

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ТИПУ EREV

М. R. Bilous; M. Yu. Bilous; V. M. Kuchirka

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ASSESSING TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL PARAMETERS OF EREV-TYPE ELECTRIC VEHICLES FUNCTIONING

Електромобілі з розширеним запасом ходу (EREV – Extended Range Electric Vehicle) є перспективним типом транспортних засобів, що поєднують переваги повністю електричних автомобілів та гібридів. Основною особливістю EREV є використання електродвигуна як головного засобу руху, тоді як невеликий двигун внутрішнього згоряння виконує роль генератора для підзарядки акумулятора. Для об'єктивної оцінки ефективності роботи електромобілів типу EREV необхідна комплексна методика, яка враховує як технологічні характеристики (енергоефективність, динаміка, запас ходу), так і екологічні параметри (викиди шкідливих речовин, споживання енергії з відновлюваних джерел). Метою дослідження є розробка інтегральної методики оцінки технологічних та екологічних параметрів функціонування електромобілів типу EREV, яка дозволить комплексно оцінювати ефективність їхньої роботи та формувати обґрунтовані рекомендації щодо вдосконалення конструкції.

Основою розробленої методики є формування інтегрального показника ефективності $I_{\text{еф}}$, який враховує три групи параметрів: енергетичну ефективність системи, динамічні характеристики та екологічний вплив. Інтегральний показник визначається за формулою:

$$I_{\text{еф}} = w_1 \cdot \eta_c + w_2 \cdot D_{\text{динамічні}} + w_3 \cdot (1 - E_{\text{екологічні}}), \quad (1)$$

де: w_1, w_2, w_3 – вагові коефіцієнти, що визначають відносну важливість кожного компонента; η_c – енергетична ефективність системи, що враховує ККД електродвигуна, генератора, акумулятора та системи рекуперації; $D_{\text{динамічні}}$ – агрегований показник динамічних характеристик; $E_{\text{екологічні}}$ – нормалізований екологічний вплив.

Агрегований показник динамічних характеристик розраховується як:

$$D_{\text{динамічні}} = 0.4 \cdot \frac{V_{\text{max}}}{33.33} + 0.3 \cdot \frac{10}{t_{\text{розг}}} + 0.3 \cdot \frac{P_{\text{ген}}}{P_{\text{ном}}}, \quad (2)$$

де: V_{max} – максимальна швидкість (м/с); $t_{\text{розг}}$ – час розгону до 100 км/год (с); $P_{\text{ген}}$ – потужність генератора (Вт); $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність електродвигуна (Вт).

Нормалізований екологічний вплив визначається за формулою:

$$E_{\text{екологічні}} = \frac{E_{\text{CO}_2} + E_{\text{NO}_x}}{E_{\text{нор}}} - \frac{E_{\text{віднов}}}{E_{\text{заг}}}, \quad (3)$$

де: $E_{\text{CO}_2}, E_{\text{NO}_x}$ – викиди відповідних забруднювальних речовин у генераторному режимі; $E_{\text{нор}}$ – нормативні показники викидів для порівняння; $E_{\text{віднов}}$ – енергія, отримана з відновлюваних джерел; $E_{\text{заг}}$ – загальна спожита енергія. Для практичного застосування методики було проведено розрахунки для модельного електромобіля типу EREV з такими параметрами: маса 1500 кг, ємність акумулятора 16 кВт·год, потужність електродвигуна 150 кВт, потужність генератора 60 кВт. Результати розрахунків представлено в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати оцінки ефективності модельного EREV

Параметр	Значення	Нормалізоване значення
Енергетична ефективність η_c	0.85	0.85
Максимальна швидкість V_{max}	33.33 м/с	1.00
Час розгону $t_{розг}$	8 с	1.25
Співвідношення $P_{ген}/P_{ном}$	0.40	0.40
$D_{динамічні}$	-	0.89
Викиди CO ₂ (генераторний режим)	65 г/км	0.52
Викиди NO _x	0.03 г/км	0.15
Частка відновлюваної енергії	0.30	0.30
$E_{екологічні}$	-	0.37
Інтегральний показник $I_{еф}$	-	0.75

При значеннях вагових коефіцієнтів $w_1 = 0.40$, $w_2 = 0.30$, $w_3 = 0.30$ інтегральний показник ефективності становить:

$$I_{еф} = 0.40 \cdot 0.85 + 0.30 \cdot 0.89 + 0.30 \cdot (1 - 0.37) = 0.75.$$

Отриманий інтегральний показник 0.75 свідчить про високу ефективність розглянутої конфігурації EREV. Для порівняння, аналогічні розрахунки для традиційного автомобіля з ДВЗ дають $I_{еф} \approx 0.35$, для повністю електричного автомобіля (BEV) – $I_{еф} \approx 0.82$, для гібрида (PHEV) – $I_{еф} \approx 0.68$. Розроблена методика також передбачає формування критеріїв оптимальності для вибору компонентів. Для акумуляторної батареї критерій оптимальності визначається як:

$$K_{АКБ} = w_1 \cdot \frac{C}{C_{max}} + w_2 \cdot \frac{P_{зар}}{P_{ном}} - w_3 \cdot \frac{m_{АКБ}}{m_{ЗАГ}}, \quad (4)$$

Для оптимізації функціонування EREV застосовано метод багатofакторного аналізу. Побудовано регресійну модель залежності інтегрального показника від ключових параметрів:

$$I_{еф} = \beta_0 + \beta_1 \cdot P_{двигун} + \beta_2 \cdot C_{АКБ} + \beta_3 \cdot C_d + \beta_4 \cdot m + \varepsilon. \quad (5)$$

На основі експериментальних даних визначено коефіцієнти регресії: $\beta_0 = 0.32$, $\beta_1 = 0.0018$ (кВт⁻¹), $\beta_2 = 0.015$ (кВт·год⁻¹), $\beta_3 = -0.45$, $\beta_4 = -0.00012$ (кг⁻¹). Аналіз показав, що найбільший вплив на ефективність мають коефіцієнт аеродинамічного опору C_d та ємність акумулятора $C_{АКБ}$.

Висновок. Розроблена методика дозволяє комплексно оцінювати технологічні та екологічні параметри електромобілів типу EREV через єдиний інтегральний показник. Методика враховує енергетичну ефективність, динамічні характеристики та екологічний вплив, що забезпечує об'єктивну оцінку роботи транспортного засобу.

Література

1. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Titova, L., Hrynkiv, A., Mironov, D., Volianskyi, M., Rogatynskyi, R., Solomka, O., Lysenko, S. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (3 (127)), 37–46.
2. Міронов Д.В. Конспект лекцій з дисципліни «Електричні та гібридні транспортні засоби» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» денної та заочної форми навчання / Укл.: Д.В. Міронов – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 154 с.
3. World Electric Vehicle Journal. Advances in EV and Hybrid Technology. Vol. 14, Issue 3, 2022.