

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Факультет економіки та екології моря
Кафедра екології та природоохоронних технологій

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри



Г.Г. Трохименко
“06” 06. 2026 р

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
на тему: **ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ
У ПОРІВНЯННІ З ТРАДИЦІЙНИМ АВТОМОБІЛЬНИМ
ТРАНСПОРТОМ»**

Виконав: студент 4287ст3 групи



Мельничук В.В.

(підпис)

Керівник роботи: зав. кафедри
екології та ПТ, д.т.н., проф.



Трохименко Г. Г.

(підпис)

Консультант роботи: старший
викладач кафедри екології та ПТ



Гурець Н.В.

(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Факультет економіки та екології моря
Кафедра екології та природоохоронних технологій
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища».
Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант освітньої програми



І.В.Ремешевська
“30” 03.2026року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студенту Мельничук Володимир Васильович
(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оцінка екологічної безпеки електромобілів у порівнянні з традиційним автомобільним транспортом
Керівник роботи д-р. техн наук, професор Трохименко Г.Г.
Затверджені наказом ректора № 287уч від «22» 04 2026 року
2. Термін подання роботи: 06. 06. 2026 р
3. Вихідні дані по роботі: літературні та наукові джерела інформації, законодавча база України, статистичні данні
4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів) Розділ 1. Теоретичні основи екологічної безпеки транспорту. Розділ 2. Аналіз екологічних показників автомобілів та традиційних . Розділ 3. Розрахунок екологічного ефекту від використання автомобілів. Розділ 4. Оцінка екологічної безпеки електромобілів рекомендації. Розділ 5. Охорона праці.
5. Перелік презентаційних матеріалів Структурно-логічна схема роботи, Вплив автомобільного транспорту на довкілля. Основні забруднювачі, що утворюються при роботі автомобілів з ДВЗ. Структура світового автопарку за видами транспорту та Динаміка зростання світового парку електромобілів у 2019-2025 роках. Викиди транспортних засобів та екологічна оцінка електромобілів. Порівняння рівня шумового забруднення. Екологічні ризики утилізації аккумуляторів електромобілів. Порівняння екологічних показників електромобілів та автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння. Розрахунок екологічного ефекту від використання електромобілів. Основні переваги впровадження електротранспорту для покращення стану навколишнього середовища. Концепція розвитку екосистеми електромобілів Рено в Україні. Висновки

Розділ	Прізвище, ініціали та посадаконсультанта	завдання видав	завдання прийняв
P5	Маринець О. М.		

2.1.1. Дата видачі завдання 30.03.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
P1	Теоретичні основи екологічної безпеки транспорту	06.06.2026	
P2	Аналіз екологічних показників автомобілів та традиційних	06.06.2026	
P3	Розрахунок екологічного ефекту від використання автомобілів	06.06.2026	
P4	Оцінка екологічної безпеки електромобілів рекомендації	06.06.2026	
P5	Охорона праці	06.06.2026	

Студент  Ю.В. Мельничук
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Г. Г. Трохименко
(підпис) (прізвище та ініціали)

Консультант роботи  Н.В. Гурець
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

на бакалаврську роботу за темою «Оцінка екологічної безпеки електромобілів у порівнянні з традиційним автомобільним транспортом»

Мельничук В. В.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» з технологій захисту довкілля – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – Миколаїв. – 2026.

Випускна кваліфікаційна робота присвячена оцінці екологічної безпеки електромобілів у порівнянні з традиційними автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння, аналізу прямих та непрямих екологічних показників експлуатації, а також визначенню екологічного ефекту від впровадження електротранспорту в контексті сталого розвитку транспортної галузі.

У першому розділі роботи розглянуто теоретичні основи екологічної безпеки транспорту, проаналізовано вплив автомобільного транспорту на довкілля, основні забруднювачі від роботи двигунів внутрішнього згоряння, екологічні характеристики електромобілів, принципи їх роботи та світові тенденції розвитку електротранспорту.

У другому розділі проведено аналіз екологічних показників обох видів транспорту: досліджено викиди забруднюючих речовин автомобілями з ДВЗ, непрямі викиди електромобілів, пов'язані з виробництвом електроенергії, порівняно рівень шумового забруднення, вплив на зміну клімату (викиди CO₂) та екологічні ризики утилізації акумуляторних батарей.

Третій розділ присвячено розрахунку екологічного ефекту від використання електромобілів. На основі вихідних даних (середній річний пробіг 15 000 км) виконано порівняльні розрахунки річних викидів CO₂ для бензинового автомобіля та електромобіля з урахуванням виробництва електроенергії, визначено обсяг зменшення викидів (приблизно 60 %) та оцінено ефект для автопарку підприємства.

У четвертому розділі здійснено порівняльний аналіз отриманих результатів, оцінено екологічну ефективність електромобілів, визначено основні переваги та проблеми впровадження електротранспорту, а також сформульовано рекомендації щодо розвитку електромобільності в Україні.

У розділі «Охорона праці» розглянуто питання безпеки обслуговування електромобілів, ризики роботи з високовольтними системами, вимоги до технічного персоналу та пожежну безпеку акумуляторних систем.

За результатами дослідження проведено комплексну оцінку екологічної безпеки електромобілів порівняно з традиційним автотранспортом, обґрунтовано їх переваги у зменшенні викидів парникових газів та запропоновано практичні рекомендації щодо стимулювання розвитку електротранспорту в Україні.

Ключові слова: екологічна безпека транспорту, електромобілі, автомобілі з ДВЗ, викиди CO₂, непрямі викиди, шумове забруднення, утилізація акумуляторів, декарбонізація транспорту, екологічний ефект, сталий розвиток.

ANNOTATION

for the Bachelor's Qualification Thesis entitled « Assessment of the environmental safety of electric vehicles compared to traditional road transport»
Melnichuk V.

Qualification thesis for obtaining the Bachelor's in Environmental Protection Technology – Admiral Makarov National University of Shipbuilding. – Mykolaiv. – 2026.

The final qualification work is devoted to assessing the environmental safety of electric vehicles in comparison with traditional cars with internal combustion engines, analyzing direct and indirect environmental indicators of operation, as well as determining the environmental effect of the introduction of electric transport in the context of sustainable development of the transport industry.

The first section of the work considers the theoretical foundations of the environmental safety of transport, analyzes the impact of road transport on the environment, the main pollutants from the operation of internal combustion engines, the environmental characteristics of electric vehicles, the principles of their operation and global trends in the development of electric transport.

The second section analyzes the environmental indicators of both types of transport: investigates the emissions of pollutants from cars with internal combustion engines, indirect emissions of electric vehicles associated with electricity production, compares the level of noise pollution, the impact on climate change (CO₂ emissions) and the environmental risks of battery disposal.

The third section is devoted to calculating the environmental effect of using electric vehicles. Based on the initial data (average annual mileage of 15,000 km), comparative calculations of annual CO₂ emissions for a gasoline car and an electric car were performed, taking into account electricity production, the amount of emission reduction was determined (approximately 60%) and the effect for the company's fleet was estimated.

In the fourth section, a comparative analysis of the results obtained was performed, the environmental efficiency of electric cars was assessed, the main advantages and problems of introducing electric transport were identified, and recommendations for the development of electromobility in Ukraine were formulated.

In the "Occupational safety" section, the issues of safety in servicing electric cars, the risks of working with high-voltage systems, requirements for technical personnel, and fire safety of battery systems were considered.

According to the results of the study, a comprehensive assessment of the environmental safety of electric cars compared to traditional vehicles was conducted, their advantages in reducing greenhouse gas emissions were substantiated, and practical recommendations were proposed for stimulating the development of electric transport in Ukraine.

Keywords: environmental safety of transport, electric vehicles, cars with internal combustion engines, CO₂ emissions, indirect emissions, noise pollution, battery recycling, decarbonization of transport, environmental impact, sustainable development.

ЗМІСТ

	Стр.
Анотація.....	5
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТУ.....	11
1.1. Вплив автомобільного транспорту на довкілля.....	11
1.2. Основні забруднювачі, що утворюються при роботі автомобілів з ДВЗ.....	13
1.3. Екологічні характеристики електромобілів.....	15
1.4. Порівняння принципів роботи електромобілів і традиційних автомобілів.....	16
1.5. Світові тенденції розвитку електротранспорту.....	17
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ТА ТРАДИЦІЙНИХ АВТОМОБІЛІВ	20
2.1. Характеристика сучасного автотранспорту.....	20
2.2. Викиди забруднюючих речовин автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння.....	21
2.3. Непрямі викиди електромобілів (пов'язані з виробництвом електроенергії).....	24
2.4. Порівняння рівня шумового забруднення.....	25
2.5. Вплив транспорту на зміну клімату (викиди CO ₂).....	26
2.6. Екологічні ризики утилізації акумуляторів електромобілів.....	27
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ.....	31
3.1 Теоретичні основи оцінки екологічного ефекту від використання електромобілів.....	31
3.2. Вихідні дані для розрахунку.....	33
3.3. Розрахунок річних викидів CO ₂	34
3.4. Розрахунок зменшення викидів CO ₂	35
3.5. Розрахунок екологічного ефекту для автопарку.....	36
3.6. Аналіз результатів розрахунків.....	37

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	40
4.1. Порівняльний аналіз отриманих результатів.....	40
4.2. Оцінка екологічної ефективності електромобілів.....	42
4.3. Основні переваги електротранспорту для довкілля.....	43
4.4. Проблеми впровадження електромобілів.....	45
4.5. Рекомендації щодо розвитку електротранспорту.....	46
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	51
5.1 Безпека обслуговування електромобілів.....	51
5.2 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при роботі з електромобілями.....	53
5.3 Санітарно-гігієнічні вимоги до робочих приміщень.....	55
5.4 Вимоги до технічного персоналу.....	56
5.5 Пожежна безпека акумуляторних систем.....	57
5.6 Заходи щодо покращення умов праці та безпеки персоналу.....	58
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку суспільства транспортна галузь є однією з найважливіших складових економіки будь-якої держави. Автомобільний транспорт забезпечує перевезення пасажирів і вантажів, сприяє розвитку промисловості, торгівлі та міжнародних економічних зв'язків. Разом із тим стрімке зростання кількості транспортних засобів призводить до суттєвого негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я населення.

Сьогодні транспортний сектор є одним із найбільших джерел забруднення атмосферного повітря та викидів парникових газів. Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння під час експлуатації утворюють значні обсяги оксидів азоту, оксиду вуглецю, вуглеводнів, сажі та діоксиду вуглецю. Дані забруднюючі речовини негативно впливають на стан атмосферного повітря, спричиняють розвиток захворювань органів дихання та серцево-судинної системи, а також посилюють процеси глобальної зміни клімату.

Особливо актуальною проблема транспортного забруднення є для великих міст, де спостерігається висока інтенсивність дорожнього руху. Значний рівень шумового забруднення, накопичення токсичних речовин у повітрі та зростання концентрації парникових газів створюють серйозну загрозу екологічній безпеці та якості життя населення.

У зв'язку з цим у багатьох країнах світу активно впроваджуються заходи, спрямовані на декарбонізацію транспортного сектору та зменшення негативного впливу транспорту на довкілля. Одним із найбільш перспективних напрямів екологізації транспортної системи є розвиток електротранспорту, зокрема електромобілів.

Електромобілі характеризуються відсутністю прямих вихлопних викидів під час експлуатації, високою енергоефективністю та нижчим рівнем шумового забруднення. Використання електротранспорту дозволяє суттєво скоротити викиди парникових газів та покращити якість атмосферного повітря у містах. Саме тому розвиток електромобілів розглядається як важливий

елемент реалізації міжнародної екологічної політики та досягнення цілей сталого розвитку.

Разом із тим питання екологічної безпеки електромобілів потребує комплексного дослідження. Незважаючи на значні екологічні переваги, використання електротранспорту супроводжується певними проблемами, пов'язаними з виробництвом електроенергії, виготовленням та утилізацією акумуляторних батарей, використанням рідкісних металів та необхідністю розвитку зарядної інфраструктури.

Актуальність теми дослідження полягає у необхідності оцінки екологічної безпеки електромобілів у порівнянні з традиційним автомобільним транспортом, визначенні рівня їх впливу на навколишнє середовище та обґрунтуванні доцільності розвитку електротранспорту як одного з напрямів зниження транспортного забруднення та декарбонізації економіки.

Метою бакалаврської роботи є оцінка екологічної безпеки електромобілів у порівнянні з традиційним автомобільним транспортом та визначення екологічного ефекту від використання електротранспорту.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище;
- дослідити основні забруднюючі речовини, що утворюються при роботі двигунів внутрішнього згоряння;
- охарактеризувати екологічні особливості електромобілів;
- провести порівняльний аналіз електромобілів та автомобілів з ДВЗ;
- дослідити вплив транспорту на зміну клімату;
- виконати розрахунок викидів CO₂ для різних типів транспортних засобів;
- оцінити екологічний ефект від використання електромобілів;

- визначити основні проблеми та перспективи розвитку електротранспорту;
- розглянути питання охорони праці при обслуговуванні електромобілів.

Об'єктом дослідження є транспортні засоби — електромобілі та автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння.

Предметом дослідження є екологічні показники експлуатації транспортних засобів та їх вплив на навколишнє середовище.

У процесі виконання роботи були використані такі методи дослідження:

- порівняльний аналіз;
- статистичний аналіз;
- розрахунковий метод;
- аналітичний метод;
- метод узагальнення наукових даних.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для оцінки екологічної ефективності електромобілів, обґрунтування доцільності розвитку електротранспорту та розроблення заходів щодо зниження негативного впливу транспорту на довкілля.

Структура бакалаврської роботи складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У роботі розглянуто теоретичні основи екологічної безпеки транспорту, проведено аналіз екологічних показників електромобілів та традиційних автомобілів, виконано розрахунок екологічного ефекту від використання електромобілів, здійснено оцінку екологічної безпеки електротранспорту та розглянуто питання охорони праці під час його експлуатації.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТУ

1.1 Вплив автомобільного транспорту на довкілля

На сучасному етапі розвитку суспільства автомобільний транспорт відіграє надзвичайно важливу роль у функціонуванні економіки держави та забезпеченні життєдіяльності населення. Автомобілі використовуються для перевезення пасажирів, доставки товарів, забезпечення логістичних процесів, роботи промислових підприємств та аграрного сектору. Проте стрімке збільшення кількості транспортних засобів у світі супроводжується суттєвим зростанням негативного впливу на довкілля [3].

Сьогодні транспортний сектор є одним із найбільших джерел техногенного навантаження на природне середовище. За оцінками міжнародних організацій, автомобільний транспорт формує значну частку світових викидів парникових газів, а також є основним джерелом забруднення атмосферного повітря у містах [29]. Особливо гостро ця проблема проявляється у великих промислових центрах та мегаполісах, де концентрація автомобілів постійно зростає.

Однією з головних екологічних проблем є забруднення атмосферного повітря вихлопними газами. Під час роботи двигунів внутрішнього згоряння утворюються оксид вуглецю, оксиди азоту, діоксид сірки, вуглеводні, тверді частинки та інші токсичні речовини [4]. Дані речовини негативно впливають не лише на стан довкілля, а й на здоров'я населення. Особливо небезпечними є дрібнодисперсні частинки PM_{2.5} та PM₁₀, які здатні проникати у легені та кровоносну систему людини [6].

Автомобільний транспорт також є важливим джерелом утворення парникових газів. Основним із них є вуглекислий газ (CO₂), що утворюється внаслідок спалювання бензину або дизельного палива. Зростання концентрації

CO₂ в атмосфері спричиняє посилення парникового ефекту та глобальне потепління [20]. Згідно з дослідженнями IPCC, транспортний сектор є одним із найбільших джерел антропогенних викидів вуглекислого газу у світі [30].

Значний вплив транспорт здійснює і на стан ґрунтів. У придорожніх смугах накопичуються важкі метали, залишки паливно-мастильних матеріалів, продукти стирання шин та гальмівних колодок [10]. Особливо небезпечними є сполуки свинцю, кадмію та цинку, які здатні накопичуватися у ґрунтах та потрапляти до рослин і водних об'єктів.

Важливою проблемою є забруднення поверхневих та підземних вод. У результаті атмосферних опадів шкідливі речовини з дорожнього покриття потрапляють у водойми та каналізаційні системи. Нафтопродукти утворюють плівку на поверхні води, що порушує газообмін та негативно впливає на водні екосистеми [7].

Окрему увагу слід приділити шумовому забрудненню. Постійний шум від автомобільного транспорту є характерною особливістю сучасних міст. Найбільше шумове навантаження спостерігається поблизу автомагістралей, транспортних розв'язок та промислових зон [15]. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, тривалий вплив шуму може викликати безсоння, підвищення артеріального тиску, нервові розлади та серцево-судинні захворювання [35].

Крім безпосереднього забруднення довкілля, транспортний сектор характеризується значним споживанням природних ресурсів. Традиційні автомобілі потребують великих обсягів нафтопродуктів, запаси яких є обмеженими [13]. Це створює додаткові економічні та енергетичні ризики для держав.

Сучасні екологічні проблеми транспорту набувають глобального характеру. Саме тому у багатьох країнах світу активно впроваджуються заходи щодо скорочення шкідливих викидів, розвитку громадського транспорту, використання альтернативних джерел енергії та переходу до електромобілів [18].

Таким чином, автомобільний транспорт здійснює комплексний негативний вплив на довкілля, який проявляється у забрудненні повітря, води та ґрунтів, збільшенні рівня шуму, зростанні викидів парникових газів та виснаженні природних ресурсів. Це обумовлює необхідність пошуку більш екологічно безпечних транспортних технологій.

1.2 Основні забруднювачі, що утворюються при роботі автомобілів з ДВЗ

Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння є одним із головних джерел хімічного забруднення атмосфери. Під час згоряння палива в циліндрах двигуна утворюється складна суміш газоподібних та твердих речовин, значна частина яких є токсичною [12].

Основним компонентом вихлопних газів є вуглекислий газ (CO_2). Його утворення є природним результатом процесу згоряння вуглеводневого палива. Хоча CO_2 не є токсичним у звичайних концентраціях, він належить до основних парникових газів та безпосередньо впливає на глобальні кліматичні зміни [20].

Одним із найбільш небезпечних токсичних компонентів вихлопних газів є оксид вуглецю (CO). Він утворюється при неповному згорянні палива через нестачу кисню у паливно-повітряній суміші [3]. Оксид вуглецю є безбарвним газом без запаху та має високу токсичність. Потрапляючи в організм людини, він зв'язується з гемоглобіном крові, перешкоджаючи перенесенню кисню.

Оксиди азоту (NO_x) формуються за високих температур у камері згоряння. Найбільш поширеними є оксид азоту (NO) та діоксид азоту (NO_2). Ці сполуки беруть участь у формуванні фотохімічного смогу та кислотних дощів [4]. Крім того, оксиди азоту негативно впливають на органи дихання та можуть викликати бронхолегеневі захворювання.

Ще однією групою небезпечних забруднювачів є незгорілі вуглеводні та леткі органічні сполуки. Вони виникають у результаті неповного згоряння

палива або випаровування бензину [8]. Частина таких речовин має канцерогенні властивості.

Особливо небезпечним є бензапірен — канцерогенна речовина, що утворюється при неповному згорянні органічних сполук. Навіть у незначних концентраціях бензапірен здатний негативно впливати на організм людини та провокувати розвиток онкологічних захворювань [6].

Для дизельних двигунів характерним є утворення значної кількості сажі та дрібнодисперсних частинок. Сажа складається переважно з вуглецю та адсорбованих токсичних речовин. Найдрібніші частинки можуть проникати глибоко у легені людини та накопичуватися в організмі [22].

Важливу роль у зменшенні викидів відіграють сучасні системи очищення вихлопних газів. До них належать каталізатори, сажові фільтри, системи рециркуляції вихлопних газів та електронні системи керування двигуном [12]. Проте навіть сучасні автомобілі не можуть повністю усунути шкідливі викиди.

Склад та обсяг викидів значною мірою залежать від типу палива. Дизельні двигуни характеризуються нижчим рівнем викидів CO_2 , але утворюють більше оксидів азоту та сажі [18]. Бензинові двигуни мають нижчі показники твердих частинок, проте викидають більше CO та вуглеводнів.

Слід також враховувати вплив технічного стану транспортного засобу. Зношені двигуни, несправні каталізатори та використання неякісного палива значно збільшують рівень забруднення [9].

Таким чином, робота двигунів внутрішнього згорання супроводжується утворенням великої кількості небезпечних речовин, які негативно впливають на атмосферу, клімат та здоров'я населення.

1.3 Екологічні характеристики електромобілів

Електромобілі є важливим напрямом розвитку сучасного екологічно орієнтованого транспорту. Їх популярність у світі постійно зростає завдяки прагненню суспільства зменшити негативний вплив транспорту на довкілля та скоротити викиди парникових газів [18].

Головною перевагою електромобілів є відсутність прямих вихлопних викидів під час руху [23]. Електродвигун не використовує процес згоряння палива, тому в атмосферу не потрапляють оксиди азоту, оксид вуглецю, сажа та інші токсичні речовини. Це особливо важливо для великих міст із високою щільністю населення.

Завдяки відсутності двигуна внутрішнього згоряння електромобілі характеризуються значно нижчим рівнем шуму [35]. Під час руху вони створюють мінімальне акустичне навантаження, що позитивно впливає на комфорт міського середовища.

Однією з важливих характеристик електромобілів є їх висока енергоефективність. Коефіцієнт корисної дії електродвигунів може досягати 90 %, що значно перевищує показники традиційних двигунів внутрішнього згоряння [24].

Разом із перевагами електромобілі мають і певні екологічні проблеми. Найбільш дискусійним питанням є виробництво акумуляторних батарей. Для виготовлення літій-іонних акумуляторів необхідні літій, кобальт, нікель та інші рідкісні метали [32]. Їх видобуток супроводжується значним споживанням води, енергії та утворенням промислових відходів.

Важливим фактором є також джерело електроенергії, що використовується для заряджання електромобілів. Якщо електроенергія виробляється на вугільних або газових електростанціях, то непрямі викиди CO₂ можуть бути досить високими [31]. У країнах, де значну частку електроенергії виробляють атомні, гідро- та відновлювані джерела енергії, екологічний ефект від використання електромобілів є значно більшим.

Окрему проблему становить утилізація акумуляторних батарей. Відпрацьовані батареї можуть містити токсичні речовини та становити небезпеку для довкілля [17]. Саме тому сьогодні активно розвиваються технології повторного використання та переробки акумуляторів.

Незважаючи на існуючі проблеми, більшість міжнародних досліджень підтверджує, що електромобілі мають нижчий сумарний екологічний вплив порівняно з традиційними автомобілями [27]. Особливо це стосується експлуатаційного етапу життєвого циклу транспортного засобу.

1.4. Порівняння принципів роботи електромобілів і традиційних автомобілів

Принципи роботи традиційних автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) і електромобілів кардинально відрізняються, що безпосередньо впливає на їх екологічні характеристики, енергоефективність та експлуатаційні властивості.

Автомобіль з ДВЗ працює на основі термодинамічного циклу згоряння палива (бензину, дизеля або газу). Паливо подається в циліндри двигуна, де в результаті займання утворюється вибухова суміш, яка розширюється та штовхає поршні. Механічна енергія через трансмісію (коробку передач, зчеплення) передається на колеса. ККД такого двигуна становить у середньому 25–40 %, оскільки значна частина енергії (близько 60 %) втрачається у вигляді тепла, вихлопних газів і тертя. У процесі роботи утворюються численні шкідливі викиди: CO_2 , CO , NO_x , вуглеводні, сажа та тверді частинки.

Електромобіль функціонує на принципі перетворення електричної енергії в механічну. Основними елементами є тягова акумуляторна батарея (переважно літій-іонна), інвертор, електричний двигун (синхронний або асинхронний) та система керування. Електроенергія з батареї перетворюється інвертором на змінний струм і подається на двигун, який створює крутний момент практично миттєво. Відсутність багатоступеневої трансмісії (часто

використовується одноступеневий редуктор) спрощує конструкцію. ККД електродвигуна сягає 85–95 %. Крім того, електромобілі використовують систему рекуперативного гальмування, яка повертає частину енергії назад у батарею під час уповільнення.

Основні відмінності:

- **Енергоефективність:** електромобіль витрачає значно менше первинної енергії на подолання того самого шляху.
- **Екологічність** під час експлуатації: електромобіль не має вихлопних газів (нульові локальні викиди), тоді як автомобіль з ДВЗ є джерелом значного забруднення.
- **Конструктивна простота:** електромобілі мають менше рухомих частин, що знижує витрати на обслуговування та підвищує надійність.
- **Динамічні характеристики:** миттєвий крутний момент забезпечує кращу динаміку розгону.
- **Шумові характеристики:** електромобілі працюють значно тихіше.

Таким чином, перехід від ДВЗ до електроприводу дозволяє радикально зменшити негативний вплив на навколишнє середовище саме на етапі експлуатації транспортного засобу.

1.5. Світові тенденції розвитку електротранспорту

Світовий ринок електротранспорту демонструє стрімке зростання, попри певне уповільнення темпів у 2025–2026 роках. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), у 2025 році глобальні продажі електромобілів перевищили 20 мільйонів одиниць, що становить близько 25 % від усіх продажів нових автомобілів у світі. У першому кварталі 2026 року продажі склали близько 4 мільйонів одиниць.

Лідером ринку залишається Китай, де частка електромобілів у нових продажах перевищує 40–50 %. Європа демонструє стабільне зростання (частка близько 20–22 %), хоча й спостерігається коригування політики (зокрема,

пом'якшення жорстких вимог щодо повної заборони ДВЗ з 2035 року з переходом на 90 % скорочення викидів CO₂). Сполучені Штати показують більш помірні темпи через зміни в податкових стимулах.

Ключові тенденції розвитку:

- Здешевлення акумуляторів: середня ціна батарей продовжує знижуватися (на 8 % у 2025 році), що робить електромобілі дедалі конкурентоспроможнішими.
- Розвиток інфраструктури: швидке зростання кількості зарядних станцій, особливо швидких.
- Технологічний прогрес: збільшення запасу ходу (до 500–700 км), впровадження твердотільних батарей, V2G-технологій (автомобіль як джерело енергії для мережі).
- Політична підтримка: субсидії, екологічні стандарти та заборони на продаж нових автомобілів з ДВЗ у багатьох країнах.
- Корпоративний та вантажний сегмент: активне впровадження електробусів, вантажівок та корпоративних автопарків.
- Вторинний ринок: у 2026 році очікується значне надходження вживаних електромобілів (особливо з лізингу), що робить їх доступнішими.

В Україні ринок електромобілів також активно розвивається завдяки імпорту вживаних авто, хоча повернення оподаткування у 2026 році вплинуло на динаміку продажів нових моделей.

Загалом, електротранспорт стає одним із ключових інструментів декарбонізації транспортного сектору та досягнення цілей Паризької угоди щодо клімату. Подальший розвиток залежатиме від технологічних інновацій, стабільності політики та розбудови зарядної інфраструктури.

Ці підрозділи можна доповнити таблицями порівняння, графіками динаміки продажів або посиланнями на конкретні джерела відповідно до вимог оформлення роботи.

РОЗДІЛ 2.

АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ТА ТРАДИЦІЙНИХ АВТОМОБІЛІВ

2.1 Характеристика сучасного автотранспорту

Сучасний транспортний сектор є однією з ключових складових економіки будь-якої держави. Автомобільний транспорт забезпечує перевезення пасажирів, доставку сировини, продукції та товарів, а також підтримує функціонування промисловості, торгівлі й логістики. У світі щороку спостерігається зростання кількості транспортних засобів, що пов'язано із розвитком урбанізації, підвищенням рівня життя населення та збільшенням мобільності суспільства [18].

На сьогодні автомобільний транспорт представлений двома основними групами транспортних засобів: автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння та електромобілями. Традиційні автомобілі працюють переважно на бензині або дизельному паливі, тоді як електромобілі використовують електричну енергію, накопичену в акумуляторних батареях [11].

Найбільшу частку світового автопарку все ще становлять автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння. Це пояснюється розвиненою інфраструктурою забезпечення паливом, відносно невисокою вартістю таких транспортних засобів та значним досвідом їх експлуатації [12]. Проте традиційний транспорт є одним із головних джерел забруднення навколишнього середовища.

Останніми роками спостерігається стрімке зростання популярності електромобілів. За даними International Energy Agency, кількість електромобілів у світі щороку збільшується на десятки відсотків (Рис. 2.1.) [29]. Найбільшими ринками електротранспорту є Китай, США, Німеччина, Норвегія та інші країни Європейського Союзу.

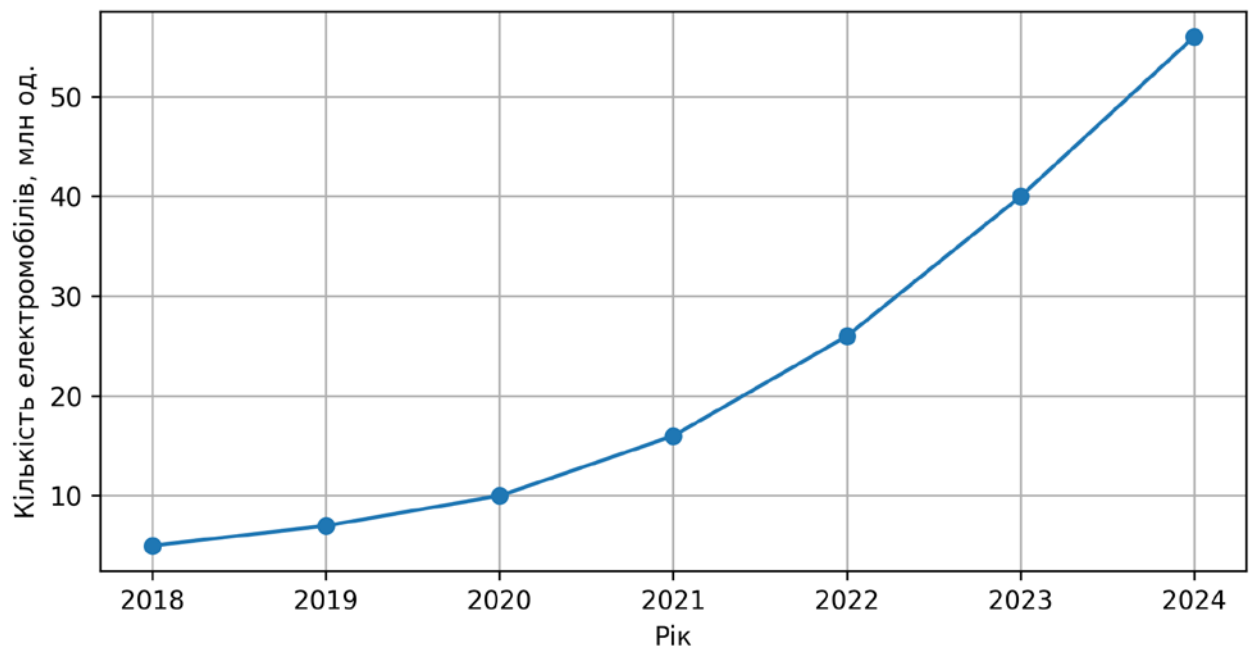


Рисунок 2.1. Динаміка зростання світового парку електромобілів у 2018-2024 роках

Сучасні електромобілі оснащуються літій-іонними акумуляторними батареями, які забезпечують достатній запас ходу та можливість швидкого заряджання [32]. Розвиток технологій дозволив значно підвищити енергоефективність електромобілів та зменшити їх експлуатаційні витрати.

В Україні також спостерігається поступове зростання кількості електромобілів. Основними причинами цього є підвищення цін на паливо, державні пільги на імпорт електротранспорту та розвиток зарядної інфраструктури [8]. Найбільш поширеними моделями є Nissan Leaf, Tesla Model 3, Volkswagen ID.4 та Hyundai Kona Electric.

Важливою особливістю сучасного автотранспорту є посилення екологічних вимог до транспортних засобів. У більшості країн світу впроваджуються стандарти Euro, які регламентують допустимий рівень викидів шкідливих речовин [2]. Такі вимоги стимулюють виробників до створення більш екологічних автомобілів.

Сучасний транспортний сектор характеризується також активним впровадженням інноваційних технологій. До них належать системи рекуперації енергії, автоматизовані системи керування, використання

альтернативних видів палива та інтеграція транспортних засобів у цифрові системи управління [24].

Таким чином, сучасний автомобільний транспорт перебуває на етапі трансформації, спрямованої на підвищення енергоефективності та зменшення негативного впливу на довкілля.

2.2 Викиди забруднюючих речовин автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння

Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння є одним із головних джерел забруднення атмосферного повітря. У процесі спалювання бензину або дизельного палива утворюється значна кількість шкідливих речовин, які негативно впливають на навколишнє середовище та здоров'я людини [3].

Основними компонентами вихлопних газів є оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO_x), вуглеводні, діоксид сірки, сажа та вуглекислий газ (CO₂) [12]. Обсяги викидів залежать від типу двигуна, якості палива, технічного стану автомобіля та режиму його роботи.

Одним із найбільш небезпечних забруднювачів є оксид вуглецю. Він утворюється внаслідок неповного згоряння палива та особливо характерний для бензинових двигунів [4]. У великих концентраціях CO є токсичним та небезпечним для людини.

Оксиди азоту формуються за високих температур у камері згоряння двигуна. Вони є основною причиною утворення фотохімічного смогу та кислотних дощів [22]. Дослідження показують, що дизельні двигуни утворюють більшу кількість NO_x порівняно з бензиновими.

Важливою проблемою є викиди дрібнодисперсного пилу PM₁₀ та PM_{2.5}. Основним джерелом цих частинок є дизельні двигуни [6]. Такі частинки мають дуже малі розміри та здатні проникати у дихальні шляхи людини, викликаючи захворювання органів дихання та серцево-судинної системи.

Окрім вихлопних газів, забруднення утворюється внаслідок стирання шин, гальмівних колодок та дорожнього покриття [15]. Такі частинки містять важкі метали та мікропластик, які накопичуються у довкіллі.

Одним із найбільш значущих показників є викиди вуглекислого газу. Середній легковий бензиновий автомобіль викидає приблизно 150–200 г CO₂ на 1 км пробігу [18]. Саме транспортний сектор є одним із найбільших джерел парникових газів у світі.

Для зменшення рівня забруднення у більшості країн запроваджуються екологічні стандарти Euro. Вони встановлюють гранично допустимі норми викидів для транспортних засобів [2]. Сучасні автомобілі оснащуються каталізаторами, системами очищення вихлопних газів та сажовими фільтрами.

Попри розвиток екологічних технологій, автомобілі з ДВЗ залишаються суттєвим джерелом негативного впливу на довкілля. Особливо гостро проблема проявляється у містах із високою щільністю транспортних потоків [10].

На рисунку 2.2. представлені порівняння середніх викидів CO₂ різними видами транспортних засобів

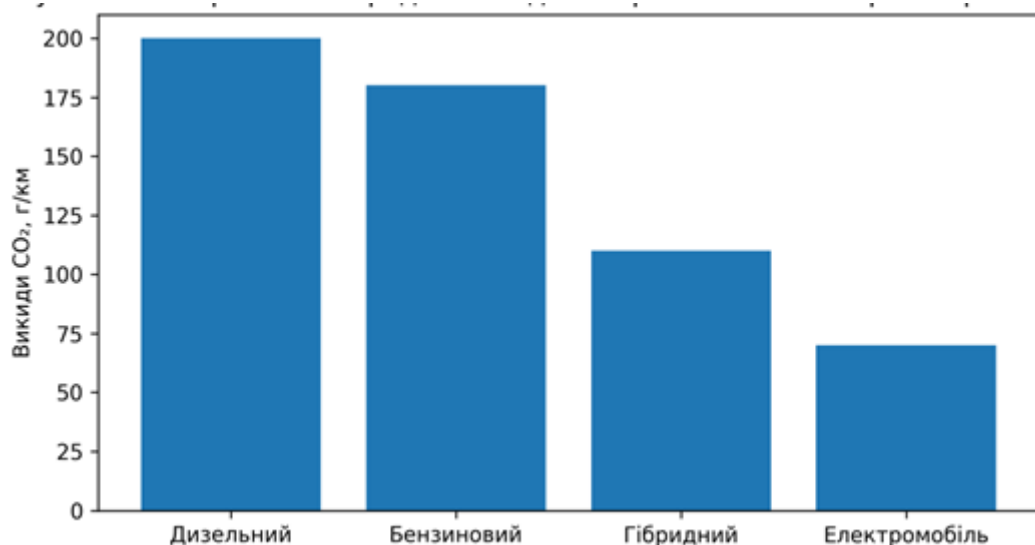


Рисунок 2.2. Порівняння середніх викидів CO₂ різними видами транспортних засобів

Таким чином, традиційний автомобільний транспорт характеризується значними обсягами викидів шкідливих речовин та парникових газів, що обумовлює необхідність переходу до більш екологічних видів транспорту.

2.3 Непрямі викиди електромобілів (пов'язані з виробництвом електроенергії)

Попри відсутність прямих вихлопних викидів, електромобілі не можна вважати повністю безпечними для довкілля. Їх експлуатація супроводжується непрямыми викидами, які пов'язані насамперед із виробництвом електроенергії для заряджання акумуляторів [27].

Обсяг непрямих викидів залежить від структури енергетичного балансу країни. Якщо електроенергія виробляється переважно на теплових електростанціях, що працюють на вугіллі або природному газі, то рівень викидів CO₂ є досить високим [31]. У країнах із високою часткою відновлюваної та атомної енергетики екологічна ефективність електромобілів є значно вищою.

Наприклад, у Норвегії основним джерелом електроенергії є гідроенергетика, тому непрямі викиди електромобілів є мінімальними [26]. Водночас у країнах, де переважають вугільні електростанції, рівень викидів при експлуатації електромобілів може бути значно більшим.

Важливим фактором є також виробництво акумуляторних батарей. Виготовлення літій-іонних акумуляторів потребує значних енергетичних витрат [32]. Під час видобутку літію, кобальту та нікелю утворюються промислові викиди, забруднюються водні ресурси та порушуються природні екосистеми.

Наукові дослідження показують, що найбільший екологічний вплив електромобілів припадає саме на етап виробництва [24]. Проте впродовж експлуатації електромобілі поступово компенсують цей вплив завдяки нижчим експлуатаційним викидам.

Значення має і джерело електроенергії, яке використовується власником транспортного засобу. Заряджання електромобіля від сонячних або вітрових електростанцій дозволяє практично повністю мінімізувати непрямі викиди [29].

Незважаючи на наявність непрямих викидів, більшість досліджень підтверджує, що сумарний екологічний вплив електромобілів є нижчим порівняно з автомобілями з ДВЗ [31]. Особливо помітним це є у країнах із низьковуглецевою енергетикою.

Таким чином, оцінка екологічної безпеки електромобілів повинна враховувати не лише експлуатаційний етап, а й виробництво електроенергії та акумуляторних батарей.

2.4 Порівняння рівня шумового забруднення

Шумове забруднення є важливою екологічною проблемою сучасних міст. Основним джерелом транспортного шуму є автомобільний транспорт [15]. Постійний вплив шуму негативно позначається на фізичному та психологічному стані людини.

Традиційні автомобілі створюють шум у результаті роботи двигуна внутрішнього згоряння, вихлопної системи, трансмісії та контакту шин із дорожнім покриттям [3]. Найбільший рівень шуму характерний для вантажного транспорту та автомобілів із дизельними двигунами.

Електромобілі мають значну перевагу у цьому аспекті. Відсутність двигуна внутрішнього згоряння забезпечує значно нижчий рівень шуму під час руху [35]. Особливо помітною різниця є при русі на невеликих швидкостях.

Зменшення шумового навантаження є важливим для густонаселених міських територій. Зниження рівня шуму позитивно впливає на якість життя населення та зменшує ризик розвитку серцево-судинних захворювань [15].

Разом із тим повністю усунути транспортний шум неможливо, оскільки на високих швидкостях основним джерелом шуму стає контакт шин із дорогою та аеродинамічний опір [35].

Таким чином, електромобілі забезпечують суттєве зменшення шумового забруднення у міському середовищі порівняно з традиційними автомобілями.

2.5 Вплив транспорту на зміну клімату (викиди CO₂)

Однією з найбільш актуальних екологічних проблем сучасності є зміна клімату. Основною причиною глобального потепління вважається збільшення концентрації парникових газів в атмосфері [30]. Значну роль у цьому процесі відіграє транспортний сектор.

Автомобільний транспорт є одним із найбільших джерел викидів CO₂ [20]. У процесі спалювання бензину та дизельного палива в атмосферу потрапляють великі обсяги вуглекислого газу, який сприяє посиленню парникового ефекту.

За даними міжнародних досліджень, транспортний сектор формує приблизно 20–25 % глобальних енергетичних викидів CO₂ [29]. Особливо швидко викиди зростають у країнах, де спостерігається стрімке збільшення кількості автомобілів.

Електромобілі розглядаються як один із найбільш ефективних способів скорочення транспортних викидів [24]. Під час експлуатації вони не утворюють прямих викидів CO₂, а сумарний рівень викидів залежить від способу виробництва електроенергії.

Наукові дослідження підтверджують, що навіть з урахуванням непрямих викидів електромобілі забезпечують суттєве скорочення викидів парникових газів [31]. Найбільший екологічний ефект досягається у разі використання відновлюваних джерел енергії.

Скорочення транспортних викидів є одним із головних напрямів міжнародної кліматичної політики. Багато країн планують поступову відмову

від автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння у найближчі десятиліття [26].

Таким чином, розвиток електротранспорту є важливим інструментом боротьби зі зміною клімату та зменшення антропогенного навантаження на атмосферу.

2.6 Екологічні ризики утилізації акумуляторів електромобілів

Однією з головних екологічних проблем розвитку електротранспорту є утилізація відпрацьованих акумуляторних батарей. Більшість сучасних електромобілів використовує літій-іонні акумулятори, які містять літій, кобальт, нікель, марганець та інші хімічні елементи [32].

Після завершення терміну експлуатації батареї можуть становити небезпеку для довкілля. У разі неправильного зберігання або утилізації токсичні речовини здатні потрапляти у ґрунт та воду [17].

Додатковою проблемою є пожежонебезпечність літій-іонних батарей. Пошкодження акумуляторів або порушення умов експлуатації можуть призводити до займання та виділення токсичних газів [33].

Сьогодні у світі активно розвиваються технології переробки акумуляторних батарей. Основною метою є повторне використання цінних металів та зменшення негативного впливу на довкілля [32].

Одним із перспективних напрямів є концепція «другого життя» акумуляторів. Після завершення використання в електромобілях батареї можуть застосовуватися для накопичення електроенергії у стаціонарних системах [33].

У країнах Європейського Союзу впроваджуються спеціальні нормативи щодо збору та переробки акумуляторних батарей [26]. Це дозволяє мінімізувати ризики забруднення навколишнього середовища.

Незважаючи на наявні проблеми, більшість дослідників вважає, що розвиток технологій переробки дозволить значно зменшити екологічні ризики, пов'язані з використанням електромобілів [17].

Таким чином в результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що традиційний автомобільний транспорт є одним із основних джерел забруднення навколишнього середовища та викидів парникових газів. Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння утворюють значні обсяги оксидів азоту, оксиду вуглецю, твердих частинок та CO₂, що негативно впливає на атмосферне повітря, клімат і здоров'я населення.

Електромобілі характеризуються значно нижчим рівнем експлуатаційних викидів та меншим шумовим навантаженням. Разом із тим їх екологічна ефективність залежить від джерел виробництва електроенергії та технологій утилізації акумуляторних батарей. Порівняльна характеристика екологічних показників електромобілів та автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння представлена в таблиці 2.1.

Проведений аналіз підтверджує доцільність розвитку електротранспорту як одного з основних напрямів зменшення негативного впливу транспортного сектору на довкілля.

Таблиця 2.1. Порівняння екологічних показників електромобілів та автомобілів з двигунами внутрішнього згорання

Показник	Автомобіль з ДВЗ	Електромобіль
Джерело енергії	Бензин або дизельне паливо	Електрична енергія
Наявність вихлопних газів	Наявні	Відсутні
Викиди CO ₂ під час експлуатації	150–250 г/км	0 г/км
Повні викиди CO ₂ (з урахуванням виробництва енергії)	180–250 г/км	50–90 г/км
Викиди оксидів азоту (NO _x)	Високі	Відсутні
Викиди оксиду вуглецю (CO)	Високі	Відсутні
Викиди твердих частинок (PM)	Наявні	Практично відсутні
Рівень шуму при русі	70–85 дБ	50–65 дБ
Коефіцієнт корисної дії двигуна	25–35 %	85–95 %
Споживання енергії	Викопне паливо	Електроенергія
Використання відновлюваної енергії	Практично неможливе	Можливе
Екологічний вплив у містах	Значний	Низький
Вплив на зміну клімату	Високий	Помірний
Витрати на технічне обслуговування	Вищі	Нижчі
Кількість рухомих деталей	Велика	Значно менша
Ризик забруднення мастильними матеріалами	Високий	Мінімальний
Необхідність утилізації акумуляторів	Відсутня	Необхідна
Потреба в зарядній інфраструктурі	Відсутня	Висока

Загальний рівень екологічної безпеки	Середній	Високий
---	----------	---------

Джерело: складено автором на основі [18, 24, 29, 31, 35].

РОЗДІЛ 3.

РОЗРАХУНОК ЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

3.1 Теоретичні основи оцінки екологічного ефекту від використання електромобілів

Одним із найважливіших напрямів сучасної екологічної політики є скорочення викидів парникових газів, які спричиняють глобальну зміну клімату. Особливе місце серед парникових газів займає діоксид вуглецю (CO_2), частка якого у загальному обсязі антропогенних викидів є найбільшою [20].

Транспортний сектор належить до основних джерел викидів CO_2 у світі. За оцінками міжнародних екологічних організацій, на транспорт припадає близько 20–25 % усіх енергетичних викидів парникових газів [29]. Найбільший внесок у формування цих викидів здійснює автомобільний транспорт, що використовує бензинові та дизельні двигуни.

Під час роботи двигуна внутрішнього згоряння відбувається процес окиснення вуглеводневого палива, у результаті якого утворюються діоксид вуглецю, водяна пара та інші продукти згоряння. Кількість утвореного CO_2 безпосередньо залежить від витрати палива та пройденої відстані [6].

На відміну від автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, електромобілі не здійснюють прямого спалювання палива під час експлуатації. Відповідно, під час руху вони не утворюють вихлопних газів та не викидають CO_2 безпосередньо в атмосферу [24].

Разом із тим для об'єктивної оцінки екологічної безпеки електромобілів необхідно враховувати не лише прямі, а й непрямі викиди парникових газів. Такі викиди пов'язані з виробництвом електричної енергії, яка використовується для заряджання акумуляторних батарей [31].

У сучасній екології та транспортній галузі для оцінювання впливу транспортних засобів на довкілля широко використовується показник

питомих викидів. Він характеризує кількість забруднюючої речовини, що припадає на одиницю пройденого шляху, та зазвичай вимірюється у грамах на кілометр (г/км).

Для порівняння екологічної ефективності різних транспортних засобів застосовується розрахунок річних викидів забруднюючих речовин. Такий підхід дозволяє оцінити реальний вплив транспортного засобу на навколишнє середовище протягом року експлуатації [18].

Екологічний ефект від впровадження електромобілів визначається як різниця між обсягами викидів традиційних автомобілів та електромобілів за однакових умов експлуатації. Чим більшою є різниця між цими показниками, тим вищою є екологічна доцільність переходу на електротранспорт [13].

Важливим показником є також відносне скорочення викидів, яке визначається у відсотках. Воно дає можливість оцінити ефективність електромобілів незалежно від величини пробігу або кількості транспортних засобів.

Під час оцінювання екологічного ефекту необхідно враховувати середньорічний пробіг транспортного засобу. Для легкових автомобілів в Україні та країнах Європи середній річний пробіг зазвичай становить від 10 до 20 тис. км [18]. У даній роботі для проведення розрахунків прийнято середнє значення — 15 000 км на рік.

Оцінка екологічного ефекту є важливим інструментом екологічного менеджменту та планування заходів зі скорочення антропогенного навантаження на довкілля. Отримані результати можуть використовуватися для обґрунтування доцільності впровадження електромобілів на підприємствах, у муніципальному транспорті та в приватному секторі.

Таким чином, проведення розрахунків викидів CO₂ та визначення екологічного ефекту від використання електромобілів дозволяє кількісно оцінити їх переваги порівняно з автомобілями, обладнаними двигунами внутрішнього згоряння, та підтвердити перспективність розвитку

електротранспорту як одного з напрямів підвищення екологічної безпеки транспортної системи.

3.2. Вихідні дані для розрахунку

Для оцінки екологічної ефективності електромобілів необхідно провести порівняльний аналіз рівня викидів парникових газів, які утворюються під час експлуатації різних типів транспортних засобів. Найбільш важливим показником при такому аналізі є обсяг викидів вуглекислого газу (CO_2), оскільки саме цей газ є одним із головних чинників зміни клімату [20].

У даній роботі для проведення розрахунків використано усереднені показники експлуатації легкового автомобіля та електромобіля. Такі дані дозволяють здійснити об'єктивне порівняння екологічних характеристик транспортних засобів.

Для розрахунку прийнято наступні вихідні дані:

- середній річний пробіг автомобіля — 15 000 км;
- середні питомі викиди CO_2 бензинового автомобіля — 180 г/км;
- середні питомі викиди електромобіля з урахуванням виробництва електроенергії — 70 г/км.

Вибір середнього пробігу 15 000 км обумовлений тим, що саме такий показник є характерним для більшості легкових автомобілів, які експлуатуються в міських умовах [18]. У країнах Європейського Союзу та в Україні середній річний пробіг легкових автомобілів коливається у межах 10–20 тис. км.

Питомі викиди бензинового автомобіля на рівні 180 г/км відповідають середнім показникам сучасних автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння [2]. Реальні викиди можуть змінюватися залежно від типу двигуна, умов експлуатації, технічного стану транспортного засобу та якості палива.

Для електромобіля прийнято показник 70 г/км, який враховує непрямі викиди CO₂, пов'язані з виробництвом електроенергії [31]. Необхідно зазначити, що електромобілі не утворюють прямих вихлопних викидів під час руху, однак певний рівень викидів виникає на електростанціях у процесі генерації електроенергії.

Проведення розрахунків на основі зазначених даних дозволяє оцінити екологічний ефект від переходу на електротранспорт та визначити потенційне скорочення викидів парникових газів.

3.3. Розрахунок річних викидів CO₂

Для визначення річного обсягу викидів CO₂ використовується формула:

$$M = q \times L$$

де:

M — річний обсяг викидів CO₂, г;

q — питомі викиди CO₂, г/км;

L — річний пробіг автомобіля, км.

1. Розрахунок річних викидів бензинового автомобіля

Для автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння:

- питомі викиди CO₂ — 180 г/км;
- річний пробіг — 15 000 км.

Підставимо значення у формулу:

$$M = 180 \times 15000$$

Отримуємо:

$$M = 2700000 \text{ г}$$

Переведемо значення у тонни:

$$M = 2700000 \text{ г} = 2,7 \text{ т CO}_2$$

Таким чином, середній бензиновий автомобіль утворює приблизно 2,7 т CO₂ на рік.

Отриманий результат підтверджує, що автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння є значним джерелом парникових газів [20]. Особливо суттєвий внесок транспорт здійснює у великих містах із високою інтенсивністю дорожнього руху.

2. Розрахунок річних викидів електромобіля

Для електромобіля:

- питомі непрямі викиди CO₂ — 70 г/км;
- річний пробіг — 15 000 км.

Підставимо значення у формулу:

$$M = 70 \times 15000$$

Отримуємо:

$$M = 2700000 \text{ г}$$

Переведемо значення у тонни:

$$M = 1050000 \text{ г} = 1,05 \text{ т CO}_2$$

Отже, електромобіль із урахуванням непрямих викидів утворює приблизно 1,05 т CO₂ на рік.

Незважаючи на те, що електромобілі також пов'язані з певними викидами через виробництво електроенергії, їх сумарний вплив на клімат є значно меншим порівняно з традиційними автомобілями [27].

3.4. Розрахунок зменшення викидів CO₂

Для оцінки екологічного ефекту від використання електромобілів необхідно визначити різницю між річними викидами традиційного автомобіля та електромобіля.

Розрахунок скорочення викидів виконується за формулою:

$$\Delta M = M_b - M_e$$

де:

ΔM — скорочення викидів CO₂;

M_b — викиди бензинового автомобіля;

M_e — викиди електромобіля.

Підставимо отримані значення:

$$\Delta M = 2,7 - 1,05$$

Отримуємо:

$$\Delta M = 1.65 \text{ т CO}_2$$

Таким чином, використання одного електромобіля дозволяє зменшити викиди вуглекислого газу приблизно на 1,65 т CO₂ щороку.

Для визначення відносного скорочення викидів використовується формула:

$$E = \Delta M / M_6 \times 100\%$$

Підставимо значення:

$$E = 1,65/2,7 \times 100\%$$

Отримуємо:

$$E \approx 61 \%$$

Отже, використання електромобіля забезпечує скорочення викидів CO₂ приблизно на 60 % порівняно з традиційним бензиновим автомобілем.

Отримані результати підтверджують високу екологічну ефективність електротранспорту [31]. Особливо значним екологічний ефект є у країнах із низьковуглецевою енергетикою.

3.5. Розрахунок екологічного ефекту для автопарку

Для більш наочного визначення екологічного ефекту проведемо розрахунок для умовного підприємства, яке має автопарк із 100 транспортних засобів.

Припустимо, що всі автомобілі підприємства будуть замінені на електромобілі.

Скорочення викидів для одного автомобіля становить:

$$\Delta M = 1.65 \text{ т CO}_2/\text{рік}$$

Тоді загальне скорочення викидів визначається за формулою:

$$\sum \Delta M = \Delta M \times n$$

де:

$\sum \Delta M$ — загальне скорочення викидів;

ΔM — скорочення викидів для одного автомобіля;

n — кількість транспортних засобів.

Підставимо значення:

$$\sum \Delta M = 1.65 \times 100$$

Отримуємо:

$$\sum \Delta M = 165 \text{ т CO}_2/\text{рік}$$

Таким чином, заміна 100 бензинових автомобілів на електромобілі дозволяє скоротити викиди вуглекислого газу приблизно на 165 т CO₂ щороку.

Отриманий результат свідчить про значний екологічний ефект від електрифікації транспортного сектору. Навіть частковий перехід підприємств на електротранспорт може суттєво знизити антропогенне навантаження на атмосферу [18].

Крім скорочення викидів CO₂, використання електромобілів дозволяє зменшити рівень шумового забруднення, покращити якість атмосферного повітря та знизити споживання викопного палива [35].

3.6. Аналіз результатів розрахунків

Проведені розрахунки підтверджують, що електромобілі мають значно нижчий рівень викидів парникових газів порівняно з автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння. Навіть із урахуванням непрямих викидів, пов'язаних із виробництвом електроенергії, рівень викидів CO₂ для електромобілів є суттєво меншим [27].

Основною причиною цього є висока енергоефективність електродвигунів та відсутність процесу спалювання палива під час експлуатації транспортного засобу [24]. Електромобілі дозволяють значно зменшити негативний вплив транспорту на атмосферне повітря та клімат.

Особливо важливим є екологічний ефект у великих містах, де транспорт є основним джерелом забруднення повітря [22]. Масове впровадження електротранспорту може сприяти зниженню концентрації шкідливих речовин у повітрі та покращенню стану здоров'я населення.

Разом із тим ефективність електромобілів залежить від структури енергетичного сектору держави. Чим більша частка відновлюваних джерел енергії у виробництві електроенергії, тим нижчими будуть непрямі викиди CO₂ [29].

Важливим напрямом підвищення екологічної безпеки є також розвиток систем утилізації та переробки акумуляторних батарей [33]. Це дозволить мінімізувати ризики забруднення довкілля токсичними компонентами акумуляторів.

Таким чином, результати розрахунків підтверджують доцільність розвитку електротранспорту як одного з ключових напрямів зменшення негативного впливу транспортного сектору на довкілля та боротьби зі зміною клімату.

У результаті проведених розрахунків встановлено, що електромобілі мають значно нижчий рівень викидів CO₂ порівняно з традиційними автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння.

Річні викиди бензинового автомобіля при пробігу 15 000 км становлять приблизно 2,7 т CO₂, тоді як для електромобіля цей показник складає близько 1,05 т CO₂.

Використання одного електромобіля дозволяє скоротити викиди приблизно на 1,65 т CO₂ на рік, що становить близько 60 % від рівня викидів традиційного автомобіля.

Для автопарку із 100 транспортних засобів загальний екологічний ефект може становити близько 165 т CO₂ на рік, що підтверджує високу екологічну ефективність електротранспорту.

Отримані результати свідчать про перспективність впровадження електромобілів як важливого напрямку забезпечення екологічної безпеки транспортного сектору.

РОЗДІЛ 4.

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

4.1 Порівняльний аналіз отриманих результатів

У сучасних умовах транспортний сектор є одним із найбільших джерел антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Постійне зростання кількості транспортних засобів, збільшення інтенсивності дорожнього руху та високий рівень споживання викопного палива призводять до значного погіршення екологічного стану атмосферного повітря, зростання рівня шумового забруднення та посилення процесів глобальної зміни клімату [3].

У результаті проведеного дослідження було здійснено комплексний аналіз екологічних показників електромобілів та автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння. Основна увага приділялася оцінці рівня викидів забруднюючих речовин, обсягів утворення парникових газів, шумового впливу, енергоефективності та потенційних екологічних ризиків.

Результати проведених розрахунків показали, що традиційний бензиновий автомобіль при середньому річному пробігу 15 000 км утворює приблизно 2,7 т CO₂ на рік. Для електромобіля аналогічний показник становить близько 1,05 т CO₂ з урахуванням непрямих викидів, пов'язаних із виробництвом електроенергії [31]. Таким чином, використання електромобіля дозволяє скоротити викиди приблизно на 1,65 т CO₂ щорічно.

Отримані результати підтверджують, що електротранспорт має суттєві переваги у сфері боротьби зі зміною клімату. Навіть за умов використання електроенергії, виробленої традиційними електростанціями, сумарний рівень викидів електромобілів залишається нижчим порівняно з автомобілями з ДВЗ [29].

Особливо важливим є той факт, що електромобілі не утворюють вихлопних газів безпосередньо під час руху. У результаті цього значно

знижується концентрація токсичних речовин у повітрі великих міст. Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння є основними джерелами оксидів азоту, оксиду вуглецю, сажі та дрібнодисперсних частинок PM_{2.5} і PM₁₀ [6]. Дані речовини негативно впливають на органи дихання людини та можуть спричиняти розвиток серцево-судинних захворювань.

Крім забруднення повітря, важливою проблемою сучасних міст є шумове навантаження. У процесі дослідження встановлено, що електромобілі створюють значно нижчий рівень шуму порівняно з автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння [35]. Особливо помітною ця перевага є при русі на невеликих швидкостях, характерних для міських умов.

Порівняльний аналіз також показав суттєву різницю в енергоефективності транспортних засобів. Коефіцієнт корисної дії електродвигуна може перевищувати 90 %, тоді як ККД бензинових двигунів зазвичай не перевищує 30–35 % [24]. Це означає, що електромобілі значно ефективніше використовують енергію.

Разом із тим проведений аналіз дозволив виявити і певні проблеми, пов'язані з використанням електромобілів. Найбільш суттєвими є:

- екологічні наслідки виробництва акумуляторів;
- використання рідкісних металів;
- потреба у розвиненій зарядній інфраструктурі;
- проблема утилізації батарей;
- залежність від структури енергетики держави.

Виробництво літій-іонних акумуляторів супроводжується значними енергетичними витратами та використанням природних ресурсів [32]. Видобуток літію, кобальту та нікелю може спричиняти деградацію природних екосистем, забруднення водних ресурсів та утворення промислових відходів.

Однак більшість сучасних досліджень підтверджує, що навіть з урахуванням виробництва батарей сумарний екологічний вплив електромобілів упродовж життєвого циклу є нижчим порівняно з традиційними транспортними засобами [24].

Таким чином, результати порівняльного аналізу свідчать про значні екологічні переваги електротранспорту та підтверджують доцільність його подальшого розвитку.

4.2 Оцінка екологічної ефективності електромобілів

Екологічна ефективність транспортного засобу визначається сукупністю показників, які характеризують рівень його впливу на довкілля протягом усього життєвого циклу [18]. До основних критеріїв належать рівень викидів парникових газів, забруднення атмосферного повітря, енергоефективність, шумове навантаження, використання природних ресурсів та утворення відходів.

Проведений аналіз показує, що електромобілі мають значно вищу екологічну ефективність порівняно з автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння. Основною причиною цього є відсутність процесу спалювання палива під час експлуатації [24].

Однією з головних переваг електромобілів є скорочення викидів парникових газів. За даними міжнародних досліджень, транспортний сектор формує приблизно чверть глобальних викидів CO₂ [29]. Перехід на електротранспорт дозволяє суттєво знизити навантаження на атмосферу та сприяє реалізації міжнародних кліматичних програм.

Важливим аспектом є покращення якості повітря у містах. Автомобілі з ДВЗ утворюють значну кількість токсичних речовин, які накопичуються у приземному шарі атмосфери [3]. Електромобілі не мають вихлопної системи, тому не утворюють оксидів азоту, чадного газу та сажі під час руху.

Значною перевагою є також високий рівень енергоефективності електродвигунів. Електромобілі витрачають значно менше енергії на переміщення транспортного засобу, а також здатні частково повертати енергію за допомогою систем рекуперації під час гальмування [24].

Не менш важливим є зниження шумового навантаження. Постійний транспортний шум негативно впливає на нервову систему людини, спричиняє стрес та порушення сну [15]. Електромобілі дозволяють суттєво зменшити рівень шуму у міському середовищі.

Разом із перевагами необхідно враховувати і певні обмеження екологічної ефективності електромобілів. Вони пов'язані насамперед із джерелами виробництва електроенергії. Якщо електроенергія виробляється переважно на теплових електростанціях, екологічний ефект електротранспорту частково знижується [31].

Окремою проблемою є виробництво акумуляторних батарей. Виготовлення літій-іонних батарей супроводжується значним споживанням енергії та використанням рідкісних металів [32]. Крім того, після завершення терміну експлуатації батареї потребують спеціальної утилізації.

Проте розвиток технологій поступово знижує негативний вплив акумуляторного виробництва. У світі активно впроваджуються системи переробки батарей та повторного використання матеріалів [33].

Таким чином, загальна оцінка екологічної ефективності електромобілів свідчить про їх суттєві переваги порівняно з традиційним транспортом, особливо у довгостроковій перспективі.

4.3 Основні переваги електротранспорту для довкілля

Електротранспорт є одним із найбільш перспективних напрямів екологізації транспортного сектору. Його розвиток сприяє зменшенню негативного впливу транспорту на довкілля та покращенню екологічної ситуації у містах [26]. Основні переваги впровадження електротранспорту для покращення стану навколишнього середовища представлені на рисунку 4.1.

Однією з найважливіших переваг електромобілів є зменшення забруднення атмосферного повітря. Автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння утворюють значні обсяги токсичних речовин, які є причиною

погіршення якості повітря [3]. Електромобілі під час руху не утворюють вихлопних газів, що дозволяє знизити концентрацію шкідливих речовин у міському середовищі.



Рисунок 4.1. Основні переваги впровадження електротранспорту для покращення стану навколишнього середовища.

Використання електромобілів сприяє також скороченню викидів парникових газів [20]. Це є важливим фактором боротьби зі зміною клімату та виконання міжнародних екологічних зобов'язань.

Ще однією важливою перевагою є зниження шумового навантаження. У сучасних містах транспортний шум є серйозною санітарно-екологічною проблемою [15]. Електромобілі працюють значно тихіше, особливо на невеликих швидкостях.

Важливим екологічним аспектом є також скорочення споживання викопного палива. Масове впровадження електромобілів дозволяє зменшити

використання бензину та дизельного палива [13]. Це сприяє зниженню залежності економіки від нафтових ресурсів.

Електромобілі характеризуються високою енергоефективністю та нижчими експлуатаційними витратами [24]. Крім того, вони мають меншу кількість рухомих деталей, що знижує потребу в технічному обслуговуванні та мастильних матеріалах.

Розвиток електротранспорту стимулює також розвиток відновлюваної енергетики [29]. Використання сонячної та вітрової енергії для заряджання електромобілів дозволяє практично повністю мінімізувати непрямі викиди CO₂.

Електромобілі можуть бути важливим елементом концепції «розумного міста», що передбачає інтеграцію транспорту, енергетики та цифрових технологій [24]. Це дозволяє оптимізувати транспортні потоки та зменшити екологічне навантаження на міське середовище.

Таким чином, електротранспорт має значний потенціал для покращення екологічного стану довкілля та забезпечення сталого розвитку транспортної системи.

4.4 Проблеми впровадження електромобілів

Незважаючи на значні екологічні переваги, розвиток електротранспорту супроводжується низкою технічних, економічних та екологічних проблем [17].

Однією з основних проблем є висока вартість електромобілів. Основну частину ціни становлять акумуляторні батареї, виробництво яких є складним та дорогим процесом [32]. Через це електромобілі залишаються менш доступними для значної частини населення.

Суттєвою проблемою є також недостатній розвиток зарядної інфраструктури. Для ефективного функціонування електротранспорту необхідна велика кількість зарядних станцій [26]. Особливо актуальною ця проблема є для невеликих міст та сільських територій.

Ще одним фактором є тривалість заряджання акумуляторів. Навіть сучасні швидкісні зарядні станції потребують значно більше часу для заряджання транспортного засобу порівняно із заправленням традиційного автомобіля паливом [24].

Важливою технічною проблемою є обмежений запас ходу окремих моделей електромобілів. Хоча сучасні технології постійно вдосконалюються, проблема автономності залишається актуальною для користувачів, які здійснюють далекі поїздки.

Окрему екологічну проблему становить утилізація акумуляторних батарей [33]. Після завершення терміну експлуатації батареї містять токсичні речовини та потребують спеціальної переробки.

Крім того, виробництво акумуляторів потребує видобутку рідкісних металів — літію, кобальту та нікелю [32]. Їх видобування може супроводжуватися деградацією природних екосистем та забрудненням довкілля.

Ще одним фактором є навантаження на енергетичну систему. Масовий перехід на електротранспорт потребуватиме модернізації електромереж та збільшення обсягів виробництва електроенергії [31].

Не менш важливими є соціально-психологічні бар'єри. Частина населення недостатньо поінформована щодо переваг електромобілів або не довіряє новим технологіям [8].

Таким чином, для ефективного розвитку електротранспорту необхідно вирішити комплекс економічних, технічних та екологічних проблем.

4.5 Рекомендації щодо розвитку електротранспорту

Проведений аналіз екологічних характеристик електромобілів свідчить про їх значний потенціал у зниженні негативного впливу транспортного сектору на навколишнє середовище. Проте для повноцінної реалізації екологічних переваг електротранспорту необхідне впровадження комплексу

організаційних, економічних, технологічних та законодавчих заходів. Ефективний розвиток електротранспорту повинен здійснюватися на державному, регіональному та місцевому рівнях із залученням органів влади, підприємств, наукових установ та громадськості.

Одним із першочергових напрямів розвитку електротранспорту є розширення зарядної інфраструктури. Недостатня кількість зарядних станцій залишається одним із головних факторів, що стримує поширення електромобілів серед населення та підприємств [26]. Для забезпечення комфортної експлуатації електротранспорту необхідно створити розгалужену мережу зарядних станцій у містах, на міжміських автомагістралях, поблизу торговельних центрів, офісних комплексів, житлових кварталів та об'єктів соціальної інфраструктури. Особливу увагу необхідно приділити розвитку мереж швидкісного заряджання, що дозволить скоротити час зарядки транспортних засобів та підвищити їх конкурентоспроможність порівняно з автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння.

Важливим напрямом є державна підтримка розвитку електротранспорту. Світовий досвід показує, що найбільш успішне впровадження електромобілів спостерігається в країнах, де застосовуються різноманітні механізми стимулювання їх придбання та використання [29]. До таких механізмів належать податкові пільги, часткова компенсація вартості електромобілів, звільнення від окремих зборів та платежів, пільгове кредитування, а також підтримка підприємств, які здійснюють виробництво або обслуговування електротранспорту.

Однією з ефективних форм державного стимулювання може стати впровадження програм оновлення автопарків державних установ та комунальних підприємств шляхом поступової заміни автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння на електромобілі. Такий підхід дозволить не лише скоротити викиди забруднюючих речовин, але й продемонструвати практичну ефективність електротранспорту для інших секторів економіки.

Особливого значення набуває розвиток відновлюваних джерел енергії. Хоча електромобілі не утворюють вихлопних газів під час експлуатації, непрямі викиди парникових газів залежать від структури виробництва електроенергії [31]. У разі використання електроенергії, виробленої тепловими електростанціями, загальний екологічний ефект частково знижується. Тому розвиток сонячної, вітрової, гідро- та біоенергетики є важливою умовою максимальної екологізації транспортного сектору.

Перспективним напрямом є створення інтегрованих систем, у яких заряджання електромобілів здійснюється безпосередньо від відновлюваних джерел енергії. Наприклад, встановлення сонячних панелей на дахах паркінгів або зарядних станцій дозволяє забезпечити часткове або повне покриття потреб у електроенергії для зарядки транспортних засобів. Такі рішення вже активно впроваджуються в країнах Європейського Союзу та демонструють високий рівень екологічної ефективності.

Важливим напрямом розвитку електротранспорту є вдосконалення технологій акумуляторних батарей. Саме акумулятори значною мірою визначають вартість електромобіля, його запас ходу, безпеку експлуатації та екологічний вплив [32]. Наукові дослідження у сфері накопичення енергії спрямовані на збільшення ємності батарей, скорочення часу заряджання, підвищення терміну служби та зменшення використання дефіцитних матеріалів.

Особливо актуальним є розвиток технологій переробки та повторного використання акумуляторів. Після завершення експлуатаційного ресурсу батареї містять значну кількість цінних матеріалів, зокрема літій, кобальт, нікель та мідь [33]. Створення ефективної системи збору та переробки акумуляторів дозволить не лише зменшити негативний вплив на довкілля, але й скоротити потребу у видобутку нових природних ресурсів. Впровадження принципів циркулярної економіки у сфері виробництва та утилізації батарей є одним із найважливіших завдань розвитку електротранспорту в майбутньому.

Суттєвого значення набуває розвиток громадського електротранспорту. Екологічний ефект від заміни одного приватного автомобіля є відносно невеликим, тоді як електрифікація громадського транспорту дозволяє скоротити викиди в значно більших масштабах [24]. Використання електробусів, тролейбусів нового покоління, електровантажівок та електротаксі сприяє покращенню якості атмосферного повітря та зниженню рівня шуму в міському середовищі.

Для великих міст доцільним є створення спеціальних екологічних зон, де буде обмежено рух транспортних засобів із двигунами внутрішнього згоряння та надано перевагу електротранспорту. Подібна практика вже успішно реалізується в багатьох країнах Європи та сприяє зменшенню концентрації забруднюючих речовин у центральних районах міст.

Необхідним заходом є вдосконалення нормативно-правового забезпечення функціонування електротранспорту. Законодавство повинно регламентувати питання безпеки експлуатації електромобілів, вимоги до зарядної інфраструктури, порядок утилізації акумуляторних батарей та стандарти екологічної безпеки [17]. Важливим є також гармонізація українських нормативних документів із європейськими стандартами у сфері електротранспорту.

Особливу роль у розвитку електротранспорту відіграє науково-технічний прогрес. Необхідно підтримувати наукові дослідження у сфері нових типів акумуляторів, водневих технологій, інтелектуальних транспортних систем та цифрового управління транспортною інфраструктурою. Впровадження інноваційних технологій дозволить підвищити ефективність транспортної системи та зменшити її екологічний вплив.

Важливим напрямом є підвищення рівня екологічної свідомості населення. Значна частина громадян недостатньо поінформована про екологічні переваги електромобілів та можливості їх використання [8]. Проведення інформаційних кампаній, освітніх програм та популяризація

екологічно відповідальної поведінки можуть сприяти зростанню попиту на електротранспорт.

Доцільним є також впровадження систем екологічного моніторингу транспортного сектору. Регулярне спостереження за рівнем викидів, шумового навантаження та станом атмосферного повітря дозволить оцінювати ефективність заходів із розвитку електротранспорту та своєчасно коригувати екологічну політику.

Таким чином, успішний розвиток електротранспорту потребує реалізації комплексу взаємопов'язаних заходів, спрямованих на вдосконалення інфраструктури, підтримку інновацій, розвиток відновлюваної енергетики, підвищення екологічної свідомості населення та вдосконалення нормативно-правового регулювання. Реалізація зазначених рекомендацій дозволить забезпечити подальше скорочення викидів забруднюючих речовин, підвищити рівень екологічної безпеки транспортної системи та сприятиме досягненню цілей сталого розвитку.

Для забезпечення ефективного впровадження електромобілів необхідно здійснювати державну підтримку електротранспорту, розвивати відновлювану енергетику, вдосконалювати технології переробки акумуляторів та підвищувати рівень екологічної свідомості населення.

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Безпека обслуговування електромобілів

Стрімкий розвиток електротранспорту у світі та в Україні призводить до зростання кількості електромобілів, що, у свою чергу, обумовлює необхідність забезпечення належного рівня охорони праці під час їх експлуатації, технічного обслуговування та ремонту. На відміну від традиційних автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння, електромобілі оснащені високовольтними електричними системами та потужними акумуляторними батареями, які створюють додаткові виробничі ризики для персоналу [17].

Безпека обслуговування електромобілів є важливою складовою системи охорони праці на підприємствах транспортної галузі. Неналежне виконання робіт або порушення правил техніки безпеки може призвести до ураження електричним струмом, виникнення пожежі, вибуху акумуляторної батареї чи отруєння токсичними речовинами [5].

Основними небезпечними факторами під час технічного обслуговування електромобілів є:

- наявність високої напруги у тяговій системі;
- ризик короткого замикання;
- можливість займання акумуляторної батареї;
- виділення токсичних газів;
- механічні травми;
- вплив електромагнітного поля;
- підвищене тепловиділення елементів батареї.

У більшості сучасних електромобілів робоча напруга тягової батареї становить від 300 до 800 В [24]. Такий рівень напруги є смертельно небезпечним для людини у разі контакту зі струмопровідними частинами.

Особливістю електромобілів є те, що навіть після вимкнення запалювання окремі елементи електричної системи можуть певний час

залишатися під напругою. Це створює додаткову небезпеку під час проведення ремонтних робіт [17].

Для забезпечення безпечних умов праці приміщення для обслуговування електромобілів повинні відповідати спеціальним вимогам.

Робочі зони необхідно оснащувати:

- вентиляційними системами;
- засобами пожежогасіння;
- системами аварійного відключення живлення;
- діелектричними покриттями;
- попереджувальними знаками безпеки;
- засобами контролю електричної напруги.

Важливим елементом безпеки є організація робочого місця. Робоча зона повинна бути сухою, добре освітленою та захищеною від випадкового контакту сторонніх осіб із високовольтним обладнанням [5].

Перед початком технічного обслуговування необхідно виконати повне знеструмлення електромобіля. Для цього застосовуються спеціальні сервісні роз'єми або аварійні вимикачі високовольтної системи [24].

Працівники, які виконують обслуговування електромобілів, повинні використовувати засоби індивідуального захисту:

- діелектричні рукавички;
- діелектричне взуття;
- захисні окуляри;
- спецодяг;
- інструмент з ізольованими ручками;
- захисні каски.

Особливу увагу необхідно приділяти роботам з акумуляторними батареями. У разі механічного пошкодження або перегріву батарея може виділяти токсичні речовини та створювати небезпеку займання [33].

Для забезпечення належного рівня охорони праці необхідно регулярно проводити інструктажі, перевірку знань персоналу та навчання правилам безпечної роботи з електротранспортом [5].

Таким чином, безпечне обслуговування електромобілів потребує комплексного підходу, який включає технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні заходи.

5.2 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при роботі з електромобілями

Однією з найбільш небезпечних особливостей електромобілів є наявність високовольтних систем, що забезпечують роботу тягового електродвигуна, заряджання акумуляторної батареї та функціонування допоміжного електрообладнання [24].

Робота з високовольтними системами пов'язана з ризиком ураження електричним струмом, виникнення електричної дуги, короткого замикання та пожежі [5]. Ураження струмом може призвести до тяжких травм, опіків, порушення роботи серцево-судинної системи або летального наслідку.

Найбільш небезпечними є роботи, пов'язані з:

- демонтажем акумуляторних батарей;
- ремонтом силових кабелів;
- обслуговуванням інверторів;
- діагностикою високовольтних систем;
- ремонтом зарядних пристроїв.

Високовольтна система електромобіля позначається спеціальними попереджувальними знаками та помаранчевим кольором кабелів [17]. Це дозволяє швидко ідентифікувати небезпечні елементи під час виконання робіт.

Основними причинами аварійних ситуацій є:

- порушення правил електробезпеки;
- використання несправного обладнання;
- недотримання технології ремонту;

- відсутність засобів захисту;
- пошкодження ізоляції;
- помилки персоналу.

Особливу небезпеку становить електрична дуга, яка може виникнути при короткому замиканні. Температура електричної дуги може перевищувати декілька тисяч градусів, що призводить до тяжких термічних опіків [5].

Для зниження ризику ураження електричним струмом роботи необхідно проводити лише після виконання таких заходів:

1. повне знеструмлення системи;
2. перевірка відсутності напруги;
3. блокування можливості повторного ввімкнення;
4. використання діелектричних засобів захисту;
5. огороження небезпечної зони.

Важливим елементом безпеки є контроль технічного стану електрообладнання. Необхідно регулярно перевіряти:

- стан ізоляції кабелів;
- справність роз'ємів;
- герметичність акумуляторної батареї;
- роботу систем охолодження;
- відсутність механічних пошкоджень.

Працівники, які виконують роботи з високовольтними системами, повинні мати відповідну групу допуску з електробезпеки та проходити спеціальне навчання [5].

Крім електричної небезпеки, високовольтні системи створюють ризик теплового впливу та займання. При перевантаженні або пошкодженні батареї можливе різке підвищення температури елементів живлення [33].

Таким чином, робота з високовольтними системами електромобілів вимагає суворого дотримання вимог електробезпеки та використання сучасних засобів захисту.

5.3 Санітарно-гігієнічні вимоги до робочих приміщень

Для забезпечення безпечних умов праці при обслуговуванні електромобілів важливе значення мають санітарно-гігієнічні умови виробничих приміщень. Належний мікроклімат, освітлення, вентиляція та рівень шуму безпосередньо впливають на працездатність персоналу та безпеку виконання робіт [5].

Приміщення для обслуговування електромобілів повинні бути достатньо просторими для безпечного переміщення працівників та обладнання. Робочі проходи не повинні захаращуватися інструментами або деталями транспортних засобів.

Особливу увагу необхідно приділяти вентиляції. Під час роботи з акумуляторними батареями можуть виділятися небезпечні гази та аерозолі [33]. Для їх видалення приміщення повинні обладнуватися припливно-витяжною вентиляцією.

Температура повітря у виробничих приміщеннях повинна відповідати санітарним нормам. Надмірно висока температура може негативно впливати як на персонал, так і на роботу акумуляторних систем [17].

Важливим фактором є освітлення робочих місць. Недостатній рівень освітлення підвищує ризик виробничого травматизму та ускладнює виконання точних робіт із електрообладнанням [5].

Для зменшення втомлюваності працівників необхідно контролювати рівень шуму та вібрації. Хоча електромобілі створюють менший рівень шуму порівняно з автомобілями з ДВЗ, у процесі ремонту можуть використовуватися шумні інструменти та обладнання.

Підлога у приміщеннях повинна бути неслизькою, стійкою до впливу електролітів та обладнана діелектричними покриттями [5].

У виробничих приміщеннях необхідно забезпечити:

- наявність аптечки першої допомоги;
- доступ до засобів пожежогасіння;

- аварійне освітлення;
- систему оповіщення;
- евакуаційні виходи.

Таким чином, дотримання санітарно-гігієнічних вимог є важливою умовою забезпечення безпечної роботи персоналу.

5.4 Вимоги до технічного персоналу

Безпечне обслуговування електромобілів неможливе без належного рівня підготовки технічного персоналу. Працівники повинні мати спеціальні знання у сфері електротехніки, електробезпеки та будови електромобілів [24].

Основними вимогами до персоналу є:

- відповідна професійна освіта;
- проходження спеціального навчання;
- наявність групи допуску з електробезпеки;
- знання правил охорони праці;
- проходження медичного огляду.

Працівники повинні проходити:

- вступний інструктаж;
- первинний інструктаж;
- повторний інструктаж;
- позаплановий інструктаж;
- цільовий інструктаж.

Особлива увага приділяється навчанню правилам роботи з високовольтними системами [5]. Працівники повинні вміти:

- безпечно знеструмлювати електромобіль;
- проводити перевірку відсутності напруги;
- використовувати діелектричні засоби захисту;
- виконувати аварійне відключення систем;
- надавати першу допомогу.

До робіт із високовольтними системами допускаються лише особи, які мають відповідну кваліфікацію та пройшли перевірку знань [5].

Важливою вимогою є регулярне підвищення кваліфікації персоналу. Технології електромобілів швидко розвиваються, тому працівники повинні постійно оновлювати свої знання [24].

Працівники також повинні знати порядок дій у разі аварійної ситуації, пожежі або пошкодження акумуляторної батареї [33].

Таким чином, високий рівень професійної підготовки персоналу є однією з основних умов безпечної експлуатації електромобілів.

5.5 Пожежна безпека акумуляторних систем

Пожежна безпека є однією з найважливіших складових охорони праці при експлуатації електромобілів. Основну небезпеку становлять літій-іонні акумуляторні батареї, які мають високу енергетичну щільність [32].

У разі пошкодження, короткого замикання або перегріву батареї може виникнути процес теплового розгону — неконтрольованого підвищення температури, що супроводжується займанням та виділенням токсичних речовин [33].

Основними причинами займання батарей є:

- механічне пошкодження;
- перезарядження;
- коротке замикання;
- порушення системи охолодження;
- виробничі дефекти;
- неправильна експлуатація.

Пожежі літій-іонних батарей характеризуються складністю гасіння та високою температурою горіння [33]. Крім того, під час пожежі виділяються токсичні гази, які можуть становити небезпеку для людей.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно:

- використовувати сертифіковане зарядне обладнання;

- контролювати температуру батарей;
- уникати механічних пошкоджень;
- дотримуватися правил заряджання;
- регулярно проводити технічний огляд.

Приміщення для обслуговування електромобілів повинні бути обладнані:

- автоматичною пожежною сигналізацією;
- системами пожежогасіння;
- вогнегасниками;
- вентиляцією;
- аварійними виходами.

У разі виникнення пожежі необхідно:

1. припинити подачу електроенергії;
2. евакуювати людей;
3. викликати пожежну службу;
4. використовувати засоби пожежогасіння;
5. контролювати стан батареї після ліквідації пожежі.

Працівники повинні проходити навчання з пожежної безпеки та знати правила користування засобами пожежогасіння [5].

Таким чином, забезпечення пожежної безпеки є необхідною умовою безпечної експлуатації електромобілів.

5.6 Заходи щодо покращення умов праці та безпеки персоналу

Для зниження рівня виробничого травматизму та забезпечення безпечних умов праці необхідно впроваджувати сучасні організаційні та технічні заходи [5].

Основними напрямками підвищення безпеки є:

- автоматизація процесів діагностики;
- використання сучасних засобів захисту;
- удосконалення систем вентиляції;
- впровадження систем моніторингу батарей;

- регулярне навчання персоналу;
- проведення профілактичних перевірок обладнання.

Важливе значення має використання сучасних інформаційних систем контролю технічного стану електромобілів [24]. Це дозволяє своєчасно виявляти несправності та запобігати аварійним ситуаціям.

Необхідно також здійснювати постійний контроль умов праці та проводити оцінку професійних ризиків [5].

Таким чином, комплексний підхід до охорони праці дозволяє суттєво підвищити рівень безпеки при експлуатації та обслуговуванні електромобілів.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що експлуатація та обслуговування електромобілів супроводжуються специфічними виробничими ризиками, пов'язаними з використанням високовольтних систем та літій-іонних акумуляторних батарей.

Основними небезпечними факторами є ураження електричним струмом, ризик виникнення пожежі, вплив токсичних речовин та можливість аварійних ситуацій.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно дотримуватися вимог електробезпеки, використовувати засоби індивідуального захисту, забезпечувати належний санітарно-гігієнічний стан виробничих приміщень та проводити регулярне навчання персоналу.

Важливими напрямками підвищення рівня безпеки є розвиток систем пожежного захисту, удосконалення технологій обслуговування електромобілів та підвищення професійної підготовки працівників.

Комплексне впровадження заходів охорони праці дозволить мінімізувати виробничі ризики та забезпечити безпечну експлуатацію електротранспорту.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що автомобільний транспорт є одним із найбільших джерел негативного впливу на довкілля через викиди забруднюючих речовин і парникових газів. Електромобілі мають суттєві екологічні переваги, оскільки дозволяють значно зменшити рівень забруднення атмосферного повітря та вплив на клімат.
2. Проведений аналіз екологічних показників показав, що електромобілі характеризуються відсутністю прямих вихлопних викидів, нижчим рівнем шумового забруднення та вищою енергоефективністю порівняно з автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння. Водночас їх екологічна ефективність залежить від джерел виробництва електроенергії та способів утилізації акумуляторних батарей.
3. Результати розрахунків підтвердили, що середній бензиновий автомобіль утворює близько 2,7 т CO₂ на рік, тоді як електромобіль — приблизно 1,05 т CO₂ з урахуванням непрямих викидів. Таким чином, використання одного електромобіля забезпечує скорочення викидів вуглекислого газу приблизно на 60 %.
4. Встановлено, що заміна традиційного автотранспорту електромобілями дозволяє отримати значний екологічний ефект у масштабах підприємств та міст. Для автопарку із 100 транспортних засобів потенційне скорочення викидів становить близько 165 т CO₂ на рік.
5. Оцінка екологічної безпеки електромобілів показала, що їх широке впровадження сприяє покращенню якості атмосферного повітря, зменшенню шумового навантаження та скороченню антропогенного впливу на довкілля. Разом із тим подальший розвиток електротранспорту потребує розширення зарядної інфраструктури та вдосконалення систем поводження з акумуляторами.
6. Дослідження питань охорони праці засвідчило, що експлуатація та технічне обслуговування електромобілів пов'язані з додатковими

ризиками через використання високовольтних систем і літій-іонних батарей. Для забезпечення безпеки персоналу необхідно дотримуватися вимог електробезпеки, використовувати засоби індивідуального захисту та проводити спеціальне навчання працівників.

7. Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для оцінки екологічної ефективності електротранспорту та обґрунтування заходів щодо його розвитку. Проведене дослідження підтвердило, що електромобілі є перспективним напрямом підвищення екологічної безпеки транспортного сектору та скорочення викидів парникових газів.

Перспективами подальших досліджень є вдосконалення технологій акумуляторних батарей, розвиток систем їх переробки, дослідження життєвого циклу електромобілів та оцінка впливу електротранспорту на енергетичну систему держави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойченко С. В., Іванченко А. В. Екологічні аспекти використання електромобілів в Україні // Вісник Національного транспортного університету. 2021. № 2(49). С. 45–52. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/49_2021/45-52.pdf (дата звернення: 29.05.2026).
2. Бурлака Г. Г. Аналіз екологічної безпеки електромобілів // Екологічна безпека та природокористування. 2020. № 4(36). С. 78–85. URL: <https://es-journal.in.ua/article/view/2020-4-10> (дата звернення: 29.05.2026).
3. Гутаревич Ю. Ф., Матейчик В. П., Чумак В. В. Екологія автомобільного транспорту : навчальний посібник. Київ : Арістей, 2018. 296 с.
4. Дзюбенко О. М., Шевченко О. І. Аналіз шкідливих викидів автомобільного транспорту в містах України // Екологічна безпека. 2020. № 1(29). С. 88–94. URL: <http://ep.kntu.kr.ua/article/view/88-94> (дата звернення: 29.05.2026).
5. Дяченко В. О. Перспективи розвитку електротранспорту в Україні // Молодий вчений. 2021. № 5(93). С. 152–156. URL: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2021/5/31.pdf> (дата звернення: 29.05.2026).
6. Жаркова Т. В., Коваль В. С. Вплив транспортної галузі на забруднення атмосферного повітря // Вчені записки ТНУ. 2021. Т. 32(71). № 3. С. 112–118.
7. Клименко М. О., Прищепа А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля : підручник. Київ : Академія, 2019. 360 с.
8. Ковальов М. М. Перспективи розвитку електротранспорту в Україні // Автошляховик України. 2022. № 3. С. 17–23.
9. Кравченко О. В. Оцінка екологічного впливу транспортних систем // Екологічні науки. 2022. № 1(40). С. 91–97. URL: <http://eco.j.dea.kiev.ua/archives/2022/1/16.pdf> (дата звернення: 29.05.2026).
10. Кучерявий В. П. Екологія : підручник. Львів : Світ, 2017. 564 с.
11. Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є. Електромобілі та перспективи їх використання в Україні // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2020. № 5. С. 64–71. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2567> (дата звернення: 29.05.2026).
12. Матейчик В. П. Екологічні показники двигунів внутрішнього згоряння : монографія. Київ : НТУ, 2017. 210 с.
13. Мельник Л. Г. Основи екології : підручник. Суми : Університетська книга, 2018. 759 с.
14. Назаренко І. М., Бондаренко Ю. В. Порівняльний аналіз екологічності електромобілів та автомобілів з ДВЗ // Наукові нотатки ЛНТУ. 2023. № 74. С. 140–146.

- 15.Пилипенко О. О. Шумове забруднення від автомобільного транспорту // Комунальне господарство міст. 2021. № 162. С. 97–103.
- 16.Поліщук В. П., Дьомін Ю. В. Електромобілі: сучасний стан та перспективи розвитку // Автошляховик України. 2021. № 1. С. 30–36.
- 17.Савченко І. В. Екологічні ризики утилізації літій-іонних акумуляторів // Техногенно-екологічна безпека. 2022. № 12. С. 54–60. URL: <https://teb-journal.com/index.php/journal/article/view/214> (дата звернення: 29.05.2026).
- 18.Сафонов В. В., Ткаченко О. М. Порівняльна оцінка викидів CO₂ електромобілів та автомобілів з ДВЗ // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2021. № 2(16). С. 121–128. URL: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/725> (дата звернення: 29.05.2026).
- 19.Трофименко П. Є. Екологічна безпека транспортних систем : навчальний посібник. Харків : ХНАДУ, 2020. 284 с.
- 20.Хом'як І. В. Оцінка впливу автомобільного транспорту на зміну клімату // Екологічний вісник. 2022. № 2. С. 22–27.
- 21.Шмандій В. М., Харламова О. В. Екологічна безпека : підручник. Херсон : Олді-Плюс, 2017. 366 с.
- 22.Яновський А. Б. Вплив автомобільного транспорту на атмосферне повітря великих міст // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2020. № 5(124). С. 95–101. URL: http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/statti/2020_5_124.pdf (дата звернення: 29.05.2026).
- 23.Alternative Fuels Data Center. Electric Vehicle Benefits and Considerations. U.S. Department of Energy, 2024. URL: https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_benefits.html (date of access: 29.05.2026).
- 24.Burchart-Korol D., Jursova S. Environmental Life Cycle Assessment of Electric Vehicles in European Conditions // Applied Sciences. 2021. Vol. 11(9). P. 1–18. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/9/3979> (date of access: 29.05.2026).
- 25.Ellingsen L. A., Singh B., Strømman A. H. The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles // Environmental Research Letters. 2016. Vol. 11(5). URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/5/054010> (date of access: 29.05.2026).
- 26.European Environment Agency. Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2023. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle> (date of access: 29.05.2026).
- 27.Hawkins T. R., Singh B., Majeau-Bettez G., Strømman A. H. Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles // Journal of Industrial Ecology. 2013. Vol. 17(1). P. 53–64. URL:

- <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x> (date of access: 29.05.2026).
28. Helmers E., Marx P. Electric cars: technical characteristics and environmental impacts // Environmental Sciences Europe. 2012. Vol. 24(14). URL: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/2190-4715-24-14> (date of access: 29.05.2026).
29. International Energy Agency. Global EV Outlook 2024. Paris : IEA Publications, 2024. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024> (date of access: 29.05.2026).
30. IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva : Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> (date of access: 29.05.2026).
31. Nordelöf A., Messagie M., Tillman A.-M. Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles // Journal of Industrial Ecology. 2019. Vol. 23(1). P. 177–191. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12758> (date of access: 29.05.2026).
32. Peters J. F., Baumann M., Zimmermann B. The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 67. P. 491–506. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116304713> (date of access: 29.05.2026).
33. United Nations Environment Programme. Used Batteries and End-of-Life Management. Nairobi: UNEP, 2020. URL: <https://www.unep.org/resources/report/used-batteries-and-end-life-management> (date of access: 29.05.2026).
34. Wang Q., Tang L., Sun Y. Review of the environmental benefits of electric vehicles // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. Vol. 145. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121003670> (date of access: 29.05.2026).
35. World Health Organization. Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2018. URL: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563> (date of access: 29.05.2026).