

В. Ф. Шапко¹
С. М. Черненко¹

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМОБІЛІВ З РІЗНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

¹Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Запропоновано універсальний підхід до об'єктивного оцінювання енергетичної ефективності транспортних засобів з різними типами джерел енергії.

Зростання екологічних вимог, трансформація енергетичних ринків, збільшення обсягів перевезень та глобальний курс на декарбонізацію транспорту зумовлюють необхідність у стандартизованих методиках оцінювання та порівняння енергетичної досконалості автомобілів.

Запропоновано єдиний показник енергетичних витрат автомобіля з будь-яким джерелом енергії, яким споряджено автомобіль, що визначається як відношення витраченої енергії до обсягу виконаної транспортної роботи. Цей підхід дозволяє об'єктивно порівнювати енергоефективність традиційних автомобілів, оснащених двигунами внутрішнього згоряння, з електромобілями, автомобілями з гібридними системами тощо.

У роботі проведено аналіз сучасної наукової літератури, що підтверджує важливість впровадження інтегральних показників, таких як "well-to-wheel", для системної оцінки витрат енергії на всіх етапах — від джерела енергії до ведучих коліс автомобіля. Запропонована методика базується на чіткій математичній формалізації, що дозволяє враховувати вплив ступеня завантаження, дорожніх умов, швидкісного режиму та топографії місцевості.

Детально описано формалізований підхід до обліку енергетичних витрат. Маса транспортного засобу враховується з урахуванням корисного навантаження та фактичної ваги вантажу, а транспортна робота розраховується як добуток повної ваги автомобіля на відстань перевезення. Для забезпечення уніфікованого порівняння економічності наведено універсальні формули, що застосовуються для всіх типів приводів. Для різних видів пального, включно з твердим, рідким та газоподібним, подано методи обчислення енергетичних вкладень на основі їхньої теплоти згоряння.

Особлива увага приділяється аналізу впливу на силу тяги на колесах від опорів руху: кочення, повітря, підйому, інерції та причепа. Представлено використання тягового балансу та його безрозмірної форми для розкриття ключових факторів, що впливають на ефективність використання енергії різними класами автомобілів. Показано, що зі зростанням маси автомобіля пропорційно збільшуються сили опору руху, проте частка опору повітря — зменшується.

Підкреслюється, що розроблені універсальні формули дозволяють не лише виконувати порівняльне оцінювання проектних рішень на етапі розробки транспортних засобів, а й точно оцінювати реальні експлуатаційні витрати енергії, визначати норму витрат пального, а також необхідний об'єм паливного баку автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння або ємність акумуляторної батареї електромобіля.

Ключові слова: автомобіль, джерело енергії, транспортна ефективність, метод, витрата енергії, економічність.

Вступ

Переваги та недоліки автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) добре відомі, оскільки саме винахід ДВЗ сприяв створенню автомобіля та забезпечив понад столітнє його використання. Автомобілі з ДВЗ і наразі мають найбільше розповсюдження.

Для усунення недоліків автомобіля з ДВЗ останнім часом впроваджуються автомобілі з іншими джерелами енергії, насамперед електромобілі.

Це пов'язано з перевагами електромобіля, порівняно з автомобілем, оснащеним ДВЗ, завдяки кращій економічності, екологічності, динаміки розгону, нижчому рівню шуму та зниженню центра мас, що збільшує стійкість автомобіля [1].

У зв'язку з впровадженням на автомобільному транспорті нових джерел енергії, виникає потреба в універсальному методі оцінювання енергетичної ефективності транспортних засобів.

Такий підхід забезпечить:

- об'єктивне порівняння технологій за спільною шкалою;
- підтримку стратегічних рішень щодо вибору типів транспорту та його логістиці;
- оптимізацію інфраструктурних інвестицій у відповідні енергетичні галузі;
- зменшення енергоспоживання у транспортному секторі без втрати мобільності.

Розробка та впровадження універсального методу розрахунку енергетичної ефективності транспортних засобів з використанням різної енергетики має важливе значення як для наукових досліджень, так і для практичних рішень у сфері розвитку автомобільного транспорту.

Метою роботи є розробка методу розрахунку енергетики автомобіля з використанням критерію оцінювання економічності автомобіля, як показника його енергетики, з будь-яким джерелом енергії.

Такий метод має значення для обґрунтування параметрів автомобілів з різними джерелами енергії, розробки норм витрати енергії, а також моніторингу транспортних засобів.

У сучасній науковій літературі все більше уваги приділяється потребі в показниках оцінювання та порівняльному аналізу ефективності транспортних засобів з використанням різних типів енергетики автомобіля [2]—[8].

Такі дослідження набувають вагомого значення у зв'язку зі зростанням екологічних вимог, трансформацією енергетичних ринків і глобальним курсом на декарбонізацію транспорту.

У роботі [2] систематизовано сучасні методи оцінювання енергетичної ефективності традиційних транспортних засобів із ДВЗ і альтернативними (електричними, гібридними, водневими) енергетичними установками. Особливу увагу приділено концепціям «well-to-wheel» (від джерела до колеса), враховуючи втрати на кожному етапі перетворення та передачі енергії. Огляд включає аналіз показників ефективності в різних режимах руху та середовищах експлуатації, а також підходів до врахування ваги, аеродинаміки та топографії місцевості.

Автори вказують на відсутність уніфікованого показника, який дозволив би об'єктивно порівнювати енерговитрати для всіх типів автомобілів. Вони пропонують 3D-морфологічну модель оцінювання енергетичної ефективності, що враховує енергетичний, екологічний та економічний аспекти. Це підтверджує необхідність уніфікації критеріїв та збігається з *метою цього дослідження* — розробкою універсального показника оцінки енергетичних витрат автомобіля.

У роботі Puma-Benavides [3] подано детальний аналіз споживання енергії електромобіля Nissan Leaf у порівнянні з автомобілями Hyundai Accent та Chevrolet Sail, що оснащені ДВЗ, в умовах високогірного міського руху. Автори доводять, що електромобіль витрачає близько 20 кВт·год/100 км, а автомобілі з ДВЗ — 57...68 кВт·год/100 км. Дослідження враховує географічні та кліматичні особливості (зміна висоти, ухилу дороги), що впливають на ефективність як ДВЗ, так і акумуляторів електромобіля. Методика включає як реальні вимірювання (через OBD II та зовнішні баки), так і числове моделювання динаміки електромобіля в MATLAB/Simulink.

У статті [4] проведено критичний аналіз енергетичної ефективності компонентів акумуляторних електромобілів «Battery Electric Vehicle» (BEV). Авторами підкреслено, що часто оцінки базуються на фіксованих, оптимістичних показниках, які не враховують змін у роботі залежно від режимів експлуатації та зовнішніх умов. Вказано, що крім енергетичних витрат на рух автомобіля, значна частина енергії витрачається на допоміжні споживачі (опалення, клімат-контроль).

Досліджено ефективність окремих етапів: від генерації й передачі електроенергії «well-to-tank» (від свердловини до резервуара) до механічного руху коліс «tank-to-wheel». Особливу увагу приділено втратам у зарядних пристроях і батареях, які суттєво впливають на загальну ефективність системи. Розглянуто вплив температури довкілля на енергоспоживання, зокрема, через потребу в обігріві або кондиціонуванні, що зменшує пробіг акумуляторних електромобілів. Порівняльний аналіз показує, що за сучасного середнього вуглецевого сліду електроенергії в електричних станціях ЄС ефективність електромобілів не суттєво перевищує автомобілі з ДВЗ.

Результати аналізу підкреслюють важливість мати єдиний універсальний показник оцінювання енергетичних витрат автомобіля, незалежного від типу джерела енергії. Такий підхід є близьким до мети цієї роботи та підтверджує актуальність формалізації методів оцінки енергетики автомобіля за критерієм «витрачена енергія/транспортна робота».

Отже, цей огляд дає такі важливі наукові уявлення:

- відсутність єдиної методики ускладнює об'єктивне порівняння енергетичної ефективності ав-

томобілів з різними типами джерел енергії;

- метод «well-to-wheel» вважають найточнішим для повного врахування витрат енергії, але потребує великої кількості даних;
- сучасні наукові підходи орієнтовані на уніфікацію оцінки, використовуючи умовні енергетичні одиниці та стандартизовані умови руху;
- велике значення має локальний контекст, тому у методиках варто враховувати характерні режими експлуатації транспорту.

Результати дослідження

Економічність автомобіля з ДВЗ оцінюють витратою палива на пройдений автомобілем шлях. Поява автомобілів з іншими енергетичними установками та недоліки оцінювання енергетичних витрат автомобіля за витратою палива на пройдений автомобілем шлях потребує впровадження єдиного показника оцінювання енергетики автомобіля.

Автомобіль загального користування призначений для виконання транспортної роботи, яку визначають за формулою, кДж:

$$L_a = G_a \cdot S = m_a \cdot g \cdot S, \quad (1)$$

де G_a — вага автомобіля, кН; m_a — маса автомобіля, т; S — шлях, пройдений автомобілем, км.

Отже, виконана транспортна робота залежить від маси автомобіля та пройденого автомобілем шляху.

Масу автомобіля можна розраховувати за його паспортними даними: повною масою та вантажопідйомністю за формулою [5], [8]

$$m_a = m_p - (m_B - m_b) = m_p \left(1 - \frac{m_B - m_b}{m_p} \right), \quad (2)$$

де m_p — повна маса автомобіля; m_B — вантажність автомобіля; m_b — фактична маса вантажу.

Позначимо вираз у дужках як коефіцієнт k_B , що враховує ступінь завантаження автомобіля,

$$k_B = 1 - \frac{m_B - m_b}{m_p}. \quad (3)$$

Тоді формула (2) набуває вигляду

$$m_a = m_p k_B. \quad (4)$$

Коефіцієнт, що враховує ступінь завантаження автомобіля, у разі повного його завантаження має максимальне значення, що дорівнює одиниці, а найменше — порожнього автомобіля, що залежить від його конструкції.

Отже, за цим коефіцієнтом можна оцінювати ефективність автомобіля за виконаною ним транспортною роботою.

Для руху автомобіля витрачається енергія джерела енергії, яким споряджено автомобіль.

За показник оцінювання енергетичної економічності автомобіля доцільно брати відношення енергії, що витрачена, на виконану транспортну роботу [6]

$$g_E = \frac{U_E}{L_a}, \quad (5)$$

де U_E — витрачена енергія її джерела, кДж.

Цей показник можна використовувати для оцінювання економічності автомобіля незалежно від типу джерела енергії та порівнювати економічність автомобілів різних типів.

Числове значення показника g_E значно менше за одиницю, і що він менший, то економічніший автомобіль.

Незалежно від типу енергетичної установки енергію джерела енергії для руху автомобіля потрібно перетворити на механічну роботу.

Під час перетворення енергії її джерела на механічну роботу та її передачі до ведучих коліс частина енергії втрачається.

Отже, підведена до ведучих коліс енергія дорівнюватиме, кДж

$$U_K = U_E \cdot \eta_K, \quad (6)$$

де η_K — ККД, що враховує втрати енергії на її перетворення в механічну роботу та передачу до ведучих коліс.

ККД, що враховує втрати енергії на її перетворення в механічну роботу та передачу до ведучих коліс, визначають за формулою

$$\eta_K = \prod_{i=1}^n \eta_i, \quad (7)$$

де η_i — ККД кожної складової перетворення та передачі енергії від джерела до ведучих коліс; n — загальна кількість складових, включно з джерелом енергії.

Енергія, що підведена до ведучих коліс, витрачається на рух автомобіля, кДж

$$U_K = P_K \cdot S, \quad (8)$$

де P_K — сила тяги на ведучих колесах, кН.

Відношення енергії, що підведена до ведучих коліс, до виконаної транспортної роботи визначається за формулою

$$k_P = \frac{U_K}{L_a}. \quad (9)$$

Оскільки $U_K = P_K S$ а $L_a = G_a S$ показник k_P визначається як відношення сил

$$k_P = \frac{P_K}{G_a}. \quad (10)$$

Отже, відношення енергії, підведеної до ведучих коліс, до виконаної транспортної роботи можна розглядати як показник ефективності використання сили тяги під час руху автомобіля.

Цей показник, як і показник економічності автомобіля g_E , також не залежить від типу енергетичної установки та трансмісії автомобіля. Він значно менший за одиницю, оскільки автомобіль є колісним транспортним засобом і характеризує ступінь зменшення сили на кочення відносно ваги, що транспортується.

Силу тяги, потрібну для руху автомобіля, визначають з рівняння тягового балансу автомобіля

$$P_K = P_f \pm P_i \pm P_j + P_w + P_t, \quad (11)$$

де P_f — сила опору кочення, кН; P_i — сила опору підйому, кН; P_j — сила інерції, кН; P_w — сила опору повітря, кН; P_t — сила опору причепа, кН.

Запишемо рівняння (11) тягового балансу автомобіля у розгорнутому вигляді

$$P_K = f \cdot G_a \pm i \cdot G_a \pm \frac{j}{g} \cdot G_a + C_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot F \cdot v^2 + f_t \cdot G_t, \quad (12)$$

де f — коефіцієнт опору кочення; i — підйом (уклін) дороги; j — прискорення (уповільнення) руху автомобіля, м/с²; C_w — коефіцієнт опору повітря; ρ — щільність повітря, кг/м³, F — площа перетину автомобіля, м²; f_t — коефіцієнт опору кочення причепа; G_t — вага причепа, кН.

Силу опору кочення автомобіля та причепа зазвичай поєднують і в рівнянні тягового балансу записують суму цих сил, як одну силу опору кочення автомобіля.

Поділивши рівняння (12) на вагу автомобіля, отримаємо рівняння у безрозмірній формі, що надає йому ознаки узагальнювального, і воно відповідає формулі визначення показника k_P [8]

$$k_P = f \pm i \pm \frac{j}{g} + \frac{C_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot F \cdot v^2}{G_a}. \quad (13)$$

Для сталого руху

$$k_p = \psi + \frac{C_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot F \cdot g^2}{G_a}, \quad (14)$$

де $\psi = f \pm i$ — коефіцієнт опору дороги.

У рівняннях (13) і (14) відбулося скорочення ваги автомобіля тому, що прямо пропорційно збільшенню ваги автомобіля збільшується сила опору кочення автомобіля P_f , сила опору підйому P_i та сила інерції P_j . Але вага автомобіля з'явилася у складовій сили опору повітря, яка стала відносною силою до його ваги.

На показник k_p під час сталого руху досконалість конструкції автомобіля впливає лише параметрами шин та обтікання автомобіля.

Коефіцієнт опору кочення насамперед значною мірою залежить від якості дороги, а це не пов'язано з конструкцією автомобіля. Вплив конструкції автомобіля на формування сили опору кочення P_f залежить лише від конструкції шин і тиску в них повітря.

Встановлені на автомобілі шини можна легко замінювати на шини іншої конструкції, що змінює їхні параметри взаємодії з дорогою, зокрема параметри опору кочення автомобіля.

Вага автомобіля безпосередньо не впливає на силу опору повітря, але автомобіль з більшою вантажністю має й більші розміри, що збільшує площу перетину автомобіля. До того ж обмежуються можливості створення більш обтічної форми кузова, що також збільшує силу опору повітря. Частка опору повітря зі збільшенням ваги автомобіля зменшується. Тому під час розрахунку великовантажних автомобілів, які до того ж рухаються з меншою швидкістю, порівняно з легковими, опір повітря часто не враховують. Але для легкових автомобілів складова опору повітря суттєва, а під час руху на великій швидкості вона може значно перевищувати силу опору дороги.

Показник k_p , як і показник загальної оцінки економічності автомобіля g_E , також не залежить від типу енергетичної установки та трансмісії автомобіля. Тому його можна використовувати для порівнянної оцінки будь-яких типів автомобілів.

Враховуючи вищезазначене, показник енергетичної економічності автомобіля можна визначити за формулою

$$g_E = \frac{U_E}{L_a} = \frac{k_p}{\eta_K}. \quad (15)$$

Отже, показник економічності автомобіля залежить від коефіцієнта втрати енергії на її перетворення в механічну роботу та передачу до ведучих коліс і коефіцієнта ефективності використання сили тяги.

Енергія, потрібна для виконання автомобілем транспортної роботи, визначиться так, кДж:

$$U_E = L_a \cdot g_E = L_a \frac{k_p}{\eta_K}. \quad (16)$$

Для руху електромобіля використовується електрична енергія, що накопичена в акумуляторних батареях. Таким чином, отримана формула для електромобіля і є безпосередньо формулою визначення його економічності.

Для автомобілів з ДВЗ визначають не витрату енергії, а кількість витраченого носія цієї енергії, джерелом якої є автомобільне паливо.

Енергетичним показником автомобільного палива є його нижча теплота згоряння Q_H . Нижчу теплоту згоряння рідкого палива визначають у кілоджоулях на один кілограм палива, а газоподібного — у кілоджоулях на один кубометр газу.

Енергію, що виділяється під час згоряння рідкого палива, визначають, кДж

$$U_E = Q_H \cdot m_n, \quad (17)$$

де m_n — маса витраченого палива, кг.

За подібною формулою розраховують енергію газоподібного палива, кДж

$$U_E = Q_H \cdot V_n, \quad (18)$$

де V_n — об'єм витраченого газоподібного палива за стандартних умов, м^3 .

Найрозповсюдженіші види рідкого автомобільного палива мають приблизно такі значення нижчої теплоти згоряння: бензин $Q_H = 44000 \text{ кДж/кг}$, дизельне паливо $Q_H = 42500 \text{ кДж/кг}$, а газоподібного — $32600 \dots 36000 \text{ кДж/м}^3$ [9].

Для автомобіля з ДВЗ його економічність зазвичай визначають за витратою палива. Враховуючи зв'язок енергії палива з його нижчою теплотою згоряння, отримаємо формулу визначення витрати рідкого палива на виконану транспортну роботу [6], [8] кг/кДж

$$g_a = \frac{m_n}{L_a} = \frac{U_E}{Q_H \cdot L_a} = \frac{k_P}{Q_H \cdot \eta_K}. \quad (19)$$

Подібну формулу отримаємо і для газоподібного палива, але витрату палива розраховують у $\text{м}^3/\text{кДж}$.

Економічність автомобіля зазвичай визначають за витратою енергії на пройдений шлях, зазвичай це 100 км , кДж/100 км .

$$g_S = \frac{U_E}{S} \cdot 100. \quad (20)$$

Для автомобілів з ДВЗ визначають витрату палива у літрах на 100 кілометрів пройденого автомобілем шляху.

Показник шляхових витрат палива можна розрахувати за енергетичним показником g_a за формулою, л/100 км :

$$q_n = \frac{V_n}{S} \cdot 100 = \frac{m_n}{\rho_n \cdot S} \cdot 100 = g_a \frac{m_a \cdot g}{\rho_n} \cdot 100, \quad (21)$$

де ρ_n — щільність палива.

Для електромобіля зазвичай електричну енергію визначають у $\text{кВт} \cdot \text{год}$. Тоді формула (20) набуває вигляду, $\text{кВт} \cdot \text{год} / 100 \text{ км}$

$$g_S = \frac{U_E \cdot 100}{3600 \cdot S} = \frac{U_E}{36 \cdot S}. \quad (22)$$

Оскільки джерело енергії перевозиться безпосередньо в автомобілі, важливим параметром автомобіля з будь-якою енергетичною установкою є запас ходу. Запас ходу можна визначити за формулою, км

$$S = \frac{U_E \cdot \eta_K}{k_P \cdot m_a \cdot g}. \quad (23)$$

Потрібну кількість рідкого палива автомобіля з ДВЗ для виконання заданої транспортної роботи автомобіля з ДВЗ можна визначити за такою формулою, л :

$$V = \frac{k_P \cdot L_a}{\eta_K \cdot Q_H \cdot \rho_n} = \frac{k_P \cdot m_a \cdot g \cdot S}{\eta_K \cdot Q_H \cdot \rho_n}. \quad (24)$$

За формулою (24) можна розрахувати кількість палива, яка потрібна для виконання запланованого об'єму транспортної роботи. Це дає конструктору можливість визначити потрібний об'єм паливного баку.

Отриману формулу можна брати в основу для розробки норм витрат палива.

Для електромобілів визначають потрібну ємність акумуляторів. Її можна розрахувати за формулою (16), кДж

$$U_E = \frac{k_P \cdot L_a}{\eta_K} = \frac{k_P \cdot m_a \cdot g \cdot S}{\eta_K}. \quad (25)$$

Через велику вартість і масу акумуляторів електромобілі, здебільшого мають менший запас ходу, порівняно з автомобілем, оснащеним ДВЗ.

Але окремі електромобілі мають запас ходу такий, як і автомобілі з ДВЗ, наприклад, електромобіль Tesla Model S Long Range має запас ходу 600 км [10].

Висновки

1. Для визначення енергетичних витрат автомобіля використано співвідношення витраченої енергії до виконаної транспортної роботи.

2. Метод є універсальним і придатним до застосування для автомобілів з ДВЗ, електромобілів та гібридів.

3. Розрахункові формули дозволяють обґрунтувати потребу в енергії або паливі для заданого обсягу транспортної роботи.

Метод сприяє об'єктивному порівнянню енергетичної ефективності транспортних засобів на етапі проєктування та експлуатаційної оцінки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] *Екологічні та економічні: у чому переваги електромобілів*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zaxid.net/elektromobil_yaki_perevagi_ta_nedoliki_perelik_poyasnennya_n1592745. Дата звернення 18.05.2025.
- [2] V. Mateichuk., N. Kostian, M. Smieszek, I. Gritsuk I., and V. Verbovskyi, "Review of Methods for Evaluating the Energy Efficiency of Vehicles with Conventional and Alternative Power Plants," *Energies*, no. 16(17), pp. 6331, 2023. <https://doi.org/10.3390/en16176331>.
- [3] D. S. Puma-Benavides et al., "Comparative Analysis of Energy Consumption between Electric Vehicles and Combustion Engine Vehicles in High-Altitude Urban Traffic," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 15, no. 8, pp. 355, 2024. <https://doi.org/10.3390/wevj15080355>.
- [4] L. Aarniovuori, et al., "Energy Efficiency Analysis of Electric Vehicle System Components," *Conference: 2023 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*. November 2023. <https://doi.org/10.1109/ITECAsia-Pacific59272.2023.10372377>.
- [5] В. Ф. Шапко, А. І. Атамась, і В. О. Єлістратов, «Екологічні багатопараметрові характеристики автомобіля», *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, вип. 2 (121), с. 141-147, 2020.
- [6] В. Ф. Шапко, і С. М. Черненко, «Критерій оцінювання паливної економічності автомобіля як показник його енергетики», *Вісник Кременчуцького Національного університету імені Михайла Остроградського*, вип. 2(139), с. 144-152, 2023.
- [7] С. М. Черненко, і А. І. Атамась, «Економічні та енергетичні показники роботи дизельного двигуна при використанні біопалива з ріпаку», *Вісник КДПУ ім. Михайла Остроградського*, № 2 (43), с. 85-89, 2007.
- [8] В. Ф. Шапко, і С. М. Черненко, *Паливна економічність та екологічність автомобіля*, навч. посіб. Кременчук, Україна: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2025, 127 с.
- [9] Ф. І. Абрамчук., Ю. Ф. Гутаревич, К. Є. Долганов, і Ф. Ф. Тимченко, *Автомобільні двигуни*, підруч. Київ, Україна: Арістей, 2004, 476 с.
- [10] *Скільки кіловат споживає електромобіль під час зарядки?* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ecofactortech.com/ua/how-many-kilowatts-does-an-electric-car-take-when-charging>. Дата звернення 18.05.2025.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.08.2025

Шапко Володимир Федорович — канд. техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів і тракторів, e-mail: vfshapko@gmail.com ;

Черненко Сергій Михайлович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів і тракторів, e-mail: sercher174@gmail.com .

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук.

V. F. Shapko¹
S. M. Chernenko¹

Method for Assessing the Energy Efficiency of Vehicles with Different Energy Sources

¹Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

The article presents a universal approach to the objective assessment of the energy efficiency of vehicles with various types of energy sources. Increasing environmental requirements, transformation of energy markets, growth in transportation volumes, and the global trend toward transport decarbonization determine the need for standardized methods of comparing

the energy performance of automobiles. A single energy consumption indicator is proposed, defined as the ratio of the energy carried in the vehicle (whether fuel, electricity, or hydrogen) to the volume of transportation work performed. This approach makes it possible to objectively compare the energy efficiency of conventional internal combustion engine vehicles, electric vehicles, hybrid systems, and others.

The paper analyzes modern scientific literature confirming the importance of introducing integral indicators, such as "well-to-wheel," for a systematic assessment of energy losses at all stages—from the energy source to the driven wheels of the vehicle. The proposed methodology is based on clear mathematical formalization, which makes it possible to account for the influence of load level, road conditions, speed regime, and terrain topography.

A formalized approach to calculating energy consumption is described in detail. The vehicle mass is considered with regard to payload and the actual weight of the cargo, while transport work is calculated as the product of the total vehicle weight and transportation distance. To ensure a unified comparison of efficiency, universal formulas applicable to all types of powertrains are provided. For various types of fuels, including solid, liquid, and gaseous, methods for calculating energy inputs based on their lower heating value are given.

Special attention is paid to the analysis of motion resistances, including tractive force at the wheels, rolling resistance, air resistance, gradient resistance, inertia, and trailer resistance. The use of tractive balance and its dimensionless form is presented to reveal key factors influencing the efficiency of energy use by different vehicle classes. It is shown that as the vehicle mass increases, motion resistance forces grow proportionally; however, the share of air resistance decreases with increasing weight.

It is emphasized that the developed universal formulas make it possible not only to perform comparative assessments of design solutions at the vehicle development stage but also to accurately estimate actual operational energy consumption, determine fuel consumption norms, and calculate the required fuel tank volume or battery capacity.

Keywords: automobile, energy source, transport efficiency, method, energy consumption, economy.

Shapko Volodynyr F. — Cand. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Automobiles and Tractors, e-mail: vfshapko@gmail.com ;

Chernenko Serhii M. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Chair of Automobiles and Tractors, e-mail: sercher174@gmail.com