухомого складу міського пасажирського транспорту за сучасних умов в Україні на основі вартості експлуатації та врахування ризиків для забезпечення надійності транспортного процесу.

Методи дослідження – математичне моделювання процесів.

Розглянуті умови доцільності заміни тролейбусів на автобуси на маршрутах під час регулярних перевезень пасажирів у містах. Визначено, що вибір має робитись для конкретного часу та місця.

На теперішній момент за прийнятого в розрахунках співвідношення цін на рухомий склад і енергоносії найбільш вигідним на маршрутах з частковим автономним ходом є використання тролейбусів з АКБ. Далі йдуть газові автобуси та електробуси. Зі збільшенням частки маршруту без контактної мережі експлуатаційні витрати тролейбусів з АКБ та ДГУ зростають. Натомість такі витрати для автобусів не залежать від частки маршруту без контактної мережі тому, що вона їм не потрібна. За відсутності нестачі енергоносія автобус з дизелем є менш конкурентним через високу вартість дизельного палива.

Важливим є питання надійності постачання різних енергоносіїв (електрична енергія, дизельне паливо або газ), яка важко піддається прогнозуванню. Треба враховувати ризики, які можна оцінити ймовірністю зникнення певного виду енергоносія або суттєвої зміни його вартості.

Показано, що ризики можуть оцінюватись потенційними збитками підприємства та суспільства, які підраховується як добуток ймовірності відсутності енергоносія на потенційний дохід підприємства або суспільства за відсутності ризику та потенційних втрат.

У разі відсутності електропостачання способом зниження ризику порушення транспортного процесу може бути заміна тролейбусів на автобуси на відповідних маршрутах, що призводить до

здороження перевезень. Але при цьому зростає надійність здійснення транспортного процесу і зменшуються потенційні збитки.

Визначене значення граничної величини ймовірності відсутності електроенергії залежно від питомих собівартостей перевезень різними видами транспорту, вище якого заміна рухомого складу на більш дорогий, але й надійний, є доцільною.

Одержані результати можуть бути використані владою міст для оперативного управління процесом перевезення пасажирів та планування цієї діяльності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ, НАДІЙНІСТЬ, МІСЬКИЙ ТРАНСПОРТ, ПІДПРИЄМСТВО, РУХОМИЙ СКЛАД, ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ЕНЕРГОНОСІЇ, НАСТАЧА, РИЗИКИ. ВАРТОСТІ, СОБІВАРТІСТЬ, ЙМОВІРНІСТЬ НЕСТАЧІ.

ABSTRACT

Andrusenko S.I., Ivanushko O.M., Podpisnov V.S., Budnychenko I.V. Features of rolling stock choice for urban passenger transport in modern conditions in Ukraine. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article describes the method of substantiating the choice of rolling stock for urban wheeled passenger transport based on the minimization of the rolling stock operating cost, taking into account the risk of energy shortages.

The object of research is the process of transporting passengers by urban wheeled transport.

The aim of the work is to develop a methodology of rolling stock choosing for urban passenger transport under modern conditions in Ukraine based on the cost of operation and taking into account risks to ensure the reliability of the transport process.

Processes mathematical modelling is a research method.

The conditions for expediency of replacing trolleybuses with buses on routes with regular passenger transportation in cities are considered.

It is determined that the choice should be made for a specific time and place. At present, with the ratio of prices for rolling stock and energy carriers adopted in the calculations the use of battery-powered trolleybuses is the most profitable on routes with partial autonomous running. This is followed by gas buses and electric buses. As the share of the route without a contact network increases, the operating costs for trolleybuses from batteries and diesel generators grow. At the same time, such costs for buses do not depend on the share of the route without contact network because they do not need it. In the absence of energy lack, a diesel bus is less competitive due to diesel fuel high cost.

An important issue is the reliability of various energy carriers supply (electricity, diesel fuel or gas), which is difficult to predict. Risks should be taken into account that can be assessed by the probability of certain type of energy carrier disappearance or a significant change in its cost.

It is shown that risks can be assessed by the potential losses of the enterprise and society, which are calculated as the product of the energy carrier absence probability by the potential income of the enterprise or society in the absence of risk and potential losses.

In the absence of electricity, a way to reduce the risk of disruption to the transport process may be to replace trolleybuses with buses on the corresponding routes, which leads to higher transportation costs. But at the same time, the reliability of the transport process increases and potential losses decrease.

A certain value of the limiting value of the probability of electricity lack, depending on the specific cost of transportation by various modes of transport, above which the replacement of rolling stock with a more expensive and reliable one is advisable.

The results can be used by city authorities for the operational management of passenger transportation process and planning of this activity.

KEY WORDS: PASSENGER TRANSPORTATION, RELIABILITY, URBAN TRANSPORT, ENTERPRISE, ROAD STOCK, OPERATING EFFICIENCY, ENERGY, TUNING, INFORMATION. COSTS, COST PRICE, PROBABILITY OF SHORTAGE.

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.

Іванушко Олександр Миколайович, доктор філософії, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: o.ivanushko@ntu.edu.ua, тел. +380969298556, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0003-3759-5856.

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.

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.

Ivanushko Oleksandr M., Ph.D., National Transport University, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: o.ivanushko@ntu.edu.ua, tel. +380969298556, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410, orcid.org/0000-0003-3759-5856.

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.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Клименко О.А., доктор технічних наук, доцент, Державне підприємство «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут», заступник директора з наукової роботи, Київ, Україна.

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

REVIEWERS:

Klymenko O.A., Doctor of Technical Science, Associate Professor, State Enterprise “State Road Transport Research Institute”, Deputy Director for Research, Kyiv, Ukraine.

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