

А. В. ЙОВЧЕНКО

кандидат технічних наук,
доцент кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації
Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0002-7069-1092

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАРКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Зі збільшенням кількості автомобільного парку України збільшується кількість відпрацьованих газів в навколишньому середовищі. У ЄС триває розробка стандарту Євро 7. З 2035 року пропонується обмежити викиди CO₂ до нуля, що робить неможливим випуск нових автомобілів з ДВЗ. Альтернативою можуть стати електро-мобілі. Однак, заміна всього парку автомобілів України, що працюють на ДВЗ, на електро-мобілі спричинить зростання споживання електроенергії і можливий її дефіцит. В даній роботі визначено кількість електроенергії, яку необхідно продукувати у випадку заміни всіх автомобілів з ДВЗ на електро-мобілі. Досліджено можливості енергосистеми України і оцінено її спроможність в обслуговуванні автопарку електро-мобілів. В наведеному випадку автомобільна промисловість посяде третє місце за споживанням електроенергії, оскільки річний обсяг виробництва електроенергії збільшиться понад 18% у порівнянні від обсягу електроенергії за 2021 рік.

Розвиток електротранспорту повинен відбуватися паралельно з розвитком енергетики. Кількість зарядних станцій відповідати потребам водіїв як в містах, так і поза населеними пунктами. Розширення мережі зарядної інфраструктури є важливим завданням для подальшого розвитку сфери електро-мобілів.

Задля уникнення дефіциту електричної енергії та необхідного екологічного ефекту потрібно збільшити виробництво «зеленої» енергетики, щоб не збільшувати виробництво електроенергії тепловими електростанціями. Наведено необхідну кількість електростанцій, що працюють для покращеного екологічного стану на відновлюваних джерелах енергії для потреб електро-мобілів. Побудова доступних, швидких зарядних станцій та використання при цьому відновлюваних джерел енергії є важливим завданням для розвитку електро-мобілів.

Ключові слова: електроавтомобіль, відновлювані джерела енергії, сонячні енергетичні системи, фотоелектричні батареї.

A. V. YOVCHENKO

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Automobiles
and Technologies of Their Operation
Cherkasy State Technological University
ORCID: 0000-0002-7069-1092

STUDY OF THE POSSIBILITY OF THE ENERGY SYSTEM OF UKRAINE IN PROVIDING SERVICE TO THE FLEET OF ELECTRIC VEHICLES

With the increase in the number of cars in Ukraine, the amount of exhaust gases in the environment increases. In the EU, the development of the Euro 7 standard continues. From 2035, it is proposed to limit CO₂ emissions to zero, which makes it impossible to produce new cars with internal combustion engines. Electric cars can be an alternative. However, the replacement of the entire fleet of cars in Ukraine, running on internal combustion engines, with electric cars will cause an increase in electricity consumption and a possible shortage of it. In this work, the amount of electricity that must be produced in the case of replacing all internal combustion engine cars with electric cars is determined. The possibilities of the energy system of Ukraine were studied and its ability to service the fleet of electric vehicles was assessed. In this case, the automotive industry will take third place in terms of electricity consumption, as the annual amount of electricity production will increase by more than 18% compared to the amount of electricity for 2021.

The development of electric transport should take place in parallel with the development of energy. The number of charging stations should meet the needs of drivers both in cities and outside populated areas. Expanding the network of charging infrastructure is an important task for the further development of the field of electric vehicles. In order to avoid the shortage of electrical energy and the necessary ecological effect, it is necessary to increase the production of "green" energy, so as not to increase the production of electricity by thermal power plants. The necessary number of power plants operating for improved ecological status on renewable energy sources for the needs of electric vehicles is given. The construction of affordable, fast charging stations and the use of renewable energy sources is an important task for the development of electric vehicles.

Key words: electric cars, renewable energy sources, solar energy systems, photovoltaic batteries.

Постановка проблеми

Разом зі стрімким темпом розвитку автомобільного транспорту стрімко зростають і темпи забруднення довкілля шкідливими речовинами, що містяться у відпрацьованих газах автомобільного транспорту. Основними причинами збільшеного забруднення навколишнього середовища є неналагоджена робота транспортного засобу, неякісне паливо, старі вітчизняні машини, неякісні дороги та ін. Гостро постало питання про зменшення кількості викидів задля збереження здоров'я людей та навколишнього середовища для майбутніх поколінь. З цією метою в різних країнах стали впроваджуватися стандарти, що визначають норми вмісту певних речовин у відпрацьованих газах, яких повинні дотримуватися виробники автотранспортних засобів для продажу своїх автомобілів у цих країнах. ЄС розроблено стандарти Євро щодо норм викидів автомобільним транспортом, що регулюють вміст оксидів азоту, оксиду вуглецю, вуглеводнів, твердих частинок та ін. Дані стандарти також регулюють норми на шумове забруднення. Окрім забруднення навколишнього середовища автомобільний транспорт також є джерелом шумового забруднення, що може скоротити тривалість життя на 8–10 років.

На сьогодні в Європейському Союзі та деяких інших країнах Європи, що не входять до ЄС, чинний стандарт Євро 6, що був впроваджений у вересні 2014 року і за своєю тривалістю ця версія діє найдовше, порівняно з попередніми (станом на 2024 р). Зараз в ЄС триває розробка нового стандарту Євро 7, а з 2035 року пропонується обмежити викиди CO₂ в нових автомобілях до нуля, що робить фактично неможливим випуск нових автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння. Ця проблема стосується також і України, оскільки наша держава перебуває на шляху вступу до Європейського Союзу, то ж повинна відповідати вимогам ЄС і в цьому питанні.

Масова заміна автомобільного парку України, що працюють на ДВЗ, на електромобілі спричинить зростання споживання електроенергії і можливий її дефіцит. Для запобігання цій проблемі слід обчислити можливу кількість електроенергії, необхідну для живлення всіх електромобілів України. Отримане значення потрібно порівняти з наявними можливостями виробництва електроенергії і оцінити, чи вистачить їх для забезпечення потреб автотранспорту і, за необхідності, обчислити необхідну кількість електростанцій певної потужності для задоволення цих потреб.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Єврокомісією в 2020 році було запропоновано ряд ініціатив – «European Green Deal», метою яких є зменшення викидів CO₂ на 55% відносно показників 1990 р. до 2030 р, досягнення кліматичної нейтральності до 2050 р. Одним із питань було інвестування в екологічний транспорт. У 2021 р. був запропонований законодавчий пакет «Fit for 55», що пропонує зробити скорочення викидів на 55% до 2030 р. юридичним зобов'язанням, зменшення викидів CO₂ від транспортних засобів на 100% з 2035 р, що робить фактично неможливим виробництво та продаж транспортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння [1; 2; 3].

Вирішенням можуть стати автомобілі з електродвигунами. Однак, збільшення кількості електричних транспортних засобів може призвести до збільшення вживання електроенергії та навантаження, на яке не розрахована енергосистема країни. Слід зауважити, що при виробництві електроенергії значну частку займають теплові електростанції, що також продукують величезну кількість шкідливих викидів в атмосферу. Решта видів електростанцій, а саме атомні, гідро-, вітрові та сонячні, не є масовими джерелами шкідливих викидів в атмосферу.

При використанні електроенергії від мережі прояв від використання електромобілів зменшується, так як зростають викиди від теплових електростанцій. За рахунок використання електроавтомобілів покращується екологічний стан тільки в районах, де вони застосовуються. Однак там, де розташовуються теплові електростанції, кількість викидів в навколишнє середовище зростає [4].

В зв'язку з цим набувають поширення зарядні станції, що працюють від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), енергії вітру чи сонця. Тобто, для заряджання електромобілів використовується чиста електроенергія, покращується екологічний стан навколишнього середовища не тільки за рахунок використання електромобілів, але і за рахунок використання чистої енергії [5].

В більшості випадків в якості відновлюваних джерел енергії використовують енергію сонця, тобто сонячні енергетичні системи. До складу системи зарядних електростанцій з ВДЕ можуть входити генератори електричної та теплової енергії, акумулятори енергії, засоби перетворення та передачі електричної та теплової енергії, резервні джерела живлення (дизельні електроустановки) та ін. Максимальна кількість акумуляторних батарей не повинна бути менше мінімального значення, що необхідне для функціонування зарядної станції. За рахунок їх використання може покращитись енергонезалежність та електробезпека зарядних станцій, адже ВДЕ можна використовувати не тільки при заряджанні електромобілів, а й для побутових потреб [5–9].

Формулювання мети досліджень

Метою роботи є визначення кількості електроенергії, що необхідна для забезпечення всього автопарку України при заміні його на електромобілі. Приймаємо, що вони є подібними за масою і потужністю двигунам з ДВЗ та виконують таку ж кількість транспортної роботи.

Викладення основного матеріалу дослідження

З кожним роком зростає кількість електромобілів. На сьогодні в Україні зареєстровано понад 40 тис. електромобілів. Найбільше електромобілів знаходиться у Львівській, Київській та Одеській областях [10].

Зараз кількість автомобілів різних типів, віку, виду двигуна в Україні становить близько 12,2 мільйонів одиниць. З них легкових – 10,1 млн., вантажних – 1,9 млн., автобусів – 0,2 млн. За даними Держстат України за 2021 рік в Україні автомобільним транспортом спожито 3547 тис. т дизельного палива, 1691 тис. т бензину, 1224 тис. т зрідженого нафтового газу та 841 ТДж природного газу.

Визначимо кількість всієї енергії, що споживається автомобілями з ДВЗ:

$$E_{pi} = m_i \cdot q_i, \text{ ГДж},$$

де m_i – маса палива, що споживається автомобілями з двигунами i -типу, т; q_i – енергетична цінність i -виду палива, ГДж/т. Для бензину $q_{бенз}=43,2$ ГДж/т, для дизельного палива $q_{диз}=43,1$ ГДж/т, для ЗНГ $q_{знг}=46,1$ ГДж/т.

$$E_{п бенз} = 1691000 \cdot 43,2 = 73051200 \text{ ГДж} = 73051,2 \text{ ТДж};$$

$$E_{п диз} = 3547000 \cdot 43,1 = 152875700 \text{ ГДж} = 152875,7 \text{ ТДж};$$

$$E_{п знг} = 1224000 \cdot 46,1 = 56426400 \text{ ГДж} = 56426,4 \text{ ТДж};$$

$$E_{п ПГ} = 841000 \text{ ГДж} = 841 \text{ ТДж}.$$

Загальна кількість енергії, що споживається автотранспортом з ДВЗ:

$$E_{п заг} = \sum_{i=1}^n E_{pi} = 73051,2 + 152875,7 + 56426,4 + 841 = 283194,3 \text{ ТДж}.$$

Різні типи силових установок відрізняються своєю ефективністю, що характеризується коефіцієнтом корисної дії. Тому кількість витраченої енергії для виконання однакої транспортної роботи автомобілями з приблизно однакою масою, але з різними силовими установками приблизно рівної потужності для них буде відрізнятися. Так, ККД двигуна з іскровим запалюванням становить приблизно 20–30% залежно від моделі, дизеля – 30–50%, трансмісії автомобіля – 90%, тоді як ККД автомобільного електродвигуна сягає 85–95%.

Кількість енергії, що витрачається на транспортну роботу, дорівнює добутку кількості енергії, спожитої двигуном, ККД цього двигуна та ККД трансмісії (табл. 1).

Таблиця 1

Кількість енергії, що витрачається на транспортну роботу автомобільним транспортом в Україні

Паливо	$E_{п}$, ТДж	$\eta_{тр}$	$\eta_{дв}$	$E_{к}$, ТДж
Бензин	73051	0,90	0,25	16437
Дизельне паливо	152876	0,90	0,40	55035
Зріджений нафтовий газ	56426	0,90	0,25	12696
Природний газ	841	0,90	0,25	189
Всього	283194	–	–	84357

Розглянемо випадок при заміні всього автопарку України на еквівалентні електромобілі, однак з подібною масою і потужністю двигуна. Кількість енергії для забезпечення річних потреб автопарку з електродвигунами становитиме (рис. 1):

$$E_{п ел} = \frac{E_{к заг}}{\eta_{дв е} \cdot \eta_{тр е}} = \frac{84357}{0,90 \cdot 0,95} = 98663,1 \text{ ТДж},$$

де $\eta_{дв е}$ – коефіцієнт корисної дії електродвигуна. Приймаємо $\eta_i = 0,90$.

$\eta_{тр е}$ – коефіцієнт корисної дії трансмісії електромобіля. Приймаємо $\eta_i = 0,95$.

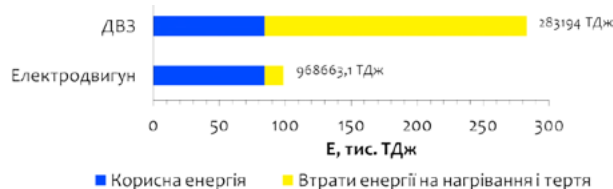


Рис. 1. Порівняння витрат енергії

Більшість енергії, що виробляється ДВЗ, витрачається на тертя і теплоту, тоді як електродвигун є набагато ефективнішим.

Оскільки кількість виробленої і спожитої електроенергії зазвичай вимірюється у ват-годинах, то отримане значення $E_{п\text{ен}}$ переведемо у Вт·год:

$$E_{п\text{ен}} = 98663,1 \cdot 10^{12} \cdot 2,78 \cdot 10^{(-4)} = 27428,3 \cdot 10^9 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 27428,3 \text{ ГВт} \cdot \text{год}$$

Щоб дізнатися, чи спроможна енергосистема України забезпечити потреби автотранспорту в електроенергії, дослідимо її обсяги виробництва і споживання.

Обсяги виробництва електроенергії в Україні наведені в табл. 2. Для розрахунку можливостей енергосистеми України для забезпечення автомобільного електротранспорту електроенергією візьмемо дані за 2021 рік.

Таблиця 2

Обсяги виробництва електроенергії за типом електростанцій [11–13]

Рік	Виробництво за типом, ГВт·год					Виробництво загальне, ГВт·год
	АЕС	ТЕС і ТЕЦ	ГЕС і ГАЕС	ВДЕ	інші	
2016	80950,1	61494,4	9297,5	1560,3	1515,1	154817,4
2017	85576,1	55841,3	10567,7	1898,1	1530,9	155414,1
2018	84398,2	58807,8	12008,4	2632,7	1503,5	159350,6
2019	89002,7	55785,0	7868,6	5542,2	1768,6	159967,1
2020	76202,6	52360,8	7583,9	10862,0	1846,9	148856,2
2021	86205,4	45834,0	10445,8	12519,7	1570,8	156575,7

Якщо до фактичного обсягу виробництва додати кількість, необхідну для забезпечення потреб електроавтотранспорту, то загальна необхідна кількість виробництва електроенергії складе:

$$E_{\text{факт}} = 156575,7 + 27428,3 = 184004,0 \text{ ГВт} \cdot \text{год.}$$

У відносних показниках обсяг виробництва електроенергії доведеться збільшити на:

$$\Delta\%_{\text{факт}} = \frac{27428,3}{156575,7} \cdot 100\% = 17,52\%.$$

Отже, повна заміна електромобілями автопарку України з традиційними двигунами спричинить зростання річних обсягів виробництва електроенергії на 17,52% від обсягу за 2021 рік, а саме на 27428,3 ГВт·год/рік, що ставить електротранспорт третім за величиною споживачем електроенергії в Україні (рис. 2).

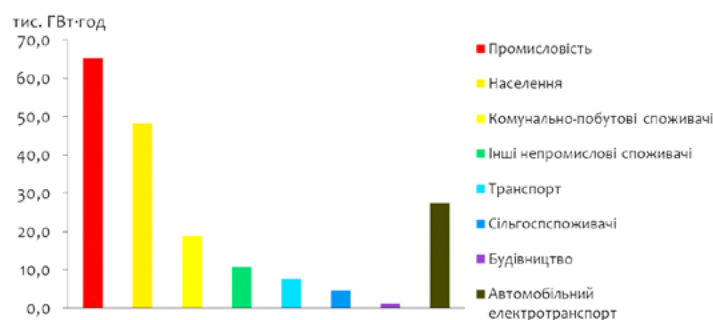


Рис. 2. Кількість електроенергії, що застосовується різними споживачами

Якщо 27428,3 ГВт·год на рік для потреб електромобілів забезпечувати потужностями лише відновлювальної енергетики, що є пріоритетним і на сьогодні, і в майбутньому, то доведеться будувати дуже багато електростанцій. Для виробництва потрібної кількості електроенергії відновлюваними джерелами енергії потрібно близько 8000 МВт потужності вітрових електростанцій, що дорівнює 40 Ботієвським ВЕС, або 22300 МВт сонячних електричних станцій, що дорівнює 69 Покровським ВЕС, або 10700 МВт гідроелектричним станціям, що дорівнює 7 Дніпровським ГЕС.

Висновки

Електромобілі не є джерелами токсичних речовин, однак ці речовини можуть продукуватися при виробництві електроенергії ТЕС, що становить 30% від загальної електроенергії в Україні та займають 56% від встановленої потужності енергосистеми України. Розвиток електротранспорту повинен відбуватися паралельно з розвитком енергетики, що працює на ВДЕ. Перш ніж вкладатися в розвиток електротранспорту, слід подбати про забезпечення його достатньою кількістю енергії. Для уникнення дефіциту електричної енергії та необхідного екологічного ефекту потрібно збільшити виробництво «зеленої» енергетики, щоб не збільшувати виробництво електроенергії тепловими електростанціями.

Список використаної літератури

1. The European Parliament. Communication From The Commission The European Green Deal. URL: https://commission.europa.eu/publications/communication-european-green-deal_en (дата звернення: 26.04.2024).
2. Fit for 55. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> (дата звернення: 26.04.2024).
3. Купрієнко С.Р., Йовченко А.В. Оцінювання спроможності енергосистеми України в забезпеченні обслуговування парку електромобілів. *Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні аспекти розвитку автомобільного транспорту України»*. Кам'янське, 2023. С. 107-108.
4. Всесвітня карта електростанцій. URL: www.plugshare.com/ (дата звернення: 26.04.2024).
5. Концепція розвитку ринку електростанцій. URL: https://cdn.regulation.gov.ua/d8/cf/1d/fc/regulation.gov.ua_El.car-conception-1.pdf (дата звернення: 26.04.2024).
6. Кількість електрокарів в Україні. URL: <https://autogeek.com.ua/kilkist-elektromobilivv-ukraini-zrosla-do-35-763-odnyts-statystyka/> (дата звернення: 26.04.2024).
7. Принцип роботи сонячних батарей. URL: <http://elektrik.info/main/news/401-kak-%20ustroyeni-i-rabotayut-solnechnyebatarei/> (дата звернення: 26.04.2024).
8. Принцип роботи інверторів. URL: <http://electricalschool.info/electronica/1889-%20chto-takoe-invertor-naprjazhenija-kak.html> (дата звернення: 26.04.2024).
9. Розвиток інфраструктури для електромобілів. URL: <https://opendatobot.ua/analytics/electocars/> (дата звернення: 26.04.2024).
10. В Україну ввезли рекордну кількість електромобілів у 2023 році. Показник у чотири рази перевищив довоєнний 2021 рік. URL: <https://forbes.ua/news/v-ukrainu-vvezli-rekordnu-kilkist-elektromobiliv-u-2023-rotsi-pokaznik-u-chotiri-razi-perevishchiv-dovoennyi-2021-rik-24012024-18735/> (дата звернення: 26.04.2024).
11. Державна служба статистики України. Паливно-енергетичні ресурси України. Статистичний збірник. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/5a/Arch_per_bl.htm (дата звернення: 26.04.2024).
12. Міністерство енергетики України. Інформація про виробничу діяльність електроенергетичних підприємств ПЕК за 12 місяців 2020-2021 років. URL: https://mev.gov.ua/statistics?page=9&_cf_chl_tk=kWPVYxSGSHPrLABF44Yc8zgZeaxWkt_wZc_hRuvMIQ-1714250296-0.0.1.1-1599/ (дата звернення: 26.04.2024).
13. Дані про енерго-підприємства України. URL: <https://www.energo.ua/ua/companies/> (дата звернення: 26.04.2024).

References

1. The European Parliament. Communication From The Commission The European Green Deal. Retrieved from: https://commission.europa.eu/publications/communication-european-green-deal_en (accessed 26 April 2024).
2. Fit for 55. Retrieved from: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition> (accessed 26 April 2024).
3. Kuprienko S.R., Yovchenko A.V. (2023) Otsinyuvannya spromozhnosti enerhosystemy Ukrayiny v zabezpechenni obsluhovuvannya parku elektromobiliv [Assessing the capacity of the Ukrainian energy system to provide reliable service to the fleet of electric vehicles] / Zbirnyk tez Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Innovatsiyini aspekty rozvytku avtomobil'noho transportu Ukrayiny» [Collection of proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Innovative aspects of the development of automobile transport in Ukraine”], pp. 107-108.
4. World map of electric charging stations. Retrieved from: www.plugshare.com (accessed 26 April 2024).
5. The concept of the development of the market of electric charging stations. Retrieved from: https://cdn.regulation.gov.ua/d8/cf/1d/fc/regulation.gov.ua_El.car-conception-1.pdf (accessed 26 April 2024).
6. Number of electric cars in Ukraine. Retrieved from: <https://autogeek.com.ua/kilkist-elektromobilivv-ukraini-zrosla-do-35-763-odnyts-statystyka> (accessed 26 April 2024).
7. The principle of operation of solar batteries. Retrieved from: <http://elektrik.info/main/news/401-kak-%20ustroyeni-i-rabotayut-solnechnyebatarei/> (accessed 26 April 2024).
8. The principle of operation of inverters. Retrieved from: <http://electricalschool.info/electronica/1889-%20chto-takoe-invertor-naprjazhenija-kak.html> (accessed 26 April 2024).
9. Development of infrastructure for electric vehicles. Retrieved from: <https://opendatobot.ua/analytics/electocars> 2022 (accessed 26 April 2024).
10. A record number of electric cars were imported to Ukraine in 2023. The indicator was four times higher than the pre-war year 2021. Retrieved from: <https://forbes.ua/news/v-ukrainu-vvezli-rekordnu-kilkist-elektromobiliv-u-2023-rotsi-pokaznik-u-chotiri-razi-perevishchiv-dovoennyi-2021-rik-24012024-18735> (accessed 26 April 2024).
11. State Statistics Service of Ukraine. Fuel and energy resources of Ukraine. Statistical collection. Retrieved from: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/5a/Arch_per_bl.htm (accessed 26 April 2024).
12. Ministry of Energy of Ukraine. Information on the production activity of electric power enterprises of PEK for 12 months of 2020-2021. Retrieved from: https://mev.gov.ua/statistics?page=9&_cf_chl_tk=kWPVYxSGSHPrLABF44Yc8zgZeaxWkt_wZc_hRuvMIQ-1714250296-0.0.1.1-1599 (accessed 26 April 2024).
13. Data on energy enterprises of Ukraine. Retrieved from: <https://www.energo.ua/ua/companies> (accessed 26 April 2024).