

Роман Євгенович ЗВАРИЧ,

доктор економічних наук, професор,
завідувач кафедри міжнародних економічних відносин,
Західноукраїнський національний університет,
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46009, Україна.
Електронна адреса: romazvarych@yahoo.com.
ORCID ID: 0000-0003-3741-2642.

Дем'ян Іванович ФАРІОН,

аспірант кафедри міжнародних економічних відносин,
Західноукраїнський національний університет,
вул. Львівська, 11, Тернопіль, 46009, Україна.
Електронна адреса: Demianfaryon@gmail.com.
ORCID ID: 0009-0004-1360-6033.

ІННОВАЦІЙНА ТРАНСФОРМАЦІЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНОГО «ЗЕЛЕНОГО» ПЕРЕХОДУ

Зварич Р. Є., Фаріон Д. І. Інноваційна трансформація автомобільної галузі в умовах глобального «зеленого» переходу. *Вісник економіки*. 2025. Вип. 3. С. 39–52. DOI: 10.35774/visnyk2025.03.039.

Zvarych, R. Ye., Farion, D. I. (2025). Innovatsiina transformatsiia avtomobilnoi haluzi v umovakh hlobalnoho «zelenoho» perekhodu [Innovative transformation of the automotive industry in the context of the global “green” transition]. *Visnyk ekonomiky – Herald of Economics*, 3, 39-52. DOI: 10.35774/visnyk2025.03.039.

Анотація.

Вступ. Дослідження інноваційної трансформації автомобільної галузі в умовах глобального «зеленого» переходу, що охоплює декарбонізацію транспорту, масове використання електромобілів та цифровізацію виробництва, зумовлене посиленням кліматичних викликів, необхідністю скорочення викидів парникових газів і стрімким розвитком інноваційних технологій у транспортному секторі. Тому в сучасних умовах «зелений» перехід у транспорті стає не лише екологічною вимогою, а й фактором глобальної конкуренції між виробниками.

Мета статті. Метою статті є аналіз процесів інноваційної трансформації автомобільної галузі в умовах глобального «зеленого» переходу, з акцентом на визначення основних технологічних трендів, викликів і перспектив, а також на

формування практичних рекомендацій для урядів і компаній щодо адаптації до нових умов сталого розвитку, декарбонізації та цифровізації транспорту.

Методи дослідження. У дослідженні використано методи порівняльного аналізу, статистичного узагальнення, систематизації сучасних наукових джерел та аналітичних звітів.

Результати. У статті розглянуто структурні зміни на глобальному автомобільному ринку, розвиток акумуляторних технологій, впровадження цифрових сервісів (ОТА, V2X), перспективи автономного транспорту та зміна логіки інфраструктурного розвитку.

Результати дослідження свідчать, що провідними драйверами трансформації є Китай, США та країни ЄС, які забезпечують понад 90% продажів електромобілів. Зберігаються регіональні диспропорції, пов'язані з доступом до зарядної інфраструктури, локалізацією виробництва та технологічним суверенітетом. Особливу увагу приділено проблемам дефіциту стратегічної сировини (літію, кобальту, графіту), гео економічній концентрації виробництва, а також необхідності розвитку переробки акумуляторів.

Визначено, що майбутній розвиток галузі залежить від синергії між урядовими політиками, інвестиціями у наукові дослідження та міжнародною кооперацією.

Перспективи досліджень. Подальші дослідження будуть пов'язані з аналізом моделей державного регулювання інновацій у транспорті, оцінкою ефективності податкових стимулів, інституційної підтримки локального виробництва та екологічної безпекою в автомобільній галузі.

Ключові слова: інновації, енергетичний перехід, зелений перехід, цифровізація транспорту, електромобілі, сталий розвиток.

Формули: 0, **рис.:** 1, **табл.:** 1, **бібл.** 22.

Roman Yevhenovych ZVARYCH,

D. Sc. (Economic), Professor,

Head of the Department of International Economic Relations,

West Ukrainian National University,

11 Lvivska st., Ternopil, 46009, Ukraine.

E-mail: romazvarych@yahoo.com.

ORCID ID: 0000-0003-3741-2642.

Demian Ivanovych FARION,

PhD student of International Economic Relations,

West Ukrainian National University,

11 Lvivska st., Ternopil, Ukraine, 46009, Ukraine.

E-mail: Demianfaryon@gmail.com.

ORCID ID: 0009-0004-1360-6033.

INNOVATIVE TRANSFORMATION OF THE AUTOMOTIVE INDUSTRY IN THE CONTEXT OF THE GLOBAL “GREEN” TRANSITION

Abstract.

Introduction. The study explores the innovative transformation of the automotive industry in the context of the global “green” transition, which encompasses transport decarbonization, the mass using of electric vehicles, and the digitalization of production. These processes are driven by intensifying climate challenges, the urgent need to reduce greenhouse gas emissions, and the rapid advancement of innovative technologies in the transport sector. Under current conditions, the green transition in transport is not only an environmental imperative but also a factor of global competition among manufacturers.

The purpose of the study. The purpose of the article is to analyze the processes of innovative transformation of the automotive industry in the context of the global “green” transition, with a focus on identifying key technological trends, challenges, and future prospects, as well as on the developing practical recommendations for governments and companies to adapt to the new realities of sustainable development, transport decarbonization, and digitalization.

Methods. The research methodology is based on comparative analysis, statistical generalization, and systematization of current scientific sources and analytical reports.

Results. The article examines structural changes in the global automotive market, the development of battery technologies, the implementation of digital services (OTA, V2X), prospects for autonomous transport, and shifts in infrastructure development strategies. The findings indicate that China, the United States, and EU countries are the primary drivers of this transformation, accounting for over 90% of global electric vehicle sales. However, regional disparities persist, particularly in access to charging infrastructure, localization of production, and technological sovereignty. Special attention is given to the challenges related to shortages of strategic raw materials (lithium, cobalt, graphite), geo-economic concentration of production, and the need to develop battery recycling.

It is concluded that the future of the automotive industry depends on the synergy between government policies, investment in R&D, and international cooperation.

Prospects for further research. Future research should focus on analyzing models of government regulation of transport innovation, assessing the effectiveness of tax incentives and institutional support for local production, and ensuring environmental safety in the automotive sector.

Keywords: innovation, energy transition, green transition, transport digitalization, electric vehicles, sustainable development.

Formulas: 0, **fig.:** 1, **tabl.:** 1, **bibl.:** 22.

JEL classification: F20, L62, L90, O33.

Постановка проблеми. У ХХІ ст. автомобільна промисловість зазнає кардинальних змін, зумовлених глобальними викликами екологічної безпеки, зміною споживчих пріоритетів і стрімким розвитком інноваційних технологій. Глобальний «зелений» перехід, що передбачає поступову відмову від викопного палива, активне впровадження відновлюваних джерел енергії та зменшення викидів вуглекислого газу, трансформує не лише енергетичну й транспортну політику країн, а й кардинально перебудовує всю структуру автомобільного виробництва.

Інновації відіграють головну роль у цій трансформації. Впровадження електромобілів, водневих паливних елементів, автономних транспортних засобів, цифрових платформ керування мобільністю формує нову парадигму в автомобільній галузі. Компанії змінюють бізнес-моделі, інвестують у дослідження та розробки, а національні економіки адаптують інституційне середовище до умов глобальної конкуренції.

З огляду на світову тенденцію до декарбонізації інноваційна трансформація автомобільної галузі є стратегічною необхідністю для виробників автомобілів. Інновації є головним чинником їхньої конкурентоспроможності на глобальному ринку, а основні вектори розвитку орієнтуються на екологізацію, енергоефективність і цифрову інтеграцію транспортних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інноваційна трансформація автомобільної промисловості в умовах глобального «зеленого» переходу перебуває у центрі уваги як українських, так і зарубіжних дослідників, які аналізують технологічні, економічні та екологічні аспекти трансформації автомобільної галузі під впливом політик декарбонізації та кліматичних ініціатив.

Структурні зміни, що відбуваються на світовому автомобільному ринку під впливом глобальних викликів, досліджували О. Гончаров [1], А. Гхош [2], В. Сіварам, Н. Гордон, Д. Хельмечі [3], С. Францо, А. Наска [4], М. Хагані, Ф. Шпрей, Х. Каземзаде, З. Шаххосейні, Дж. Агаї [5], аналітики міжнародних організацій (International Energy Agency) і провідних автовиробників (Toyota, Volkswagen, BYD тощо), а також інші науковці та практики.

Водночас існує потреба у подальших порівняльних дослідженнях, які враховують специфіку країн з різним рівнем економічного розвитку для формування цілісного бачення «зеленого» переходу у транспорті.

Метою статті є аналіз процесів інноваційної трансформації автомобільної галузі в умовах глобального «зеленого» переходу, з акцентом на визначення основних технологічних трендів, викликів і перспектив, а також на формування практичних рекомендацій для урядів і компаній щодо адаптації до нових умов сталого розвитку, декарбонізації та цифровізації транспорту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасна автомобільна промисловість перебуває у фазі глибокої інноваційної трансформації, що обумовлена одночасним впливом технологічного прогресу, екологічних викликів, цифровізації та змін у споживчій поведінці.

Основною рушійною силою «зеленого» переходу в транспортній галузі стали електромобілі. Масовий перехід від автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) до електромобілів (Battery Electric Vehicles, BEV), гібридів, що використовують комбінацію двигуна внутрішнього згоряння та електричного двигуна (Hybrid Electric Vehicles, HEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEV) та водневих авто (FCEV) [6] зумовлений не лише екологічними міркуваннями, а й активною підтримкою з боку держав та інвесторів.

Глобальні тенденції свідчать про різке зростання ролі електромобілів (EV) та інших низьковуглецевих технологій в транспорті. Наприклад, у 2023 р. світові продажі

електрокарів зросли на 35% і досягли близько 14 млн одиниць, а у 2024 р. перевищили 17 млн одиниць (рис. 1).

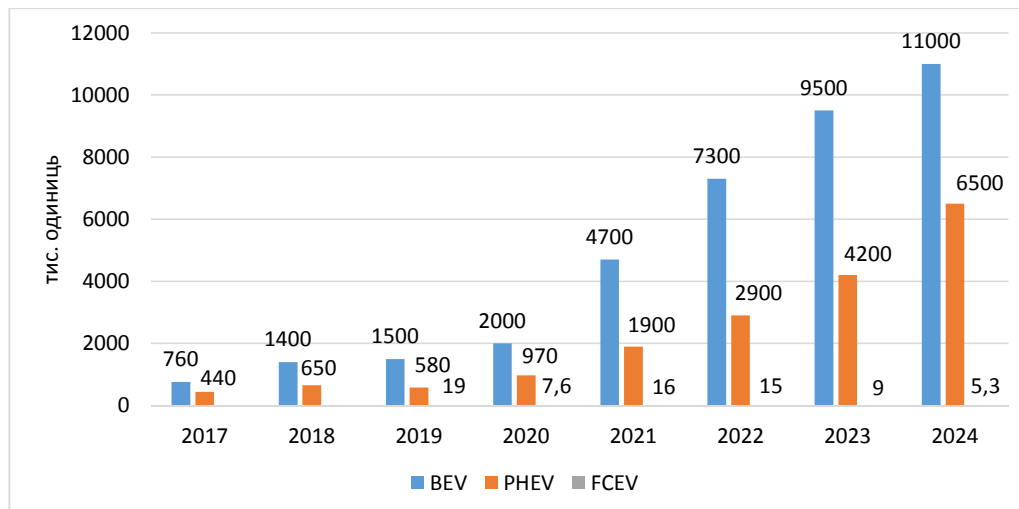


Рис. 1. Продажі електромобілів у світі 2017–2024 рр. (тис. од.)
Джерело: розроблено авторами на основі [7].

Глобальний ринок водневого транспорту FCEV поки невеликий (рис. 1). Toyota Mirai та Hyundai Nexo – одні з небагатьох виробників серійних FCEV, проте вони є перспективними для важкого транспорту (вантажівки, автобуси). Згідно з результатами дослідження стрімко зростають інвестиції у водневі технології для вантажного транспорту й авіації, оскільки водень може компенсувати слабкі місця акумуляторів у складних умовах. Водневі автомобілі FCEV генерують лише воду на виході, тому в довгостроковій перспективі їх використання дасть змогу досягти нульових викидів у всіх сегментах [6].

Лідерами «зеленого» переходу в транспортній галузі є Китай, США та країни Європи (Норвегія, Німеччина тощо) (табл. 1). Вони є найбільшими ринками електромобілів і разом становлять понад 90% усього ринку протягом уже кількох років.

Таблиця 1

Світові продажі електромобілів, 2014–2024 рр. (млн од.)

	Китай		Європа		США		Інші	
	(BEV)	(PNEV)	(BEV)	(PNEV)	(BEV)	(PNEV)	(BEV)	(PNEV)
2017	0,5	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
2018	0,8	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
2019	0,8	0,2	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
2020	0,9	0,2	0,8	0,6	0,2	0,1	0,1	0,1
2021	2,7	0,5	1,2	1,1	0,5	0,2	0,2	0,1
2022	4,4	1,5	1,6	1	0,8	0,2	0,5	0,1
2023	5,4	2,7	2,2	1	1,1	0,3	0,8	0,2
2024	6,4	4,9	2,2	1	1,2	0,3	1	0,3

Джерело: розроблено авторами на основі [7].

Як видно з табл. 1, Китай зберігає лідерство серед основних ринків, і продажі електромобілів у 2024 р. перевищили 11 млн одиниць. Це більше, ніж було продано у всьому світі у 2022 р. З 2021 продажі електромобілів збільшувались також у США. У 2024 р. їхній показник сягнув 1,5 млн, хоча зростання становило приблизно чверть від показника попереднього року. У Європі останніми роками обсяги продажів електромобілів перевищили 3 млн одиниць, проте у 2023–2024 рр. особливий прогрес не відбувся внаслідок поступового скасування або скорочення на кількох основних ринках субсидій і пільг щодо електромобільних ринків. Поза цими трьома основними ринками рекордно зростали продажі в інших країнах у 2023–2024 рр. майже на 40% до 1,3 млн одиниць.

Розвиток ринку електромобілів безпосередньо пов'язаний з розвитком ринку базових компонентів – акумуляторів. Постійне зниження вартості літій-іонних акумуляторів (близько 10–15% щорічно) зробило електрокари конкурентоспроможними за вартістю, особливо у великих містах. Автовиробники активно впроваджують нові моделі EV у кожен ціновий сегмент. Наприклад, Volkswagen вже планує лінійку доступних EV близько 25 000 євро (VW ID та CUPRA) та навіть дешевший «ID.EVERY1» [8], Toyota готує 15 власних BEV-моделей до 2025 р. (серія bZ) [9], а китайський BYD став найбільшим світовим виробником EV (близько 3,8 млн автомобілів у 2024 р. з темпом зростання >60%) [10].

Постачання «зелених» авто неможливе без прогресу в акумуляторних технологіях. Нинішні літій-іонні акумулятори ускладнюють галузь через високу концентрацію виробництва у Китаї (70–90% на кожному етапі ланцюга) [3] та потребу в рідкісних металах (кобальт, літій, графіт). Тому дослідження у цій сфері зосереджені на технологіях, які конкурували би з літій-іонними акумуляторами з погляду ефективності, вартості та стійкості.

Багато нових технологій діють так само, як літій-іонні аналоги, але складаються з інших матеріалів. Перспективними вважаються твердотільні акумулятори, в яких рідкий електроліт замінюють на твердий, що дає вищу енергоемність, швидку зарядку та більшу безпеку [3].

У 2023–2024 рр. кілька традиційних виробників анонсували прототипи твердотільних елементів, хоча серійного впровадження слід очікувати в межах 2030-х. Зокрема, з 2023 р. BMW проводить випробування твердотільних акумуляторів від Solid Power, але компанія поки що не зможе виробляти автівки з такими акумуляторами орієнтовно до 2030 р. Toyota планує випуск електрокарів з твердотільними акумуляторами вже у 2026 р., тим більше, що вони вже використовуються в кардіостимуляторах, окремих моделях «розумних» годинників, а найближчим часом вони можуть з'явитися у смартфонах та планшетах [11]. Паралельно розробляються інші інновації: літієво-сірчані акумулятори та на базі графену, які обіцяють значно збільшити запас ходу EV і зменшити масу акумулятора.

Одночасно з переходом на електропривід автовиробники та технологічні компанії активно впроваджують цифрові інновації. Цифровізація стала невід'ємною складовою сучасного автомобіля. Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) з новітніми технологіями (5G, Інтернет речей (IoT), хмарними сервісами тощо) суттєво розширює можливості автономних (самокерованих) транспортних засобів. Уже сьогодні різноманітні пілотні

проекти та практичне застосування демонструють потенціал ШІ у транспортній галузі, зокрема в сфері автономного громадського транспорту, служб доставки, що має потенціал зменшення заторів, скорочення викидів вуглекислого газу та збільшення доступності пересування для всіх громадян.

Сьогодні автомобілі оснащуються функціями віддаленого діагностування, оновлення програмного забезпечення «по повітрю» (Over-The-Air, OTA), а також інтегруються у мультикомпонентні цифрові платформи управління мобільністю. Це стосується насамперед, «програмно-визначених транспортних засобів» (Software-Defined Vehicle, SDV). Частка таких SDV стрімко зростає (від 2.4% в 2021 до потенційно >90% до 2029 р.) [12]. SDV використовують з'єднання 4G/5G та потужні бортові комп'ютери, щоб надавати автомобілю нові функції через оновлення ПЗ «по повітрю» (OTA). Це дає змогу розширювати можливості автомобіля (автопілот, системи безпеки, навігація) без необхідності візиту на станції техобслуговування. Наприклад, Tesla вперше впровадила OTA-оновлення у своїх Model S ще у 2012 р. і відтоді постійно вдосконалює автопілот та продуктивність силової установки через OTA-оновлення [12]. Згідно з доповіддю Deloitte, у 2022 р. світовий ринок програмних оновлень для авто оцінювався в 3.3 млрд дол. США, а до 2030 р. може зрости майже до \$14 млрд дол. США [12, с. 15].

Також цифровізація автомобілів дає змогу взаємодіяти з різними елементами навколишнього середовища, зокрема іншими транспортними засобами Vehicle-to-Vehicle (V2V), інфраструктурою Vehicle-to-Infrastructure (V2I) (світлофори, дорожні знаки, будівельні майданчики тощо), пішоходами Vehicle-to-Pedestrian (V2P) (дорожні знаки), мережею Vehicle-to-Network (V2N), пристроями Vehicle-to-Device (V2D) у межах цифрового комунікаційного модуля «автомобіль до всього» V2X (Vehicle-to-Everything) [13], що є базовою технологією для автономного водіння. Такий підхід дає змогу транспортним засобам обмінюватися інформацією про дорожні умови та потоки руху, створюючи більш злагоджену та інтелектуальну транспортну екосистему, підвищуючи безпеку, ефективність та враження від водіння.

У контексті глобального «зеленого» переходу автомобільна галузь проходить глибоку інноваційну трансформацію, що охоплює всі етапи виробничо-логістичного ланцюга від проектування транспортного засобу до утилізації компонентів. У процесі інноваційної перебудови автомобільної галузі виникають виклики, що потребують стратегічного осмислення на рівні компаній, урядів і глобальних організацій.

Насамперед сьогодні загострює ситуацію збільшення дефіциту критичних сировинних матеріалів (літію, кобальту, нікелю тощо), необхідних для виробництва акумуляторів. Швидка електрифікація створює величезний попит на ці матеріали. За даними експертів, до 2040 р. потреба в літії може зрости в 5 разів, а міді – на 30% [14; 15]. Це може призвести до дефіциту, зростання цін та посилення геополітичної конкуренції за корисні копалини.

Видобуток і переробка цих ресурсів дуже концентровані в декількох країнах. Так, Конго постачає близько 70% світового кобальту, Індонезія понад 60% нікелю, Австралія понад 35% літію, а Чилі – близько 20% літію. Ще критичніше – переробка. Китай досі контролює більшість глобального постачання графіту, літію та катодних матеріалів, що є слабким місцем європейських і американських гравців [14]. Китай

контролює понад 90% видобутку рідкоземельних металів та 60–70% рафінування літію й кобальту [16]. Китай домінує як постачальник перероблених матеріалів майже всіх мінералів. У 2035 р. Китай планує постачати понад 60% переробленого літію та кобальту, а також близько 80% графіту та рідкоземельних елементів акумуляторного класу [14]. Таким чином, глобальне виробництво акумуляторів надзвичайно вразливе до геополітичних ризиків і торгових обмежень у цих країнах.

Крім того, недостатній розвиток переробки акумуляторів може ускладнити повторне використання рідкісних металів і вплинути на екологічність ланцюга. Саме тому багато компаній і регіонів починають інвестувати в «замкнений цикл»: утилізація та регенерація матеріалів для повторного використання в нових акумуляторах, що зменшує залежність від імпорту і ризик браку ресурсів [14; 15]. Це не лише дестабілізує глобальні ланцюги постачання, а й посилює геополітичну конкуренцію між державами. Незважаючи на суттєве зниження вартості акумуляторів за останнє десятиліття, електромобілі залишаються відносно дорогими для масового споживача, особливо в країнах, що розвиваються. Інфраструктурні бар'єри, зокрема нестача зарядних станцій, також уповільнюють поширення EV, особливо в сільській місцевості та регіонах з низькою щільністю населення.

Сучасні автоматизовані виробничі лінії виготовлення літій-іонних акумуляторів для електромобілів демонструють масштаб зростання виробництва акумуляторів. Хоча життєвий цикл EV вже зараз забезпечує значно нижчі викиди CO₂, ніж у традиційних ДВЗ [17], виробництво акумуляторів є енергомістким і потребує інтенсивного видобутку ресурсів. Наприклад, виробництво акумуляторів може суттєво збільшувати викиди забруднення, якщо не використовуються чисті енергоносії та повноцінний переробний цикл. Рециркуляція акумуляторів є ключовим заходом: ІЕА прогнозує, що до 2030-х років саме вторинне використання матеріалів з акумуляторів (рециклінг) може зменшити потребу в первинних критичних металах [17]. Такі зусилля допоможуть мінімізувати екологічний слід EV і знизити залежність від ресурсів.

Окрім виробництва акумуляторів, існують технологічні перешкоди: відносно низька їх енергоємність обмежує пробіг EV, а тривале заряджання потребує інфраструктурних рішень. Сучасні електромобілі EV суттєво поступаються автомобілям з ДВЗ у показниках за вагою акумулятора на 100 км пробігу, тому інженери продовжують шукати легкі матеріали і вдосконалені аноди/катоди. Нові технології обіцяють більшу щільність енергії, швидше заряджання і безпеку. Саме твердотілі акумулятори можуть стати проривом для важкої електротехніки, забезпечивши більший запас ходу та швидку зарядку без ризику займання [18]. Водночас масове впровадження таких технологій все ще вимагає подолання виробничих складнощів і масштабування.

Широке впровадження EV вимагає стрімкого розширення зарядної інфраструктури. Станом на кінець 2024 р. у світі вже налічувалося понад 5 мільйонів публічних зарядних точок, причому щорічний приріст дуже високий: +1,3 млн у 2024-му (плюс 30% до попереднього року) [7]. Однак навіть такі цифри виглядають замалими порівняно з цілями «чистих» сценаріїв. Для досягнення Net-Zero до 2030 року ІЕА оцінює необхідним довести загальний парк пунктів зарядки до близько 17 млн (тобто ≈23% річного приросту). Значна частина вже зведених інфраструктурних потужностей

сконцентрована в Китаї (близько 70% світового парку) [19]. ЄС та США далекі від цього рівня і залишаються великі регіональні розриви.

У містах з високою щільністю житла (багатоповерхівки без паркінгів) або в сільській місцевості рівень приватного заряджання низький, тому мільйони водіїв залишаються залежними від інфраструктури. Для вирішення цієї проблеми потрібне подальше розширення мережі (особливо швидких зарядок уздовж трас) і розумні тарифи на електроенергію.

Розвиток інфраструктури пов'язаний не тільки з кількістю зарядок, а й з оновленням електромереж. Підвищений попит електромобілів та широке впровадження зарядної інфраструктури потребує модернізації електромереж, оскільки створює додаткові пікові навантаження на мережу, особливо в години вечірніх зарядок. Такі проблеми необхідно вирішувати через «розумне» заряджання (з урахуванням добових тарифів і генерувальних можливостей) та накопичувачі енергії (наприклад, стаціонарні акумулятори) [7]. Подібні заходи допоможуть уникнути великих навантажень на усталені мережі та синхронізувати зарядку EV із зростанням генерування відновлюваної енергії.

Трансформація галузі впливає на економічні аспекти, зокрема конкуренцію між регіонами за інвестиції у виробничі потужності. Країни по-різному підходять до зеленого переходу через розрив у рівні економічного розвитку та політичних пріоритетах, тому він має асиметричний характер. У розвинених економіках прийнято жорстко обмежувати виробництво, продажі та експлуатацію автомобілів з ДВЗ. Наприклад, ЄС уже у 2024 р. затвердив повну заборону продажу нових авто з ДВЗ після 2035 р., а деякі країни (Великобританія, Канада, Корея) встановили проміжні цільові показники. Так, Велика Британія затвердила «торговельні квоти» щодо продажів автомобілів з нульовим рівнем викидів з 22% у 2024 до 80% у 2030, а Канада прийняла законодавство про 100% продажів таких авто до 2035 [19]. У США діє стимулювання через Закон «Inflation Reduction Act» (IRA) 2022 року, локального виробництва акумуляторів (зокрема, через пільги лише для авто, зібраних у США) [20]. Китай підтримує виробників EV як через внутрішні преференції для покупців, так і експортні стимули (вигідні кредити для своїх виробників комплектного обладнання (Original Equipment Manufacturer, OEM) та підтримку збуту через дилерські мережі по усьому світу. В більшості країн, що розвиваються, таких жорстких цілей поки немає. Там часто фокусуються на доступності та адаптації. Наприклад в Індії до 2030 р. планують, щоби близько 30% продажів транспортних засобів (пасажирські і вантажні) припадатиме на EV, а більшість підтримки спрямована на двоколісний транспорт (електровело- та скутери). В Африці та Латинській Америці пріоритетними є електробуси та електроавтомобілі для перевезень, де зовнішня допомога фінансує зарядну мережу й автобуси, адже Світовий банк відзначає економічні вигоди електробусів для міст з високими показниками засмічення повітря [21].

Отже, низький рівень доходів, слабка інфраструктура та відсутність державних стимулів у країнах, що розвиваються, створюють ризик «екологічної нерівності», де лише заможні країни отримують переваги від інноваційної трансформації автомобільної галузі, а конкуренція між країнами-лідерами може призводити до

торговельних суперечок, маніпулювання тарифами на ринку EV (введені в 2024–2025 рр. розмитнення на китайські електромобілі в ЄС та США тощо) [22].

Незважаючи на названі труднощі, з огляду на «зелений» курс більшості держав майбутнє галузі бачиться глобально позитивним.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Інноваційна трансформація автомобільної галузі в умовах глобального «зеленого» переходу є багаторівневим процесом, який охоплює технологічні, екологічні, економічні та геополітичні виміри. Стрімке зростання частки електромобілів, розвиток акумуляторних технологій, поширення програмно-орієнтованих транспортних засобів (software-defined vehicles), впровадження автономних систем та цифровізація сервісів створюють нову парадигму сталого транспорту. Водночас галузь стикається з багатьма викликами, насамперед дефіцитом критичних сировинних ресурсів (літію, кобальту, графіту), високим рівнем гео економічної концентрації виробництва компонентів, обмеженою зарядною інфраструктурою в багатьох країнах, нерівномірністю регуляторного середовища, а також ризиками, пов'язаними з трансформацією ринку праці.

Доцільно, щоб уряди розробили комплексні стратегії інноваційної мобільності, що поєднують розвиток зарядної інфраструктури, локалізацію виробництва, екологічне регулювання та цифровізацію. Важливою є підтримка диверсифікації джерел постачання сировини, а також створення ефективних програм з утилізації та переробки акумуляторів. Для прискорення впровадження інновацій слід запроваджувати податкові стимули, субсидії та формати державно-приватного партнерства. Окремої уваги потребує участь у міжнародній кооперації з метою обміну технологіями, доступу до фінансування та адаптації глобальних стандартів.

Щодо автомобільних компаній, то їм доцільно активізувати інвестиції в науково-дослідні розробки, спрямовані на вдосконалення акумуляторів, легких матеріалів, автономного керування та цифрових платформ. Розширення модельного ряду електромобілів у всіх цінових категоріях сприятиме підвищенню їхньої доступності для споживачів. Важливо формувати стратегічні партнерства з IT- і енергетичними компаніями, розвивати цифрові сервіси, такі як оновлення програмного забезпечення ОТА, управління автопарками, підписка на функціональність транспортного засобу, інтеграція з енергосистемами через технології vehicle-to-grid. Також компанії мають зосередитися на перепідготовці персоналу та розвитку нових компетенцій, що відповідають запитам цифрової та «зеленої» економіки. Лише скоординовані дії держави, бізнесу та наукової спільноти дадуть змогу забезпечити ефективний, інклюзивний та сталий розвиток автомобільної галузі в умовах енергетичного переходу.

Подальші дослідження у сфері трансформації автомобільної галузі будуть зосереджені на вивченні ефективних практик державного регулювання інновацій в автомобільній галузі, впливі екологічного законодавства, податкових стимулів і програм локалізації на транспортний сектор, національну економіку та глобальний сталий розвиток.

Література

1. Гончаров О. Трансформація світового автомобільного ринку в контексті технологічних змін: фокус на електромобільність. Економічний простір. 2025. № 200. С. 266–276. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.200.266-276>.
2. Ghosh A. Possibilities and Challenges for the Inclusion of the Electric Vehicle (EV) to Reduce the Carbon Footprint in the Transport Sector: *Energies* 2020, Vol. 13(10) DOI: <https://doi.org/10.3390/en13102602>.
3. Sivaram V., Gordon N., Helmezi D. Winning the Battery Race: How the United States Can Leapfrog China to Dominate Next-Generation Battery Technologies. *Carnegie Endowment for International Peace*. October 21, 2024. URL: <https://carnegieendowment.org/research/2024/10/winning-the-battery-race-how-the-united-states-can-leapfrog-china-to-dominate-next-generation-battery-technologies?lang=en>.
4. Franzò S., Nasca A. The environmental impact of electric vehicles: A novel life cycle-based evaluation framework and its applications to multi-country scenarios. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 315. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128005>.
5. Haghani M., Sprei F., Kazemzadeh K., Shahhoseini Z., Aghaei J. Trends in electric vehicles research. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2023. Vol. 123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103881>.
6. Види електромобілів (BEV, HEV, PHEV, FCEV). *E-AUTO*. 06.06.2023. URL: <https://e-auto.in.ua/vidi-elektromobiliv-bev-hev-phev-fcev/>.
7. Global EV Outlook 2025. *International Energy Agency*. 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/trends-in-the-electric-car-industry-3#abstract>.
8. O'Carroll L. Volkswagen to make 'massive' investment in US in bid to avoid tariffs. *The Guardian*. 30.05.2025 URL: <https://www.theguardian.com/business/2025/may/30/volkswagen-to-make-massive-investment-in-us-to-avoid-tariffs#:~:text=Blume%20defended%20the%20company%E2%80%99s%20electric,evel%20car%20tagged%20the%20%E2%80%9CID.EVERY1%E2%80%9D>.
9. The Future is Now: Toyota Launches All-New bZ4X SUV Battery-Electric Vehicle. *Toyota Global Newsroom*. April 12, 2022. URL: <https://pressroom.toyota.com/the-future-is-now-toyota-launches-all-new-bz4x-suv-battery-electric-vehicle/>.
10. BYD on track to top 2024 sales goal and outsell Ford, Honda. *Reuters*. December 9, 2024. URL: <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/byd-track-top-2024-sales-goal-outsell-ford-honda-2024-12-09/#:~:text=Aided%20by%20robust%20sales%20in,based%20Ford%20for%202024>.
11. Рефарі І. Майбутнє на батарейках: 7 нових технологій акумуляторів, за якими варто стежити. Фокус. 01.10.2024. URL: <https://focus.ua/uk/digital/670729-zamina-lityi-ionnim-batareyam-7-supertehnologiy-maybutnogo>.
12. Software-defined vehicles: Engineering the mobility revolution. Report. *Deloitte*. 2023. 25 p. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/consumer-business/us-deloitte-automotive-software-defined-vehicles-september-2023.pdf#:~:text=The%20penetration%20of%20SDVs%20is,2%20Across>.

13. Tie H. L. V2X Vehicle-to-Everything Communication – The Future of Autonomous Connectivity. *Keysight*. 03.10.2024. URL: <https://www.keysight.com/blogs/en/inds/auto/2024/10/03/v2x-post>.
14. Global Critical Minerals Outlook 2025. *International Energy Agency*. 2025. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a33abe2e-f799-4787-b09b-2484a6f5a8e4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>.
15. Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes. *International Resource Panel (IRP) of the United Nations Environment Programme (UNEP)*. Nairobi. 2024. 182 p. URL: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44901>.
16. Energy Technology Perspectives. *International Energy Agency*. 2023 URL: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023/clean-energy-supply-chains-vulnerabilities>.
17. EV Battery Supply Chain Sustainability: Life cycle impacts and the role of recycling. Report. *International Energy Agency*. 2024. 282 p. URL: <https://www.iea.org/reports/ev-battery-supply-chain-sustainability>.
18. Gordon O. Are solid-state batteries finally ready to live up to the hype? *Energy Monitor*. March 11, 2024. URL: <https://www.energymonitor.ai/tech/energy-storage/are-solid-state-batteries-finally-ready-to-live-up-to-the-hype/?cf-view&cf-closed>.
19. Electric Vehicles. *International Energy Agency*. 2024. URL: <https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles>.
20. Baldwin S. Inflation Reduction Act Benefits: Electric Vehicle Tax Incentives For Consumers And U.S. Automakers. *Forbes*. Sep 07, 2022. URL: https://www.forbes.com/sites/energyinnovation/2022/09/07/inflation-reduction-act-benefits-electric-vehicle-tax-incentives-for-consumers-and-us-automakers/?utm_source=chatgpt.com.
21. Electric Vehicles: An Economic and Environmental Win for Developing Countries. *World Bank Group*. 17.11.2022. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2022/11/17/electric-vehicles-an-economic-and-environmental-win-for-developing-countries#:~:text=STORY%20HIGHLIGHTS>.
22. Боришкевич В. Чому і як ЄС та США захищаються від китайських електрокарів. *LIGA.net*. 04.07.2024. URL: <https://tech.liga.net/ua/technology/article/chomu-i-iyak-yes-ta-ssha-zakhyshchaiutsia-vid-kytaiskykh-elektrokariv>.

References

1. Honcharov, O. (2025). Transformatsiia svitovoho avtomobilnoho rynku v konteksti tekhnolohichnykh zmin: fokus na elektromobilnist [Transformation of the global automotive market in the context of technological change: focus on electromobility]. *Ekonomichnyi prostir – Economic scope*, 200, 266-276. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.200.266-276>. [in Ukrainian].
2. Ghosh, A. (2020). Possibilities and Challenges for the Inclusion of the Electric Vehicle (EV) to Reduce the Carbon Footprint in the Transport Sector: *Energies*. Vol. 13 (10). DOI: <https://doi.org/10.3390/en13102602>. [in English].

-
3. Sivaram, V., Gordon, N. and Helmecci, D. (2024). Winning the Battery Race: How the United States Can Leapfrog China to Dominate Next-Generation Battery Technologies. *Carnegie Endowment for International Peace*. Retrieved from <https://carnegieendowment.org/research/2024/10/winning-the-battery-race-how-the-united-states-can-leapfrog-china-to-dominate-next-generation-battery-technologies?lang=en>. [in English].
 4. Franzò, S., Nasca, A. (2021). The environmental impact of electric vehicles: A novel life cycle-based evaluation framework and its applications to multi-country scenarios. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128005>. [in English].
 5. Haghani, M., Sprei F., Kazemzadeh, K., Shahhoseini, Z. and Aghaei, J. (2023). Trends in electric vehicles research. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Vol. 123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103881>. [in English].
 6. Vydý elektromobiliv (BEV, HEV, PHEV, FCEV) (2023). [Types of electric vehicles (BEV, HEV, PHEV, FCEV)]. *E- AUTO*. Retrieved from <https://e-auto.in.ua/vidi-elektromobiliv-bev-hev-phev-fcev/>. [in Ukrainian].
 7. Global EV Outlook 2025 (2025). *International Energy Agency*. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/trends-in-the-electric-car-industry-3#abstract>. [in English].
 8. O'Carroll, L. (2025). Volkswagen to make 'massive' investment in US in bid to avoid tariffs. *The Guardian*. Retrieved from <https://www.theguardian.com/business/2025/may/30/volkswagen-to-make-massive-investment-in-us-to-avoid-tariffs#:~:text=Blume%20defended%20the%20company%E2%80%99s%20electric,level%20car%20tagged%20the%20%E2%80%9CID.EVERY1%E2%80%9D>. [in English].
 9. The Future is Now: Toyota Launches All-New bZ4X SUV Battery-Electric Vehicle (2022). *Toyota Global Newsroom*. Retrieved from <https://pressroom.toyota.com/the-future-is-now-toyota-launches-all-new-bz4x-suv-battery-electric-vehicle/>. [in English].
 10. BYD on track to top 2024 sales goal and outsell Ford, Honda (2024). *Reuters*. Retrieved from <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/byd-track-top-2024-sales-goal-outsell-ford-honda-2024-12-09/#:~:text=Aided%20by%20robust%20sales%20in,based%20Ford%20for%202024>. [in English].
 11. Refagi, I. (2024). Maibutnie na batareikakh: 7 novykh tekhnolohii akumuliatoriv, za yakymy varto stezhyty [The Future of Batteries: 7 New Battery Technologies to Watch]. *Fokus - Focus*. Retrieved from <https://focus.ua/uk/digital/670729-zaminality-ionnim-batareyam-7-supertekhnologiy-maybutnogo>. [in Ukrainian].
 12. Software-defined vehicles: Engineering the mobility revolution. Report (2023). *Deloitte*. 25 p. Retrieved from <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/consumer-business/us-deloitte-automotive-software-defined-vehicles-september-2023.pdf#:~:text=The%20penetration%20of%20SDVs%20is,2%20Across>. [in English].
 13. Tie, H. L. (2024). V2X Vehicle-to-Everything Communication – The Future of Autonomous Connectivity. *Keysight*. Retrieved from <https://www.keysight.com/blogs/en/inds/auto/2024/10/03/v2x-post>. [in English].

14. Global Critical Minerals Outlook 2025 (2025). *International Energy Agency*. Retrieved from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a33abe2e-f799-4787-b09b-2484a6f5a8e4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf>. [in English].
15. Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes (2024). *International Resource Panel (IRP) of the United Nations Environment Programme (UNEP)*. Nairobi. 182 p. Retrieved from <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44901>. [in English].
16. Energy Technology Perspectives (2023). *International Energy Agency*. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023/clean-energy-supply-chains-vulnerabilities>. [in English].
17. EV Battery Supply Chain Sustainability: Life cycle impacts and the role of recycling. Report. (2024). *International Energy Agency*. 282 p. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/ev-battery-supply-chain-sustainability>. [in English].
18. Gordon, O. (2024). Are solid-state batteries finally ready to live up to the hype? *Energy Monitor*. Retrieved from <https://www.energymonitor.ai/tech/energy-storage/are-solid-state-batteries-finally-ready-to-live-up-to-the-hype/?cf-view&cf-closed>. [in English].
19. Electric Vehicles (2024). *International Energy Agency*. Retrieved from <https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles>. [in English].
20. Baldwin, S. (2022). Inflation Reduction Act Benefits: Electric Vehicle Tax Incentives For Consumers And U.S. Automakers. *Forbes*. Retrieved from https://www.forbes.com/sites/energyinnovation/2022/09/07/inflation-reduction-act-benefits-electric-vehicle-tax-incentives-for-consumers-and-us-automakers/?utm_source=chatgpt.com. [in English].
21. Electric Vehicles: An Economic and Environmental Win for Developing Countries (2022). *World Bank Group*. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2022/11/17/electric-vehicles-an-economic-and-environmental-win-for-developing-countries#:~:text=STORY%20HIGHLIGHTS>. [in English].
22. Boryshkevych, V. (2024). Chomu i yak YeS ta SShA zakhyshchaiutsia vid kytaiskyykh elektrokariv [Why and how the EU and the US are defending themselves against Chinese electric cars] *LIGA.net*. Retrieved from <https://tech.liga.net/ua/technology/article/chomu-i-iak-yes-ta-ssha-zakhyshchaiutsia-vid-kytaiskyykh-elektrokariv>. [in Ukrainian].

Статтю отримано 04 червня 2025 р.

Article received June 4, 2025.