

А. Ф. Гаврилюк, к. т. н., доц.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАЛИВНОЇ ТА ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ОЩАДЛИВОСТІ АВТОМОБІЛІВ З ТРАДИЦІЙНИМИ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ВИДАМИ ПАЛЬНОГО

*Розвиток автомобільної промисловості призводить до щорічного збільшення кількості автомобілів. У 2020 році у світі виготовлено понад 78 млн автомобілів, лєвова частка яких припадає на таких найбільших виробників як Toyota Motor Corporation (9,5 млн) та Volkswagen Group (8,7 млн). Очевидно, що така чисельність світового автопарку призводить до цілої низки різного роду проблем, серед яких найперше це забруднення навколишнього середовища відпрацьованими газами та дорожні затори. Зокрема, на автомобільний транспорт припадає понад 20% від усіх викидів діоксиду вуглецю ( $CO_2$ ) в атмосферу.*

*Наведено основні альтернативні джерела пального, які використовуються в транспортних засобах серед яких етанол, бутанол, зріджений та стиснений природний газ, водень та біогаз, а також джерела електроенергії для транспортних засобів: силові літій-іонні акумулятори, паливні та водневі елементи, сонячні батареї та суперконденсатори.*

*Запропоновано методику визначення паливної та еквівалентної ощадливості, яку використовують у США та її проблематику запровадження в Україні. Встановлено відсутність в українському законодавстві наявних нормативно-правових актів, які б регламентували методику визначення паливної ощадливості транспортних засобів, в тому числі, які використовують альтернативні джерела енергії. Досліджено та проаналізовано еквівалентну паливну ощадливість таких автомобілів: Chevrolet Lacetti (бензин), Renault Logan (дизель), Honda FCX Clarity (водень), Ford C-Max (спиртовмісне паливо), Renault Sandero (біодизельне паливо), Nissan Qashqai (біогаз), Citroën C4 (зріджений природний газ), Nissan Leaf (електроенергія). Результати наведено у вигляді графічних залежностей.*

**Ключові слова:** *електромобілі, економія палива, гібридні транспортні засоби, еквівалентне споживання палива, електроенергія.*

### Вступ

Автомобільна промисловість продовжує стрімко розвиватись задовольняючи потребу та комфорт споживачів у різного роду пасажирських та вантажних перевезень. До автомобільного транспорту відносять автобуси, легкові та вантажні автомобілі [1].

Очевидно, що велика чисельність світового автопарку призводить до цілої низки різного роду проблем, серед яких найперше це забруднення навколишнього середовища відпрацьованими газами та дорожні затори. Зокрема, на автомобільний транспорт припадає понад 20% від усіх викидів діоксиду вуглецю ( $CO_2$ ) в атмосферу. Для зменшення негативних викидів світова інженерія в кожному роком висуває суворіші екологічні стандарти, які обмежують вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Так у 2015 році на території Європейського союзу був введений екологічний стандарт Євро-6. До запровадження підготовлений ще суворіший Євро-7, який обумовлює зменшення викидів оксидів азоту з 60 мг/км до 10 мг/км для бензинових двигунів та з 80 мг/км до 30 мг/км для дизельних (у порівнянні з Євро-6) [2, 3].

### Мета і постановка задачі дослідження

Лише у 2020 році у світі виготовлено понад 78 млн автомобілів, лівова частка яких припадає на таких найбільших виробників як Toyota Motor Corporation (9,5 млн) та Volkswagen Group (8,7 млн). Динаміка виготовлення автомобілів у світі наведена на рис. 1а., яка призвела до чисельності автомобільного парку понад 1,3 млрд одиниць. У 2020 році найбільше автомобілів було виготовлено у Китаї, Японії та Німеччині (рис. 1б).

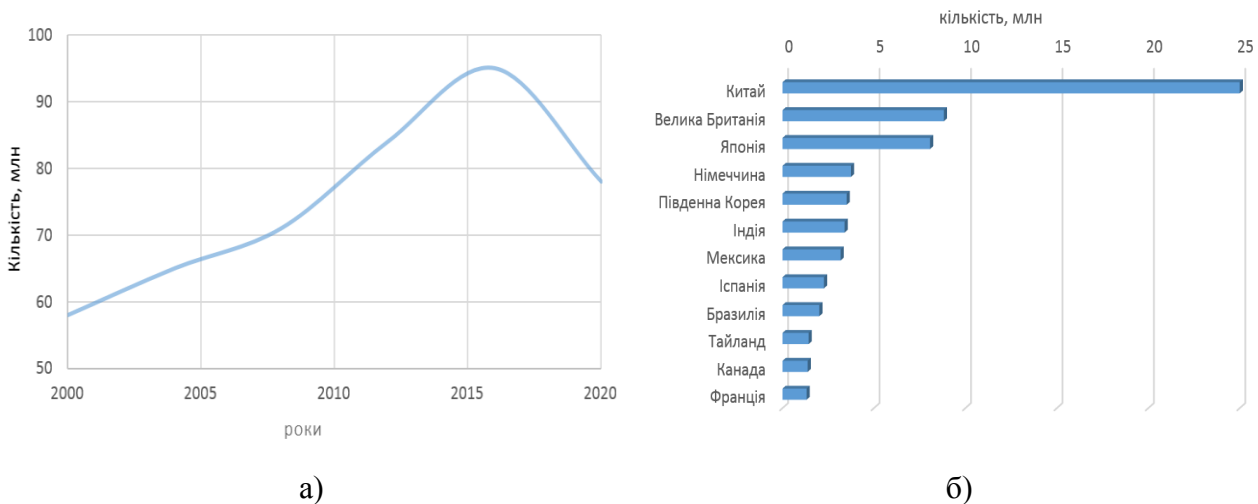


Рис. 1. Динаміка виготовлення автомобілів у світі а) динаміка виготовлення автомобілів у світі; б) кількість автомобілів, що були виготовлені у 2020 році у провідних країнах

В Україні, за даними ДП «ДержавтотрансНДІпроект», загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів складає понад 4,6 млн.

Разом з тим у автомобільних транспортних засобах почали використовувати альтернативні джерела пального такі як: етанол, бутанол, зріджений та стиснений природний газ (ЗПГ та СПГ), водень та біогаз. Окремо варто зазначити електроенергію, використання якої на автотранспорті є найбільш екологічним. Найпоширенішими джерелами електроенергії для транспортних засобів стали силові літій-іонні акумулятори, паливні та водневі елементи, сонячні батареї та суперконденсатори [4, 5, 6]. Класифікація автомобільних транспортних засобів, які використовують електричні та гібридні приводи наведено у роботі [7].

**Мета роботи** полягає в визначенні паливної та еквівалентної ощадності автомобілів, які використовують традиційні та альтернативні види пального шляхом удосконалення методики їх визначення.

Об'єкт дослідження – автомобілі, які використовують традиційні та альтернативні види пального.

Предмет дослідження – паливна та еквівалентна ощадливості автомобілів, які використовують традиційні та альтернативні види пального.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження автомобілів, які використовують традиційні та альтернативні види пального: проаналізувати сучасний стан питання, що стосується дослідження паливної та еквівалентної ощадності автомобілів; на підставі аналізу удосконалити методику дослідження паливної та еквівалентної ощадності автомобілів; з використанням удосконаленої методики дослідити та проаналізувати паливну та еквівалентну ощадність автомобілів.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягає у подальшому розвитку Наукові праці ВНТУ, 2021, № 2

методики дослідження паливної та еквівалентної ощадливості автомобілів, які використовують традиційні та альтернативні види пального.

Практична значущість результатів дослідження – створення підґрунтя для запровадження в Україні нормативно-правових актів, які регламентують методику визначення паливної та еквівалентної ощадливості автомобілів, а також, які працюють на альтернативних видах пального.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Про оцінку паливної ощадливості від багатьох чинників йдеться у низці наукових праць. Так у праці [7] проведено дослідження щодо еквівалентної паливної ощадливості електромобілів. У роботі [8] наведено оцінку паливоощадності за зміни розмірів циліндрів двигуна внутрішнього згоряння внаслідок проведення ремонтних робіт. У [9] наголошено, що однією із важливих експлуатаційних властивостей автомобілів є їх паливна ощадливість та досліджено енергетичну ефективність системи електричного пуску двигуна внутрішнього загоряння на витрати пального. Автори роботи [10] приводять дослідження вартості експлуатації з врахуванням вартості технічного обслуговування та зношування основних вузлів та компонентів електричних та гібридних транспортних засобів. Разом з тим недостатньо досліджено паливну ощадливість транспортних засобів, які використовують такі альтернативні палива як біогаз, водень, біодизельне пальне, а також не береться до уваги потужність автомобіля.

**Результати дослідження та їх обговорення.** За американськими стандартами [11] за одиницю виміру економічності транспортних засобів MPG (miles per gallon) береться відстань у милях (1 миля = 1,609 км), яку автомобіль здатний подолати на одному галоні пального (1 gal lig = 3,785 л).

Натомість економічність електромобілів визначається кількістю миль, яку транспортний засіб може подолати використавши електричну енергію еквівалентну енергії, що міститься в галоні бензину. Такий підхід використовують і для гібридних автомобілів і тих, що працюють на альтернативному видах пального (NGV – natural gas vehicle; FCV – fuel cell vehicle). Тобто один галон бензинового еквіваленту кількісно співрозмірний кіловат-годині електричної енергії, об'єму природного газу, біогазу, метанолу, водню тощо, що еквівалентно дорівнює енергії галона бензину ( $1 \text{ MPGe} = 33,7 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 121 \text{ МДж}$ ) на якому автомобіль може подолати відстань в одну милю. У автомобілях, які використовують два і більше види пального (PHEV, NGV, FCV), вказують витрату кожного пального у галонах бензинового еквіваленту.

Натомість в Україні немає нормативно-правових актів, які регламентують методику визначення паливної та еквівалентної ощадливості автомобілів, в тому числі, які працюють на альтернативних видах пального.

Альтернативне пальне, яке використовують транспортні засоби, може вимірюватись в одиницях об'єму, маси чи енергетичних показниках (кВт·год). З використанням питомої теплоти згоряння, порівнюємо енергетичні показники певних видів альтернативного та традиційного палив. Кількість альтернативного та традиційного палив необхідного для отримання 1 МДж енергії (0,0083 MPGe) наведено графічно на рис. 2.

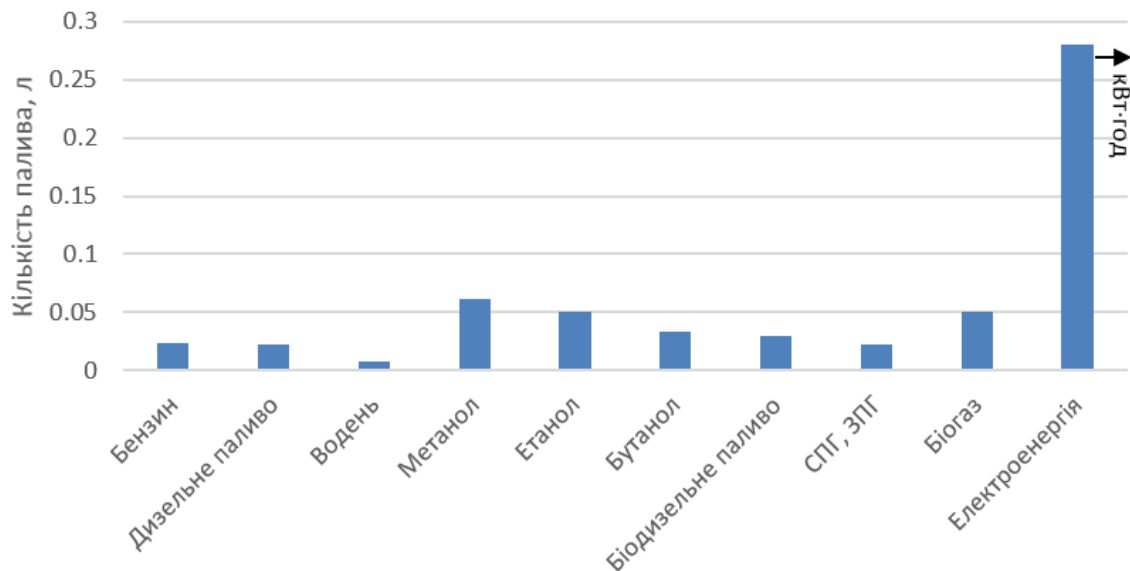


Рис. 2. Необхідна кількість традиційного та альтернативного пального для отримання 1 МДж енергії

Найбільші показники енергоємності має водень, тому витрата палива для отримання енергії в нього – найменша.

У таблиці 1 наведено автомобілі, які використовують традиційні та альтернативні джерела пального та їх певні технічні характеристики.

Таблиця 1

**Технічні характеристики автомобілів, які використовують традиційні та альтернативні джерела пального**

Марка автомобіля	Тип пального	Одиниці вимірювання пального	Потужність к. с. (кВт)	Лінійна витрата пального (л/100км)
Chevrolet Lacetti	Бензин	Л	87 (64)	7,1
Renault Logan	Дизель	Л	95 (70)	6,6
Honda FCX Clarity	Водень	Л	177 (130)	3,5
Ford C-Max	спиртовмісне паливо (E85)	Л	109 (80)	4,9
Renault Sandero	біодизельне паливо (B100)	Л	84 (62)	3,9
Nissan Qashqai	СПГ, біогаз	Л	115 (85)	14,2
Citroën C4	ЗПГ	Л	110 (81)	8,4
Nissan Leaf	електроенергія	кВт·год	108 (79)	10,5

Очевидно, що лінійна витрата пального (л/100 км) повною мірою не відображає, реальний стан використання того чи іншого транспортного засобу.

З використанням рівності (1) визначимо питому витрату пального необхідного для подолання 1 км шляху що припадає на 1 к. с. потужності для кожного автомобіля, який працює на традиційному та альтернативному видах паливах.

$$Q = \frac{q}{100 \cdot N} \quad (1)$$

де  $Q$  – питома витрата пального (л/к. с·км; кВт·год/к. с. ·км);  $q$  – лінійна витрата пального (л, кВт·год);  $N$  – потужність автомобіля (к. с).

Результати питомої витрати пального наведені графічно на рис. 3.

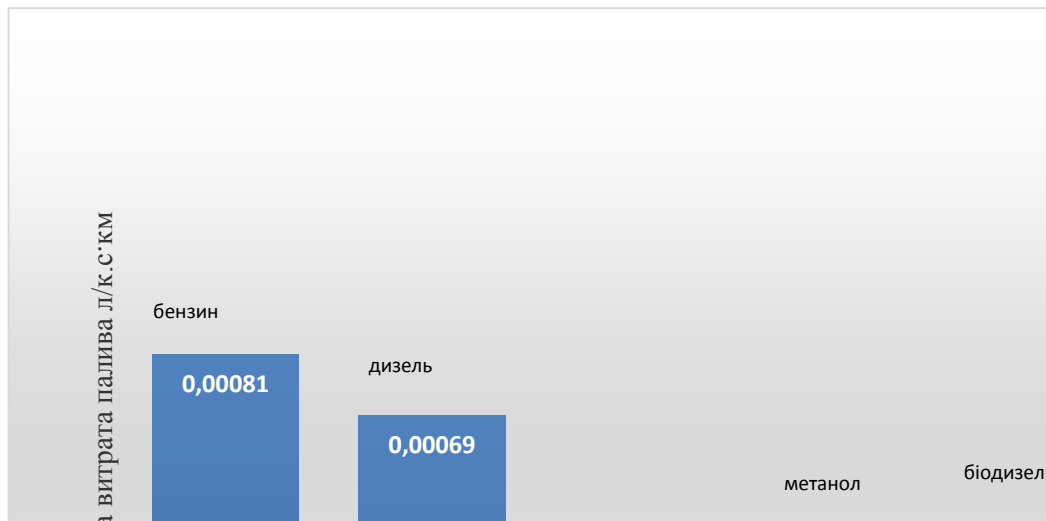


Рис. 3. Питома витрата пального для певних марок автомобілів, які працюють на традиційному та альтернативному пальному (л (кВт·год)/к. с. ·км)

З врахування вартості вищеназваних енергоносіїв в Україні визначимо відносну вартість пробігу, тобто вартість пального необхідного для подолання 1 км шляху, що припадає на одиницю потужності для вищеназваних марок автомобілів, з використанням рівності:

$$F = Q \times H \quad (2)$$

де  $F$  – відносна вартість пробігу, грн/к. с. ·км;  $H$  – вартість пального, грн/л.

Результати відносної вартості пробігу в Україні, для автомобілів, які працюють на традиційному та альтернативному пальному, наведені на рис. 4.

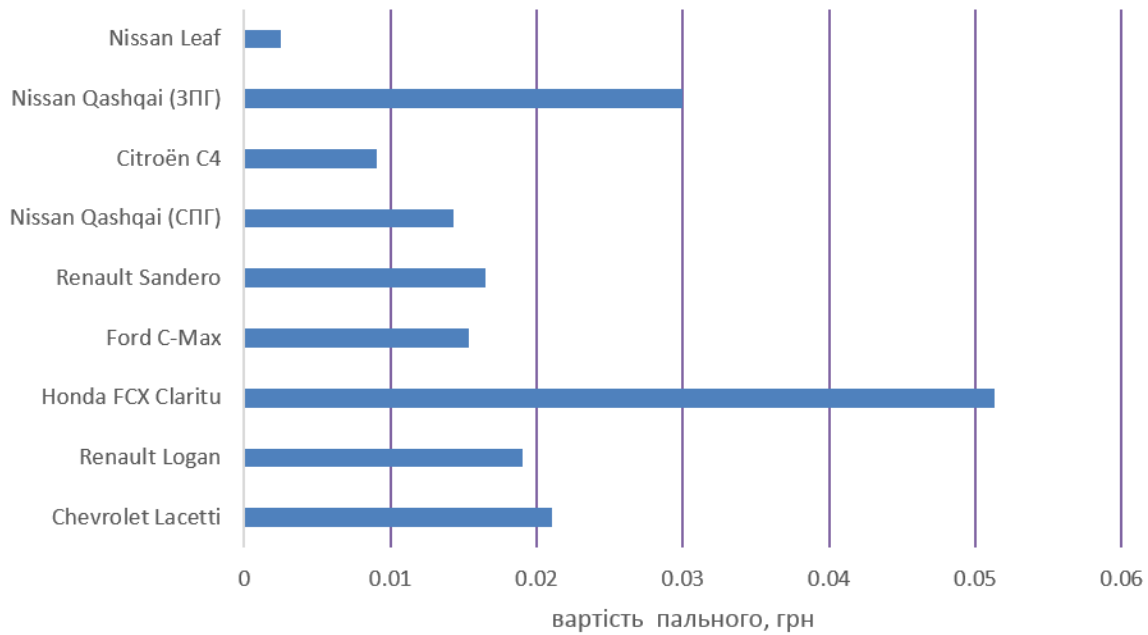


Рис. 4. Відносна вартість пробігу в Україні, для автомобілів, які працюють на традиційному та альтернативному пальному

Вартість на енергоносії може змінюватись, як в абсолютному так і в відносному значеннях. Тому доцільно ввести чинник, який би повною мірою відображав реальну паливну ощадливість транспортних засобів, які використовують традиційні та альтернативні види пального. Об'єктивним показником може бути еквівалентна паливна ощадливість, яка показує кількість традиційного чи альтернативного пального, яке використовується транспортним засобом для подолання 1 км шляху і припадає на одиницю потужності (к. с.) переведену у енергетичний показник (кДж). З використанням цієї методики наведемо питому паливну ощадливість (кДж/км·к.с.) для перелічених транспортних засобів. Результати питомої паливної ощадливості наведено на рис. 5.

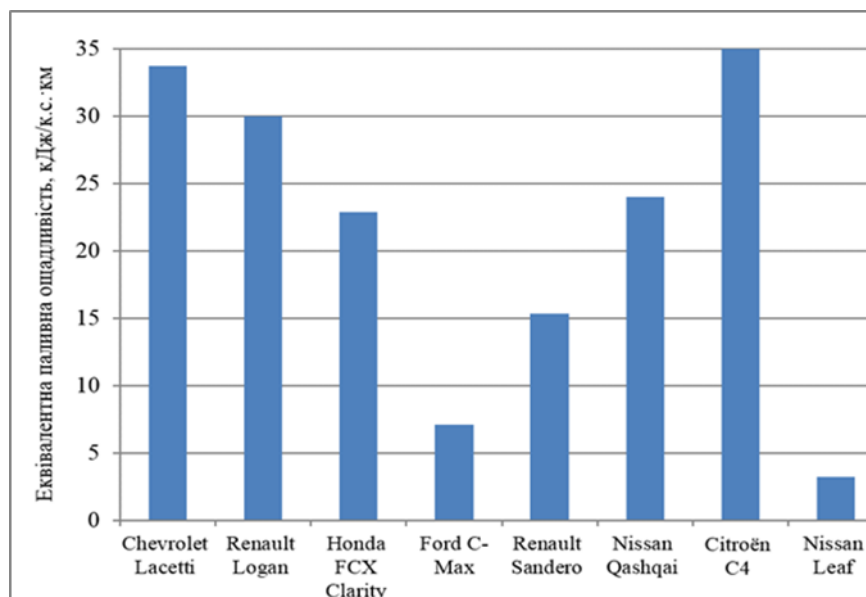


Рис. 5. Питома паливна ощадливість (кДж/к. с.·км) для перелічених марок автомобілів, які працюють на традиційному та альтернативному пальному

Аналіз рис. 5 показує, що автомобіль з електричним приводом (Nissan Leaf) для подолання 1 км шляху і забезпечення потужності 1 к. с. витрачає найменше енергії, серед усіх досліджених автомобілів – лише 3,21 кДж/к. с.·км. Що є набагато разів менше ніж у автомобілів з двигунами внутрішнього згорання.

### Висновки та перспективи подальшого дослідження

Використання різного роду пального та електроенергії в сучасних транспортних засобах створює труднощі в оцінці паливної та еквівалентної ощадливості, а також не регламентовано жодним наявним в Україні нормативно-правовим актом.

Встановлено, що для відображення реальної паливної ощадливості автомобілів з альтернативними видами пального, доцільно аналізувати разом з лінійною витратою пального і питому витрату пального.

З використанням запропонованої методики для визначення паливної та еквівалентної паливної ощадливості досліджено та проаналізовано еквівалентну паливну ощадливість автомобілів, які використовують традиційні та альтернативні види пального. Встановлено, що питома паливна ощадливість електромобіля Nissan Leaf є найменшою, серед усіх автомобілів, що досліджувались і становить лише 3,21 кДж/к.с.·км. Це показник у 9,3 – 11 разів менший у порівнянні з автомобілями Chevrolet Lacetti, Renault Logan та Citroen C4, які використовують «класичне» пальне: бензин, дизельне пальне та ЗПГ відповідно.

Подальші дослідження доцільно направити на розширення спектру автомобілів, що досліджуються, а також врахувати більшу кількість чинників, які можуть впливати на паливну та еквівалентну ощадливість. І на підставі таких досліджень виявити та запропонувати транспортні засоби з найкращими показниками паливної ощадливості для заданих умов експлуатації.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України № 3492-IV від 23.02.2006 р. Про автомобільний транспорт : за станом на 07.05.2017 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во., 2017. – 69 с. – (Бібліотека офіційних видань).
2. Joshi A. Review of Vehicle Engine Efficiency and Emissions / A. Joshi // SAE Int. J. Adv. & Curr. Prac. in Mobility. – 2019. – № 1 (2). – P. 734 – 761. doi:10.4271/2019-01-0314.
3. Puškár M. System based on thermal control of the HCCI technology developed for reduction of the vehicle NOX emissions in order to fulfil the future standard Euro 7 / M. Puškár, M. Kopas // Science of The Total Environment. – 2018. – № 643. – P. 674 – 680.
4. World trends in the development of vehicles with alternative energy sources / N. Tuan, K. Karpukhin, A. Terenchenko [et al.] // Engineering and Applied Sciences. – 2018. – № 13 (7). – P. 2535 – 2542.
5. Karagöz Y. (2019). Analysis of the impact of gasoline, biogas and biogas + hydrogen fuels on emissions and vehicle performance in the WLTC and NEDC / Y. Karagöz // International Journal of Hydrogen Energy. – 2019. – № 44 (59). – P. 31621 – 31632. doi:10.1016/j.ijhydene.2019.10.019.
6. Supercapacitors : A new source of power for electric cars? / M. Horn, J. MacLeod, M. Liu, [et al.] // Economic Analysis and Policy. – 2019. – № 61. – P. 93 – 103. doi:10.1016/j.eap.2018.08.003.
7. Гаврилюк А. Аналіз еквівалентної паливної ощадливості електромобілів / А. Гаврилюк, М. Лемішко // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. – 2019. – № 20. С. 85 – 89. doi: 10.32447/20784643.20.2019.12.
8. Оцінка паливоощадності автомобіля внаслідок зміни розмірів циліндрів двигуна за наявності розриву силового потоку у трансмісії / Г. Гудз, М. Глобчак, О. Коцюмбаст [та ін.] // Автомобільний транспорт. – 2020. – № (46). – С. 5. doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2020.46.0.5
9. Енергетична ефективність системи електростартерного пуску автомобільних двигунів [Електронний ресурс] / С. Немий, В. Бритковський // Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – 2014. – №. 788. – Режим доступу : <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/24647>.
10. Оцінка вартостей експлуатації транспортних засобів з різними типами силових установок [Електронний ресурс] / С. І. Андрусенко, О. С. Бугайчук, А. В. Лобода, Д. О. Савостін-Косяк // Автомобільний транспорт. – 2020. – № 2 (86). – Режим доступу : doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-3-12.
11. Kelley Blue Book [Електронний ресурс] / The Trusted Resource. – Режим доступу : <https://www.kbb.com>.
12. Daziano Ricardo A. Conditional-logit Bayes estimators for consumer valuation of electric vehicle driving range /

Ricardo A. Daziano // Resource and Energy Economics. – 2013. – № 35 (3). – P. 429 – 450.  
doi:10.1016/j.reseneeco.2013.05.001.

13. Jung H. Scaling Trends of Electric Vehicle Performance : Driving Range, Fuel Economy, Peak Power Output, and Temperature Effect / H. Jung, R. Silva, M. Han // World Electric Vehicle Journal. – 2018. – № 9 (4), 46.  
<https://doi.org/10.3390/wevj9040046>.

Стаття надійшла до редакції 15.06.2021.

Стаття пройшла рецензування 25.06.2021.

**Гаврилюк Андрій Федорович** – к. т. н., доцент, старший викладач кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки, email: [Gavrilyk3@ukr.net](mailto:Gavrilyk3@ukr.net), номер ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8727-9950>, Research Gate : [https://www.researchgate.net/profile/Andrii\\_Gavryliuk2](https://www.researchgate.net/profile/Andrii_Gavryliuk2), Scopus ID: 57217202131.

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.