

УДК 656.13.073

Кіндрацький Б.І., д.т.н., Літвін Р.Г.

Національний університет «Львівська політехніка»

## ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОАВТОБУСІВ НА ТУРИСТИЧНИХ МАРШРУТАХ В ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ РЕГІОНАХ

*Проведено аналіз ефективності використання електроавтобусів на туристичних маршрутах великої протяжності та оціночне порівняння вартості експлуатації автобусів. Розраховано експлуатаційні затрати та тарифи на послуги пасажирського транспорту загального користування. Спрогнозовано зміну цін та характеристик акумуляторних батарей електромобілів.*

*Проведен анализ эффективности использования электроавтобусов на туристических маршрутах большой протяженности и оценочное сравнение стоимости эксплуатации автобусов. Рассчитано эксплуатационные затраты и тарифы на услуги пассажирского транспорта общего пользования. Спрогнозировано изменение цен и характеристик аккумуляторных батарей электромобилей.*

*We analyze the effectiveness of the use of electric buses to travel on long-haul routes. Assessed the cost of the operation of electric buses. Calculated operating costs and tariffs for passenger transport services. Predicted changes of price and characteristics of the batteries of electric vehicles.*

**Вступ.** Вичерпність та невідновність нафтових запасів, постійне підвищення цін на пальне, значні витрати на технічне обслуговування і ремонт, щорічне погіршення екологічної ситуації, особливо в умовах міських агломерацій (90% всіх забруднень великих міст припадає на автомобільний транспорт), зростання захворюваності населення, яке пов'язано з емісією автомобілів, значне шумове навантаження на людину – це головні загрози, що створюють автомобілі, обладнані двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ).

Звичайно, електроавтобусу конкурувати з автобусом з ДВЗ сьогодні складно, оскільки під такий вид транспорту налаштована вся інфраструктура, але в найближчі десятиліття, коли запаси нафти і газу вичерпаються, людство змушене буде шукати альтернативу, і ця альтернатива – електромобілі.

Сьогодні немає практично жодної автомобілебудівної компанії зі світовим ім'ям, яка б не випускала електромобілі. Міста Китаю, Європи, Північної Америки починають масово використовувати електроавтобуси для перевезення пасажирів, створюючи цілі парки під автобуси з електричною тягою. Великі перспективи має інфраструктура на сонячних батареях, оскільки вона може

забезпечувати екологічною електроенергією не тільки транспортні засоби на електричній тязі, але й цілі території, що знаходяться поблизу цих станцій.

Особливо важливим є збереження довкілля в екологічно чистих регіонах. Тому аналіз доцільності та обґрунтування можливості використання великих електроавтобусів на туристичних маршрутах і перспектив розвитку відповідної інфраструктури є актуальним.

**Мета статті** – провести порівняльний аналіз ефективності використання електроавтобусів на туристичних маршрутах та обґрунтувати доцільність і перспективність таких заходів.

**Аналіз стану проблеми та публікацій.** Проблема підвищення екологічної безпеки автомобільного транспорту в країнах Європейського Союзу в останні десятиліття вирішується введенням все жорсткіших норм допустимих шкідливих викидів в атмосферу автомобільним транспортом (Євро-4, Євро-5, Євро-6) [1, 2].

Виробники ДВЗ розробляють найсучасніші системи впорскування палива з великою точністю сумішоутворення, керування двигуном, які впливають на всі його регульовальні параметри (виконавчі пристрої), системи рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) та багато іншого. Перш за все це пов'язано з жорсткими екологічними нормами (табл. 1), які з роками будуть ставати ще жорсткішими. Проте всі ці системи досягли практично свого піку, тобто вдосконалювати чи розробляти щось нове у ДВЗ практично неможливо. До того ж, до складу вихлопних газів автомобіля, обладнаного ДВЗ, крім небезпечних для життя та здоров'я речовин, входять дуже небезпечні канцерогенні речовини (сажа, бензопірен, похідні атрацену). В електромобілів нульова емісія за всіма показниками, тобто вони відповідають самим жорстким екологічним нормам.

Тривалий контакт з середовищем, отруєним вихлопними газами автомобілів, обладнаних ДВЗ, викликає загальне ослаблення організму – імунodefіцит. Крім цього, безпосередньо токсичні і шкідливі гази можуть стати причиною різних захворювань. Наприклад, дихальної недостатності, гаймориту, ларинготрахеїту, бронхіту, бронхопневмонії, раку легень. Вихлопні гази викликають атеросклероз судин головного мозку, опосередковано, через легеневу патологію, можуть виникнути і різні порушення серцево-судинної системи.

Електромобіль – це автомобіль, який приводиться в рух одним або кількома електродвигунами з живленням від батарей або акумуляторів. Підвидами електромобіля вважаються електрокар (вантажний транспортний засіб для руху на закритих територіях) і електробус (автобус з акумуляторною тягою). Електромобіль в середньому на 50% чистіший і на 80% енергоефективніший від своїх аналогів з ДВЗ. Розвинені країни при придбанні електромобіля

компенсують частину його вартості, будують зарядні станції, забезпечуючи власникові безкоштовне заряджання, звільняють власників електромобілів від податків.

Таблиця 1 – Норми токсичних автомобільних викидів шкідливих речовин

Шкідлива речовина	Екологічний стандарт						
	Для дизельного двигуна						
	Євро-1	Євро-2	Євро-3	Євро-4	Євро-5	Євро-6	Електромобілі
	1992 р.	1995 р.	1999 р.	2005 р.	2009 р.	2015 р.	
CO	2,72	1,0	0,64	0,5	0,5	0,5	0
NO <sub>x</sub>	–	–	0,5	0,25	0,18	0,08	0
PM	0,14	0,08	0,05	0,025	0,005	0,005	0
HC+NO <sub>x</sub>	0,97	0,7	0,56	0,3	0,23	0,17	0
Для бензинового двигуна							
CO	2,72	2,2	2,3	1	1	1	0
NO <sub>x</sub>	–	–	0,15	0,08	0,06	0,06	0
Летючі органічні речовини	–	–	–	–	0,068	0,068	0
PM	–	–	–	–	0,005	0,005	0
HC+NO <sub>x</sub>	0,97	0,5	–	–	–	–	0
Вуглеводень	–	–	0,2	0,1	0,1	0,1	0

**Результати досліджень та їх аналіз.** Аналіз ефективності використання електроавтобусів на туристичних маршрутах великої протяжності проведений шляхом порівняння двох автобусів: електроавтобуса BYD K9C та автобуса з двигуном внутрішнього згорання ЛАЗ Lemberg Basic на тестовому туристичному маршруті (рис. 1), за початкову точку якого прийнято місто Київ, а кінцевою точкою маршруту вибрано Нікітський ботанічний сад. Для тестового маршруту підбрано два типи зарядних станцій електроавтобуса: зарядна станція на сонячних батареях «Evergreen Solar Fuel Station», розташована поблизу Нікітського ботанічного (час заряджання 3 год); станція швидкого заряджання від побутової мережі «Circontrol» в кількості 4 шт., яка розташована в м. Київ та з періодичністю 223 км на маршруті (час заряджання 15 хв).

Технічні характеристики електроавтобуса BYD K9C та автобуса ЛАЗ моделі Lemberg Basic наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Технічні характеристики електроавтобуса BYD K9C та автобуса ЛАЗ Lemberg Basic

Параметр	Одиниці вимірювання	Автобус ЛАЗ Lemberg Basic	Електроавтобус BYD K9C
Габаритні розміри	мм	10000/2550/3750	12000/2550/3200
Пасажиромісткість	пас	39-41	42
Тип АКБ	–	–	Літій-залізо-фосфатна АКБ (LiFePO <sub>4</sub> , LFP)
Двигун/потужність	кВт (к. с.)	MAN D0836, EEV 6,9; 280	160
Витрата палива на 100 км пробігу при швидкості руху 60 км/год	л	25	–
Максимальна швидкість	км/год	120	96
Відстань без підзарядки (умови для міста)	км	–	>250
Вид палива	–	дизельне	електроенергія
Спосіб заряджання тягової АКБ			
Стандартний заряд	год	–	3,5 (100кВт)
Потужність тягової АКБ			
Напруга	В	–	540
Потужність	А·год	–	600
	кВт·год	–	324

Оскільки загальних методик аналізу електромобілів немає, за основу було використано комплексну методику порівняльного характеру та розрахунок експлуатаційних витрат і тарифів для проїзду вищевказаним маршрутом для двох автобусів, перший – електроавтобус китайського виробництва BYD K9C вартістю 8 000 000 грн, другий – автобус українського виробництва ЛАЗ Lemberg Basic з дизельним ДВЗ вартістю 6 487 500 грн.

Результати розрахунків експлуатаційних затрат і тарифів на послуги пасажирського транспорту загального користування автобусом ЛАЗ Lemberg Basic та електроавтобусом BYD K9C зведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунків

Параметр	Електроавтобус BYD K9C	Автобус ЛАЗ Lemberg Basic
Витрати палива та електроенергії на один маршрут, кВт (л)	1991	497
Вартісні витрати палива та електроенергії на один маршрут, грн	1742	15 539
Вартісні витрати палива та електроенергії протягом 1 місяця, грн	15 679	139 852
Затрати на паливо-мастильні матеріали виражені у грошовому еквіваленті на один маршрут, грн	595	2 368
Накладні витрати, грн	7 366	6 666
Сумарні експлуатаційні витрати на перевезення, грн	56 479	51 110
Собівартість перевезення одного пасажера, грн	1 344	1 246
Вартість квитка за проїзд маршрутом, грн	2 105	1 952
Дохід від перевезення пасажирів одним маршрутом, грн	88 447	80 037
Місячний дохід від перевезення маршрутом, грн	796 022	720 350

Оціночне порівняння вартості експлуатації автобусів протягом декількох років представлено у вигляді графіка (рис. 1).

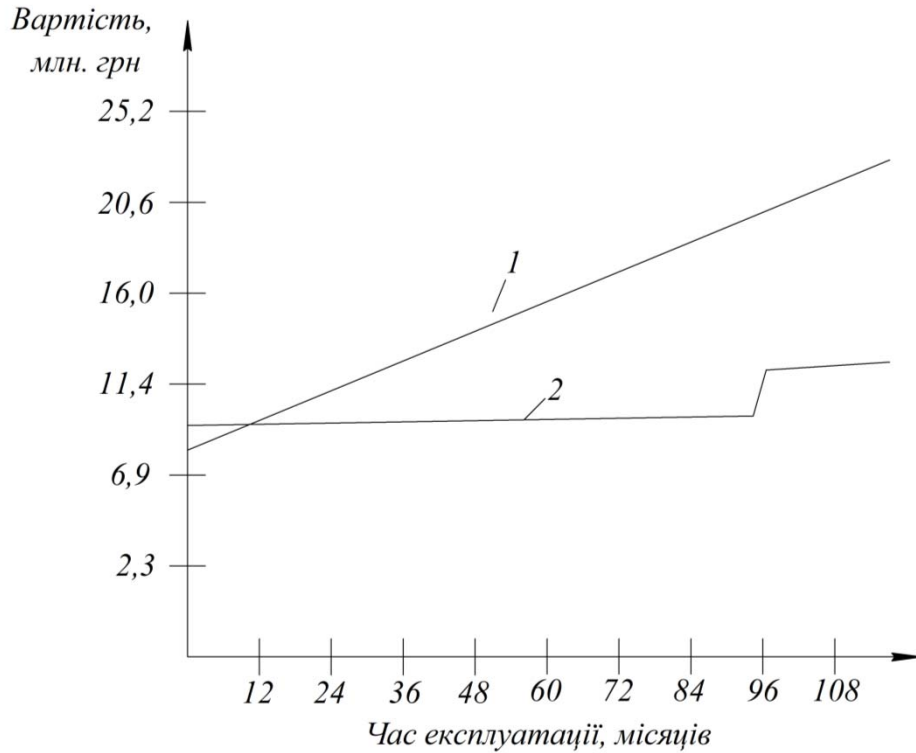


Рис. 1 – Оціночне порівняння вартості експлуатації електроавтобуса BYD K9C та автобуса ЛАЗ Lemberg Basic протягом дев'яти років:  
1 – автобус ЛАЗ Lemberg Basic; 2 – електроавтобус BYD K9C

Як бачимо з вищенаведеного графіка, вартість експлуатації автобуса з ДВЗ значно більша порівняно з електроавтобусом, проте у електроавтобуса витрати на експлуатацію стабільні протягом восьми років, лише на восьмому році експлуатації спостерігається підвищення вартості за рахунок заміни акумуляторної батареї (якщо потрібно), але і після цього збільшення витрати знову залишаються стабільними (див. рис. 1, крива 2).

Акумуляторна батарея – головна складова електромобіля та водночас найбільш проблематична, але з кожним роком розробляються нові, більш досконалі, акумуляторні батареї та виділяються значні інвестиції для досліджень. Прогноз зміни цін та характеристик акумуляторних батарей електромобілів представлено нище у вигляді гістограм (рис. 2 – рис. 4).

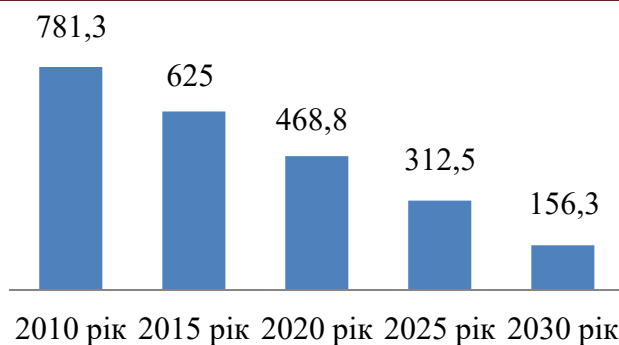


Рис. 2 – Середня вартість акумуляторної батареї, яка забезпечує запас ходу у 160 км (тис. грн)

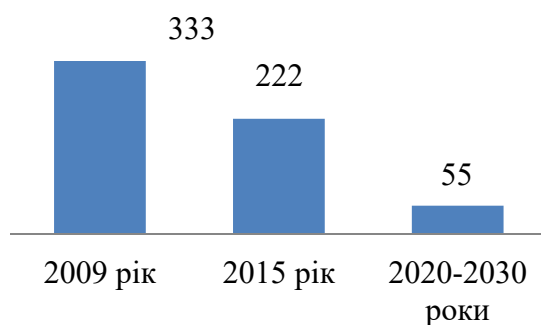


Рис. 3 – Середня маса акумуляторної батареї, яка забезпечує запас ходу у 160 км (кг)

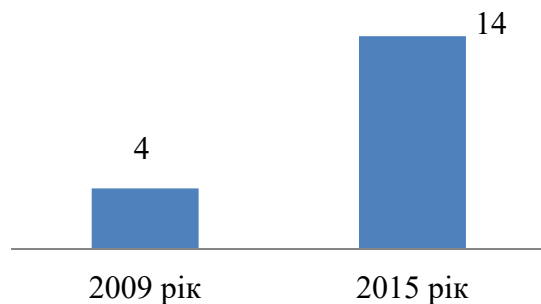


Рис. 4 – Середня «тривалість життя» акумуляторної батареї електромобіля (кількість років)

З наведених даних видно, що з кожним роком вартість та маса акумуляторних батарей буде зменшуватися, а ресурс – зростати, у результаті чого акумуляторна батарея ставатиме все доступнішою, а це, у свою чергу, приведе до зменшення вартості автомобіля на електричній тязі.

---

**Висновки**

1. Проведено порівняльний аналіз ефективності експлуатації електроавтобуса і автобуса з дизельним ДВЗ на туристичних маршрутах великої протяжності в екологічно чистому регіоні.

2. Вибрано для порівняння тестовий туристичний маршрут і обґрунтовано кількість та вид зарядних станцій на цьому маршруті.

3. Показано, що протягом усього терміну експлуатації автобус з акумуляторною тягою покриває свою велику вартість і приносить прибуток, що дає підстави стверджувати, що за відповідного розвитку інфраструктури використання електроавтобусів на туристичних маршрутах великої протяжності є доцільним з економічної та екологічної точок зору.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. <http://uk.wikipedia.org/wiki/Євро-6>
2. <http://insiderblogs.info/amerika-perehodit-na-elektromobili-epoha-nefti-zakanchivaetsya/>
3. <http://www.byd.ua/ua/vehicle/k9.htm#Characteristic>
4. [http://эковатт.рф/free\\_energy/solar\\_energy/d915/](http://эковатт.рф/free_energy/solar_energy/d915/)
5. [http://www.laz.ua/ru/prod/1/8/teh\\_char/](http://www.laz.ua/ru/prod/1/8/teh_char/)