

*А.Ф. Гаврилюк, М.В. Лемішко**Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

АНАЛІЗ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ПАЛИВНОЇ ОЩАДЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Окреслено ймовірні перспективи розвитку електромобілів у найближчому майбутньому, наведено їх загальну класифікацію, а також проблеми їх використання. Проаналізовано найпоширеніші енергетичні елементи, які використовуються для живлення тягових електричних двигунів електромобілів, описано їх переваги та недоліки.

За результатами аналізу наведено найбільш економічні електромобілі за рейтингом 2018 року випуску та описано їх тягово-швидкісні характеристики. Розкрито особливості методології визначення паливної економії для гібридних транспортних засобів (PHEV - plug-in hybrid electric vehicle) і для транспортних засобів, що працюють на альтернативному виді пального (NGV - natural gas vehicle; FCV - fuel cell vehicle) та виявлено можливість її удосконалення.

Розроблено методологічні основи оцінки паливної економії електромобілів. Це дасть змогу потенційним покупцям, власникам чи економістам автотранспортних підприємств об'єктивно оцінити еквівалентний розхід пального та вдало обрати ту чи іншу марку електромобіля.

Розроблено та описано алгоритм визначення еквівалентної паливної економії електромобілів з урахуванням цінової політики на енергоносії для різних країн світу.

Зроблено висновки про те, що літій-іонні батареї набули найбільшого поширення, як живильні елементи електромобілів. Встановлено, що еквівалентна паливна економія найбільш об'єктивно та інформативно, з точки зору користувача, характеризує використання електромобілів у порівнянні з зазначенням кількості енергії (кВт·год) необхідної для подолання 100 миль шляху. З використанням запропонованої методики обчислено еквівалентну паливну економію зазначених електромобілів, результати наведені у вигляді графічної залежності. Встановлено, що для України, з врахуванням вартості енергоносіїв, використання електромобілів є найбільш рентабельним порівняно з іншими країнами.

Ключові слова: електромобіль, літій-іонні батареї, альтернативні види пального, паливна економія, гібридні транспортні засоби, еквівалентна витрата пального, електроенергія.

Вступ. Автомобільна промисловість впевнено та незворотно модернізується до випуску транспортних засобів, які працюють на альтернативних видах пального, лівовою частиною яких є саме електрика. Це зумовлено щорічним збільшенням світового автопарку, чисельність якого перейшла відмітку 1 мільярд одиниць, що призвело до колосальних викидів відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) в атмосферу та вкрай погіршило екологічну ситуацію [1]. Разом з тим накладання на ДВЗ все більш суворіших екологічних стандартів, призвело світову інженерію до пошуку альтернативи використанню ДВЗ на транспортних засобах, якою став електродвигун.

Використання електродвигунів у транспортних засобах потребує джерела електричної енергії. Таким найбільш поширеним джерелом стали літій-іонні батареї через ряд переваг, а саме:

велику питому енергоємність, питому потужність, та достатньо великий ресурс у порівнянні з свинцево-кислотними, нікель-кадмієвими чи натрій-метал-хлоридними батареями. Разом з тим, цей вид енергетичних елементів здатний при механічному ушкодженні або перезарядженні займатися чи навіть вибухати [1].

Безумовною перевагою електромобілів (EV - Electric vehicles) є не тільки їх екологічна складова, але й економічна ефективність. Постійне збільшення вартості нафтопродуктів, окреслює причини, за якими споживачі обирають автомобілі з малою витратою палива без зниження технічних показників. Для електромобілів економічну складову можна описати еквівалентною паливною економією. Для однієї марки електромобіля еквівалентна паливна економія у різних країнах буде різною. Це обумовлено

Інформація про авторів:

Гаврилюк Андрій Федорович, кандидат технічних наук, старший викладач, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Gavrilyk3@ukr.net, 0989305720

Лемішко Михайло Володимирович, курсант, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

різною вартістю електроенергії та пального. Таким чином розрахунок та оцінка еквівалентної витрати палива електромобілями в різних країнах є актуальною задачею. Для розв'язання цієї задачі розроблено методологічні основи оцінки паливної ощадливості електромобілів. Це дає змогу потенційним покупцям, власникам чи економістам автотранспортних підприємств об'єктивно оцінити еквівалентний розхід пального та вдало обрати ту чи іншу марку електромобіля.

За даними американського автомобільного інтернет-ресурсу [3], який спеціалізується на підборі автомобілів, складає різноманітні рейтинги, в тому числі і найбільш економічних електромобілів, наводячи останні тенденції світового автовиробництва згідно з американськими стандартами за одиницю виміру економічності автомобілів 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 енергію еквівалентну енергії, що міститься в галоні бензину. Цю методику використовують для гібридних транспортних засобів (PHEV - plug-in hybrid electric vehicle) і для транспортних засобів, що працюють на альтернативному виді пального (NGV- natural gas vehicle; FCV- fuel cell vehicle). Тобто один галон бензинового еквіваленту показує кількість кіловат-годин електричної енергії, об'єм природного газу чи масу водню, що еквівалентно дорівнює енергії галона бензину (1 MPGe = 33,7 кВт·год = 121 МДж) на якому транспортний засіб морже подолати відстань в одну милю. У транспортних засобах, які використовують два і більше види пального (PHEV, NGV, FCV), вказують витрату кожного пального у галонах бензинового еквіваленту.

Разом з тим на всіх автомобілях модельного ряду, починаючи з 2013 року, за рішенням Управління охорони навколишнього середовища США (United States Environmental Protection Agency - EPA) та Національного управління безпеки дорожнього руху (National Highway Traffic Safety Administration NHTSA) крім еквівалентної витрати палива зазначається кількість енергії, необхідної для подолання 100 миль шляху.

За даними [4], а також EPA, найбільш екологічним електромобілем (найменше споживання енергії на одиницю шляху) у 2018 році є Hyundai Ioniq Electric оснащений електродвигуном потужністю 120 к.с. (88 кВт), який розвиває крутний момент 295 Н·м, споживаючи у комбінованому режимі (55% - шосе, 45% - місто) 25 кВт·год/100 миль або у еквівалентному перерахунку до витрати палива по ринку США становить 136 MPGe, енергетична

ємність літій-іонної батареї становить 28 кВт·год. Заявлений пробіг у змішаному циклі на одному повному заряді батареї за тестами EPA складає 124 миль (198 км) [5,6].

Друге місце посідає Tesla Model 3 Long Range, оснащений електродвигуном потужністю 283 к.с. (211 кВт) з максимальним крутним моментом 510 Нм, який використовує у комбінованому режимі 26 кВт·год/100 миль або 130 MPGe, енергетична ємність літій-іонної батареї становить 75 кВт·год. Заявлений пробіг у змішаному циклі на одному повному заряді батареї за тестами EPA - 325 миль (520 км) [7,8].

Замикає трійку лідерів BMW i3, оснащений електродвигуном потужністю 168 к.с. (125 кВт) з максимальним крутним моментом 250 Нм, який у комбінованому режимі використовує 27 кВт·год/100 миль або 124 MPGe, енергетична ємність літій-іонної батареї становить 42 кВт·год. Заявлений пробіг у змішаному циклі на одному повному заряді батареї за тестами EPA - 160 миль (256 км) [9,10].

Постановка задачі. Метою нашої роботи є оцінювання ефективності використання електромобілів шляхом розроблення методики оцінки їх питомої витрати пального та відносної вартості 100 км пробігу у різних країнах світу. Результати можуть бути використанні потенційними споживачами електромобілів, а також економістами автотранспортних підприємств.

Задачею дослідження було проаналізувати паливну ощадливість вище зазначених електромобілів та визначити питому витрату пального у різних країнах світу з врахуванням цін на електроенергію та пальне, формулювання висновків щодо ощадливості використання цих електромобілів у різних країнах світу.

Розв'язання задачі. Питома витрата пального обчислюється шляхом визначення вартості електроенергії, котра йде на заряд тягової акумуляторної батареї від електричної мережі та еквівалентно переводиться у вартість пального.

Визначимо питому втрату пального для вищевказаних електромобілів. Враховуючи енергетичну ємність акумуляторної батареї електромобіля, а також коефіцієнти корисної дії при циклі «заряд-розряд» та зарядного пристрою, кількість електроенергії, яка буде споживатись до повного заряду батареї (при умові повного розряду), становитиме:

$$Q = \frac{c}{\eta}; \quad (1)$$

де, Q – кількість енергії, що споживається під час зарядження акумуляторної батареї, кВт·год; η – сумарний коефіцієнт корисної дії (враховує ККД

зарядного пристрою і ККД при циклі «заряд-розряд»), C – енергетична ємність акумуляторної батареї, $kWh \cdot год$.

Якщо врахувати максимальний пробіг на повністю зарядженій батареї та вартість однієї кіловат-години електроенергії, вираз для визначення питомої вартості 100 км пробігу матиме вигляд:

$$C_1 = \frac{c \cdot a}{\eta \cdot l} \cdot 100; \quad (2)$$

де, C_1 – вартість електроенергії, котра затрачується для подолання 100 км шляху; a – вартість однієї кіловат-години електроенергії; $l_{км}$ – максимальний пробіг на повністю зарядженій акумуляторній батареї, км.

Тоді вираз для визначення питомої витрати пального матиме вигляд:

$$C_2 = \frac{c \cdot a}{\eta \cdot l \cdot b_l} \cdot 100; \quad (3)$$

де, C_2 – еквівалентна витрата пального електромобіля л/100км; b_l – вартість одного літра пального.

Або у випадку обчислення питомої витрати пального у MPGе (миль/1 галон) вираз набуде вигляду:

$$C_3 = \frac{l_m \cdot b_g \cdot \eta}{c \cdot a}; \quad (4)$$

де, C_3 – еквівалентна витрата пального електромобіля у MPGе (миль/1 галон); $b_{гал}$ – вартість одного галона пального; l_m – максимальний пробіг на повністю зарядженій акумуляторній батареї, миль.

Зрозуміло, що питома витрата пального та питома вартість 100 км пробігу безпосередньо залежать від вартості енергоносіїв, які в різних країнах є різні. Тому актуально здійснити дослідження даних показників.

На рис. 1 наведено вартість кіловат-години електроенергії та літра бензину у певних країнах

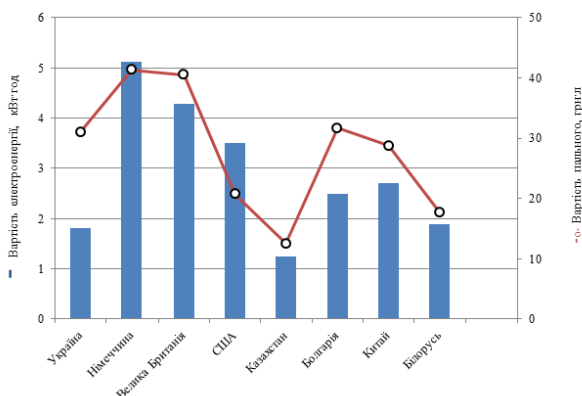


Рисунок 1 – Вартість кіловат-години електроенергії та бензину у різних країнах станом на 2019 рік у гривнях

станом на перший квартал 2019 року в перерахунку на гривні.

За результатами проведених досліджень ЕРА та розрахунків отримаємо у вигляді графічної залежності відносно вартість пробігу для електромобілів Hyundai Ioniq Electric, Tesla Model 3 Long Range та BMW i3 у різних країнах.

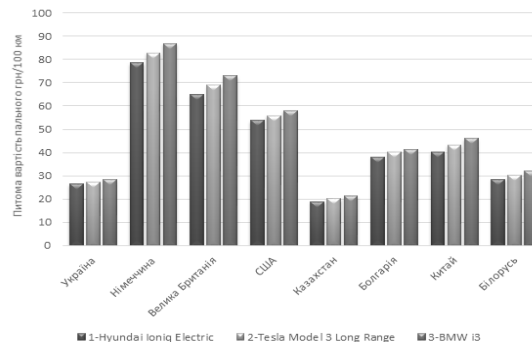


Рисунок 2 – Відносна вартість пробігу електромобілів Hyundai Ioniq Electric, Tesla Model 3 Long Range та BMW i3 у різних країнах

Аналіз графічної залежності показує, що в Україні відносна вартість пробігу для електромобілів Hyundai Ioniq Electric становить 26,35 грн/100 км, для Tesla Model 3 Long Range 27,28 грн/100 км та BMW i3 28,52 грн/100 км, що є найменшим показником серед усіх європейських країн. Однак найменша відносна вартість 100 км пробігу спостерігається у Казахстані, оскільки ціни на електроенергію у цій країні є найнижчими. Натомість найбільша еквівалентна витрата пального зазначених транспортних засобів у США, яка у три рази перевищує еквівалентну витрату пального в Україні. Разом з тим це створює передумови доцільності використання електромобілів на теренах України.

З врахуванням цін на паливо питома витрата пального зазначених електромобілів наведена на рисунку 3.

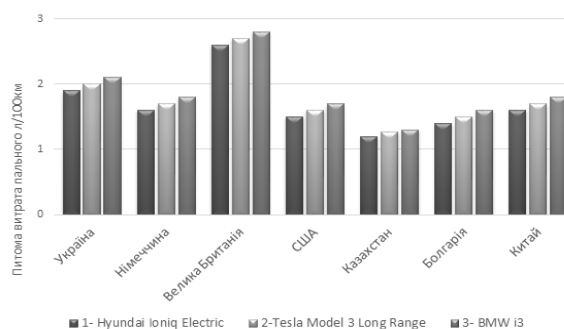


Рисунок 3 – Питома витрата пального електромобілів Hyundai Ioniq Electric, Tesla Model 3 Long Range та BMW i3 у різних країнах

Середня вартість електричної енергії у США станом на серпень 2019 року становить 0,14 \$ за 1 кВт·год, а вартість галона бензину – 3,1 \$. В Україні вартість на електроенергію становить

1,68 грн/ кВт·год (при споживанні понад 100 кВт·год), а бензину марки А-95 – 31 грн/л. Результати наведені у таблиці 1.

5. Szostech, Michael. "Hyundai IONIQ Electric Specifications". My Electric Car Forums. Retrieved 2016-11-25.

Таблиця 1

Паливна ощадливість електромобілів Hyundai Ioniq Electric, Tesla Model 3 Long Range та BMW i3

Параметр	Розмірність	Hyundai Ioniq Electric	Tesla Model 3 Long Range	BMW i3
Паливна ощадливість (за ЕРА)	MPGe (миль/галон)	136	130	124
Витрата електроенергії	кВт·год/100 миль	25	26	27
Питома витрата пального	л/100 км	0,85	0,88	0,92
Відносна вартість пробігу 100 км шляху (змішаний режим)	грн/100 км	26,25	27,3	28,35

Беручи до уваги еквівалентну витрату пального можна стверджувати, що на території України використання цих електромобілів у 8-10 разів ощадливіше ніж автомобілів з ДВЗ.

Висновки. В роботі наведено методику розрахунку еквівалентної витрати пального для електромобілів за європейськими (л/100 км) та американськими стандартами (миль/1 галон).

За результатами досліджень паливної економичності встановлено, що еквівалентна витрата пального на території України електромобілів, що досліджувались, у 8-10 разів менша, ніж витрата пального автомобілів аналогічного класу з ДВЗ.

Встановлено, що еквівалентна витрата пального у різних країнах може змінюватись та залежить від вартості енергоносіїв.

Досліджено, що в Україні питома витрата пального для електромобілів Tesla Model 3 Long Range становить 0,88 л/100 км, для Hyundai Ioniq Electric 0,82 л/100 км а для BMW i3 0,92 л/100 км, що є найменшою серед усіх європейських та інших країн, які досліджувались, тим самим створюючи передумови розвитку електромобілів на теренах України.

Список літератури:

1. Гаврилюк А.Ф. Протипожежний захист колісних транспортних засобів та шляхи його підвищення / А. Ф. Гаврилюк, А.С. Лин // Пожежна безпека: Зб.наук. пр.- Л.: ЛДУ БЖД, 2017.- №31.- с. 11-17.
2. Довідник керівника гасіння пожежі / за заг. ред. Кропивницького В.С. К.: ТОВ "Літера-Друк", 2016. – 320 с.
3. Kelley Blue Book [Електронний ресурс] / The Trusted Resource– Режим доступу : <https://www.kbb.com>.
4. United States Environmental Protection Agency and U.S. Department of Energy (2016-11-18). "Compare Side-by-Side: 2017 Hyundai Ioniq Electric". fuelconomy.gov. Retrieved 2016-11-19.

6. Kane, Mark (2016-03-02). "Hyundai IONIQ Electric & IONIQ Plug-in At The Geneva Motor Show (Gallery, New Stats)". *InsideEVs.com*. Retrieved 2016-03-02. See more details in the official press release.

7. Rteslamotors - FW 2019.8.3 actually increased Model 3 AWD peak power by 8% above 45 mph (70 km/h)". reddit. Retrieved July 14, 2019.

8. Powell, Derek (May 22, 2019). "Tesla Model 3 vs. BMW 330I vs. Genesis G70 Comparison Test". MotorTrend. US. Retrieved May 25, 2019.

9. U. S. Environmental Protection Agency and U.S. Department of Energy (25 July 2014). "Most Efficient EPA Certified Vehicles". fuelconomy.gov. Retrieved 13 June 2015. Current Model Year excludes all-electric vehicles.

10. U. S. Environmental Protection Agency and U.S. Department of Energy (16 November 2016). "Top Fuel Sippers (EPA Ratings, 2017 Model Year)". fuelconomy.gov. Retrieved 21 November 2016. The 2014–16 BMW i3 BEV (60 Amp-hour battery) was the most efficient EPA-certified vehicles considering all fuels and of all years until November 2016, when it was surpassed by the 2017 Hyundai Ioniq Electric.

References:

1. Gavrilyuk A.F. Protipozhezhnij zahist kolisnih transportnih zasobiv ta shlyahi jogo pidvishchennya / A. F. Gavrilyuk, A.S. Lin // Pozhezhna bezpeka: Zb.nauk. pr.- L.: LDU BZHD, 2017.- №31.- s. 11-17.
2. Dovidnik kerivnika dying out / After the editorial office of Kropivnitsky V.S. - K.: TOV "Litera-Druk", 2016. - 320 p.: il.
3. Kelley Blue Book [Online resource] / The Trusted Resource - Access Mode: <https://www.kbb.com>.
4. United States Environmental Protection Agency and U.S. Department of Energy (2016-11-18). "Compare Side-by-Side: 2017 Hyundai Ioniq Electric". fuelconomy.gov. Retrieved 2016-11-19.

18). "Compare Side-by-Side: 2017 Hyundai Ioniq Electric." fueleconomy.gov. Retrieved 2016-11-19.

5. Szostech, Michael. "Hyundai IONIQ Electric Specifications." My Electric Car Forums. Retrieved 2016-11-25.

6. Kane, Mark (2016-03-02). "Hyundai IONIQ Electric & IONIQ Plug-in At The Geneva Motor Show (Gallery, New Stats)." InsideEVs.com. Retrieved 2016-03-02. See more details in the official press release.

7. Rteslamotors - FW 2019.8.3 actually increased Model 3 AWD peak power by 8% above 45 mph (70 km / h) ". Reddit. Retrieved July 14, 2019.

8. Powell, Derek (May 22, 2019). "Tesla Model 3 vs. BMW 330i vs. Genesis G70 Comparison Test." MotorTrend. US Retrieved May 25, 2019.

9. U. S. Environmental Protection Agency and U.S. Department of Energy (July 25, 2014). "Most Efficient EPA Certified Vehicles." fueleconomy.gov. Retrieved 13 June 2015. Current Model Year excludes all-electric vehicles.

10. U. S. Environmental Protection Agency and U.S. Department of Energy (November 16, 2016). "Top Fuel Sippers (EPA Ratings, 2017 Model Year)." fueleconomy.gov. Retrieved November 21, 2016. The 2014–16 BMW i3 BEV (60 Amp-hour battery) was the most efficient EPA-certified vehicles considering all fuels and of all years until November 2016, when it was surpassed by the 2017 Hyundai Ioniq Electric.

A. Gavrilyk, M. Lemishko

ANALYSIS OF EQUIVALENT FUEL SAVINGS OF ELECTRIC VEHICLES

The development of electric vehicles in the near future is outlined, their general classification and problems of their use are given. The most common energy elements used to power electric traction electric motors are analyzed, their advantages and disadvantages are described.

The analysis shows the most economical electric cars in 2018 and describes their traction and speed characteristics. The peculiarities of methodology for determining fuel economy for hybrid vehicles (PHEV - plug-in hybrid electric vehicle) and for vehicles running on alternative fuel type (NGV-natural gas vehicle; FCV-fuel cell vehicle) are revealed and the possibility of its improvement is revealed.

Methodological bases of estimation of fuel economy of electric vehicles are developed. This will allow potential buyers, owners or economists of the trucking companies to objectively estimate the equivalent fuel consumption and successfully choose one or the other brand of electric vehicle.

An algorithm for determining the equivalent fuel economy of electric vehicles was developed and described taking into account the energy price policy for different countries of the world.

It is concluded that lithium-ion batteries have become the most widespread, as the feeding elements of electric vehicles. It is found that the equivalent fuel consumption is the most objective and informative, from the user's point of view, characterizing the use of electric vehicles compared to indicating the amount of energy (kWh) required to overcome 100 miles of travel. Using the proposed method, the equivalent fuel economy of these electric vehicles is calculated, the results are plotted against. It is established that for Ukraine, considering the cost of energy carriers, the use of electric vehicles is the most cost-effective compared to other countries.

Keywords: electric car, lithium-ion batteries, alternative fuels, fuel economy, hybrid vehicles, equivalent fuel consumption, electricity.

*Науково-методична стаття