

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ МАЛОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ

Войтків С. В.¹

¹Науково-технічний центр «Автополіпром»

***Анотація.** Розроблена методика об'єктивної оцінки технічної ефективності сучасних моделей електромобілів малої вантажопідйомності категорій L_7 та N_1 на основі запропонованих критеріїв. Визначені показники конструктивної, експлуатаційної, функціональної та економічної ефективності вантажних електромобілів з урахуванням їхніх специфічних конструктивних особливостей, а також формули для їхнього обчислення. Запропоновані інтегральні показники технічної ефективності електромобілів малої вантажопідйомності.*

***Ключові слова:** електромобіль малої вантажопідйомності; критерії технічної ефективності; конструктивна, експлуатаційна, функціональна та економічна ефективність; інтегральні показники ефективності електромобілів.*

Вступ

До електромобілів малої вантажопідйомності (МВ) належать вантажні транспортні засоби двох категорій [1]:

- категорії L_7 -CU – транспортний засіб з чотирма колесами, споряджена маса якого не перевищує 600 кг без урахування маси акумуляторів і який оснащено електричним двигуном, номінальна максимальна потужність якого в режимі тривалого навантаження не перевищує 15 кВт;

- категорія N_1 – механічні транспортні засоби, які мають не менше ніж чотири колеса і використовуються для перевезення вантажів, максимальна повна маса яких не перевищує 3500 кг.

Споряджена маса (маса без навантаги) електромобілів МВ – маса транспортного засобу без водія, службових осіб і вантажу зі 100 % експлуатаційних рідин (паливо обігрівача, рідина змивача вітрового скла тощо) та обладнанням, яке виробник поставляє додатково до необхідного для їхнього нормального функціонування (запасне колесо, набір інструментів, вітрове скло, багажник, захисні пристрої тощо) [2].

Повна маса – технічно допустима маса максимально навантаженого транспортного засобу, яку встановлює виробник, тобто передбачена виробником споряджена маса транспортного засобу з масою водія і службових осіб та вантажу.

Характерною особливістю електромобілів малої вантажопідйомності (МВ) є суттєва частка маси тягових акумуляторних батарей (АКБ) у їхній спорядженій масі, яка зале-

жить від енергетичної потужності або енергетичної ємності, а також від типів та технічних і експлуатаційних характеристик тягових АКБ.

Аналіз публікацій

Протягом кількох останніх років усе більшого розвитку набувають електромобілі малої вантажопідйомності категорій L_7 -CU та N_1 . Практично щороку на ринках європейських країн з'являється кілька нових моделей таких електромобілів або й нові заводи з їх дрібносерійного виробництва. Над створенням конструкцій електромобілів МВ працюють і фахівці українських підприємств (НТЦ «Автополіпром», ТзОВ «Murmuration Techno-logy» [3] тощо). Кілька українських торговельних компаній пропонують на внутрішньому ринку України електромобілі МВ європейських та китайських виробників. Вони, звісно, відрізняються багатьма конструктивними, експлуатаційними та іншими параметрами і характеристиками. Отже, перед виробниками таких електромобілів постають непрості запитання – за якими критеріями та якими показниками оцінювати конструкції створюваних перспективних електромобілів МВ. Вирішення аналогічних проблем потребують і споживачі таких електромобілів.

Деякі критерії експлуатаційної ефективності електромобілів розглянуті в роботах [4, 5]. У роботі [4] критеріями експлуатаційної ефективності прийняті величина пробігу, транспортна робота та продуктивність. Критеріями економічної ефективності застосовані вартість тягових АКБ та вартість їхнього

заряджання, а енергетична ефективність оцінюється величиною енергії, яка витрачається під час розгону і руху електромобіля із заданою швидкістю. Витрата електроенергії на одного пасажера прийнята як показник енергетичної ефективності різних транспортних засобів з електричним тяговим приводом у роботі [5]. Продуктивність та величина пробігу електромобілів використовуються для оцінки їхньої ефективності і в роботі [6]. У методиці пошуку раціональних конструктивних параметрів тягового приводу електромобіля [7] тягово-швидкісним показником є час розгону до швидкості 100 км/год, енергетичним – пробіг електромобіля на одній зарядці та витрачена у цьому випадку енергія тягових АКБ, пробіг за весь життєвий цикл тягових АКБ. Також враховується вартість комплексу тягових АКБ, яка є основною складовою вартості всього електромобіля. Для оцінки ефективності вантажного електромобіля категорії N_1 , створеного на базі автомобіля ГАЗ-3302, авторами застосовані витрати електроенергії в міському їздовому циклі та питома витрата електроенергії за пройдений шлях [8].

Параметри ефективності електромобілів значною мірою залежать від типу та енергетичної потужності застосованих тягових АКБ. Ефективність тягових АКБ різних типів розглянута, наприклад, у працях [9, 10].

Проте оцінка технічної ефективності конструкцій наявних моделей та проєктованих електромобілів МВ за наведеними в роботах [4–10] та інших оціночними критеріями та їхніми параметрами є далеко не достатньою.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є розроблення методики оцінки технічної – конструктивної, експлуатаційної, енергетичної, функціональної та економічної – ефективності електромобілів малої вантажопідйомності категорії L_7 та N_1 на різних стадіях та етапах їхнього проєктування для вибору оптимальних компоувальних рішень.

Результати досліджень

Як уже було зазначено, електромобілі МВ за регламентованими основними конструктивними параметрами поділяються на дві категорії – L_7 -CU та N_1 . Характерною особливістю цієї класифікації є різний підхід до

вибору визначальних (регламентованих) ознак (параметрів).

Для електромобілів МВ категорії L_7 -CU прийняті регламентовані параметри таких ознак, як:

- габаритні розмірні параметри (довжина, ширина та висота);
- споряджена маса без урахування маси тягових АКБ;
- кількість коліс (одинарних або здвоєних);
- максимальна швидкість руху електромобіля;
- максимальна безперервна номінальна потужність одного або кількох (сумарна) тягових електродвигунів (ЕД);
- довжина і ширина зони шасі електромобіля для розміщення вантажної платформи або кузова будь-якого функціонального призначення.

Для електромобілів МВ категорії N_1 регламентованими класифікаційними параметрами прийняті:

- максимальні габаритні розмірні параметри (довжина – не більше ніж 12,0 м, ширина – не більше ніж 2,5 м і висота – не більше ніж 4,0 м);
- максимальна допустима маса електромобіля (не більше ніж 3500 кг).

Параметри регламентованих вимог електромобілів МВ категорії L_7 -CU [11] наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні вимоги до електромобілів МВ категорії L_7 -CU

Регламентований параметр	Категорія електромобіля L_7 -CU
Розмірні параметри:	
– довжина, м	$\leq 3,7$
– ширина, м	$\leq 1,5$
– висота, м	$\leq 2,5$
Кількість коліс, шт.	4
Споряджена маса ¹ , кг	≤ 600
Максимальна швидкість руху, км/год.	≤ 90
Максимальна безперервна номінальна потужність тягового ЕД, кВт	$\leq 15,0$
<i>Примітка:</i> ¹ Споряджена маса електромобіля без урахування маси блоків тягових АКБ	

Крім того, електромобілі МВ категорії L_7 -CU мають бути обладнані закритою двомісною кабіною з двома дверима та відкритим

або закритим практично прямим і горизонтальним вантажним простором, що відповідає умові:

$$l_k \cdot b_k \geq 0,3(L_e \cdot B_e), \quad (1)$$

де l_k – довжина кузова електромобіля, м;

b_k – ширина кузова електромобіля, м;

L_e – довжина електромобіля, м;

B_e – ширина електромобіля, м.

Вантажний відсік електромобілів МВ з однооб'ємним кузовом повинен вмщати, як мінімум, куб зі стороною 0,6 м і повинен бути відокремленим жорсткою перегородкою від відділення водія або відсіку для розміщення службових осіб.

Технічна ефективність електромобілів малої вантажопідйомності визначається:

- ефективністю прийнятих конструктивних рішень у їхньому проектуванні, тобто конструктивною ефективністю;

- ефективністю експлуатації у конкретних експлуатаційних умовах, тобто експлуатаційною ефективністю.

Конструктивна ефективність, тобто ефективність конструкцій електромобілів МВ, визначається певним співвідношенням їхніх технічних характеристик на основі максимального забезпечення відповідних технічних вимог до конструкцій електромобілів, призначених для виконання робіт відповідно до функціонального призначення в конкретизованих умовах експлуатації.

З аналізу регламентованих вимог до електромобілів МВ зрозуміло, що до факторів, які мають найбільший вплив на їхню конструктивну ефективність, належать:

- параметри мас:
 - споряджена маса;
 - споряджена маса без маси блоків тягових АКБ;
 - порожня маса, кг;
 - вантажопідйомність (маса вантажу або корисна маса без маси водія та маси членів службового персоналу);
 - повна маса (порожня маса з масою вантажу);
 - розмірні параметри:
 - габаритна довжина, габаритна ширина і габаритна висота електромобілів;
 - довжина і ширина вантажної платформи або зони для розміщення кузовів;
 - параметри тягового ЕД;

- номінальна (максимальна безперервна) потужність.

Порожня маса електромобілів МВ складається зі спорядженої маси електромобілів та маси водія (75 кг) та маси членів службового персоналу (65 кг для електромобілів категорії L7-CU та 75 кг для електромобілів категорії N1).

Крім того, до факторів конструктивної ефективності електромобілів МВ належать:

- енергоємність або енергопотужність блоків тягових АКБ;

- величина колісної бази, яка впливає на параметри маневреності та плавності їхнього руху.

До важливих факторів експлуатаційної ефективності електромобілів МВ на етапі їхнього проектування належать:

- тип тягових АКБ, від яких залежить необхідність та періодичність їхнього обслуговування та заміни;

- споживання електроенергії тягових АКБ у відповідних експлуатаційних умовах;

- пробіг без заряджання / підзаряджання блоків тягових АКБ;

- типорозмір шин коліс, якими обладнані передній та задній мости електромобілів.

Критерії та показники конструктивної ефективності електромобілів МВ

Для порівняльного аналізу й оцінки технічної досконалості електромобілів МВ пропонуються такі основні критерії їхньої конструктивної ефективності:

- коефіцієнт вантажопідйомності електромобіля, k_G ;

- коефіцієнт маси тягових АКБ, $k_m^{акб}$;

- коефіцієнт довжини кузова (коефіцієнт використання габаритної довжини електромобіля), k_L ;

- коефіцієнт питомої потужності електромобіля, k_N ;

- коефіцієнт питомої енергоємності електромобіля, k_E ;

- коефіцієнт питомої енергопотужності електромобіля, k_W ;

- коефіцієнт колісної бази електромобіля, $k_б$.

Коефіцієнт вантажопідйомності, k_G , характеризує технічний рівень конструкцій електромобілів МВ за величиною спорядженої маси і визначаються як відношення допу-

стимої маси вантажу (корисної маси) до порожньої маси електромобіля і визначається за виразами:

$$k_G = \frac{M_B}{M_{\text{пор}}}, \quad (2)$$

де M_B – допустима маса вантажу (вантажопідйомність електромобіля), кг;

$M_{\text{пор}}$ – порожня маса електромобіля (маса без вантажу), кг;

$$M_{\text{пор}} = M_{\text{п}} - M_B \quad (3)$$

або

$$M_{\text{пор}} = M_{\text{сп}} + m_{\text{вод}} + n_{\text{сл}} \cdot m_{\text{сл}}, \quad (4)$$

де $M_{\text{п}}$ – повна допустима маса електромобіля, кг;

$M_{\text{сп}}$ – споряджена маса електромобіля, кг;

$m_{\text{вод}}$ – маса водія, кг; $m_{\text{вод}} = 75$ кг;

$n_{\text{сл}}$ – кількість місць у кабіні водія або у пасажирському приміщенні електромобіля для службових осіб, од.; $n_{\text{сл}} \leq 1$ для електромобілів категорії L7-CU; для електромобілів категорії N1 $n_{\text{сл}} \geq 1$;

$m_{\text{сл}}$ – маса службової особи, кг; для електромобілів категорії L7-CU $m_{\text{сл}}^L = 65$ кг, для категорії N1 $m_{\text{сл}}^N = 75$ кг.

Отже, коефіцієнт вантажопідйомності електромобілів MB визначається за виразами:

$$k_G = \frac{M_B}{M_{\text{п}} - M_B} \quad (5)$$

або

$$k_G = \frac{M_B}{M_{\text{сп}} + m_{\text{вод}} + n_{\text{сл}} \times m_{\text{сл}}}. \quad (6)$$

Варто зазначити, що сам по собі коефіцієнт вантажопідйомності не може бути одноосібним критерієм конструктивної ефективності електромобілів MB, оскільки вони можуть бути обладнані блоками тягових АКБ різних типів різної енергоємності або енергопотужності. Тобто, маса блоків тягових АКБ електромобілів MB може суттєво різнитися і становити $(1...5) \times m_{\text{акб}}^{\text{мін}}$, де $m_{\text{акб}}^{\text{мін}}$ – мінімальна маса блоків тягових АКБ раціонально-мінімальної енергоємності або енерго-

потужності. Тому, поряд із коефіцієнтом вантажопідйомності електромобілів MB, необхідне застосування й коефіцієнта маси тягових АКБ, $k_m^{\text{акб}}$, який визначається за виразом:

$$k_m^{\text{акб}} = \frac{m_{\text{акб}}}{M_{\text{сп}}^0}, \quad (7)$$

де $m_{\text{акб}}$ – маса блоків тягових АКБ, кг;

$M_{\text{сп}}^0$ – споряджена маса електромобіля без маси блоків тягових АКБ, кг;

$$M_{\text{сп}}^0 = M_{\text{сп}} - m_{\text{акб}} \quad (8)$$

або

$$M_{\text{сп}}^0 = M_{\text{п}} - (M_B + m_{\text{акб}} + m_{\text{вод}} + n_{\text{сл}} \cdot m_{\text{сл}}). \quad (9)$$

Коефіцієнт використання габаритної довжини електромобіля (коефіцієнт довжини кузова), k_L , який характеризує довжину шасі для розміщення вантажної платформи або будь-якого кузова, визначається за виразом

$$k_L = \frac{L_e - l_k}{L_e}, \quad (10)$$

де L_e – габаритна довжина електромобіля, м;

l_k – довжина вантажної платформи або кузова електромобіля, м (рис. 1).

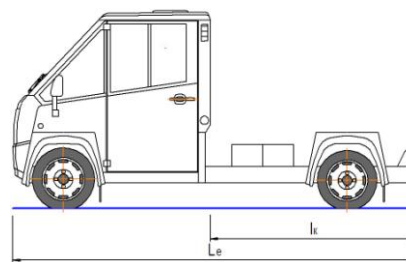


Рис. 1. Схема розмірних параметрів для визначення коефіцієнта використання габаритної довжини електромобілів MB

Коефіцієнт питомої потужності, k_N , електромобілів MB характеризує тягово-динамічні параметри й визначається за виразом:

$$k_N = k^n \cdot \frac{N_{\text{ед}}^{\text{н}}}{0,01M_{\text{п}}}, \quad (11)$$

де k^n – розмірний коефіцієнт, кг/кВт;

$N_{ед}^H$ – номінальна (довготривала) потужність тягового ЕД електромобіля, кВт.

Коефіцієнти питомої енергоємності, k_E , або питомої енергопотужності, k_W , характеризують запас електричної енергії блоків тягових АКБ, якими обладнані електромобілі МВ. Вони визначаються за такими виразами:

$$k_E = k^e \cdot \frac{E_{акб}}{M_{п}} \quad (12)$$

або

$$k_W = k^w \cdot \frac{W_{акб}}{0,01M_{п}}, \quad (13)$$

де k^e – розмірний коефіцієнт, кг/А·год;

$E_{акб}$ – енергоємність блоків тягових АКБ, А·год;

k^w – розмірний коефіцієнт, кг/кВт·год;

$W_{акб}$ – енергопотужність блоків тягових АКБ, кВт·год.

Коефіцієнт колісної бази електромобілів МВ визначається за виразом:

$$k_{\sigma} = \frac{L_{\sigma}}{L_e}, \quad (14)$$

де L_{σ} – довжина колісної бази електромобіля, м.

Критерії та показники експлуатаційної ефективності електромобілів МВ

До критеріїв експлуатаційної ефективності електромобілів МВ, найбільш важливих для порівняльного аналізу та оцінки їхнього технічного рівня, які забезпечуються їхніми конструкціями, належать:

- коефіцієнт пробігу електромобіля, k_S ;
- коефіцієнт типорозміру (зовнішнього діаметру) шин, якими обладнані мости електромобіля, $k_{ш}$;
- коефіцієнт типу тягових АКБ, $k_{акб}$.

Коефіцієнт пробігу, $k_{пр}$, який характеризує максимально можливий пробіг електромобілів МВ на одноразово заряджених блоках тягових АКБ, тобто без їхнього додаткового підзарядження / зарядження, визначається за виразом:

$$k_{пр} = k_S^* \cdot \frac{S_{пр}}{0,1M_{п}}, \quad (15)$$

де k^* – розмірний коефіцієнт, км/кг;

$S_{пр}$ – пробіг електромобіля на одній зарядці блоків тягових АКБ, км.

Коефіцієнт типорозміру (зовнішнього діаметра) шин коліс електромобілів МВ визначається за виразом:

$$k_{ш} = k^{ш} \cdot 0,5D_{ш}, \quad (16)$$

де $k^{ш}$ – розмірний коефіцієнт, м⁻¹;

$D_{ш}$ – зовнішній діаметр шин коліс електромобіля, м.

Коефіцієнт ефективності тягових АКБ, якими обладнана система живлення тягового ЕД (або кількох тягових ЕД) електромобілів МВ визначається за формулою:

$$k_{акб} = k_{об} \cdot k_p \cdot 0,0001z_p, \quad (17)$$

де $k_{об}$ – коефіцієнт обслуговування тягових АКБ; для обслуговуваних АКБ $k_{об}=0,5$; для необслуговуваних АКБ $k_{об}=1,0$;

k_p – коефіцієнт допустимого ступеня розрядження тягових АКБ, який характеризує робочу енергоємність або енергопотужність тягових КБ;

z_p – кількість робочих циклів розрядження / зарядження тягових АКБ за умови відповідного k_p .

Критерії та показники конструктивної ефективності електромобілів МВ

Сучасні електромобілі МВ виробництва багатьох європейських та інших країн можуть комплектуватися кузовами та робочими механізмами різного функціонального призначення.

Наявність номенклатури кузовів спеціального¹ та спеціалізованого² функціонального призначення характеризується коефіцієн-

¹ Кузови спеціального призначення забезпечують виконання спеціальних робочих функцій (аварійні ремонти в різних сферах, транспортування сміття та інших відходів, надання технічної допомоги, прибирання тротуарів, парків, скверів тощо).

² Кузови спеціалізованого призначення забезпечують перевезення певних категорій вантажів. До них належать самоскидні кузови, фургони, цистерни, кузови санітарної або медичної допомоги тощо.

том номенклатури кузовів, який визначається за виразом:

$$k_{нк} = 0,1n_k, \quad (18)$$

де n_k – кількість кузовів різного функціонального призначення, якими може комплектуватися електромобіль конкретної моделі.

Аналогічно, наявність номенклатури робочих механізмів різного функціонального призначення, до яких належать щітки для прибирання територій, плуги-відвали, газнокосарки тощо, характеризується коефіцієнтом номенклатури робочих механізмів, який визначається за виразом:

$$k_{нм} = 0,1n_m, \quad (19)$$

де n_m – кількість робочих механізмів різного функціонального призначення, якими може комплектуватися електромобіль конкретної моделі.

Критерії та показники економічної ефективності електромобілів МВ

Безперечно, експлуатаційна ефективність електромобілів МВ значною мірою залежить і від економічних факторів, до яких належать:

- ринкова вартість електромобілів у відповідних комплектаціях;
- вартість блоків тягових АКБ, якими обладнані електромобілі;
- ринкова вартість кузовів різного функціонального призначення, якими можуть комплектуватися електромобілі;
- ринкова вартість робочих механізмів різного функціонального призначення, якими можуть комплектуватися електромобілі.

Отже, економічна ефективність електромобілів МВ оцінюється такими критеріями:

- коефіцієнтом економічної ефективності за вантажопідйомністю, $k_{эфG}$;
- коефіцієнтом економічної ефективності за пробігом без підзаряджання / заряджання блоків тягових АКБ, $k_{эфL}$;
- коефіцієнтами економічної ефективності тягових АКБ за номінальною енергоємністю, $k_{эфE}$ або за номінальною енергопотужністю, $k_{эфW}$;
- коефіцієнтом економічної ефективності кузовів, $k_{эфK}$;

- коефіцієнтом економічної ефективності робочих механізмів, $k_{эфрМ}$.

Коефіцієнт економічної ефективності електромобілів МВ за вантажопідйомністю визначається за виразом:

$$k_{эфG} = k^c \cdot \frac{M_B}{C_e}, \quad (20)$$

де k^c – розмірний коефіцієнт, тис. грн/кг;

C_e – ринкова вартість електромобіля, тис. грн.

Коефіцієнт економічної ефективності електромобілів МВ за пробігом визначається за формулою:

$$k_{эфS} = k^s \cdot \frac{S_{пр}}{C_e}, \quad (21)$$

де k^s – розмірний коефіцієнт, тис. грн/км.

Коефіцієнт економічної ефективності тягових АКБ визначається за виразом:

$$k_{эфE} = k^E \cdot \frac{E_{акб} \cdot k_p \cdot z_p}{C_e}, \quad (22)$$

де k^E – розмірний коефіцієнт, тис. грн/А·год;

$E_{акб}$ – номінальна енергоємність блоків тягових АКБ, А·год;
або за виразом:

$$k_{эфW} = k^W \cdot \frac{W_{акб} \cdot k_p \cdot z_p}{C_e}, \quad (23)$$

де k^W – розмірний коефіцієнт, тис. грн/А·год;

$W_{акб}$ – номінальна енергоємність блоків тягових АКБ, А·год.

Коефіцієнт економічної ефективності кузовів, якими можуть обладнуватися електромобілі МВ, визначається за виразом:

$$k_{эфK} = k^n \cdot \frac{\Pi_k}{C_k}, \quad (24)$$

де k^n – розмірний коефіцієнт, тис. грн/од. Π_k ;

Π_k – основний (визначальний) показник функціонального призначення кузова; на-

приклад, для бортового кузова – площа кузова, м², для самоскидного кузова, кузовів-фургонів, кузовів-цистерн, кузовів для збирання сміття – об’єм кузовів, м³;

C_k – ринкова вартість кузова електромобіля, тис. грн.

Коефіцієнт економічної ефективності робочих механізмів, якими можуть обладнуватися електромобілі МВ, визначається за виразом:

$$k_{\text{ефк}} = k^{\text{п}} \cdot \frac{P_{\text{рм}}}{C_k}, \quad (25)$$

де $P_{\text{рм}}$ – основний (визначальний) показник функціонального призначення робочого механізму; наприклад, для снігоприбирального плуга-відвала, притиральної щітки або газонокосарки – ширина робочого органу, м;

$C_{\text{рм}}$ – ринкова вартість робочого механізму електромобіля, тис. грн.

Інтегральні показники технічної ефективності електромобілів МВ

Інтегральні, тобто узагальнені критерії технічної ефективності електромобілів МВ враховують кілька найбільш характерних (визначальних) конструктивних, експлуатаційних, економічних та інших факторів. Такі критерії необхідні для визначення найбільш ефективного електромобіля конкретного функціонального призначення або кількох функціональних призначень, обладнаного кількома різними спеціальними та/або спеціалізованими кузовами і/або кількома робочими механізмами різного функціонального призначення.

Інтегральні показники технічної ефективності (якості) електромобілів МВ базуються на поєднанні кількох найбільш визначальних коефіцієнтів їхньої конструктивної, експлуатаційної та економічної ефективностей, наведених у табл. 2.

Таблиця 2 – Основні критерії та показники ефективності (якості) електромобілів МВ

Вид ефективності	Критерій ефективності	Показник ефективності
Конструктивна	Вантажопідйомність (ефективність використання повної допустимої маси)	Коефіцієнт вантажопідйомності, k_G
	Довжина кузова (ефективність використання габаритної довжини електромобіля)	Коефіцієнт довжини кузова, k_L
	Номінальна (довготривала) потужність тягового ЕД	Коефіцієнт питомої потужності електромобіля, k_N
	Номінальна енергоємність блоків тягових АКБ	Коефіцієнт питомої енергоємності блоків тягових АКБ, k_E
	Номінальна енергопотужність блоків тягових АКБ	Коефіцієнт питомої енергопотужності блоків тягових АКБ, k_W
Експлуатаційна	Пробіг електромобіля на одній зарядці блоків тягових АКБ	Коефіцієнт пробігу електромобіля, k_S
Економічна	Ринкова вартість електромобілів	Коефіцієнт економічної ефективності за вантажопідйомністю, $k_{\text{ефG}}$
		Коефіцієнт економічної ефективності за пробігом, $k_{\text{ефL}}$

Зазвичай, інтегральний³ показник будується таким чином, щоб його значення знаходилися в межах від 0 до 1, хоча ця умова й не є обов’язковою.

Одним із таких показників є узагальнений коефіцієнт конструктивно-експлуатаційної

ефективності електромобілів МВ, який характеризує два визначальні критерії – вантажопідйомність та пробіг електромобілів конкретного функціонального призначення без підзаряджання / заряджання блоків тягових АКБ:

$$k_{\text{еф}}^{GL} = k_G \cdot k_L. \quad (26)$$

³ Інтегральний критерій – деякий умовний критерій латентної (від лат. *latentis* — прихований, невидимий), тобто неочевидної загальної якості електромобіля

За відсутності даних підприємств-виробників електромобілів МВ по їхніх пробігах на одній зарядці блоків тягових АКБ застосовуються узагальнені коефіцієнти їхньої конструктивної ефективності за вантажопідйомністю та або за номінальною енергоємністю:

$$k_{\text{еф}}^{GE} = k_G \cdot k_E \quad (27)$$

або за номінальною енергопотужністю:

$$k_{\text{еф}}^{GW} = k_G \cdot k_W \quad (28)$$

Інтегральний показник конструктивної ефективності електромобілів малої вантажопідйомності, який враховує всі критерії, наведені в табл. 2, визначається за такими виразами:

$$k_{\text{еф}\Sigma}^E = k_G \cdot k_L \cdot (k_N + k_E) \quad (29)$$

або

$$k_{\text{еф}\Sigma}^W = k_G \cdot k_L \cdot (k_N + k_W) \quad (30)$$

Узагальненим інтегральним показником конструктивної та економічної ефективності електромобілів МВ є коефіцієнт загальної конструктивно-економічної ефективності, який пропонується визначати за виразами:

$$k_{\text{еф}\Sigma}^{SC} = k_G \cdot k_L \cdot (k_N + k_E) \cdot k_{\text{еф}\Sigma} \quad (31)$$

та

$$k_{\text{еф}\Sigma}^{EC} = k_G \cdot k_L \cdot (k_N + k_E) \cdot k_{\text{еф}G}, \quad (32)$$

або

$$k_{\text{еф}\Sigma}^{WC} = k_G \cdot k_L \cdot (k_N + k_W) \cdot k_{\text{еф}G} \quad (33)$$

Інтегральний коефіцієнт загальної конструктивно-економічної ефективності перспективних електромобілів малої вантажопідйомності категорій L₇ та N₁ характеризує їхній загальний технічний рівень та рівень конкурентоспроможності.

Висновки

Технічна ефективність сучасних електромобілів МВ категорій L₇ та N₁ суттєво різниться завдяки застосуванню різних компо-

нувальних схем за типом кабіни водія, за колісною формулою, за типом тягового моста або керовано-тягового та тягового мостів у випадку повноприводних транспортних засобів. Дуже значний вплив на параметри технічної ефективності електромобілів МВ має маса блоків тягових АКБ різних типів за будовою та різної номінальної енергоємності або номінальної енергопотужності. Крім того, технічна ефективність електромобілів МВ залежить і від багатьох інших чинників, до яких належать тип підвіски мостів, обладнання кабіни водія (наприклад, системою кондиціонування повітря), наявність електронних систем безпеки руху електромобілів (ABS та інших), доступність (необхідність спеціальних зарядних станцій), зручність і тривалість заряджання блоків тягових АКБ тощо.

Проте запропонована методика визначення показників основних критеріїв конструктивної, експлуатаційної, функціональної та економічної ефективностей забезпечить:

- об'єктивність аналізу електромобілів МВ категорій L₇ та N₁ однакового функціонального призначення, близьких за технічними параметрами і економічними показниками;
- обґрунтований вибір компоновальних та конструктивних рішень на всіх етапах процесу проектування електромобілів МВ;
- оцінку технічного рівня та конкурентоспроможності проєктованих перспективних електромобілів МВ.

Пропонована методика може також застосовуватися для вибору приватними споживачами або членами тендерних комісій моделей електромобілів МВ однакового функціонального призначення, оптимальних для застосування у конкретних експлуатаційних умовах.

Література

1. Сводная резолюция о конструкции транспортных средств (СР.3), пересмотр 6. URL: <http://docplayer.ru/74616569-Svodnaya-rezolyuciya-o-konstrukcii-transportnyh.html> (дата звернення: 01.08.2020).
2. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпеки технічного стану та методи контролювання. Київ: Держспоживстандарт України, 2011 р. 30 с.
3. Компания Мурмурейшн Технолоджи – український стартап, що створює електромобілі. URL: <https://fra.org.ua/ru/an/publikatsii/analitika/kompaniia-murmureishn-tekhnologzhii-ukrayinskii-startap-shcho-stvoriuiie-elektromobili>

- (дата звернення: 27.09.2020).
4. Логачев В. Н., Лайко В. М., Сидоров К. М. Комплексная оценка эффективности электро-мобиля с комбинированной энергетической установкой. *Автомобиль. Дорога. Инфра-структура. Электронный научный журнал*. 2018. № 4 (18). С. 1–11.
 5. Сравнительный анализ энергетической эффективности электромобилей «Юнибус» и «Tesla Model S». URL: http://unitsky.engineer/assets/files/shares/2015/2015_11.pdf (дата звернення: 24.09.2020).
 6. Ерохов В. И., Николаенко А. В. Экономическая эффективность применения электропривода наземного транспортного средства. *Транспорт на альтернативном топливе*. 2011. № 3 (21). С. 48–54.
 7. Козлова Т. А. Методика поиска рациональных конструктивных параметров тягового привода электромобиля. *Интернет-журнал «НАУКО-ВЕДЕНИЕ»*. 2016. Т. 8, № 5. С. 1–17.
 8. Блохин А. Н., Грошев А. М., Козлова Т.А., Яржемский А. Д., Серопян М. С. Результаты исследования электромобиля на шасси «ГАЗель». *Наука и образование. Научное издание МВТУ им. Н. Э. Баумана*. 2012. № 12. С. 75–106. DOI: 10.7463/1212.0499839.
 9. Аргун Ш. В. Визначення найбільш ефективних джерел струму для електромобілів. *Автомобільний транспорт*. 2017. Вип. 41. С. 11–22.
 10. Войтків С. В. Вибір тягових акумуляторних батарей для вантажних електромобілів категорій L7 та N1. *Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2020): збірник доповідей*. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 3314–3317.
 11. Регламент европейського Парламенту та Ради (ЄС) № 168/2013 від 15 січня 2013 року про затвердження та нагляд за ринком дво- та триколісних транспортних засобів та квадроциклів. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0168&from=EN> (дата звернення: 01.08.2020).

References

1. Svodnaya rezolyutsiya o konstruksii transportnykh sredstv (SR.3), peresmotr 6 [Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (RE3), Revision 6]. Retrived from: <http://docplayer.ru/74616569-Svodnaya-rezolyuciya-o-konstrukcii-transportnyh.html> (accessed: 01.08.2020).
2. DSTU 3649:2010. Kolisni transportni zasobi. Vimogi shchodo bezpechnosti tekhnichnogo stanu ta metodi kontrolyuvannya [State Standard 3649:2010. Wheeled vehicles. Technical condition safety requirements and control methods]. Kiïv: Derzhspozhivstandart Ukraïni, 2011 r. 30 p.
3. Kompaniya Murmureishn Tekhnolodzhi – ukrain-s'kii startup, shcho stvoryue elektromobili [Murmuration Technology is a Ukrainian startup that creates electric cars]. Retrived from: <https://fra.org.ua/ru/an/publikatsii/analitika/kompaniia-murmureishn-tekh-nolodzhi-ukrayinskii-startap-shcho-stvoriuaie-elektromobili> (accessed: 27.09.2020).
4. Logachev V. N., Laiko V. M., Sidorov K. M. (2018) Kompleksnaya otsenka effektivnosti elektro-mobilya s kombinirovannoi energeticheskoi ustanovkoi [Complex assessment of the effectiveness of an hybrid electric vehicle]. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. Elektronnyi nauchnyi zhurnal*. 4 (18). [in Russian].
5. Sravnitel'nyi analiz energeticheskoi effek-tivnosti elektromobiley "Yunibus" i "Tesla Model S" [Comparative analysis of energy efficiency of electric vehicles "Unibus" and "Tesla Model S"]. Retrived from: http://unitsky.engineer/assets/files/shares/2015/2015_11.pdf (accessed 24.09.2020).
6. Erokhov V. I., Nikolaenko A. V. (2011) Ekonomiche-skaya effektivnost' primeneniya elektroprivoda nazemnogo transportnogo sredstva [Economic efficiency of application of an electric drive of a ground vehicle]. *Transport na al'ternativnom toplive*. 3 (21). 48-54 [in Russian].
7. Kozlova T. A. (2016) Metodika poiska ratsional'nykh konstruktivnykh parametrov tyagovogo privoda elektromobilya [Search procedure of the rational design parameters of the electromobile traction drive]. *Internet-zhurnal "NAUKO-VEDENIE"*. 8 (5). 1-17 [in Russian].
8. Blokhin A. N., Groshev A. M., Kozlova T.A., Yarzhemskii A. D., Seropyan M. S. (2012) Rezul'taty issledovaniya elektromobilya na shassi "GAZel" [Blokhin A. N., Groshev A. M., Kozlova T. A., Yarjemskii A. D., Seropyan M. S. Research data on the electric vehicle with "Gazelle" chassis]. *Nauka i obrazovanie. Nauchnoe izdanie MVTU im. N. E. Bauman*. 12. 75-106 [in Russian]. DOI: 10.7463/1212.0499839.
9. Argun Shch. V. (2017) Vyznachennja najbil'sh efektyvnyh dzherel strumu dlja elektromobiliv [Determination of the most effective traction sources of current for the electric vehicles]. *Avtomobyl'nyj transport*. 41. 11-22 [in Ukrainian].
10. Vojtkiv S. V. (2020) Vybir tjagovyh akumuljatornyh batarej dlja vantazhnyh elektromobiliv kategorij L7 ta N1 [Choice of traction batteries for L7 and N1 electric trucks]. *Materialy XLIX naukovo-tehnichnoi' konferencii' pidrozdiliv Vinnyc'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universytetu (NTKP VNTU–2020) : Zbirnyk dopovidej*. (Vinnycja : VNTU. 3314-3317 [in Ukrainian].
11. Reglament jevropejs'kogo Parlamentu ta Rady (JeS) № 168/2013 vid 15 sichnja 2013 roku pro zatverdzhennja ta nagljad za rynkom dvo- ta try-

kolisnyh transportnyh zasobiv ta kvadrocykliv [Regulation of the European Parliament and of the Council № 168/2013 of 15 January 2013 on the approval and market surveillance of two- and three-wheel vehicles and ATVs]. Retrived from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0168 &from= EN> (accessed 01.08.2020).

Войтків Станіслав Володимирович, к.т.н., генеральний конструктор, Заслужений машинобудівник України, тел. +38 067-447-04-90, +38 099-345-04-51, voytkivsv@ukr.net
Науково-технічний центр «Автополіпром», 79022, Україна, м. Львів, вул. Городоцька, 174.

Методика оценки технической эффективности электромобилей малой грузоподъемности

Аннотація. Розроблена методика об'єктивної оцінки технічної ефективності сучасних моделей електромобилей малої грузоподъемности категорій L7 і N1 на основі пропозитованих критерієв. Пропозитовані показателі конструктивної, експлуатаційної, функціональної і економічної ефективності грузових електромобилей з урахуванням їх специфічних конструктивних особливостей, а також формули для їх вирахування. Пропозитовані інтегральні показателі технічної ефективності електромобилей малої грузоподъемности.

Ключевые слова: електромобиль малої грузоподъемности; критерии технічної ефективности; конструктивная, експлуатаційная, функціональная і економіческая ефективність; інтегральні показателі ефективности електромобилей.

Войтків Станіслав Володимирович, к.т.н., генеральний конструктор, Заслужений машинобудівник України, тел. +38 067-447-04-90, +38 099-345-04-51, voytkivsv@ukr.net
Науково-технічний центр «Автополіпром», 79022, Україна, г. Львов, ул. Городоцькая, 174.

Methodology for assessing the technical efficiency of light-duty electric vehicles

Abstract. Problem. Today, one of the urgent tasks of the domestic automotive industry is the creation and organization of production of light-duty electric vehicles of categories L7 and N1 at Ukrainian factories. A characteristic feature of such electric vehicles is a significant proportion of the mass of traction batteries in their curb weight, which depends on the energy capacity of the traction batteries, as well as on the technical and operational characteristics. Therefore, a technique is needed for an objective as-

essment of the technical efficiency of electric vehicles-analogs of light duty vehicles of these categories and for the selection of optimal design solutions at the design stages of such electric vehicles. **Goal.** The aim of the work is to develop a methodology for assessing the technical – constructive, operational, energy, functional and economic – efficiency of light-duty electric vehicles of the L7 and N1 categories at various stages of their design to select the optimal layout solutions. **Methodology.** Based on the analysis of technical requirements for the design and operational parameters of light-duty electric vehicles of the L7 and N1 categories, the main criteria for their design, operational, functional and economic efficiency have been determined. The interrelation of individual types of efficiency of electric freight vehicles of categories L7 and N1 is considered and integral criteria for assessing their overall technical efficiency are proposed. **Results.** The development tendencies are determined and directions and stages of creation of the structures of light-duty vehicles at the factories of Ukraine are proposed. The layout diagrams of the designed electric vehicles according to the type of the driver's cabin and according to the wheel formula, as well as their main technical parameters, are recommended. **Originality.** Criteria for evaluating the constructive, operational, functional and economic efficiency of light-duty electric vehicles have been determined. Indicators and formulas are proposed for determining the constructive, operational, functional and economic efficiency of electric vehicles of categories L7 and N1. The formulas are proposed to determine the integral indicators of the technical efficiency of such electric vehicles. **Practical value.** The proposed method for determining the indicators of design, operational, functional and economic efficiency of light-duty electric vehicles will ensure the creation of promising competitive domestic freight electric vehicles of the L7 and N1 categories based on an objective analysis and assessment of the technical efficiency of existing electric vehicles-analogues and the choice of optimal parameters of the designed electric vehicles.

Key words: light-duty electric vehicle; technical efficiency criteria; constructive, operational, functional and economic efficiency, integral indicators of the efficiency of electric vehicles.

Voytkiv Stanislav¹, Cand. of Science, General Designer, The Deserved Machine Engineer of Ukraine, tel. +38 067-447-04-90, +38 099-345-04-51, voytkivsv@ukr.net,

¹Scientific and technical Center "Autopoliprom", 79022, Ukraine, Lviv, Gorodotskaya str., 174.