

Методика оцінки споживання енергії електробусом та параметрів тягової акумуляторної батареї в умовах експлуатації

Андрусенко С. І.¹, Будниченко В. Б.¹, Подпісов В. С.¹

¹Національний транспортний університет, Україна

Анотація. Запропонована методика визначення реальної питомої витрати електроенергії при експлуатації електробуса та обґрунтування ємності тягової акумуляторної батареї (ТАБ) для забезпечення терміну її використання з заданою ймовірністю для роботи на маршруті відомої довжини. Показано, що ємність ТАБ має бути достатньою для компенсації витрат енергії на рух, сталих витрат електроенергії на живлення допоміжних кіл (системи опалення, кондиціонування тощо) та враховувати з ймовірністю 0,95 або 0,99 потрібну додаткову ємність, яка забезпечить не перевищення гранично допустимого розряду ТАБ, встановленого її виробником. Методика може бути використана для визначення реальних значень питомих витрат електроенергії та ємності ТАБ для довільних моделей електробусів.

Ключові слова: електроенергія, питомі витрати, тягова акумуляторна батарея, ємність, ймовірність безвідмовної роботи, електробус.

Вступ

У містах світу все більшого поширення для перевезення пасажирів набуває електричний транспорт, який приходить на заміну автобусів з дизелями та газовими двигунами. При цьому збільшується використання електробусів. Така еволюція міського транспорту викликана зниженням запасів та збільшенням вартості викопного палива й погіршенням екологічного стану міст, особливо мегаполісів. У зв'язку з цим важливими завданнями у цій сфері є визначення ефективності такої заміни з точки зору її впливу на екологію та вартість придбання, володіння й використання електричних транспортних засобів протягом їхнього життєвого циклу. Важливим елементом електробусів є джерело енергії – тягова акумуляторна батарея (ТАБ). Перед виробниками постає задача оптимізації конструкції електробусів, важливою складовою якої є визначення оптимальних параметрів ТАБ для конкретних умов експлуатації такого транспортного засобу. Тому вирішенню цих завдань присвячено багато досліджень.

Аналіз публікацій

Аналіз відомих нам публікацій показав, що питанню оптимізації параметрів електробусів, тягових акумуляторних батарей, інфраструктури та умов їх використання з метою зменшення експлуатаційних витрат та покращення якості експлуатації присвячено багато робіт.

Так, у роботі [1] вирішується завдання гармонізації роботи транспортної мережі міста у випадку запровадження використання електробусів як таких, що мають певні особливості експлуатації. Надані пропозиції для створення єдиної моделі організації перевезень. Цільовою функцією оптимізації системи перевезень має бути мінімізація капітальних вкладень у парк електротранспорту та загальних витрат та функціонування всієї транспортної мережі.

У роботі [2] наведено детальний огляд трьох категорій електричних автобусів: гібридних, на паливних елементах та акумуляторах. Розглядалися економічні, експлуатаційні, енергетичні та екологічні характеристики кожної технології на основі імітаційних моделей. Показано, що автобус з ТАБ є найбільш підходящою альтернативою, враховуючи очікувані поліпшення технології вироб-

ництва акумуляторів і тенденцію до використання стійких джерел у виробленні електроенергії.

У роботі [3] розроблена модель для оптимізації графіків підзарядки електричних автобусів, яка визначає як планові, так і операційні рішення, які мінімізують загальні річні витрати. Використання моделі дозволяє надати рекомендації щодо використання електричних автобусів та розробки системи швидкої зарядки. Виконаний порівняльний аналіз показав, що використовувати електричні автобуси більш економічно і екологічно, ніж дизельні автобуси.

Розрахункові та експериментальні дослідження, виконані у Харкові [4], показали, що мікроавтобус, переобладнаний в електробус, найкраще підходить для використання у місті. В якості джерела енергії використовувався ультраконденсатор.

У дослідженнях [5, 6] наведено методичний підхід, який може бути застосований для визначення стратегії зарядки парку електричних автобусів у міських автобусних перевезеннях. Цей метод використовує еволюційні алгоритми з багатоцільовою оптимізацією з метою зниження витрат на електроенергію та старіння батареї з урахуванням технічних обмежень (наприклад, піковий попит на навантаження, технологія зарядки). Такий підхід визначає оптимальну стратегію зарядки, яка мінімізує вартість старіння батареї (витрати на заміну батареї, розподілені на термін служби батареї).

У роботах [7, 8] оцінюються ключові фактори, що впливають на енергоспоживання електробусів. Була розроблена імітаційна модель універсального електричного автобуса. Згідно з результатами моделювання, високий рівень допоміжної потужності (холодні і спекотні кліматичні умови) значно збільшує енергоспоживання. Також було відзначено, що існує сильна лінійна кореляція між агресивністю водіння та споживанням енергії. Оцінюється зниження енергоспоживання використанням алюмінієвого шасі, кузова з низькою підлогою, шин низького опору, теплового насоса та прогностичного водіння.

Робота [9] присвячена вивченню соціальних витрат, загальної вартості володіння, використання енергії, шуму під час прискорення. Було встановлено, що значна економія соціальних витрат і загальна вартість володіння порівняно з дизельними і біогазовими

автобусами досягається головним чином через зниження шуму, відсутність викидів при експлуатації і зменшення використання енергії. Показано, що навантаження на електробус, топографія маршруту, температура на відкритому повітрі, кількість стартів/зупинок та поведінка водія мають великий вплив на витрати енергії для електричних автобусів. Проведені заміри використання енергії на рух, обігрів або кондиціювання салону.

Також досліджувались [10] можливості збільшення терміну служби батареї при експлуатації електробусів за рахунок як внутрішнього контролю електроспоживання на борту, так і врахуванням зовнішніх факторів. У даній роботі був запропонований оптимальний метод планування на основі динамічного програмування для мінімізації витрат на заміну батареї протягом усього терміну служби автопарків електробусів. Запропонований метод зменшує інвестиції на заміну батареї на 20 % для всієї системи парку електричних автобусів.

У дослідженні [11] розглядається мінімізація споживання енергії електричним мікроавтобусом, що працює в міському середовищі. Показано, що можна зменшити енергоспоживання приблизно на 7-12 % за умов якщо транспортний засіб підтримує постійну швидкість між зупинками, з короткими фазами прискорення й сповільнення з використанням оптимізованого профіля швидкості, що генерується за допомогою генетичного алгоритму.

У [12] вивчався вплив конструктивних характеристик акумуляторно-електричних автобусів, а також операційних, топологічних і зовнішніх параметрів на споживання енергії під час перевезень у міських умовах. Результати показали значний вплив класу та стану дороги, початкового заряду, завантаження пасажирів, агресивності водіння, середньої швидкості та щільності зупинок на маршруті на споживання енергії електробусом.

Визначенню оптимальної ємності ТАБ для тролейбуса з частковим автономним ходом за умов підзарядки від мережі під час руху на маршруті присвячені роботи [13, 14].

Але дослідження, спрямовані на визначення споживання електроенергії та параметрів тягової ТАБ електробусів, які забезпечують запланований термін її використання з наперед заданою імовірністю для конкретних умов експлуатації, нам невідомі.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є визначення реальних витрат електроенергії та необхідної ємності тягової акумуляторної батареї для електробуса, яка забезпечить з ймовірністю не менше 95 % рух на маршруті протягом доби, та запланований термін роботи тягової акумуляторної батареї.

Для досягнення зазначеної мети в роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати вибірку даних про пробіг, витрати електроенергії за добу та питомі витрати електроенергії на маршрутах щодо тролейбусів тієї моделі, що буде використана для виготовлення електробуса, визначити статистичні характеристики та закон розподілу вибірки питомих витрат електроенергії транспортного засобу;

- сформулювати умови обґрунтування енергетичної ємності ТАБ, зважаючи на те що витрата електроенергії транспортним засобом, що живиться від ТАБ, має мінливий характер;

- провести розрахунок питомої конструктивної ємності ТАБ для електробуса на базі тролейбуса та необхідної ємності ТАБ за заданої довжини маршруту.

Визначення реальної питомої витрати електроенергії при експлуатації електробуса

Обґрунтування конструктивної енергоємності ТАБ електробуса для заданих умов експлуатації потребує визначення витрати електричної енергії під час його руху маршрутом. Значення цього показника можна отримати, виконавши спостереження за витратами енергії тролейбуса моделі, що буде використана для виготовлення електробуса. Такий підхід заснований на тому, що в даному випадку тролейбус та електробус мають однакову тягову електричну установку та кузов.

На підставі вищезазначеного вимірювання витрат енергії виконувалися на тролейбусах типу PTS-12 (рис. 1), які перебувають в експлуатації в м. Харків та мають характеристики, які впливають на витрати електроенергії (Таблиця 1).

Витрати електроенергії визначалися за показами віртуального лічильника енергії, що входить до складу монітора пульта водія (рис. 2).



Рис. 1. Загальний вид тролейбуса типу PTS-12, що перебуває в експлуатації в м. Харків

Таблиця 1 – Технічні характеристики тролейбусів

Параметр, характеристика	Значення показника
Маса у спорядженому стані, кг	12700
Технічно припустима максимальна маса, кг	19000
Максимальна швидкість з технічно припустимою максимальною масою, км/год	65
Тип двигуна	Асинхронний
Потужність, кВт	180
Система керування	Імпульсний частотний тяговий інвертор на IGBT транзисторах типу СТТ-01
Сумарна потужність системи опалення відділення водія та салону	20 кВт
Сумарна потужність кондиціонера відділення водія	28,5 кВт*
Примітка «*» фактично задіюється 50 %	



Рис. 2. Монітор з віртуальним лічильником витрати електроенергії за добу

За результатами спостереження отримана вибірка даних про пробіг та витрати електроенергії за добу, за якими обчислені питомі витрати електроенергії в кВт·год/км. Результати спостережень та розрахунку подані у Таблиці 2. Досліджувалась робота тролейбусів типу PTS-12 на різних маршрутах м. Харків. Така сукупність маршрутів є типовою для умов експлуатації у м. Харків.

Таблиця 2 – Питомі витрати електроенергії тролейбусом типу PTS-12

Номер реєстрації	Добова витрата електричної енергії, кВт·год	Добовий пробіг, км	Питома витрата електроенергії, кВт·год/Км
1	2	3	4
1	103	90	1,144
2	425	290	1,466
3	357	249	1,434
4	220	153	1,438
5	118	83	1,422
6	420	263	1,597
7	39	27	1,444
8	138	114	1,211
9	254	190	1,337
10	236	184	1,283
11	134	124	1,081
12	252,7	178	1,42
13	341	420	0,812
14	130	121	1,074
15	101	89	1,135
16	289	262	1,103
17	286	262	1,092
18	426	433	0,984
19	142	120	1,183
20	191	155	1,232
21	262	318	0,824
22	91	74	1,23
23	990	690	1,435
24	290	195	1,487
25	264	187	1,412
26	89	64	1,391
27	284	197	1,442
28	163	147	1,109
29	131	118	1,11
30	207	124	1,669

1	2	3	4
31	301	261	1,153
32	149	139	1,072
33	277	202	1,371
34	576	484	1,19
35	138	126	1,095
36	277	212	1,307
37	276	235	1,174
38	271	200	1,355
39	286	250	1,144
40	262,7	182	1,443
41	139	124,5	1,116
42	417	359,4	1,16
43	101,7	89	1,143
44	119	107	1,112
45	249	182	1,368
46	190	140	1,357
47	243	170	1,429
48	156	143	1,091
49	345	279	1,237
50	204	160	1,275
51	161,6	124,2	1,301
52	320	308	1,039
53	276	200	1,38
54	264	278	0,95
55	530	262	2,023
56	464	406	1,143
57	258	183	1,41
58	194	168	1,155
59	186	135	1,378
60	168	136	1,235

Статистичні характеристики вибірки питомих витрат електроенергії транспортного засобу подані у Таблиці 3.

Таблиця 3 – Статистичні характеристики вибірки питомих витрат електроенергії транспортного засобу

Характеристика та її позначення	Питома витрата енергії за добу, кВт·год/км
Дисперсія, s^2	0,0409
Стандартне відхилення, s	0,2121
Середнє значення	1,26

Перевірка показала, що значення вибірки питомих витрат енергії відповідають нормальному закону розподілу.

Обґрунтування конструктивної енергоємності ТАБ електробуса для заданих умов експлуатації

Обґрунтування енергетичної ємності ТАБ має будуватися на виконанні наступних умов. Оскільки витрата електроенергії транспортним засобом, що живиться від ТАБ, має мінливий характер, то:

– максимальна витрата електроенергії має бути в межах робочого діапазону ТАБ, що забезпечує її ресурс, встановлений виробником ТАБ, з одного боку, як мінімум, з ймовірністю 0,95;

– з іншого боку, у випадку коли максимальна витрата робочого діапазону перевищує робочий діапазон ТАБ, з імовірністю 0,99 вона не повинна бути більша за гранично допустимий розряд ТАБ, який також визначений її виробником.

Тоді ці умови можуть бути записані так:

$$C = \max \begin{cases} C_P = L \cdot X_{0,95}^{\max} + \beta = k_2 C; \\ C_D = L \cdot X_{0,99}^{\max} + \beta = k_1 C, \end{cases} \quad (1)$$

де C_P – робочий діапазон розряду ТАБ, кВт·год, за яким зберігається її ресурс; C_D – допустимий діапазон розряду ТАБ, кВт·год, за яким забезпечується її працездатний стан, вихід за який призводить до відмови ТАБ чи переривання кола живлення від неї; $X_{0,95}^{\max}$ та $X_{0,99}^{\max}$ – границі однобічного довірчого інтервалу для питомих витрат електроенергії, кВт·год/км, який обчислюється згідно з [15] для довірчої ймовірності 0,95 та 0,99; L – пробіг транспортного засобу за час роботи на маршруті, коли він живиться від ТАБ, км; k_1 – відношення граничного діапазону енергетичної ємності ТАБ до її конструктивної енергетичної ємності; k_2 – відношення робочого діапазону енергетичної ємності ТАБ до її конструктивної енергетичної ємності; C – конструктивна енергетична ємність ТАБ, кВт·год; β – сталі питомі витрати електроенергії на живлення допоміжних кіл (опалювачів салону та відділення водія, а також кондиціонерів), кВт·год/км.

Границі однобічного довірчого інтервалу для питомих витрат електроенергії визначають згідно з [15], а саме:

$$X_{0,95}^{\max} < \bar{x} + t_{0,95} \cdot s. \quad (2)$$

Вираз (2) для довірчої ймовірності 0,95, а для довірчої ймовірності 0,99 вираз (3):

$$X_{0,99}^{\max} < \bar{x} + t_{0,99} \cdot s, \quad (3)$$

де $t_{0,95}$, $t_{0,99}$ – величини розподілу Стюдента з $\nu = n - 1$ ступенями вільності, значення яких подані у таблиці 1 [15].

Сталі питомі витрати електроенергії (β) на живлення допоміжних кіл (опалювачів салону та відділення водія, а також кондиціонерів), кВт·год/км, можуть бути визначені так:

$$\beta = \frac{N \cdot T}{L} \quad (4)$$

або

$$\beta = \frac{N}{V_{cn}}, \quad (5)$$

де T – час роботи, в год., системи опалення чи системи кондиціонування під час руху транспортного засобу маршрутом, коли споживається енергія ТАБ; V_{cn} – швидкість сполучення на маршруті, км/год; N – потужність системи опалення чи системи кондиціонування транспортного засобу.

Згідно з технічними характеристиками транспортного засобу, що подані у Таблиці 1, система кондиціонування має потужність більшу ніж система опалення, але вона працює періодично під час руху транспортного засобу маршрутом, тому в середньому використовує 50 % своєї потужності, а отже, її середня потужність буде не 28 кВт, а 14 кВт, і поступається потужності системи опалення, яка, як правило, в холодний період року задіяна на повну потужність протягом часу роботи транспортного засобу на маршруті. Тобто значення β має обчислюватися для потужності системи опалення транспортного засобу.

Оскільки пробіг транспортного засобу за час роботи на маршруті протягом доби має бути визначений замовником транспортного засобу, то вираз (1) краще записати так:

$$C_y = \max \begin{cases} C_y = \frac{X_{0,95}^{\max} + \frac{N}{V_{cn}}}{k_2}; \\ C_y = \frac{X_{0,99}^{\max} + \frac{N}{V_{cn}}}{k_1}, \end{cases} \quad (6) \quad C = C \cdot L, \quad (8)$$

де $C_y = C/L$ – питома конструктивна енергетична ємність ТАБ, кВт·год/км.

Для отриманої вибірки даних про питому витрати енергії значення $X_{0,95}^{\max}$ та $X_{0,99}^{\max}$ будуть такими, кВт·год/км:

$$X_{0,95}^{\max} = 1,26 + 1,673 \cdot 0,2121 = 1,6148;$$

$$X_{0,99}^{\max} = 1,26 + 2,393 \cdot 0,2121 = 1,7676.$$

Для сталих питомих витрат електроенергії (β) на живлення системи опалення потужністю 20 кВт та швидкості сполучення 15 км/год значення β буде складати, кВт·год/км:

$$\beta = \frac{10}{15} = 0,6667.$$

Відношення робочого діапазону енергетичної ємності ТАБ до її конструктивної ємності, як правило, для групи літій-йонних ТАБ складає $k_2 = 0,6$.

Відношення граничного діапазону енергетичної ємності ТАБ до її конструктивної енергетичної ємності, як правило, для групи літій-йонних ТАБ складає $k_1 = 0,7$.

Тоді вираз (6) буде мати такий вигляд, кВт·год:

$$C_y = \max \begin{cases} C_y = \frac{1,6148 + 0,6667}{0,6} = 3,4776; \\ C_y = \frac{1,7676 + 0,6667}{0,7} = 3,797. \end{cases} \quad (7)$$

На підставі результату обчислення (7) питома конструктивна ємність ТАБ для електробуса на базі тролейбуса PTS-12 має бути прийнята 3,797 кВт·год/км, що з ймовірністю 0,99 забезпечить безвідмовну роботу ТАБ.

У підсумку для заданої довжини маршруту L може бути підрахована необхідна ємність ТАБ:

яка забезпечує безвідмовну експлуатацію ТАБ з ймовірністю 0,99.

Висновки

В результаті дослідження запропонована методика визначення реальної питомої витрати електроенергії при експлуатації електробуса та обґрунтування ємності тягової акумуляторної батареї для забезпечення терміну її використання з заданою ймовірністю для роботи на маршруті відомої довжини. Ємність ТАБ має бути достатньою для компенсації витрат енергії на рух, сталих витрат електроенергії на живлення допоміжних кіл (системи опалення, кондиціювання тощо) та враховувати з ймовірністю 0,95 або 0,99 потрібну додаткову ємність, яка забезпечить перевищення гранично допустимого розряду ТАБ, визначеного її виробником.

Подальше дослідження має бути спрямовано на визначення конкретних значень ємності ТАБ для інших моделей електробусів.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

1. Chen Xiaohongb. Optimizing Battery Electric Bus Transit Vehicle Scheduling with Battery Exchanging: Model and Case Study ZHU Chaoa. 13th COTA International Conference of Transportation Professionals (CICTP 2013). <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.306>.
2. Mohamed, M., Garnett, R., Ferguson, M. & Kanaroglou, P. (2016). Electric Buses: A Review of Alternative Powertrains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 62. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>.
3. Yusheng Wang, Yongxi Huang, Jiuping Xu, Nicole Barclay. Optimal recharging scheduling for urban electric buses: A case study in Davis Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review Volume 100, April 2017, pages 115-132. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.01.001>.
4. Hnatov A., Arhun, Shch., Ponikarovska, S. (2017) Energy saving technologies for urban bus transport. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. No.14(4). 4649-4664. DOI: 10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366.

5. Houbbadi, A., Trigui R., Pelissier S., Bouton T. & Eduardo R.-I. (2017). Multi-Objective Optimisation of the Management of Electric Bus Fleet Charging. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2017.8331015>.
6. Houbbadi, A., Trigui, R., Pelissier, S., Redondo-Iglesias, E. & Bouton, T. (2019). Optimal Scheduling to Manage an Electric Bus Fleet Overnight Charging. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en12142727>.
7. Lajunen, A., Kivekaes, K., Baldi, F., Vepsäläinen, J. & Tammi, K. (2018). Different Approaches to Improve Energy Consumption of Battery Electric Buses. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*. 1-6. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2018.8605024>.
8. Kivekäs, K., Lajunen, A., Baldi, F., Vepsäläinen, J. & Tammi, K. (2019). Reducing the Energy Consumption of Electric Buses with Design Choices and Predictive Driving. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 11409-11419. <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2936772>.
9. Borén, S. (2019) Electric buses' sustainability effects, noise, energy use, and costs. 956-971. <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1666324>.
10. Wang, J., Kang, L. & Yongzhong, L. (2020). Optimal scheduling for electric bus fleets based on dynamic programming approach by considering battery capacity fade. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109978>.
11. Torabi, S., Bellone, M. & Wahde, M. (2020). Energy minimization for an electric bus using a genetic algorithm. <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0393-1>.
12. Hatem, A. & Moataz M. (2021). A Prediction Model for Battery Electric Bus Energy Consumption in Transit. *Energies*, 14(10), 2824. <https://doi.org/10.3390/en14102824>.
13. Андрусенко, С.І., Будниченко, В.Б. & Подпіснєв, В.С. (2021). Математична модель енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. К.:НТУ, 3(50), 3-10. <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010>. Andrusenko, S.I., Budnychenko, V.B. & Podpisnov, V.S. (2021). Matematychna model enerhetychnoi yemnosti tiahovoi akumuliatornoj batarei [Mathematical model of traction battery capacity]. *Bulletin of National Transport University. Series «Technical Sciences»*. A Scientific and Technical Journal. Kyiv. National Transport University. Vol.3(50). [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010>.
14. Андрусенко, С.І., Будниченко, В.Б. & Подпіснєв, В.С. (2021). Оптимізація параметрів тягової акумуляторної батареї у тролейбусах із частковим автономним ходом. *Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт)*, 3(267), 15-21. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2021-3-267-15-21>. Andrusenko, S.I., Budnychenko, V.B. & Podpisnov, V.S. (2021). Optymizatsiia parametriv tiahovoi akumuliatornoj batarei u troleibusakh iz chastkovym avtonomnym khodom [Optimization of trolleybus traction battery parameters when partial autonomous running]. *A Scientific and Industrial Journal the Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 3(267), 15-21 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2021-3-267-15-21>.
15. ДСТУ ISO 2602. Подання результатів випробування статистичне. Оцінювання середнього значення. Довірчий інтервал (ISO 2602:1980, IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2009, 7 с. DSTU ISO 2602. Statistical interpretation of test results – Estimation of the mean – Confidence interval (ISO 2602:1980, IDT). К.: Derzhspozhivstandard, 2009, 7 pp. [in Ukrainian].

Андрусенко Сергій Іванович¹, к.т.н., проф., зав. каф. технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, тел. +38 0634720587, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9914-0200>

Будниченко Валерій Борисович¹, к.т.н., доц., доц. каф. технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, тел. +38 0679318431, e-mail: budnvb@i.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1235-3781>

Подпіснєв Владислав Сергійович¹, ст. викл. каф. технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, тел. +38 0989623871, e-mail: vpodpisnov@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8583-1502>

¹Національний транспортний університет, 01010, Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1.

Methodology for estimating energy consumption for an electric bus and traction battery parameters in operating conditions

Abstract. Problem. An important task when replacing diesel and gas buses with electric buses is to determine the effectiveness of such replacement in terms of its impact on the environment and the cost of purchasing, owning and using electric vehicles during their life cycle, in particular, the task of optimizing the design of electric buses, an important component of which is determining the optimal parameters of the traction battery for the specific

operating conditions of such a vehicle. **Goal.** The goal is determination of real electricity costs and the required capacity of the traction battery for an electric bus, which will ensure with a probability of at least 95% traffic on the route during the day, and the planned period of the traction battery operation. **Methodology.** The research methods are analytical and mathematical. **Results.** The method is proposed to determine the real specific consumption of electricity during the operation of an electric bus and substantiate the capacity of the traction battery to ensure the term of its use with a given probability for work on a route of a known length. **Originality.** It is shown that traction battery capacity must be sufficient to compensate for energy consumption for the movement, electricity constant consumption for powering auxiliary circuits (heating systems, air conditioning, etc.) and take into account with a probability of 0.95 or 0.99 the required additional capacity that will ensure not exceeding the maximum allowable discharge of the traction battery set by its manufacturer. **Practical value.** The method can be used to determine the real values of specific electricity consumption and traction battery capacity for arbitrary models of electric buses.

Key words: electricity, specific consumption, traction battery, capacity, probability of trouble-free operation, electric bus.

Andrusenko Serhii¹, Professor, Cand. of Science, Head of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, tel. +38 0634720587, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9914-0200>

Budnychenko Valerii¹, Associate Professor, Cand. of Science, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, tel. +38 0679318431, e-mail: budnvb@i.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1235-3781>

Podpisnov Vladyslav¹, Senior Lecturer of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, tel.+38 0989623871, e-mail: vpodpisnov@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8583-1502>

¹National Transport University, 1, M. Omelianovych-Pavlenko str., Kyiv, 01010, Ukraine.