

Андрусенко С.І.¹, Будниченко І.В.¹, Дембіцький В.М.²
¹Національний транспортний університет, м.Київ, Україна,
²Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ЗАСТОСОВНІСТЬ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У роботі розглянуто застосовність показників оцінювання енергоефективності транспортних засобів, силові установки яких мають двигун внутрішнього згорання та електричний двигун. Встановлено, що під час оцінки витрат енергоносія в двигунах внутрішнього згорання застосовуються показники витрати енергоносія в літрах на одиницю транспортної роботи в км або на 100 км, в той час, як для двигунів з електричним приводом такий єдиний підхід відсутній. Встановлено, що основною проблемою під час порівняння енергоефективності транспортних засобів різних виробників з електричною тяговою установкою; планування та контролювання витрат енергоносія транспортним засобом з електричною тяговою установкою є відсутність єдиного показника оцінювання. Розглянуто результати досліджень щодо впливу різних чинників на витрати енергоносія транспортними засобами і показники оцінювання витрат енергоносія. Акцентовано увагу на показниках енергетичної навантаженості автомобілів, рівня енергетичної навантаженості, енергетичної економічності автомобіля, витрат енергії в кВт*год в залежності від пробігу та кількості перевезених пасажирів за певний період часу, кількості витраченого енергоносія на одиницю транспортної роботи для заданих умов руху. В роботі встановлено, що дослідження витрат енергоносія транспортних засобів категорії М3, класу І, що мають тягову установку з електричним двигуном перебувають у початковій стадії і потребують подальших досліджень. Також встановлено необхідність розроблення і впровадження, критеріїв та методів оцінювання ефективності використання енергії на автомобільному транспорті з урахуванням реальних умов експлуатації.

Ключові слова: транспортний засіб, тягова електрична установка, витрати енергоносія, критерій енергоефективності, оцінювання енергоефективності.

ВСТУП

Початком активізації енергозберігаючої діяльності на транспорті можна вважати прийняття закону України «Про енергозбереження» [1] який в подальшому був замінений на закон України «Про енергоефективність» [2].

Указом президента України «Про невідкладні заходи щодо забезпечення ефективного використання паливо – енергетичних ресурсів» [3] визначена необхідність:

- запровадження системи показників енергоефективності та їх моніторингу для різних сфер економіки держави;
- запровадження системи національних стандартів у сфері ефективного використання енергетичних ресурсів;
- удосконалення менеджменту з енергозбереження у транспортній галузі;
- удосконалення порядку нормування питомих витрат паливо -енергетичних ресурсів;
- забезпечення проведення необхідних статистичних спостережень за показниками енергоефективності, формування інформаційних баз даних для аналізу динаміки змін цих показників.

Енергозберігаюча діяльність на транспорті передбачає будь яку діяльність, яка спрямована на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії, а енергоефективність згідно зазначеного закону являє собою кількість енергетичних ресурсів, яка витрачається на виконання заданої роботи.

Відомо, що автомобільний транспорт є одним із найбільших споживачів паливо-енергетичних ресурсів, тому дослідження, що стосуються раціонального їх використання, виконуються постійно для досягнення максимальної ефективності використання енергетичних ресурсів в умовах існуючого рівня розвитку конструкції транспортних засобів та забезпечення умов їх експлуатації.

Діяльність підприємств транспорту, зокрема з ресурсозбереження та його складової – енергозбереження, визначаються також Указами Президента України [3,4,5,6], Постановами Кабінету Міністрів [7,8,9,10], Державними стандартами України [11,12,13,14].

Очевидно, що досконалість планування і розробка науково обґрунтованих методів оцінювання витрати енергоносія є одним із напрямків ресурсозбереження на автомобільному транспорті та зниження собівартості перевезень [15].

АНАЛІЗ ЛІТЕРНАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розв'язання проблеми ресурсозбереження на автомобільному транспорті, як зазначено в роботі [16], потребує розроблення і впровадження в Україні національної програми проведення додаткових випробувань щодо визначення ефективності використання енергії на автомобільному транспорті, а значить, критеріїв та методів оцінювання з урахуванням реальних умов експлуатації.

Над вирішенням проблеми ресурсозбереження на автомобільному транспорті в Україні працюють багато фахівців Національного транспортного університету (м.Київ), Харківського національного автодорожнього університету, Національної академії Національної гвардії України (м.Харків), Харківського національного технічного університету сільського господарства, Державного університету «Житомирська політехніка», Харківської національної академії міського господарства та інших наукових закладів.

Так для оцінки енергетичної ефективності транспортного засобу для вирішення наявної проблеми ряд авторів [17,18] запропонували використовувати коефіцієнт корисної дії автомобілів, як кількість витраченої енергії двигуном під час виконання корисної роботи, яка є переміщенням вантажу між двома контрольними пунктами.

Розробці та удосконаленню методів визначення витрати енергоносія для конкретних умов експлуатації транспортних засобів з тяговими силовими установками з двигуном внутрішнього згорання присвячено ряд робіт вітчизняних та зарубіжних науковців, наприклад: Говоруценка М.Я. [19], Редзюка А.М. [20,21], Сахна В.П.[22,23], Гутаревича Ю.Ф. [24], Біліченка В.В. [25], Кривошапова С.І. [26, 27], Волкова В.П [28], Крайника Л.В., [29], Маяка М.М. [30], Литвина В. В., [31], Іванушко О.М. [32] та інших.

У всіх зазначених вище роботах застосовувався показник оцінки витрати енергоносія в літрах на одиницю транспортної роботи в км або на 100 км, під час обґрунтування значення показника енергоефективності для:

- транспортного засобу певної категорії та визначених умов руху;
- окремої системи транспортного засобу та визначених умов руху.

Усі зазначені вище роботи в Україні, як правило, покладені в основу нормативного документа [33] та змін до нього, які регламентують норми витрат енергоносія за показником, що вимірюється в л/100 км при експлуатації транспортних засобів з двигунами внутрішнього згорання. Цей показник призначений для планування та контролювання витрат енергоносія в транспортних підприємствах.

Окремо зазначимо, що аналогічного документу для транспортних засобів з електричною тяговою установкою не існує.

Подальший розвиток вимог до транспортної галузі України на період до 2030 року з метою зближення з країнами європейського союзу передбачає обмеження на купівлю та експлуатацію автобусів з двигунами внутрішнього згорання та збільшення використання для міських перевезень пасажирів транспортних засобів з електричною тяговою установкою. Законодавче закріплення такої тенденції підтверджує актуальність дослідження енергоефективності транспортних засобів з електричною тяговою установкою, особливо категорії М3 класу І.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження за напрямком покращення енергоефективності транспортних засобів з електричною тяговою установкою має бути наукове обґрунтування показника для оцінювання їх енергоефективності який дозволить виконувати:

- порівняння енергоефективності транспортних засобів різних виробників з електричною тяговою установкою для можливості вибору найкращого на етапі їх придбання транспортними підприємствами;
- планувати та контролювання витрати енергоносія транспортним засобом з електричною тяговою установкою під час його експлуатації.

Досягнення мети на першому етапі досліджень має бути здійснено за умови виконання аналізу застосованості показників оцінювання енергоефективності транспортних засобів з електричною тяговою установкою під час виконаних раніше досліджень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вперше автори роботи [34] відійшли від традиційного показника енергоефективності, який оцінювався за обсягом витраченого палива автомобілем на одиницю транспортної роботи та запропонували показник – рівень енергетичної навантаженості автомобілів, який може бути

застосовано для транспортних засобів з електричною тяговою установкою. Цей показник визначається наступною залежністю:

$$Y_w = \frac{2N_{e_{max}}}{m_{\Pi} V_{a_{max}}^2} \quad (1)$$

де $N_{e_{max}}$ - максимальна ефективна потужність двигуна, кВт; m_{Π} - максимальна маса транспортного засобу, кг; $V_{a_{max}}$ - максимальна швидкість транспортного засобу, м/с.

В подальших дослідженнях автори роботи [35] запропонували інший показник, що є величиною, зворотною рівню енергетичної навантаженості та має розмірність Дж/Вт (кДж/кВт), тобто:

$$E_w = \frac{1}{Y_w} = \frac{m_{\Pi} V_{a_{max}}^2}{2N_{e_{max}}} \quad (2)$$

З іншої сторони, запропонований авторами роботи [36] показник енергетичної ефективності, що обчислюється згідно виразу 2, є часом розгону автомобіля від $V_a = 0$ до максимальної швидкості за умови, що вся максимальна ефективна потужність автомобіля витрачається тільки на його розгін.

Автори роботи [36] пропонують використовувати поняття «енергетична економічність автомобіля» замість паливної економічності та зазначають, що раціональне використання енергії двигуна автомобіля можливе, коли досягнуто мінімум непродуктивних витрат у двигуні та трансмісії.

Під час досліджень впливу режимів руху міських автобусів на паливну економічність авторами роботи [37] була запропонована розрахункова модель на базі рівнянь силового та паливних балансів, яка дозволяє визначити вплив окремих умов експлуатації на процес формування витрат палива міськими автобусами. В цій роботі був застосований загальний показник кг/кВт год для оцінювання впливу густини палива, механічних витрат в двигуні, витрат на роботу допоміжного устаткування, трансмісії, опору кочення шин, аеродинаміки, сил інергції та подолання підйомів. Крім того, автори роботи [37] також запропонували використовувати показник витрати енергоносія в кДж на одиницю мірної ділянки шляху в метрах та зворотну їй величину в м/кДж.

Фундаментальною роботою, з точки зору енергозбереження для транспортних засобів з електричною тяговою установкою є робота [38] в якій зазначений критерій загального оцінювання витрат енергоносія транспортним засобом в кВт*год та надаються рекомендації щодо напрямків його зменшення за рахунок застосуванням сучасних конструкції додаткових джерел живлення, не пов'язаних з загальною системою живлення транспортних засобів. В цій роботі запропоновано інше рівняння балансу енергії, де показник енергоефективності має розмірність кВт*год:

$$E_{\text{вих}} = \int_{\text{тяга}} P_{\text{б.вих}} dt + \int_{\text{гальм}} P_{\text{вх}} dt, \quad (3)$$

де $P_{\text{б.вих}}$ - вихідна потужність джерела живлення без врахування нетягового навантаження (допоміжного); $P_{\text{вх}}$ і потужність рекуперативного гальмування.

Для транспортних засобів з електричною тяговою установкою класу I в роботі [39] пропонується енергоефективність оцінювати за показником витрат енергії в кВт*год в залежності від пробігу та кількості перевезених пасажирів за певний період часу.

В роботі [40] розглядається показник оцінювання енергоефективності в кВт*год/км, який визначається за показниками лічильників, що встановлені на транспортному засобі з електричною тяговою установкою.

В роботі [41], що присвячена методу обґрунтування енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї, застосовується показник енергоефективності транспортного засобу, який є питомими витратами енергоносія на одиницю транспортної роботи.

Вплив експлуатаційних чинників на витрату енергоносія транспортним засобом з електричною тяговою установкою досліджено в роботі [42], в якій використовується показник енергоефективності, що є витратами енергоносія в кДж для визначених умов руху.

В подальших дослідженнях енергоефективності транспортних засобів з електричною тяговою установкою, автор [43] застосовує критерій оцінювання, що являє собою кількість витрат енергоносія в МДж на одиницю виконаною транспортної роботи в км, коли вирішується задача визначення оптимального режиму руху, що забезпечує мінімальні витрат енергоносія.

Окремо зазначимо, що достатньо велика кількість досліджень транспортних засобів з електричною тяговою установкою присвячена визначенню характеристик його електричного приводу та управління ним [44 – 49], в яких застосовуються показники енергоефективності, що зазначені вище.

Дослідження впливу на витрату енергоносія умов експлуатації та конструктивних особливостей транспортних засобів з електричною тяговою силовою установкою описано в роботах [50– 58], де кількість витраченої енергії оцінювалася показниками МДж/км, МДж/т/км, тобто кількістю витраченого енергоносія на одиницю транспортної роботи для заданих умов руху.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

З точки зору забезпечення послідовності вирішення наукової проблеми, пов'язаною з енергетичною економічністю транспортного засобу з електричною тяговою установкою, необхідно виконати дослідження з оцінки вибору показника, що характеризує його енергоефективність.

Відомо, що для транспортних засобів категорії М1 цей показник визначений європейським стандартом [60], який не поширюється на інші категорії транспортних засобів і регламентує, що результати вимірювання витрати електроенергії повинні виражатися у ватт-годинах на кілометр (Вт.год/км), і використовується тільки в рекламній інформації про транспортних засіб.

Крім того, для вибраного показника енергоефективності транспортного засобу для інших категорій має бути також регламентований метод його визначення.

ВИСНОВКИ

Аналіз застосовності показників оцінювання енергоефективності свідчить, що під час дослідження автори застосовують різні показники, але найбільш часто використовується показник, що вимірюється в:

- літрах на одиницю транспортної роботи для транспортних засобів з двигунами внутрішнього згорання;
- кВт*год на одиницю транспортної роботи для транспортних засобів, з електричними тяговими установками.

Для оцінювання енергоефективності транспортних засобів класу I, що мають тягові силові установки з двигунами внутрішнього згорання, широко застосовують показник витрати палива на одиницю транспортної роботи, нормативна величина якого коригується в залежності від умов руху.

Що стосується оцінки енергоефективності транспортних засобів з електричними тяговими установками, то показник енергоефективності регламентований тільки для категорії М1 і характеризує кількість електричної енергії в Вт*год, яка була витрачена на одиницю транспортної роботи в км і рекомендується тільки для використання з рекламною метою.

Подальший вибір та обґрунтування показника енергоефективності для транспортних засобів з електричною тяговою установкою класу I має ґрунтуватися на розгляді існуючих методів його оцінювання для забезпечення можливості застосування вибраного показника не тільки в рекламних цілях, але й для планування та контролювання витрати енергоносія транспортним підприємством.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Закон України «Про енергозбереження» від 01.07.1994 № 74/94-ВР// Відомості Верховної Ради України, 1994 р. – № 30. –Ст.283.]
2. Закон України «Про енергоефективність» від 21.10.2021 № 1818--ІХ// Відомості Верховної Ради України, 2022 р. – № 2. –Ст.8.]
3. Указ Президента України «Про невідкладні заходи щодо забезпечення ефективного використання паливо – енергетичних ресурсів» від 28.02.08 № 174/208.
4. Про утворення Державного Комітету України з енергозбереження (Указ Президента України від 26.07.1995, № 666/95).
5. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 лютого 2000 року "Про невідкладні заходи щодо подолання кризових явищ у паливно-енергетичному комплексі України" (Указ Президента України від 10.03.2000, №457).
6. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 лютого 2000 року "Про невідкладні заходи щодо подолання кризових явищ у паливно-енергетичному комплексі України" (Указ Президента України від 10.03.2000, №457).
7. Про невідкладні заходи щодо виконання Комплексної державної програми енергозбереження України (Постанова Кабінету Міністрів України від 27.06.2000, № 1040).

8. Про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві (Постанова Кабінету Міністрів України від 15.07.1997, №786).
9. Про Комплексну державну програму енергозбереження України (Постанова Кабінету Міністрів України від 05.02.1997, № 148).
10. Про управління сферою енергозбереження (Постанова Кабінету Міністрів України від 09.01.1996, № 20).
11. ДСТУ 2155-93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів з енергозбереження. Чинний від 01.01.95. Держстандарт України, 1993. – 20 с.
12. ДСТУ 2339-94. Енергозбереження. Основні положення. Чинний від 01.01.1996. К.: Держстандарт України, 1994. - 18 с.
13. ДСТУ 2275-93. Енергозбереження. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Чинний від 01.01.1995. К.: Держстандарт України, 1993. - 32 с.
14. ДСТУ 3052 - 95 (ГОСТ 30167 - 95). Ресурсозбереження. Порядок встановлення показників ресурсозбереження у документації на продукцію. Чинний від 01.01.1997. - К.: Держстандарт України, 1996. - 31 с.
15. Чуйко С. П. Аналіз факторів впливу умов експлуатації міського маршрутного автобусу на його технічну швидкість. 5 th International conference Science and society. Canada, Hamilton, 15th June 2018. С.1459–1477.
16. Редзюк А. М., Клименко О. А. Впровадження технічного регулювання ефективності використання енергії дорожніми транспортними засобами в Україні. Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців : наук. пр. міжнар. наук.-практ. конф., (м. Харків, 19–20 жовт. 2017 р.). Харків : ХНАДУ, 2017. С. 41–42.
17. Кириченко И.Г. Оценка коэффициента полезного действия колесных машин на транспортных операциях / И.Г. Кириченко, Н.М. Подригало // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. ХГАДТУ. – 1998. – Вып.1 – С.26-28
18. Евсеев П.П. Некоторые вопросы энергетики автомобиля / П.П. Евсеев. Сборник научно-технических разработок. – К.:ЗАТ «Вікол», 2006. – 236 с.
19. Говорущенко Н. Я. Системотехника автомобильного транспорта : монография. Харьков : ХНАДУ, 2011. 297 с.
20. Редзюк А. М., Клименко О. А. Впровадження технічного регулювання ефективності використання енергії дорожніми транспортними засобами в Україні. Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології 169 і методи підготовки фахівців : наук. пр. міжнар. наук.-практ. конф., (м. Харків, 19–20 жовт. 2017 р.). Харків : ХНАДУ, 2017. С. 41–42.
21. Редзюк А. М. Результаты дослідження впливу режимів руху і кліматичних умов експлуатації у великих містах на споживання палива автомобілями / Редзюк А. М. та ін. Автошляховик України. Київ, 2010. № 2. С. 88–97
22. Сахно В. П., Савостін-Косяк Д. О. Нормування витрати палива для міських автобусів з дизельним двигуном. Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки. Київ : НТУ, 2017. Вип. 3. С. 141–15
23. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів : навч. посіб. в 3-х ч. Ч. 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів / В. 170 П. Сахно, А. В. Костенко, М. І. Загороднов та ін. Донецьк : «Ноулідж», 2014. 444 с.
24. Гутаревич Ю. Ф., Корпач А.О., Говорун А.Г. Випробовування двигунів внутрішнього згорання : навч. посіб. Київ : НТУ, 2013. 252 с. 47. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях. Київ : Вища школа, 1991. 179 с.
25. Біліченко В.В., Іщенко А. П. Оцінка швидкісних і паливних характеристик автобусів різної пасажиромісткості на міських маршрутах. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту : матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф. м. Вінниця, 19–21 жовт. 2015 р. Вінниця : ВНТУ. С. 41–42
26. Кривошапов С. І. Вдосконалення існуючої методики нормування витрат палива дорожньо-транспортних засобів. Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики : монографія / за наук. ред. І. Грицука. Херсон : ХДМА, 2019. С. 419–435.
27. Кривошапов С. И. Упрощенная методика нормирования часового расхода топлива транспортных автомобилей и специализированных машин. Вестник двигателестроения. Запорожье : АО «Мотор Сич», 2019. № 2. С.159– 165.

28. Волков В.П. Розробка методу застосування класифікації умов експлуатації автомобілів в інформаційних умовах ITS / Волков В.П. та ін. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Луцьк : ЛНТУ, 2019. № 1 (12). С. 22–28
29. Крайник Л. В. Боднар М. Ф. Алгоритм моделювання руху автобусів у типових їздових циклах та особливості розрахунку лінійної витрати палива. Вісник НУ "Львівська Політехніка" 2011. №701. С. 38–42.
30. Маяк Н. М. Топливная экономичность автомобилей в сложных условиях движения : монография. Київ: Вища школа, 1990. 215 с.
31. Литвин В. В., Таран І. О. Вплив режимів руху міських автобусів на паливну економічність та екологічну безпеку. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Луцьк : ЛНТУ, 2019. № 1 (12). С. 92–97.
32. Іванушко О.М. До обґрунтування взаємозв'язку між витратою палива та технічним станом автотранспортних засобів на прикладі автобусів з дизелем /О.М.Іванушко., Савостін-Косьяк/Systemy I Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia: Monografia/pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Seria Transport № 7. –Rzeszow: Politehnika Rzeszowska, 2016. – С.237-246.
33. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті : нормат. док. затв. Наказом Міністерством інфраструктури України від 10.02.1998 . № 43.
34. Подригало М.А. Коэффициент динамичности и КПД легкового автомобиля / М.А. Подригало, Д.М. Клец, А.И. Коробко, А.Н. Мостовая // Вестник ХНАДУ: сб. научн. тр. – 2010. – Вып. 49. – С. 29-34.
35. Мазин А.С. Оценка энергетической нагруженности автомобилей / А.С. Мазин, Р.О. Кайдалов, М.А. Подригало // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – Х. : НАНГУ, 2017. – Випуск 2 (30). – С. 28-3
36. Подригало М.А «Энергетическая экономичность автомобиля и критерии ее оценки» / Подригало М.А., Абрамов Д.В., Тарасов Ю.В., Ефимчук В.М. // Вісник НТУ «ХП» «Автомобілебудування», . –2015. –№ 10.(1053)– С. 28-37].
37. Подригало М.А «Енергетична ефективність автомобілів і методи її оцінки» / Подригало М.А., Тарасов Ю.В., Шеїн В.С., Радченко І.О. // Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів», ХНТУСГ. –2019. –№ 15.– С. 236-247].
38. Аргун Щ.В. Підвищення експлуатаційних властивостей міського пасажирського транспорту застосуванням електричного приводу: автореф. дис. на здобуття вч. ступеню док.тех.наук : 05.22.02. Автомобілі та трактори. Харків: ХНАДУ, 2020.40 с
39. ГKN 02.07.005-2001 Витрати електроенергії трамвайними вагонами та троллейбусами. Нормативи. Метод розрахунку. нормат. док. затв. Держбудом України 03.12.2001.№ 217. Київ : ДП НДКТИ МГ , 2001. 28 с.
40. СОУ ЖКГ 09.05 - 009:2010 Пасажирські перевезення. Вимоги до методів визначення та оптимізації витрат електроенергії трамвайними вагонами та троллейбусами на рух. нормат. док. затв. Міністерством з питань житлово-комунального господарства України 01.02.2010 ; 33 . Київ : ДП НДКТИ МГ , 2010. 27 с.
41. Андрусенко С.І. Математична модель енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї / Андрусенко С.І., Будниченко В.Б., Подпіснєв В.С. // Науково-технічний збірник “Вісник Національного транспортного університету , НТУ. –2021. –№ 3(50).– С. 3-11].
42. Dembitskyi V. Influence of a system “vehicle – driver – road – environment” on the energy efficiency of the vehicles with electric drive / Valerii Dembitskyi, Oleg Sitovskiy, Vasyl Pavliuk // Proceedings of ICCPT 2019, May 28-29, 2019. — Tern. : TNTU, Scientific Publishing House “SciView”, 2019. — P. 162–173. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28705> (Web of Science).
43. Дембіцький Валерій. Дослідження енергетичних показників транспортних засобів з електричним приводом. Монографія / за заг. ред. Д.В. Ломотька. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. – 2022. Т1 – 216 с. (с. 77 – 114).
44. Zhao Y, Hou J, Wang C, Chen L, Sun Q. Design of vehicle control research and development platform for a pure electric vehicle. Advances in Mechanical Engineering. February 2019. doi:10.1177/1687814019826427.
45. Weiss, M., Cloos, K.C. & Helmers, E. Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles. Environ Sci Eur 32, 46 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00307-8>.
46. Naakana A, Laurikko J, Granström R, Hagman R (2013) Assessing range and performance of electric vehicles in Nordic driving conditions—End of Project Report. Nordisk Energieforskning, December

- 2013, pp 74. <https://docplayer.net/11036905-Assessing-range-and-performance-of-electric-vehicles-in-nordic-driving-conditions-project-final-report.html>.
47. Carlson R, Lohse-Busch H, Diez J, Gibbs J (2012) The measured impact of vehicle mass on road load forces and energy consumption for a BEV, HEV, and ICE vehicle. SAE International 2013-0-1457.
48. Helmbrecht M, Olaverri-Monreal C, Bengler K, Vilimek R, Keinath A (2014) How electric vehicles affect driving behavioral patterns. IEEE Intell Transp Syst Mag 6(3):22–32.
49. Zhao C, Gong G, Yu C, Liu Y, Zhong S, Song Y, Deng C, Zhou A, Ye H (2019) Research on key factors for range and energy consumption of electric vehicles. SAE Technical Paper 2019-01-0723, <https://doi.org/10.4271/2019-01-0723>.
50. Wen Li, Patrick Stanula, Patricia Egede, Sami Kara, Christoph Herrmann, Determining the Main Factors Influencing the Energy Consumption of Electric Vehicles in the Usage Phase, Procedia CIRP, Volume 48, 2016, Pages 352-357, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.014>.
51. Sweeting, W. & Hutchinson, A. & Savage, S.. (2011). Factors affecting electric vehicle energy consumption. International Journal of Sustainable Engineering. 4. 1-10. 10.1080/19397038.2011.592956.
52. Miri, I, Fotouhi, A, Ewin, N. Electric vehicle energy consumption modelling and estimation—A case study. Int J Energy Res. 2021; 45: 501–520. <https://doi.org/10.1002/er.5700>
53. Araan Mohanadass (April 1st 2020). Making the Most of the Energy We Have: Vehicle Efficiency, Intelligent and Efficient Transport Systems - Design, Modelling, Control and Simulation, Truong Quang Dinh, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.90602. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/70562>
54. Zhao Y, Hou J, Wang C, Chen L, Sun Q. Design of vehicle control research and development platform for a pure electric vehicle. Advances in Mechanical Engineering. February 2019. doi:10.1177/1687814019826427.
55. Weiss, M., Cloos, K.C. & Helmers, E. Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles. Environ Sci Eur 32, 46 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00307-8>.
56. Haakana A, Laurikko J, Granström R, Hagman R (2013) Assessing range and performance of electric vehicles in Nordic driving conditions—End of Project Report. Nordisk Energieforskning, December 2013, pp 74. <https://docplayer.net/11036905-Assessing-range-and-performance-of-electric-vehicles-in-nordic-driving-conditions-project-final-report.html>.
57. Carlson R, Lohse-Busch H, Diez J, Gibbs J (2012) The measured impact of vehicle mass on road load forces and energy consumption for a BEV, HEV, and ICE vehicle. SAE International 2013-0-1457.
58. Helmbrecht M, Olaverri-Monreal C, Bengler K, Vilimek R, Keinath A (2014) How electric vehicles affect driving behavioral patterns. IEEE Intell Transp Syst Mag 6(3):22–32.
59. Zhao C, Gong G, Yu C, Liu Y, Zhong S, Song Y, Deng C, Zhou A, Ye H (2019) Research on key factors for range and energy consumption of electric vehicles. SAE Technical Paper 2019-01-0723, <https://doi.org/10.4271/2019-01-0723>.
60. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті : нормат. док. затв. Наказом Міністерством інфраструктури України від 10.02.1998 . № 43.
61. Regulation No. 101-03 Uniform provisions concerning the approval of passenger cars powered by an internal combustion engine only, or powered by a hybrid electric power train with regard to the measurement of the emission of carbon dioxide and fuel consumption and/or the measurement of electric energy consumption and electric range, and of categories M1 and N1 vehicles powered by an electric power train only with regard to the measurement of electric energy consumption and electric range.

REFERENCES

1. Law of Ukraine "On Energy Saving" dated 01.07.1994 No. 74/94-VR// Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine, 1994 - No. 30. - Article 283. J.
2. Law of Ukraine "On Energy Efficiency" dated 10/21/2021 No. 1818--IX// Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine, 2022 - No. 2. - Article 8. J.
3. Decree of the President of Ukraine "On urgent measures to ensure effective use of fuel and energy resources" dated February 28, 2008 No. 174/208.
4. On the formation of the State Committee of Ukraine on energy conservation (Decree of the President of Ukraine dated 07.26.1995, No. 666/95).
5. On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated February 14, 2000 "On urgent measures to overcome crisis phenomena in the fuel and energy complex of Ukraine" (Decree of the President of Ukraine dated March 10, 2000, No. 457).

6. On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated February 14, 2000 "On urgent measures to overcome crisis phenomena in the fuel and energy complex of Ukraine" (Decree of the President of Ukraine dated March 10, 2000, No. 457).
7. On urgent measures to implement the Comprehensive State Energy Saving Program of Ukraine (Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 06.27.2000, No. 1040).
8. On the procedure for standardizing the specific costs of fuel and energy resources in public production (Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 07.15.1997, No. 786).
9. About the Comprehensive State Energy Saving Program of Ukraine (Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated February 5, 1997, No. 148).
10. On the management of the sphere of energy saving (Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 9, 1996, No. 20).
11. DSTU 2155-93. Energy saving. Methods of determining the economic efficiency of energy saving measures. Valid from 01.01.95. State Standard of Ukraine, 1993. - 20 p.
12. DSTU 2339-94. Energy saving. Substantive provisions. Valid from 01.01.1996. K.: Derzhstandard of Ukraine, 1994. - 18 p.
13. DSTU 2275-93. Energy saving. Non-traditional and renewable energy sources. Effective from 01.01.1995. K.: Derzhstandard of Ukraine, 1993. - 32 p.
14. DSTU 3052 - 95 (GOST 30167 - 95). Resource saving. The procedure for setting resource saving indicators in product documentation. Effective from 01.01.1997. - K.: Derzhstandard of Ukraine, 1996. - 31 p.
15. Chuyko S.P. Analysis of factors affecting the operating conditions of a city shuttle bus on its technical speed. 5 th International conference Science and society. Canada, Hamilton, 15th June 2018. C.1459–1477.
16. Redzyuk A.M., Klymenko O.A. (2017) Implementation of technical regulation of the efficiency of energy use by road vehicles in Ukraine. Automobile transport and automobile construction. The latest technologies and methods of training specialists: science. International Ave. science and practice conference, (Kharkov, October 19–20, 2017). Kharkiv: Khnadu, 41–42.
17. Kirichenko I.G. (1998) Estimation of the coefficient of useful action of wheeled machines in transport operations / I.H. Kyrychenko, N.M. Prygalo // Automobile transport: Sat. scientific tr. HGADTU. – Issue 1 – .26-28
18. Evseev P.P. (2006) Some questions of automobile energy / P.P. Evseev. Collection of scientific and technical developments. - K.: ZAO "Vikol", - 236.
19. Govorushchenko N. Ya. (2011) System engineering of automobile transport: monograph. Kharkiv: Khnadu, 297.
20. Redzyuk A.M., Klymenko O.A. (2017) Implementation of technical regulation of the efficiency of energy use by road vehicles in Ukraine. Automobile transport and automobile manufacturing. The latest technologies 169 and methods of training specialists: science. International Ave. science and practice conference, (Kharkov, October 19–20, 2017). Kharkiv: Khnadu, 41–42.
21. Redzyuk A.M. (2010) Results of the study of the effect of driving modes and climatic conditions of operation in large cities on fuel consumption by cars / Redzyuk A.M. et al. Highway of Ukraine. Kyiv, No. 2. 88–97
22. Sakhno V. P., Savostin-Kosyak D. O. (2017) Standardization of fuel consumption for city buses with a diesel engine. Bulletin of the National Transport University. Ser. Technical sciences. Kyiv: NTU, 141–150
23. Operational properties of motor vehicles: training. manual in 3 parts. Part 1. Dynamics and fuel efficiency of motor vehicles / V. 170 P. Sakhno, A. V. Kostenko, M. I. Zagorodnov and others. Donetsk: "Knowledge", 2014. 444 .
24. Gutarevich Yu.F., Korpach A.O., Govorun A.G. (2013) Testing of internal combustion engines: training. manual Kyiv: National Technical University, 252 p.
25. Gutarevich Yu.F. (1991) Reduction of harmful car emissions in operational conditions. Kyiv: Higher School, 179 p.
26. Bilichenko V.V., Ishchenko A.P. (2015) Evaluation of speed and fuel characteristics of buses of different passenger capacities on city routes. Modern technologies and prospects for the development of road transport: materials of the VIII International science and practice conf. Vinnytsia, October 19–21. Vinnytsia: VNTU. 41–42

27. Krivoshapov S. I. (2019) Improvement of the existing method of normalizing fuel consumption of road vehicles. Systems and means of transport. Problems of operation and diagnostics: a monograph / by Sci. ed. I. Hrytsuk. Kherson: KhDMA, 419–435.
28. Volkov V.P. (2019) Development of a method of applying the classification of car operating conditions in ITS information conditions / V.P. Volkov. etc. Modern technologies in mechanical engineering and transport. Lutsk: LNTU., No. 1 (12). 22–28
29. Kraynyk L. V. Bodnar M. F. (2011) Algorithm for modeling bus traffic in typical driving cycles and features of linear fuel consumption calculation. Bulletin of NU "Lviv Polytechnic" No. 701. 38–42.
30. Mayak N.M. (2015) Fuel economy of cars in difficult driving conditions: monograph. Kyiv: Higher School, 215.
31. Lytvyn V.V., Taran I.O. (2019) Influence of city bus traffic modes on fuel efficiency and environmental safety. Modern technologies in mechanical engineering and transport. Lutsk: LNTU., No. 1 (12). P. 92–97.
32. Ivanushko O.M. (2016) .To substantiate the relationship between fuel consumption and the technical condition of vehicles using the example of diesel buses / O.M. Ivanushko., Savostin-Kosyak/Systemy I Srodki Transportu Samocchodowero. Wybrane Zagadnienia: Monografia/pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Seria Transport No. 7. – Rzeszow: Politehnika Rzeszowska.,237-246.
33. Norms of consumption of fuel and lubricants in road transport: norm. dock. seal By order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine dated February 10, 1998. No. 43.
34. Pridrigalo M.A. (2010) Dynamic coefficient and efficiency of a passenger car / M.A. Pridrigalo, D.M. Klets, A.I. Korobko, A.N. Mostovaya // Vestnyk KHNADU: Sat. scientific tr. – 49. –29-34.
35. Mazin A.S. (2017) Evaluation of the energy load of cars / A.S. Mazyn, R.O. Kaidalov, M.A. Prygalo // Collection of scientific works of the National Academy of the National Guard of Ukraine. – Kh.: NANGU, –2 (30). - 28-3
36. Podrigalo M.A. (2015) "Energetic economy of the car and criteria for its evaluation" / Podrigalo M.A., Abramov D.V., Tarasov Yu.V., Efimchuk V.M. // Bulletin of NTU "KhPI" "Automotive Construction", – 10.(1053)–. 28-37.
37. Podrigalo, M.A. (2019). "Energy efficiency of cars and methods of its assessment" / Podrigalo, M.A., Tarasov, Yu.V., Shein, V.S., Radchenko, I.O. // Journal "Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes", KhNTUSG. 15.- 236-247.
38. Argun Sh.V. (2020) Increasing the operational properties of urban passenger transport using an electric drive: autoref. thesis to obtain a university degree degree of doctor of technical sciences: 05.22.02. Cars and tractors. Kharkiv: Khnadu, 40
39. GKN 07.02.005-2001 Consumption of electricity by tram cars and trolleybuses. Norms. Calculation method. norms dock. seal State Building of Ukraine 03.12.2001. No. 217. Kyiv: SE NDKTI MG, 2001. 28 c.
40. SOU GKH 09.05 - 009:2010 Passenger transportation. Requirements for methods of determining and optimizing electricity consumption by tramcars and trolleybuses for movement. norms dock. seal by the Ministry of Housing and Communal Affairs of Ukraine 02.01.2010; 33. Kyiv: SE NDKTI MG, 2010. 27 p.
41. Andrusenko S.I. (2021) Mathematical model of the energy capacity of the traction battery / Andrusenko S.I., Budnychenko V.B., Podpisnov V.S. // Scientific and technical collection "Bulletin of the National Transport University, NTU. - 3(50).- 3-11.
42. Dembitskyi V. (2019) Influence of a system “vehicle – driver – road – environment” on the energy efficiency of the vehicles with electric drive / Valerii Dembitskyi, Oleg Sitovskiy, Vasyl Pavliuk // Proceedings of ICCPT 2019, May 28-29, 2019 — Tern. : TNTU, Scientific Publishing House “SciView”, 162–173. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28705> (Web of Science).
43. Valery Dembytskyi. (2022) Research of energy indicators of vehicles with an electric drive. Monograph / by general ed. D.V. Lomotka - Academy of Technical Sciences of Ukraine. – Ivano-Frankivsk: Publisher H.M. Kushnir. - 1 - 77-114.
44. Zhao Y, Hou J, Wang C, Chen L, Sun Q. Design of vehicle control research and development platform for a pure electric vehicle. Advances in Mechanical Engineering. February 2019. doi:10.1177/1687814019826427.
45. Weiss, M., Cloos, K.C. & Helmers, E. Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles. Environ Sci Eur 32, 46 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00307-8>.

46. Haakana A, Laurikko J, Granström R, Hagman R (2013) Assessing range and performance of electric vehicles in Nordic driving conditions—End of Project Report. Nordisk Energieforskning, December 2013, pp 74. <https://docplayer.net/11036905-Assessing-range-and-performance-of-electric-vehicles-in-nordic-driving-conditions-project-final-report.html>.
47. Carlson R, Lohse-Busch H, Diez J, Gibbs J (2012) The measured impact of vehicle mass on road load forces and energy consumption for a BEV, HEV, and ICE vehicle. SAE International 2013-0-1457.
48. Helmbrecht M, Olaverri-Monreal C, Bengler K, Vilimek R, Keinath A (2014) How electric vehicles affect driving behavioral patterns. IEEE Intell Transp Syst Mag 6(3):22–32.
49. Zhao C, Gong G, Yu C, Liu Y, Zhong S, Song Y, Deng C, Zhou A, Ye H (2019) Research on key factors for range and energy consumption of electric vehicles. SAE Technical Paper 2019-01-0723, <https://doi.org/10.4271/2019-01-0723>.
50. Wen Li, Patrick Stanula, Patricia Egede, Sami Kara, Christoph Herrmann, Determining the Main Factors Influencing the Energy Consumption of Electric Vehicles in the Usage Phase, Procedia CIRP, Volume 48, 2016, Pages 352-357, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.014>.
51. Sweeting, W. & Hutchinson, A. & Savage, S.. (2011). Factors affecting electric vehicle energy consumption. International Journal of Sustainable Engineering. 4. 1-10. [10.1080/19397038.2011.592956](https://doi.org/10.1080/19397038.2011.592956).
52. Miri, I, Fotouhi, A, Ewin, N. Electric vehicle energy consumption modelling and estimation—A case study. Int J Energy Res. 2021; 45: 501– 520. <https://doi.org/10.1002/er.5700>
53. Araan Mohanadass (April 1st 2020). Making the Most of the Energy We Have: Vehicle Efficiency, Intelligent and Efficient Transport Systems - Design, Modelling, Control and Simulation, Truong Quang Dinh, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.90602. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/70562>
54. Zhao Y, Hou J, Wang C, Chen L, Sun Q. Design of vehicle control research and development platform for a pure electric vehicle. Advances in Mechanical Engineering. February 2019. [doi:10.1177/1687814019826427](https://doi.org/10.1177/1687814019826427).
55. Weiss, M., Cloos, K.C. & Helmers, E. Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles. Environ Sci Eur 32, 46 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00307-8>.
56. Haakana A, Laurikko J, Granström R, Hagman R (2013) Assessing range and performance of electric vehicles in Nordic driving conditions—End of Project Report. Nordisk Energieforskning, December 2013, pp 74. <https://docplayer.net/11036905-Assessing-range-and-performance-of-electric-vehicles-in-nordic-driving-conditions-project-final-report.html>.
57. Carlson R, Lohse-Busch H, Diez J, Gibbs J (2012) The measured impact of vehicle mass on road load forces and energy consumption for a BEV, HEV, and ICE vehicle. SAE International 2013-0-1457.
58. Helmbrecht M, Olaverri-Monreal C, Bengler K, Vilimek R, Keinath A (2014) How electric vehicles affect driving behavioral patterns. IEEE Intell Transp Syst Mag 6(3):22–32.
59. Zhao C, Gong G, Yu C, Liu Y, Zhong S, Song Y, Deng C, Zhou A, Ye H (2019) Research on key factors for range and energy consumption of electric vehicles. SAE Technical Paper 2019-01-0723, <https://doi.org/10.4271/2019-01-0723>
60. Norms of consumption of fuel and lubricants in road transport: norm. dock. seal By order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine dated February 10, 1998. No. 43.
61. Regulation No. 101-03 Uniform provisions concerning the approval of passenger cars powered by an internal combustion engine only, or powered by a hybrid electric power train with regard to the measurement of the emission of carbon dioxide and fuel consumption and/or the measurement of electric energy consumption and electric range, and of categories M1 and N1 vehicles powered by an electric power train only with regard to the measurement of electric energy consumption and electric range

Andrusenko S.I., Budnychenko I.V. Dembitskyi V.M. Applicability of energy efficiency assessment indicators vehicles

The paper examines the applicability of indicators for evaluating the energy efficiency of vehicles, the power plants of which have an internal combustion engine and an electric motor. It has been established that when evaluating energy consumption in internal combustion engines, energy consumption indicators are used in liters per unit of transport work per km or per 100 km, while there is no such unified approach for engines with an electric drive. It was established that the main problem during: comparing the energy efficiency of vehicles of different manufacturers with an electric traction unit; planning and control of energy consumption by a vehicle with an electric traction unit is the absence of a single evaluation indicator. The

results of research on the influence of various factors on energy consumption by vehicles and indicators of energy consumption evaluation are considered. Attention is focused on the indicators of the energy load of cars, the level of energy load, the energy efficiency of the car, energy consumption in kWh depending on the mileage and the number of transported passengers for a certain period of time, the amount of spent energy per unit of transport work for the given traffic conditions. In the work, it was established that the research on the consumption of the energy carrier of vehicles of category M3, class I, which have a traction unit with an electric motor, is in the initial stages and requires further research. The necessity of developing and implementing criteria and methods for evaluating the efficiency of energy use in road transport, taking into account real operating conditions, was also established.

Keywords: vehicle, traction electrical installation, energy carrier costs, energy efficiency criterion, energy efficiency assessment.

АНДРУСЕНКО Сергій Іванович, кандидат технічних наук, професор кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-9914-0200>.

БУДНИЧЕНКО Ігор Валерійович, аспірант, Національний транспортний університет, e-mail: igor.v.budnichenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3073-4913>.

ДЕМБІЦЬКИЙ Валерій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: dvm2@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1006-9218>

Serhii ANDRUSENKO, Ph.D in Engineering, Professor of department of technical operation of cars and car service, National Transport University, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-9914-0200>.

Igor BUDNYCHENKO Postgraduate, National Transport University, e-mail: igor.v.budnichenko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3073-4913>.

Valerii DEMBITSKYI, Ph.D. in Engineering associate professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: dvm2@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1006-9218>

DOI 10.36910/automash.v1i20.1034