

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АТ - 54.00.00.000 ПЗ

Група АТз – 23-1К

Крицький Іван

2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Міністерство освіти і науки України
Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра автомобільного транспорту

Крицький Іван Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 653.13.07

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Тема: Оптимізація засобів та мережі зарядних пристроїв електромобілів для м. Івано-Франківська

(назва роботи)

Автомобільний транспорт

(назва освітньої програми)

274-Автомобільний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Криштопа Святослав Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

Криштопа С.І.

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ – 2025

Інститут інженерної механіки
Кафедра автомобільного транспорту
Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Спеціальність: „Автомобільний транспорт”

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завкафедрою АТ

_____ С.І. Криштопа
„_____” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

Бакалавр _____ Крицький Іван Васильович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. **Тема** „Оптимізація засобів та мережі зарядних пристроїв електромобілів для м. Івано-Франківська”
затверджена наказом по університету від _____ № _____
2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) _____ 19.06.2025 р.
3. Вихідні дані до проекту: Удосконалити мережу зарядних станцій електромобілів на основі оцінки розвитку електромобілів в м. Івано-Франківську та виконати аналіз проблем, що пов'язані з експлуатацією електромобілів.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
Вступ. 1. Перспективи використання електромобілів в Україні. 2. Огляд технологій зарядження електромобілів. 3. Дослідження зарядних станцій та пристроїв для електромобілів. 4. Мережа зарядних станцій для м. Івано-Франківська. 5. Організація технічного обслуговування та ремонту електромобілів. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік аркушів презентаційного графічного матеріалу:
 - 1 Тема БР
 - 2 Стан з електромобілями в Україні на 01.01.2025 р.
 - 3 Загальна будова електромобіля
 - 4 Технічні характеристики найбільш розповсюджених автомобілів в Україні
 - 5 загальний опис стандартів зарядження електромобілів
 6. Аналіз найбільш поширених стандартів взаємодії електричних автомобілів та електричної мережі
 7. Параметри високовольтних акумуляторних батарей електричних автомобілів
 - 8 Аналіз особливостей експлуатації електричних автомобілів
 - 9 Схемотехнічні рішення для зарядних пристроїв електромобілів
 - 10 Існуючі та пропонувані зарядні станції електромобілів в місті Івано-Франківську
 - 11-12 Тенденції розвитку електромобілів та супутньої інфраструктури в Україні
 - 13 Технічні характеристики найбільш розповсюджених електромобілів
 - 14 Складові вартості електромобіля
 - 15-17 Вартість робіт і витратних матеріалів електромобілів
 - 18 Проблеми, що пов'язані з експлуатацією електромобілів
 - 19 Висновки

Керівник _____ /С. Криштопа /
Особистий підпис Розшифровка підпису

Завдання прийняв до виконання _____
Особистий підпис Розшифровка підпису

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему: „Оптимізація засобів та мережі зарядних пристроїв електромобілів для м. Івано-Франківська” складається із 93 аркушів формату А4, на яких містяться 5 розділів, 16 таблиць, 28 рисунків.

У даній бакалаврській роботі було виконано огляд технологій зарядження електромобілів, розглянуто режими заряджання тягових АКБ електромобілів та способи приєднання до мережі, досліджена взаємодія електричних автомобілів з електричною мережею та технологія Vehicle-to-Grid.

Вивчені тенденції розвитку електромобілів та супутньої інфраструктури в Україні та практики стимулювання розвитку електромобілів в розвинутих країнах світу.

Здійснено дослідження зарядних станцій та пристроїв для електромобілів, в тому числі розглянуто технічні рішення для зарядних станцій та зроблено розрахунок потужності зарядних станцій та точок підключення.

Розроблено метод вибору оптимального розміщення зарядних станцій для електромобілів та запропоновано використання багатозонного диференційованого тарифу для зарядки електромобілів.

Запропонована удосконалена організація технічного обслуговування та ремонту електромобілів

Ключові слова: електромобіль, зарядна станція, режими заряджання АКБ, взаємодія електромобілів з електричною мережею, ремонт електромобілів.

THE ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work on the topic: "Optimization of means and network of electric vehicle chargers for the city of Ivano-Frankivsk" consists of 93 sheets of A4 format, which contain 5 sections, 16 tables, 28 figures.

This bachelor's work reviewed electric vehicle charging technologies, considered charging modes of electric vehicle traction batteries and methods of connection to the network, investigated the interaction of electric vehicles with the electrical network and Vehicle-to-Grid technology.

The trends in the development of electric vehicles and related infrastructure in Ukraine and the practices of stimulating the development of electric vehicles in developed countries of the world were studied.

A study of charging stations and devices for electric vehicles was carried out, including technical solutions for charging stations were considered and the capacity of charging stations and connection points was calculated.

A method for selecting the optimal location of charging stations for electric vehicles has been developed and the use of a multi-zone differentiated tariff for charging electric vehicles has been proposed.

An improved organization of maintenance and repair of electric vehicles has been proposed

Keywords: electric vehicle, charging station, battery charging modes, interaction of electric vehicles with the electrical network, repair of electric vehicles.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	6
1 ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В УКРАЇНІ.....	8
2 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ЗАРЯДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ.....	20
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ТА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ.....	35
4 МЕРЕЖА ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ М. ІВАНО- ФРАНКІВСЬКА	51
5 ОРГАНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ	63
ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	85
ДОДАТКИ. ПРЕЗЕНТАЦІЯ.....	87

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ			
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Оптимізація засобів та мережі зарядних пристроїв електромобілів для м. Івано- Франківська	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Крицький І.В.					5	106
Перевір.		Криштопа С.І.						
Реценз.								
Н. контр.		Прунько І.Б.				ІФНТУНГ, АТз-23-1К		
Затверд.		Криштопа С.І.						

ВСТУП

Сучасний світ переживає енергетичну трансформацію, де електрифікація колісного транспорту стає одним із ключових напрямків розвитку. Основні причини цього бурхливого зростання пов'язані з необхідністю зменшення викидів парникових газів, боротьбою зі зміною клімату та прагненням до енергетичної незалежності. Технологічний прогрес у галузі акумуляторних батарей та електродвигунів робить електромобілі більш доступними та ефективними, що стимулює їх масове впровадження.

Інтеграція електромобілів в енергомережу є перспективним напрямком, оскільки вона дозволяє не лише заряджати транспортні засоби, але й використовувати їх як мобільні накопичувачі енергії. Це впливає на стабільність енергосистеми, сприяє балансуванню навантаження та підвищує ефективність використання відновлюваних джерел енергії. Технологія Vehicle-to-Grid (V2G)

[1] відкриває нові можливості для взаємодії між електромобілями та енергомережами.

Враховуючи вищезазначене, вибір теми щодо розробки технічних рішень для організації мережі зарядних станцій електро- та гібридних автомобілів є актуальним та своєчасним. Структура роботи дозволяє поетапно дослідити всі аспекти цієї проблематики, від теоретичних основ до практичних рішень з оптимального розміщення станцій у міських умовах.

Метою роботи є розробка технічних рішень для створення ефективної мережі зарядних станцій електричних та гібридних автомобілів з оптимальним розміщенням в межах міста.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати сучасні електричні автомобілі та їх технічні параметри.
2. Дослідити режими заряджання тягових акумуляторних батарей та

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

способи приєднання до мережі.

3. Вивчити взаємодію електричних автомобілів з електричною мережею та розглянути технологію V2G.

4. Сформулювати задачі дослідження для подальшого розроблення технічних рішень.

5. Розробити технічні рішення для зарядних станцій та вибрати їх оптимальне розміщення в межах міста.

6. Розглянути можливості використання багатозонного диференційованого тарифу для зарядки електромобілів.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В УКРАЇНІ

1.1. Тенденції розвитку електромобілів та супутньої інфраструктури в Україні

В Україні перші заходи, що були спрямовані на вивчення можливості експлуатації електромобілів та створення інфраструктури для їх заправки, здійснили компанія ДТЕК і ТОВ «Торговий дім НІКО» (офіційний імпортер Mitsubishi Motors в Україні) в 2011 році [8].

Мета цих заходів – імпортування ТОВ «Торговий дім НІКО» в Україну партії тестових електромобілів для заміни частини автомобільного парку ДТЕК; вивчення результатів експлуатації електромобілів; оцінка можливості інтеграції зарядної інфраструктури для електромобілів в існуючі електромережі; розробка концепції впровадження індивідуальних електромобілів у великих містах України [8].

В якості тестового електромобіля було обрано Mitsubishi i-MiEV (i-MiEV – «innovative Mitsubishi Electric Vehicle», «інноваційний електромобіль Mitsubishi»), серійне виробництво якого почалося в 2009 році. Електромобіль Mitsubishi i-MiEV – це чотиримісний, надмалий легковий транспортний засіб класу А довжиною близько 3,4 м (що має обмежений простір для пасажирів), з потужністю електродвигуна 47 кВт. Споряджена маса електромобіля – 1110 кг, допустиме корисне навантаження (загальна вага водія, трьох пасажирів і вантажу) дорівнює 340 кг.

В результаті тестування було встановлено, що для Mitsubishi i-MiEV при 100%-ій зарядці акумуляторів пробіг становить 160 км за умови економічного руху із середньою швидкістю 25 км/год. За середньої швидкості 45...50 км/год з увімкненим кондиціонером запас ходу скорочується приблизно до 110 км, за швидкості 80 км/год – орієнтовно до 75 км. Після швидкісної зарядки акумуляторів (до 80 % їх ємності) запас ходу зменшується ще на 20 % у порівнянні з пробігом з повністю зарядженими акумуляторами.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

В 2012 році ДП «ДержавтотрансНДІпроект», враховуючи конструктивні характеристики електромобіля, оцінило можливості широкого використання електромобіля Mitsubishi i-MiEV в якості таксі в Україні як малоперспективні.

Більш перспективним було визнано можливість використання для таксомоторних та інших перевезень електромобілів Nissan LEAF.

Зростанню обсягів ввезення електромобілів в Україну в 2015...2025 рр. сприяло ухвалення Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про Митний тариф України» щодо ввізного мита на електромобілі» № 822-VIII від 25.11.2015, яким встановлено нульову ставку ввізного мита на КТЗ, оснащені виключно електричними двигунами (одним чи декількома).

Сукупний обсяг ввезення електромобілів в Україну за 2010...2024 р.р. склав біля 32 тисяч одиниць. Найбільш поширеним електромобілем в Україні (станом на лютий 2025 р.) став Nissan LEAF, питома вага якого склала 70 % від парку електромобілів. Другим за популярністю в Україні брендом електромобілів стала Tesla.

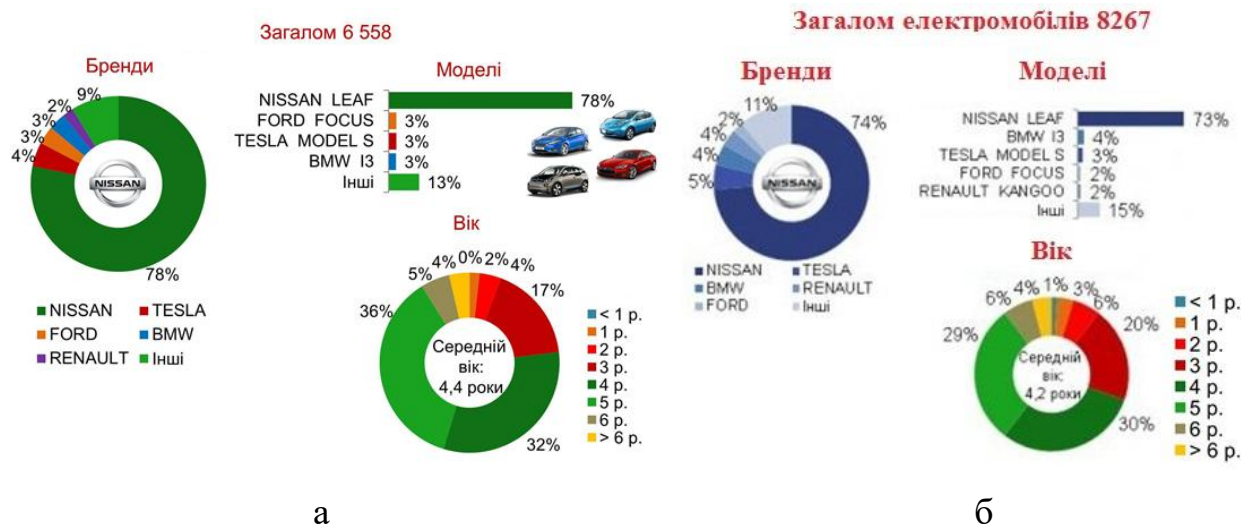
У 2024 р. в Україні стрімко зростають продажі електромобілів – на 402 %, в той час як в Китаї зростання склало 175 %, в Європі – біля 78 %. В результаті, за темпами приросту електромобілів Україна увійшла до десятки лідерів [28]. Тим часом продажі звичайних автомобілів скоротилися на 68 %, частково через триваючу економічну рецесію, але, головним чином, завдяки очевидним перевагам електромобілів [29].

На зростання продаж вплинули не тільки політичні рішення (пільговий період на імпорт електричних автомобілів без мит і ПДВ, термін дії якого був розрахований на 12 місяців), а і активні дії бізнесу, зокрема, Укренерго, ДТЕК та сервіси таксі (Uber), які на власному прикладі демонстрували актуальність електромобілів в Україні [12].

Структура продажів електромобілів в Україні в 2024 році показана на рис. 1.1. Привертає увагу, що лівова частка ринку електромобілів 2024 року знов належить Nissan Leaf – одному з найдешевших електричних транспортних засобів, хоча ця цифра мала тенденцію до зниження з 78 % до 73 %. Майже всі

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електрокари в Україні були вживані, лише один із десяти був новим на момент продажу. Середній вік електромобілів складав більш чотирьох років.



а – станом на 01.03.2018 р.; б – станом на 01.03.2025 р.

Рис. 1.1. Структура продажів легкових електромобілів в Україні

За період з 01.01.2024 р. по 01.01.2025 р. кількість продажів в Україні збільшилась на 40017 електромобілів (рис. 1.2). Лідером з продаж на українському ринку електромобілів за 2024 рік був вищезгаданий Nissan Leaf (50...54 %), на другому місці Tesla Model S (6 %), третім за популярністю став Renault Kangoo (4 %), четверте і п'яте місця розділили Tesla Model 3 (3...4 %) і BMW i3 (4 %). Середній вік електромобілів, що продані в 2024 р. склав 5,1 рік.



а – станом на 01.03.2018 р.; б – станом на 01.03.2025 р.

Рис. 1.2. Структура продажів легкових електромобілів в Україні

Загальна кількість продаж в Україні станом на 01.01.2025 р. склала 25853 електромобілів. Кількість нових електромобілів склала 1...2 % від усіх проданих в 2024 р. електромобілів, а 27...29 % електромобілів мають вік більше 6 років. Територіальний розподіл електромобілів по Україні станом на 01.01.2025 р. показано на рис. 1.3. Більше всього електромобілів використовують в Києві і Київській області. Далі – в Дніпропетровській і Львівській областях. Такій розподіл електромобілів по Україні можливо пояснити більш високими доходами у великих містах і наявністю зарядних станцій. Важливою перевагою використання електромобілів є значне зменшення витрат на енергоресурси. Аналітичні дослідження показують, що на сьогодні у багатьох країнах електроенергія є найдешевшим енергоресурсом, що застосовується для транспортних засобів [8].

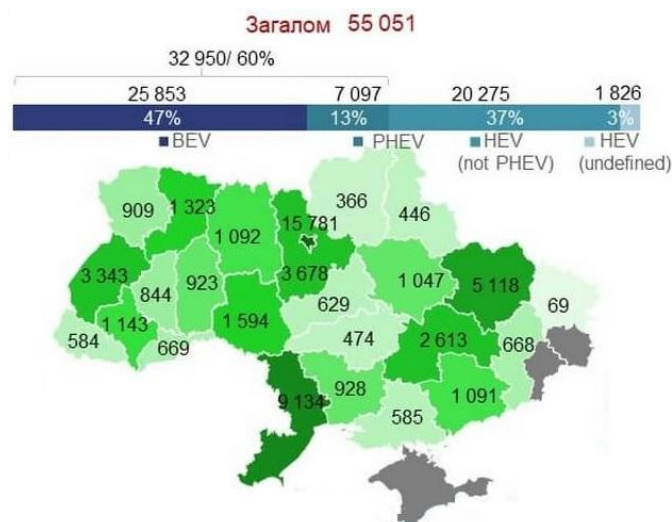


Рис. 1.3. Кількість зареєстрованих легкових та легких комерційних електромобілів і гібридів в Україні станом на 01.01.2025

(Джерело: ГСЦ МВС України; IRS Group, 2018-2024; www.irsgroup.com.ua/ecars)

Дослідження, які проводилися в 2024 р., показали, що Франція, яка володіє найбільшою часткою ядерної енергії у світі, має ціну на електроенергію – 0,1426 євро за кВт·год., що на 26,5 % нижче, ніж у середньому в Євросоюзі (0,2002 євро за кВт·год.) [30]. Електроенергія в Україні є однією з найдешевших у світі: на момент дослідження ціна одного кВт·год складала приблизно 0,06 євро [31],

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

[32]. Ці цифри свідчать, що в Україні економічні передумови використання електроенергії для електромобілів можуть бути значно привабливішими ніж, наприклад, в ЄС або США [30], [8].

В Україні, як і в Франції, головним енергоресурсом є ядерна енергетика. Україна має 4 атомні електростанції [33]. Крім того, на р. Дніпро працює дев'ять гідроелектростанцій, потужність найбільшої з яких (Запорізька гідроелектростанція) складає 1,5 млн. кВт [33].

Але за оцінками експертів, зростання кількості електромобілів до 5...10 % від загального парку автомобілів України може призвести до дисбалансу та перевантаження існуючих мереж постачання електроенергії, якщо не буде запроваджено відповідних масштабних заходів для реконструкції та модернізації існуючих електромереж [36]. Важливим технічним та економічним завданням, вирішення якого є необхідною умовою для розширення використання електромобілів, є створення розвиненої мережі зарядних станцій.

Вартість устаткування для поста звичайної зарядки електромобілів під напругою 220 В, яка триває 6...8 годин, становить 2...3 тис. \$ США, а обладнання для поста швидкісної зарядки під напругою 400...480 В – близько 12 тис. \$ США. Швидкісна зарядка триває біля 30 хвилин, але дозволяє заряджати акумулятори лише до 80 % ємності. Виробники не радять застосовувати таку зарядку частіше за один раз на добу для збереження ресурсу акумуляторів. Згідно зі статистикою сервісу, зарядні станції в Україні представлені в 3 категоріях: побутові (для домашнього використання); публічні (для суспільно доступу); з обмеженим доступом (для корпоративного сектора).

В 2014 р. в Україні було лише 35 зарядних станцій всіх типів (з них 33 публічні) з 38 точками підключення. У 2021 р. щорічні темпи зростання числа загальнодоступних зарядних станцій були вище, ніж кількості електричних автомобілів: 72 % проти 60 % [26]. Станом на середину 2024 р. в Україні існувало 285 зарядних станцій для електромобілів. Але не всі зарядні станції функціонували. Переважна більшість зарядних станцій були корпоративними,

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

відомчими, приватними і недоступними для більшості користувачів електромобілів.

Інфраструктура зарядних станцій зосереджена в основному в великих містах, а ось на міжміських маршрутах кількість зарядних пунктів обмежена. Тому вважається, що електромобілі є автомобілями для пересування тільки у межах міста. Сьогодні звичайні розетки розташовані і на бензинових АЗС, так і в притрасових кафе. Однак, час підзарядки автомобіля в даній ситуації складатиме близько 8...10 годин.

Існує гіпотеза, що із зростанням популярності електромобілів вартість зарядки електромобіля буде зростати. Але Європейський досвід показує, що є система «безкоштовної» підзарядки електромобіля, коли окупність витрат здійснюється за допомогою супутніх послуг. Прикладами такої стратегії є кінотеатри. Така тактика знайшла відображення і в Україні. В партнерській програмі Go To-U більше сотні швидкісних зарядних станцій, 39 з яких знаходяться на АЗС ОККО, де є кафе. Але на сьогодні близько 80% всіх електромобілістів України заряджають машину з будинку. При цьому, якщо удома встановлено двозонні лічильники, то можливо користуватися нічним тарифом, який передбачає зниження стандартної ставки на 50% (до 84 копійок за кВт·год) при споживанні в період з 23:00 до 7:00.

Засновник компанії ELmob Захар Пашун відзначає, що на повну денну зарядку електромобіля з акумулятором на 24 кВт·год з нинішнім тарифом його власник витратить 40 грн. При цьому за 100 км машина в середньому споживає 18 кВт·год. «Домашні» ціни істотно нижче пропонованих на комерційних зарядних станціях сьогодні, інші знаходяться в діапазоні 6...9 грн за кВт·году разі швидких станцій. Вони дозволяють зарядити акумулятор на 80% за 20 хвилин. На менш потужних комерційних зарядних пристроях середня ціна кіловата знаходиться на рівні 3...6 грн.

1.2. Дослідження практики стимулювання розвитку електромобілів в розвинутих країнах світу

«Точкою перелому» ринку називається такий стан ринку, коли частка нового продукту досягає 3...5 %. Саме з цього рівня, ринок починає зростати не

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

стільки зусиллями продавця, скільки завдяки діям покупця. На рівні 15 % – починається масовий швидкий перехід виробників до нового продукту, а при досягненні 40 % – ринок «ламається» і переходить до нової норми.

За об'ємом продажів електромобілів сучасний ринок найбільшою мірою наблизився до «точки перелому». У 2024 р. продажі електромобілів в світі досягли 4,2 % від загального об'єму глобального ринку легкового транспорту і склали 3,1 млн. машин [38], [39].

«Перелом» ринку вже почався в окремих регіонах миру, зокрема в Західній Європі і Китаї, де в 2024 р. продажі електромобілів склали 2,6 млн. машин [40],[41]. Саме ці країни задають тренди в розвитку глобального ринку електромобілів і орієнтовані на зміни автомобільної індустрії у бік зростання електромобілів. Світовим лідером за числом електромобілів на загальну кількість проданих транспортних засобів в 2022 р. стала Норвегія (55 %). У цієї країни вже пройшов «перелом» і електромобілі в Норвегії вже стали новою реальністю.

У 2024 р. майже 47 % світових продажів електромобілів припало на ринок Китаю, що зробило ринок країни найбільшим в світі [42]. Ці результати стали можливі завдяки серії ініціатив із субсидування розвитку сектора електромобілів ще з 2009 р. [43]. Накопичений ефект дозволив вивести ринок на рівень стійкого зростання, забезпечивши частку до 5,4 % продажів електромобілів від спільного ринку автомобілів в 2022 р. Розвиток ринку привів до того, що китайський уряд оголосив про поетапне скорочення субсидій на покупку електромобілів [41].

В Західній Європі у другому півріччі 2024 р. частка електромобілів склала 7,5 %, тому можна вважати ринок Європи лідером, що є найближчим до етапу швидкого масового переходу на електромобілі. Подальший розвиток світового ринку електромобілів розглядається за двома основними сценаріями: базовому і прискореному. В базовому сценарії ринок електромобілів досягатиме 14 млн. машин в 2025 р. і 25 млн. машин в 2030 р., що буде складати 10 і 16 % від загального об'єму ринку автомобілів, відповідно.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прискорений сценарій припускає, що в 2030 р. рівень світових продажів досягне 45 млн. одиниць, що складе 30 % від загального об'єму ринку. Цей сценарій включає інтенсифікацію політики з обмеження викидів (включаючи регуляторні обмеження), масштабні інвестиції в створення інфраструктури випереджаючими темпами, а також стимулювання придбання електричного транспорту.

Основним драйвером темпів світового розвитку електромобілів є ступінь жорсткості норм економії палива. Підвищення ефективності автомобілів з двигуном внутрішнього згорання знижує потенційне зростання попиту на нафту на 850 млн. т/рік, тоді як ефект від збільшення частки електромобілів значно менший: 100-мільйонне збільшення електромобілів знижує зростання попиту на нафту лише на 60 млн. т/рік. Тому, електромобілям належить пройти довгий шлях, перш ніж рівень їх появи на ринку зможе вплинути на глобальний попит на нафту і нафтопродукти. Але індустріально розвинені країни світу і виробники електромобілів ставлять перед собою цілі значно збільшувати кількість електромобілів [26].

У своїх дослідженнях МЕА зазначає, що проникнення на ринок електромобілів відбувається в основному під впливом політичних факторів.

Сьогодні Уряди багатьох країн світу висловлюють політичну підтримку розвитку електромобілів. За інформацією Міжнародної ради з чистого транспорту, міністр з питань клімату та довкілля Норвегії заявив про підтримку основними партіями рішучих дій щодо виведення з експлуатації до 2025 року автомобілів, що працюють на викопному паливі. Проте, мова поки що не йде про повну, негайну заборону використання таких транспортних засобів.

У Каліфорнії (США) ставиться завдання до 2025 року у складі автопарку мати 1,5 мільйона електромобілів. Отже, у Каліфорнії та інших сімох штатах США планують до 2025 року мати загальний парк електромобілів у кількості 3,3 мільйона одиниць. Попередній план Уряду США – до 2023 року досягти 500 тис. електромобілів – було успішно виконано.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

У Нідерландах нижня палата парламенту ухвалила попереднє рішення про заборону використання до 2025 року транспортних засобів, обладнаних двигунами внутрішнього згорання. Уряд Великої Британії ставить завдання про забезпечення до 2040 року кожного нового транспортного засобу «ультранизьким рівнем викидів забруднюючих речовин».

Канадська провінція Квебек оголосила про план мати 1 млн. електромобілів до 2030 року, що складе близько 20 % від усіх транспортних засобів. Аналогічний план має і провінція Британська Колумбія.

Міністр енергетики Індії оголосив плани переходу на 100-відсоткове використання електромобілів у складі автопарку країни до 2030 р.

За інформацією компанії ElectroCars, найкращим стимулом для розвитку електромобільного ринку у багатьох країнах світу стало звільнення від податків та зборів. Найбільший успіх механізм звільнення електромобілів від оподаткування або пільгового оподаткування має у країнах, де встановлено високий загальний рівень податків і де утримання автомобіля (враховуючи ціни на автомобільне паливо) потребує значної частки бюджету юридичної або фізичної особи. Наприклад:

– у Китаї компенсація покупцю складає 35 % від вартості електромобіля, що реалізується державною програмою щодо заохочення переходу на автотранспорт, який не шкодить навколишньому середовищу;

– в США компенсація складає 25 %;

– у Великобританії, Данії, Німеччині покупців звільняють від сплати транспортного податку на термін до 5 років або від збору при реєстрації;

– у Португалії, Іспанії, Франції, Ірландії виплачується субсидія від 5000 до 7000 євро.

У країнах, що обмежуються лише виплатою субсидій власникам при купівлі електромобілів, не помітно вагомих результатів щодо зростання загальної кількості таких транспортних засобів, хоча субсидії залишаються ефективним інструментом міських програм сприяння поширенню

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електромобілів. Більш важливою складовою державної підтримки розвитку електромобілів виявилось створення зарядної інфраструктури.

Країни-члени ЄС та деякі інші країни під час створення національних мереж станцій зарядки електромобілів керуються рекомендаціями Директиви 2014/94/ЄС «Щодо створення інфраструктури альтернативних видів палива», зокрема, щодо облаштування однієї зарядної станції (поста) на кожні 10 електромобілів, розміщення зарядних станцій в аеропортах, на залізничних вокзалах, громадських стоянках, поблизу багатоквартирних і великих офісних будинків тощо.

1.3. Дослідження практики стимулювання розвитку електромобілів в Україні

Досвід розвитку електромобілів в розвинутих країнах світу дуже корисний для України. Розвиток електромобілів в Україні також потребує своєчасної політичної підтримки, що, в принципі, відповідає загальним тенденціям соціально-економічного розвитку індустріально розвинених країн світу [44]. І корисний досвід державної підтримки вже є. Так, зростанню обсягів ввезення електромобілів в Україну на 400 % сприяло ухвалення Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про Митний тариф України» щодо ввізного мита на електромобілі» № 822-VIII від 25.11.2015, яким було встановлено нульову ставку ввізного мита на транспортні засоби, оснащені виключно електричними двигунами[45].

З метою розвитку ринку електромобілів в Україні було передбачено:

– тимчасове до 2021 р. звільнення від оподаткування податком на додану вартість та акцизним податком операцій з ввезення на митну територію України та постачання на митній території України транспортних засобів, оснащених виключно електричними двигунами;

– тимчасове, до 1 січня 2021 року, звільнення від оподаткування податком на додану вартість послуг з перевезення пасажирів на таксі, оснащених електричними двигунами, та надання пасажирського транспорту в оренду

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(лізинг, прокат, перевезень на замовлення), у разі, якщо такі колісні транспортні засоби оснащені виключно електричним двигуном.

Сьогодні актуальними аспектами Закону є:

– закріплення за виконавчими органами міських рад міст, що є адміністративними центрами областей, обов'язку здійснити облаштування на майданчиках для паркування місць для оплачуваної зарядки транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, у кількості не менше 5 відсотків від загальної кількості місць для паркування;

– звільнення до 1 січня 2025 року від сплати послуг за паркування для осіб, які розміщують транспортні засоби, оснащені електричними двигунами, на майданчиках для паркування транспортних засобів державної та комунальної форм власності.

Результатом цих кроків стало швидке зростання темпів росту електромобілів, що призвело Україну в десятку лідерів світу.

Для стимулювання подальшого розвитку електротранспорту в Україні в Верховній Раді було зареєстровано ряд законопроектів [46]. Законопроект № 8159 «Про внесення змін до Податкового кодексу України та деяких законодавчих актів України щодо стимулювання розвитку галузі електричного транспорту в Україні» (від 19.03.2018 р.) пропонує внести зміни до Податкового кодексу України та інших законодавчих актів України [46]. Законопроект зачіпає питання інфраструктури: передбачається, що не менше 5 % місць на парковках повинні мати зарядні пристрої для електромобілів.

Законопроект № 8160 «Про внесення змін до Митного кодексу України щодо стимулювання розвитку галузі електричного транспорту в Україні» (від 19.03.2018 р.) пропонує до 31 грудня 2028 р. звільнити від ввізного мита комплектуючі вироби, що ввозяться в Україну, для виробництва електромобілів [46]. Очікується, що законопроекти дозволять до 2028 р. збільшити частку екологічного транспорту на автомобільному ринку України до 20...25 %.

11 липня 2019 р. Верховна Рада прийняла Закон № 10405 «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення доступу до

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інфраструктури зарядних станцій для електромобілів» [47]. Основні державні ініціативи, що можуть і далі стимулювати розвиток електромобілів в Україні, представлено в табл. 1.1 [12].

Таблиця 1.1 - Державні ініціативи, що спрямовані на розвиток електромобілів в Україні

Тип	Актуальність	Ініціатива
1	2	3
Пряма ініціатива	Розвиток попиту	<ul style="list-style-type: none"> – субсидії на покупку (приватний і комерційний транспорт); – скорочення автомобільних податків; – державні закупівлі; – обмеження на використання неекологічного транспорту в комерційних парках; – безкоштовна парковка/безкоштовні дороги; – фінансування інфраструктури;
	Розвиток пропозиції	<ul style="list-style-type: none"> – фінансування проектів НДДКР (екологічні автомобілі, запчастини, інфраструктура); – субсидування виробників електротранспорту; – субсидування проектів, підтверджують економічність автомобілів, що випускаються окремими виробниками;
Непряма ініціатива	Розвиток норм	<ul style="list-style-type: none"> – встановлення норм викидів шкідливих речовин транспортними засобами для автовиробників; – встановлення норм енергоефективності (витрати палива) транспортних засобів для автовиробників; – збільшення паливного податку (на традиційні види палива).

2 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ЗАРЯДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

2.1 Сучасні електричні автомобілі та їх параметри

Ринок електромобілів стрімко розвивається з кількох ключових причин. По-перше, глобальна потреба у зменшенні викидів парникових газів та боротьбі зі зміною клімату стимулює перехід від традиційних автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння до електричних. Електромобілі не викидають шкідливих речовин під час експлуатації, що сприяє покращенню якості повітря в містах.

По-друге, технологічний прогрес у виробництві акумуляторних батарей призводить до зниження їх вартості та збільшення ємності, що робить електромобілі більш доступними та практичними для споживачів. По-третє, уряди багатьох країн вводять стимули, такі як податкові пільги, субсидії та інвестиції в інфраструктуру зарядних станцій, щоб заохотити громадян переходити на електричний транспорт.

Станом на 2025 рік світовий ринок електромобілів демонструє значне зростання. Кількість зареєстрованих електричних автомобілів перевищила 10 мільйонів одиниць. Лідерами у впровадженні електротранспорту є Китай, Європейський Союз та Сполучені Штати Америки. У Європі країни такі, як Норвегія, Німеччина та Франція, активно підтримують електромобільність через державні програми та інвестиції в інфраструктуру. Багато провідних автовиробників оголосили про плани повної або часткової електрифікації свого модельного ряду в найближчі десятиліття. Технології швидкої зарядки та збільшення запасу ходу роблять електромобілі все більш привабливими для широкого кола споживачів.

В Україні ринок електромобілів демонструє позитивну динаміку зростання. Станом на 2025 рік кількість електричних автомобілів на дорогах України перевищує 40 тисяч одиниць [2, 3]. Цьому сприяють як глобальні тенденції, так і внутрішні фактори, зокрема державні стимули та законодавча підтримка.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

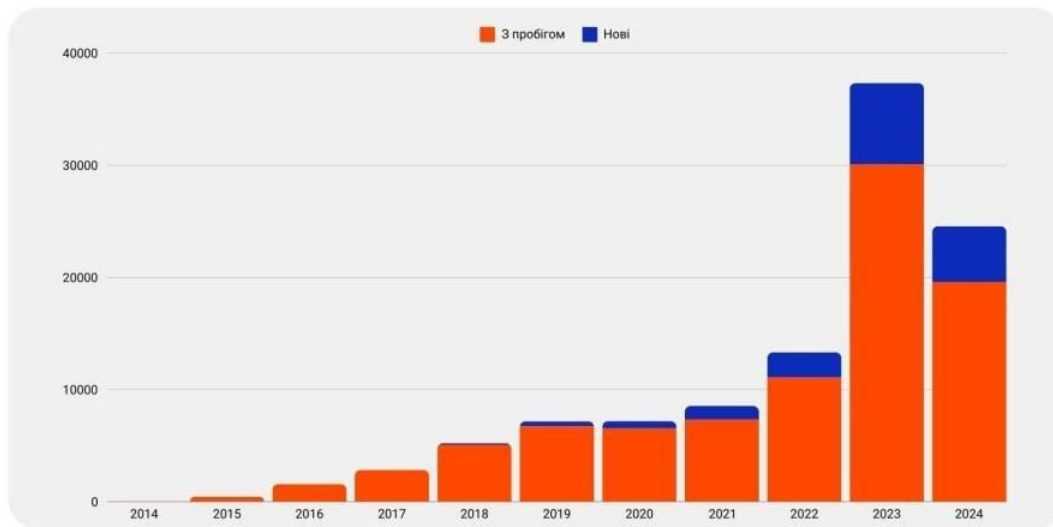


Рисунок 2.1. Кількість реєстрацій електромобілів в Україні на 2024 рік

Таблиця 2.1 Кількість зареєстрованих електромобілей в Україні по областях станом на 2024 рік

№	Область	од.
1	Київська	90 464
2	Одеська	40 114
3	Харківська	20 715
4	Дніпропетровська	20 302
5	Львівська	10 805
6	Вінницька	8600
7	Запорізька	7503
8	Житомирська	6707
9	Рівненська	5507
10	Полтавська	5022
11	Чернівецька	4026
12	Миколаївська	4210
13	Хмельницька	4007
14	Івано-Франківська	4060
15	Донецька	немає даних
16	Івано-Франківська	3081
17	Волинська	3609
18	Черкаська	3620

19	Закарпатська	3210
20	Херсонська	1906
21	Сумська	1086
22	Кіровоградська	1806
23	Чернігівська	1290
24	Луганська	немає даних
25	АРК	немає даних

Таблиця 2.2. Технічні характеристики розповсюджених електромобілів в Україні

	BMW i3 (2016)	Chevy Bolt (2017)	Hyundai Ioniq (2017)	Kia Soul (2014)	Nissan Leaf (2015)	Renault Zoe (2017)	Tesla X P90D (2016)	VW e-Golf (2017)
Battery Capacity [kWh]	33	60	28	27	30	41	90	35
Battery Mass [kg]	240	485	260	270	290	300	610	310
Power (Peak/Contin.) [kW]	125/75	150/?	88/?	81/?	80/?	65/43	396/?	100/50
0 – 100 km/h [s]	7,3	< 7	9,9	11,5	11,3	13,5	3,9	9,6
Top Speed [km/h]	150	150	165	145	144	135	250	150
Torque [Nm]	250	360	295	285	254	220	658	290
Consumption NEDC [kWh/100km]	12,6	~13	11,5	14,7	14,7	13,3 ¹	17,3 ²	12,7
Range NEDC [km]	300	~ 400	250	210	250	400	467	282
Mass [kg]	1.245	~ 1.600	1.495	1.565	1.533	1.577	2.468	1.585

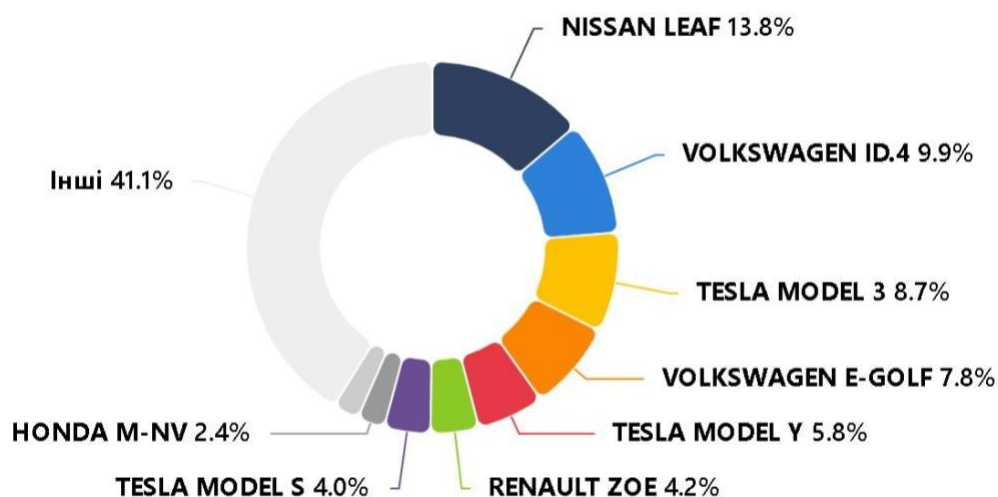


Рисунок 2.2. Найбільш поширені виробники електромобілів та їх частка на ринку України

Український уряд запровадив низку законодавчих актів [4], спрямованих на стимулювання розвитку електротранспорту:

1. Звільнення від ПДВ та акцизного податку при імпорті електромобілів: Закон України №2628-VIII від 23.11.2018 року *“Про внесення змін до Податкового кодексу України щодо звільнення від оподаткування електромобілів”*. Цей закон звільняє операції з ввезення електромобілів на митну територію України від сплати податку на додану вартість та акцизного податку.

2. Скасування ввізного мита на електромобілі:

Закон України №2744-VIII від 06.06.2019 року *“Про внесення змін до Митного тарифу України щодо ввізного мита на електромобілі”*. Відповідно до цього закону, ввізне мито на електромобілі було знижено до 0%, що зменшує вартість імпортованих електромобілів.

3. Стимулювання розвитку інфраструктури зарядних станцій:

Закон України №2756-VIII від 06.06.2019 року *“Про внесення змін до деяких законів України щодо створення доступу до інфраструктури зарядних станцій для електромобілів”*. Цей закон сприяє розвитку інфраструктури зарядних станцій, спрощує процедури їх встановлення та регулює питання підключення до електромереж.

4. Пільги на паркування та доступ до окремих зон:

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Закон України №10405 від 09.07.2019 року *“Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення умов для поширення електромобілів в Україні”*. Закон надає місцевим органам влади можливість встановлювати пільги на паркування для власників електромобілів та забезпечувати доступ до окремих зон у містах.

5. Розробка національної стратегії електромобільності:

Розпорядження Кабінету Міністрів України №430-р від 14.06.2017 року *“Про затвердження Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року”*. Стратегія передбачає розвиток електротранспорту як одного з пріоритетних напрямків транспортної галузі.

Завдяки зазначеним законодавчим ініціативам, ринок електромобілів в Україні отримав значний імпульс для розвитку. Зростання попиту на електричні транспортні засоби сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин, покращенню екологічної ситуації та підвищенню енергетичної незалежності країни.

2.2 Режими заряджання тягових АКБ електромобілів та способи приєднання до мережі

Заряджання електромобіля є ключовим процесом, що полягає у відновленні енергії в його тяговій акумуляторній батареї (АКБ) шляхом підключення до зовнішнього джерела електроенергії. Цей процес контролюється бортовими системами електромобіля та зарядним обладнанням, забезпечуючи безпеку та ефективність. Заряджання включає кілька етапів: підключення, ідентифікація параметрів, саме заряджання та завершення процесу. Безпека під час заряджання досягається через комунікацію між автомобілем і зарядною станцією, використання стандартів та протоколів передачі даних.

Існують чотири основні режими заряджання електромобілів, визначені міжнародним стандартом IEC 61851, які відрізняються за потужністю, швидкістю заряджання, типом струму та способами підключення [5].

Режим 1 (Mode 1) передбачає заряджання змінним струмом від стандартної побутової розетки без додаткових засобів захисту. Електромобіль підключається безпосередньо до розетки 220 В, 16 А, без використання спеціалізованих зарядних пристроїв або кабелів з вбудованими засобами захисту. Потужність заряджання обмежена до 3,7 кВт, що забезпечує повну зарядку АКБ за 8-12

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

годин. Перевагою цього режиму є його простота та доступність, оскільки не потребує спеціального обладнання. Однак, основними недоліками є низький рівень безпеки через відсутність контролю та захисту, а також ризик перегріву або перевантаження електромережі. Через ці ризики режим 1 практично не використовується в сучасних умовах і не рекомендується для заряджання сучасних електромобілів.

Режим 2 (Mode 2) також використовує змінний струм від побутової розетки, але з кабелем, що має вбудовані засоби захисту (IC-CPD). Це підвищує безпеку процесу заряджання, забезпечуючи захист від перенапруг, струму витоку та перегріву. Потужність заряджання може досягати 3,7 кВт при однофазному підключенні або до 7,4 кВт при трифазному підключенні до мережі 400 В, що дозволяє зарядити АКБ за 6-12 годин. Перевагами цього режиму є доступність та підвищена безпека порівняно з режимом 1, що робить його підходящим для домашнього використання або в місцях без спеціалізованих зарядних станцій. Недоліками є тривалий час заряджання та обмеження потужності через характеристики побутової мережі.

Режим 3 (Mode 3) передбачає заряджання змінним струмом від спеціалізованої зарядної станції, оснащеної засобами контролю та комунікації з електромобілем. Підключення здійснюється через стандартні роз'єми Type 2 (Mennekes) або Type 1, що дозволяє досягати потужності заряджання від 3,7 кВт до 22 кВт при одно- та трифазному струмі. Час заряджання скорочується до 1-6 годин. Основними перевагами цього режиму є високий рівень безпеки, швидше заряджання порівняно з режимами 1 та 2, а також можливість інтеграції з системами управління енергоспоживанням. Це робить його оптимальним для використання в громадських місцях, на паркінгах, в офісах та торгових центрах. Недоліком є необхідність встановлення спеціалізованих зарядних станцій, що може вимагати значних інвестицій.

Режим 4 (Mode 4) — це швидке заряджання постійним струмом від спеціалізованої зарядної станції, при якому струм подається безпосередньо до АКБ, оминаючи бортовий зарядний пристрій. Використовуються спеціальні конектори, такі як CCS, CHAdeMO або GB/T. Потужність заряджання в цьому режимі становить від 50 кВт до 350 кВт і більше, що дозволяє зарядити АКБ до 80% за 20-40 хвилин. Перевагами є дуже швидке заряджання, зручне для

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

тривалих поїздок або в умовах обмеженого часу. Недоліками виступають висока вартість зарядних станцій, підвищені вимоги до електромережі та потенційний вплив на ресурс АКБ при частому використанні. Режим 4 ідеально підходить для швидкої підзарядки на автозаправних станціях, магістральних дорогах та в місцях з великим потоком електромобілів.

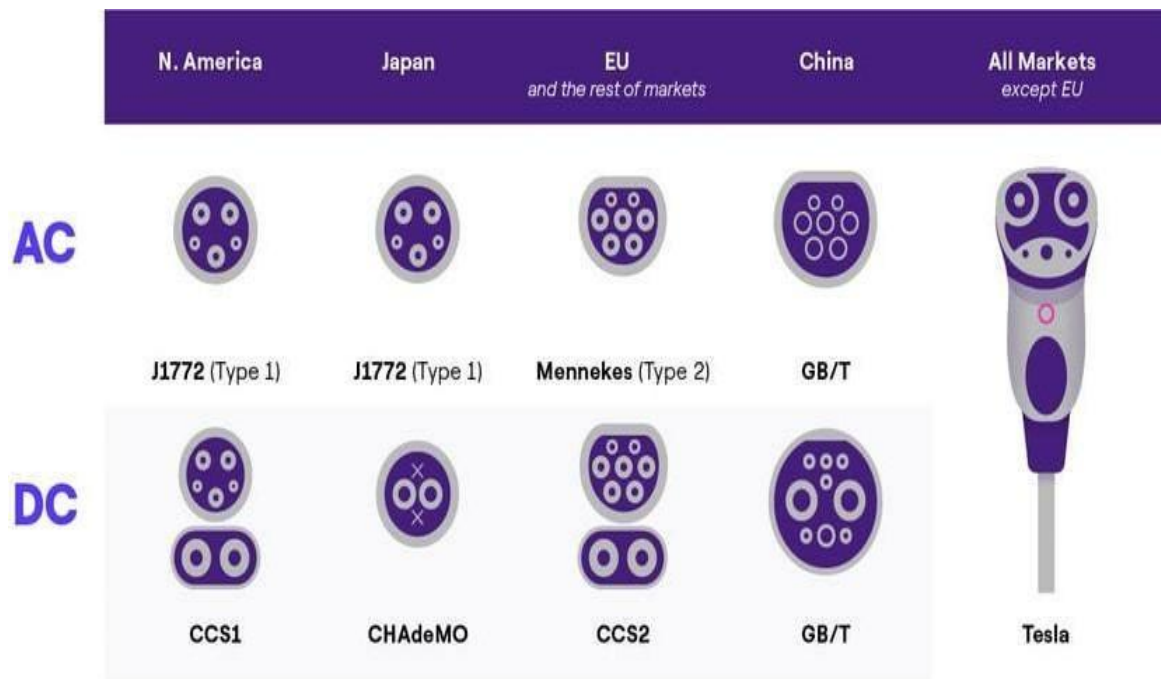






Рисунок 2.3. Основні стандарти зарядних портів АКБ електро- і гібридних автомобілів у світі

Підключення електромобілів до мережі здійснюється за допомогою різних стандартів роз'ємів та конекторів, які забезпечують сумісність та безпеку процесу заряджання. Важливою складовою є комунікація між електромобілем та зарядною станцією, що дозволяє контролювати процес заряджання, встановлювати параметри та забезпечувати аварійне відключення в разі необхідності.

Сучасні стандарти роз'ємів, такі як Type 1, Type 2, CCS, CHAdeMO та GB/T, забезпечують надійне та ефективне підключення в різних режимах заряджання. Безпека при заряджанні досягається через використання автоматичних вимикачів, захисних пристроїв та моніторинг параметрів процесу, що запобігає перевантаженням, коротким замиканням та іншим небезпечним ситуаціям.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 2.3. Параметри режимів заряджання АКБ електромобілів

Тип роз'єму	Дизайн	Вихідна потужність	Країна
Type 1 (SAE J1772)		до 7,4 кВт	Японія Північна Америка Європа
Type 2 (Mennekes)		3,5 кВт, 7 кВт (1-фаза) 11 кВт, 22 кВт (3-фази) 43 кВт (Mode 3)	Європа та решта країн світу
GB/T (AC)		до 7,4 кВт	Китай
Tesla (AC)		11 кВт, 16,5 кВт, 22 кВт залежно від моделі / конфігурації	Європа та решта країн світу

2.3 Взаємодія електричних автомобілів з електричною мережею

Електричні автомобілі стають невід'ємною частиною сучасних енергетичних систем, оскільки вони не лише споживають електроенергію для заряджання, але й можуть активно взаємодіяти з електричною мережею. Ця взаємодія відкриває нові можливості для оптимізації енергоспоживання, стабілізації мережі та інтеграції відновлюваних джерел енергії.

Однією з ключових концепцій взаємодії є “Vehicle-to-Grid” (V2G) [1], яка передбачає двосторонній обмін енергією між електромобілем та електричною мережею. У режимі V2G електромобіль може не лише заряджатися від мережі, але й повертати надлишкову енергію назад, допомагаючи балансувати навантаження та компенсувати пікові споживання. Це особливо актуально в умовах зростаючої частки відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові електростанції, які мають нестабільний характер генерації. Електромобілі діють як мобільні накопичувачі енергії, що можуть швидко реагувати на зміни в мережі, забезпечуючи гнучкість та стабільність.

“Vehicle-to-Home” (V2H) — це концепція, де електромобіль використовується як резервне джерело живлення для домашнього господарства. У разі відключення електроенергії або в години пікового навантаження електромобіль може забезпечувати енергією домашні прилади, знижуючи споживання з мережі та зменшуючи витрати на електроенергію. Це підвищує енергетичну автономність домогосподарства та сприяє більш ефективному використанню енергії, зокрема при інтеграції з домашніми сонячними панелями.

“Vehicle-to-Building” (V2B) розширює ідею V2H на будівлі та офіси. Електромобілі співробітників або відвідувачів можуть бути інтегровані в систему енергоменеджменту будівлі. Це дозволяє використовувати накопичену в батареях енергію для покриття пікових навантажень, зменшення витрат на електроенергію та покращення загальної енергоефективності будівлі. V2B може також сприяти зниженню навантаження на мережу в годині пік, що важливо для міських районів з високою концентрацією споживачів.

“Vehicle-to-Load” (V2L) — це концепція, яка дозволяє електромобілю безпосередньо живити зовнішні пристрої та обладнання. Це може бути корисним у віддалених місцях, де немає доступу до електромережі, або в екстрених ситуаціях, таких як стихійні лиха. Електромобіль може слугувати мобільним генератором, забезпечуючи електроенергією медичне обладнання, освітлення або інші критично важливі пристрої.

Важливою складовою взаємодії є інтелектуальні системи керування заряджанням, відомі як “смарт-чарджинг”. Ці системи дозволяють оптимізувати процес заряджання з урахуванням різних факторів: тарифів на електроенергію, стану мережі, доступності відновлюваних джерел та індивідуальних потреб користувача. Смарт-чарджинг може автоматично регулювати потужність заряджання, час початку та завершення процесу, що сприяє зменшенню витрат та підвищенню стабільності мережі.

“Peer-to-Peer” (P2P) енергетичні обміни — це концепція, яка дозволяє власникам електромобілів та інших енергетичних ресурсів обмінюватися енергією між собою безпосередньо, використовуючи децентралізовані платформи та блокчейн-технології. Це сприяє створенню більш гнучкої та стійкої енергосистеми, де споживачі можуть стати активними учасниками ринку енергії, продаючи надлишки або купуючи енергію за вигідними тарифами.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

	відновлюваних джерел та потреб користувача.	використання електроенергії, сприяння стабільності мережі.
Peer-to-Peer (P2P)	Децентралізований обмін енергією між власниками електромобілів та іншими учасниками через спеціальні платформи або технології блокчейн.	Створення гнучкої та стійкої енергосистеми, можливість продажу надлишкової енергії від електромобілів, вигідні тарифи, залучення споживачів електромобілів як активних учасників ринку електроенергії.

2.4 Технологія V2G

Технологія Vehicle-to-Grid (V2G) [1] є інноваційним підходом до інтеграції електричних транспортних засобів в енергетичну систему. Вона передбачає двонаправлений обмін електроенергією між електромобілем та електричною мережею, де електромобіль може не лише споживати енергію для заряджання, але й віддавати її назад у мережу.

Основна ідея V2G полягає в тому, що коли електромобіль підключений до зарядної станції, він може використовуватися як мобільний накопичувач енергії. У періоди, коли попит на електроенергію високий або коли виникають коливання у генерації електроенергії від відновлюваних джерел (наприклад, сонячних чи вітрових електростанцій), електромобілі можуть повертати накопичену в їхніх батареях енергію назад у мережу. Це сприяє балансуванню навантаження, підвищенню стабільності енергосистеми та більш ефективному використанню ресурсів.

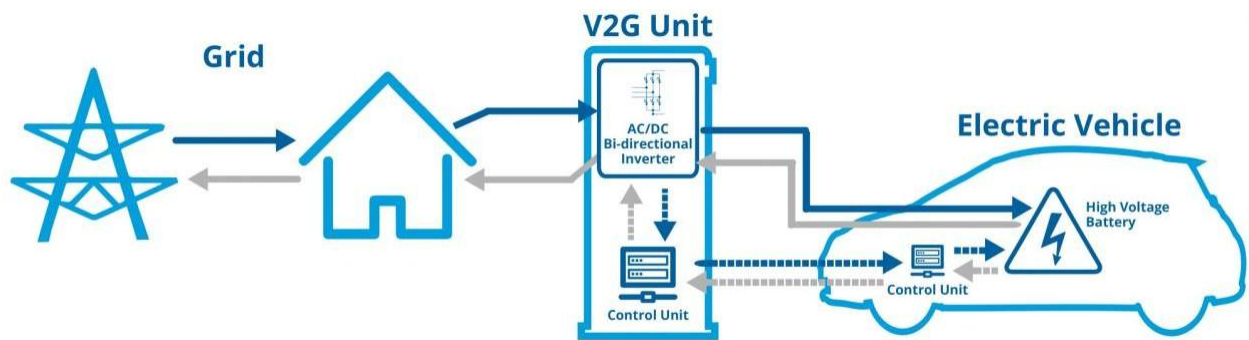


Рисунок 2.4. Загальний вигляд системи V2G

Технологія V2G базується на використанні інтелектуальних зарядних станцій та систем керування, які можуть комунікувати з електромобілями та операторами мережі. Це дозволяє визначати оптимальні моменти для заряджання та розряджання батарей, враховуючи поточний стан мережі, тарифи на електроенергію, потреби власника автомобіля та інші фактори.

Однією з ключових переваг V2G є можливість надання допоміжних послуг операторам мережі. Електромобілі можуть забезпечувати регулювання частоти та напруги, що особливо важливо в умовах зростаючої частки відновлюваних джерел енергії з нестабільною генерацією. Це допомагає підтримувати якість електроенергії та запобігати аварійним ситуаціям.

Для власників електромобілів технологія V2G може стати додатковим джерелом доходу. Вони можуть отримувати компенсацію за надання енергії та допоміжних послуг мережі, що зменшує загальні витрати на експлуатацію автомобіля.

Реалізація V2G вимагає вирішення ряду технічних та регуляторних питань. Потрібна стандартизація протоколів зв'язку та сумісність обладнання різних виробників. Необхідно також забезпечити захист батарей електромобілів від надмірного зносу внаслідок частих циклів заряджання-розряджання, для чого використовуються спеціальні алгоритми керування та обмеження глибини розряду.

Питання кібербезпеки є критичним, оскільки V2G передбачає обмін даними між численними учасниками. Забезпечення конфіденційності та захисту від несанкціонованого доступу є важливим для довіри користувачів та безпеки енергосистеми.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Деякі країни та регіони вже впроваджують пілотні проекти V2G. Наприклад, у Данії та Нідерландах існують програми, де електромобілі інтегровані в енергомережу та надають допоміжні послуги. Ці проекти демонструють практичну реалізацію технології та її потенціал для масштабування.

Впровадження V2G також має екологічний аспект. Використання електромобілів для балансування мережі може зменшити потребу в традиційних газових або вугільних електростанціях, які зазвичай використовуються для покриття пікових навантажень. Це сприяє зменшенню викидів парникових газів та покращенню екологічної ситуації.

2.5 Сучасні проблеми електромобільності в Україні

Сучасний розвиток електромобільності є одним із ключових напрямків трансформації транспортної галузі та енергетичної системи. Збільшення кількості електричних автомобілів як у світі, так і в Україні, обумовлено необхідністю зменшення викидів парникових газів, покращенням екологічної ситуації та прагненням до енергетичної незалежності. Однак, швидке зростання парку електромобілів вимагає відповідного розвитку інфраструктури зарядних станцій, що забезпечить зручність та ефективність їх експлуатації. В Україні розвиток ринку електромобілів стимулюється державними пільгами та законодавчими ініціативами, проте інфраструктура зарядних станцій ще недостатньо розвинена. Це створює потребу в розробці технічних рішень для організації ефективної мережі зарядних станцій з оптимальним розміщенням, що враховує специфіку міської інфраструктури та можливості електричної мережі. Виходячи з цього, для України необхідно вирішити наступні питання:

2.5.1 Проаналізувати сучасні електричні автомобілі та їх технічні параметри.

2.5.2 Дослідити режими заряджання тягових акумуляторних батарей та способи приєднання до мережі.

2.5.3 Вивчити взаємодію електричних автомобілів з електричною мережею та розглянути технологію V2G.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	33

2.5.4 Сформулювати задачі дослідження для подальшого розроблення технічних рішень.

2.5.5 Розробити технічні рішення для зарядних станцій та вибрати їх оптимальне розміщення в межах міста.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ТА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

3.1 Технічні рішення для зарядних станцій

Існуючі технічні рішення для зарядних станцій електромобілів охоплюють широкий спектр технологій, які відповідають різним потребам користувачів та вимогам інфраструктури. Основні типи зарядних станцій включають повільні змінного струму (AC), швидкі постійного струму (DC) та ультрашвидкі зарядні пристрої [5].

Повільні зарядні станції змінного струму зазвичай встановлюються в домашніх умовах або на паркувальних майданчиках, де автомобіль може залишатися підключеним протягом тривалого часу. Вони забезпечують потужність від 3,7 до 22 кВт і підходять для нічного заряджання або довготривалого паркування. Ці станції використовують стандартні роз'єми, такі як Type 2 (Mennekes), і підтримують інтелектуальні функції керування енергоспоживанням.

Швидкі зарядні станції постійного струму призначені для швидкого відновлення енергії в акумуляторі електромобіля. Вони забезпечують потужність від 50 до 150 кВт, що дозволяє зарядити батарею до 80% за 30-60 хвилин. Ці станції встановлюються на громадських заправних комплексах, вздовж магістралей та в місцях з високим трафіком електромобілів. Вони використовують стандарти заряджання CCS (Combined Charging System) або CHAdeMO, забезпечуючи сумісність з більшістю сучасних електромобілів.

Ультрашвидкі зарядні станції є новітнім технічним рішенням, що забезпечує потужність заряджання понад 150 кВт, інколи до 350 кВт і більше. Це дозволяє значно скоротити час заряджання до 15-20 хвилин. Впровадження таких станцій вимагає модернізації електричної інфраструктури та відповідних технічних характеристик від самих електромобілів.

Сучасні технічні рішення також включають інтеграцію зарядних станцій з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні та вітрові електростанції. Це дозволяє зменшити навантаження на електромережу та сприяє екологічній стійкості. Крім того, розвиваються технології бездротового заряджання

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

(індуктивне заряджання), що надають можливість заряджати електромобіль без фізичного підключення кабелем.

3.1.1. Графік заряду/розряду АКБ та вибір оптимального режиму

Акумуляторні батареї є ключовим компонентом електромобілів, що визначає їхню ефективність, запас ходу та загальні експлуатаційні характеристики. Сучасні електромобілі використовують різні типи акумуляторних батарей, кожен з яких має свої переваги та недоліки [5].

Літій-іонні батареї є найпоширенішим типом акумуляторів в електромобілях. Вони відзначаються високою енергетичною щільністю, що дозволяє зберігати більше енергії при менших розмірах та вазі. Це сприяє збільшенню запасу ходу автомобіля без значного збільшення його маси. Літій-іонні батареї також мають низький рівень саморозряду та високий ККД. Однак вони чутливі до високих температур і можуть бути схильні до теплового розгону, що вимагає складних систем управління температурою. Висока вартість виробництва та використання рідкісних матеріалів також є недоліками цього типу батарей.

Літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄) батареї відрізняються підвищеною термічною стабільністю та безпекою. Вони менш схильні до теплового розгону та мають довший термін служби завдяки стійкості до циклічних навантажень. Ці батареї також менш токсичні та більш екологічно безпечні у виробництві та утилізації. Проте їх енергетична щільність нижча порівняно з літій-іонними батареями, що може обмежувати запас ходу електромобіля або вимагати встановлення більшої батареї.

Літій-титанатні (LTO) батареї відомі своєю можливістю дуже швидкого заряджання та високою кількістю циклів заряд/розряд. Вони можуть працювати при низьких температурах і мають тривалий термін служби. Недоліком є дуже низька енергетична щільність, що робить їх менш придатними для легкових автомобілів, але вони можуть бути використані в комерційному та громадському транспорті, де швидкість заряджання є критичною.

Нікель-метал-гідридні (NiMH) батареї раніше широко використовувалися в гібридних автомобілях. Вони мають більший термін

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

служби порівняно з нікель-кадмієвими батареями та менш схильні до ефекту пам'яті. Однак вони поступаються літій-іонним батареям за енергетичною щільністю та вагою. Крім того, NiMH батареї мають вищий рівень саморозряду та менш ефективні при високих струмах розряду.

Твердотільні батареї є перспективною технологією, яка використовує твердий електроліт замість рідкого. Це підвищує безпеку, оскільки зменшується ризик займання. Твердотільні батареї потенційно можуть мати вищу енергетичну щільність та швидкість заряджання. Проте ця технологія все ще перебуває на стадії досліджень і не є широко комерціалізованою через високі витрати та технологічні складнощі виробництва.

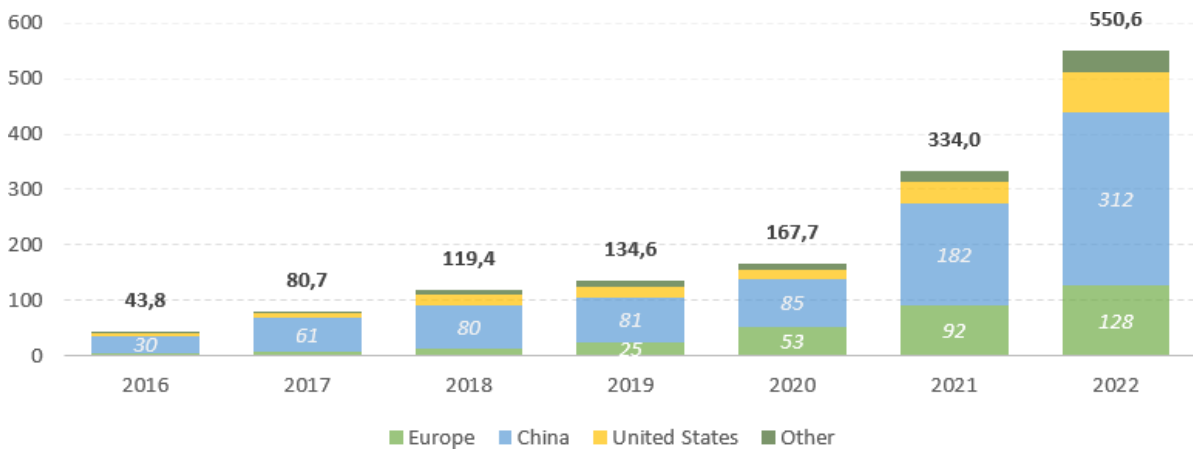


Рисунок 3.1. Частка Li-ion акумуляторів на ринку електричних автомобілів

Вибір акумуляторної батареї для електромобіля залежить від багатьох факторів, включаючи вартість, безпеку, енергетичну щільність, термін служби та специфічні вимоги до експлуатації. Літій-іонні батареї залишаються основним вибором для більшості виробників завдяки збалансованим характеристикам, але розвиток альтернативних технологій може змінити цю ситуацію в майбутньому. Основні фактори, що впливають на старіння літій-іонних батарей, включають кількість циклів (N), температуру експлуатації та зберігання (T), швидкість заряду/розряду та глибину розряду. Детальний опис цих факторів наведено в таблиці 3.1.

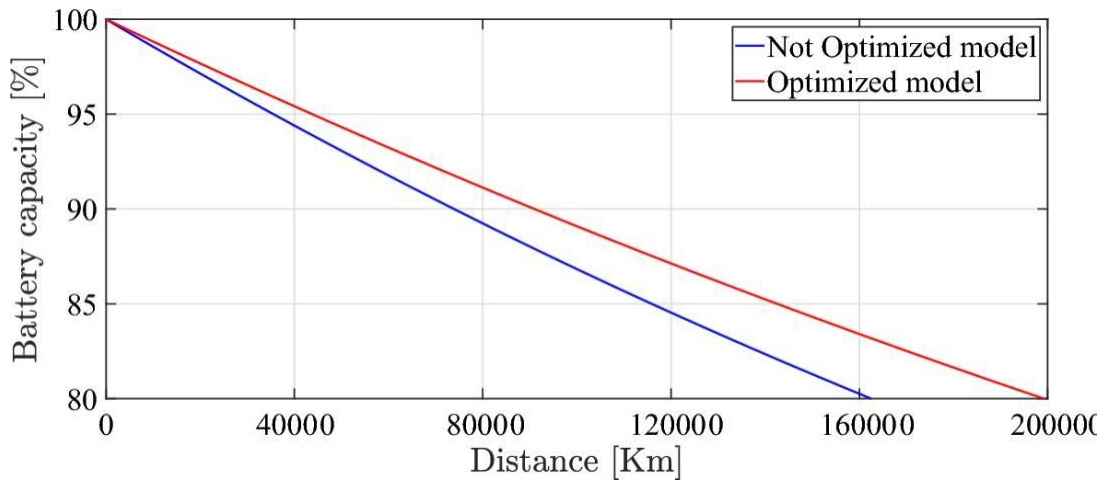


Рисунок 3.2. Залежність зменшення ємності акумулятора від пройденого шляху

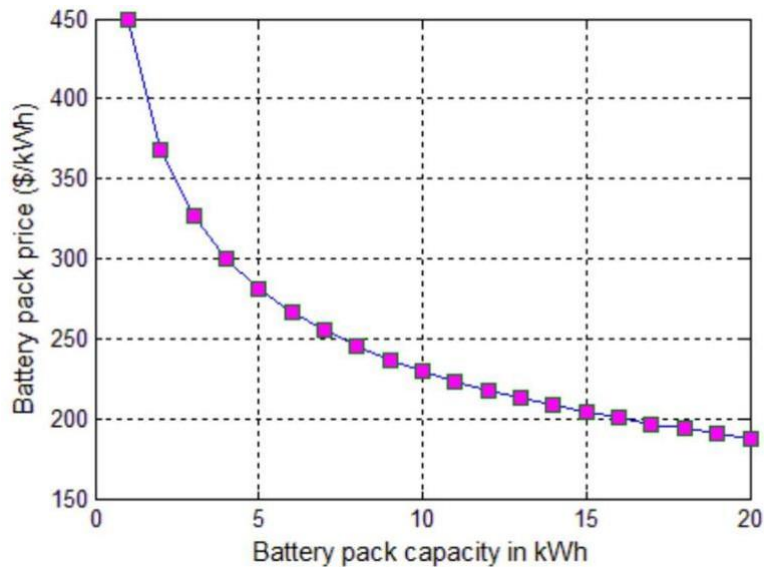


Рисунок 3.3. Вартість батареї та їх ємності

Протягом звичайного дня електромобіль проходить через кілька ключових етапів експлуатації, які включають поїздки та періоди заряджання. Зранку власник електромобіля вирушає з дому до місця роботи. Ця поїздка може займати різний час залежно від відстані та дорожніх умов, але зазвичай становить від 20 до 60 хвилин. Під час руху електромобіль споживає енергію з акумуляторної батареї, при цьому рівень заряду поступово знижується.

Після прибуття на роботу автомобіль залишається на парковці протягом робочого дня. Якщо на місці роботи встановлені зарядні станції, водій має

можливість підключити електромобіль до мережі для відновлення заряду. Це дозволяє поповнити запас енергії в батареї та підготуватися до подальших поїздок. Якщо зарядних станцій немає, акумулятор залишається в тому ж стані, що і після ранкової поїздки.

По завершенні робочого дня власник може здійснювати додаткові поїздки, наприклад, заїхати в магазин, відвідати спортзал або забрати дітей зі школи. Ці короткі переміщення також витрачають енергію, але зазвичай менш інтенсивно, ніж основний маршрут. У процесі цих поїздок рівень заряду акумулятора знижується далі.

Наприкінці дня електромобіль повертається додому. Тут він зазвичай підключається до домашньої зарядної станції для нічного заряджання. Нічний період є оптимальним для повільного заряджання, оскільки автомобіль не використовується, а тарифи на електроенергію можуть бути нижчими в нічний час. До ранку акумуляторна батарея повністю відновлює свій заряд, готуючи автомобіль до наступного дня експлуатації.

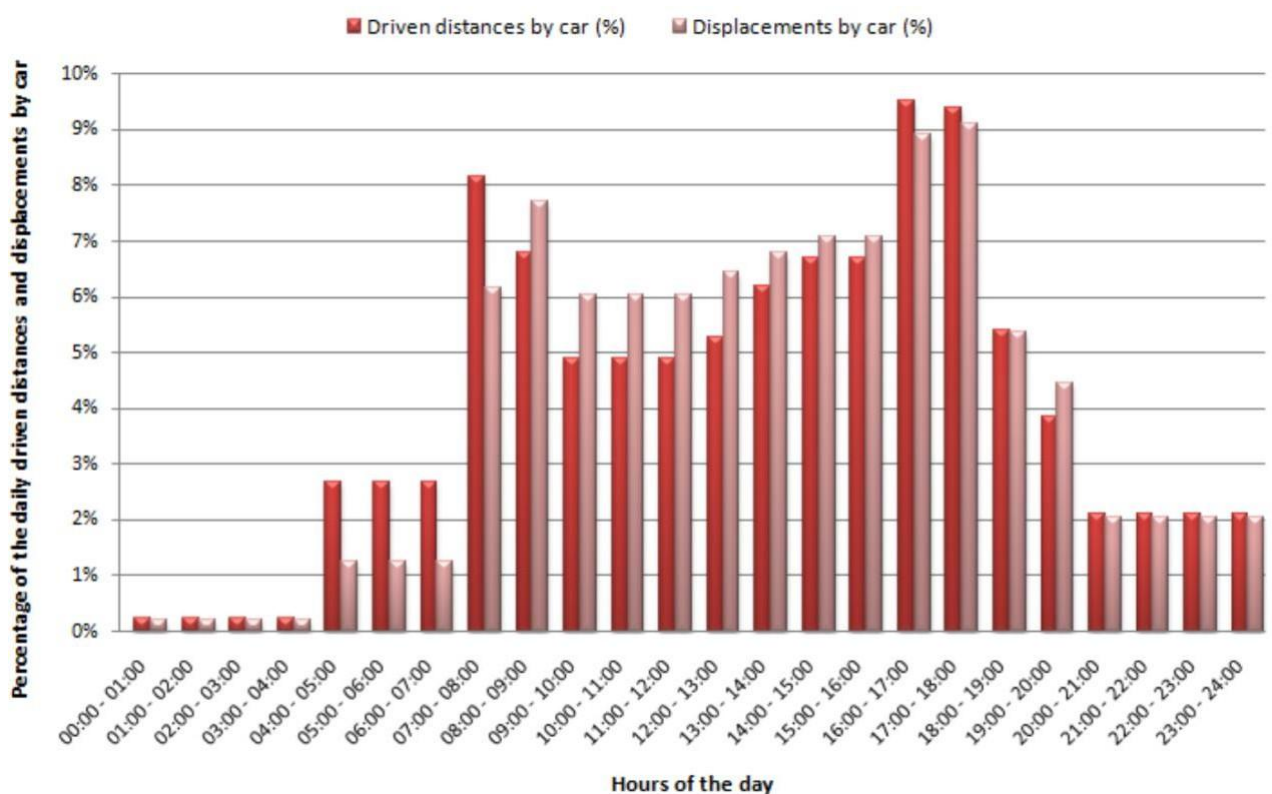


Рисунок 3.4. Графік поїздок протягом дня

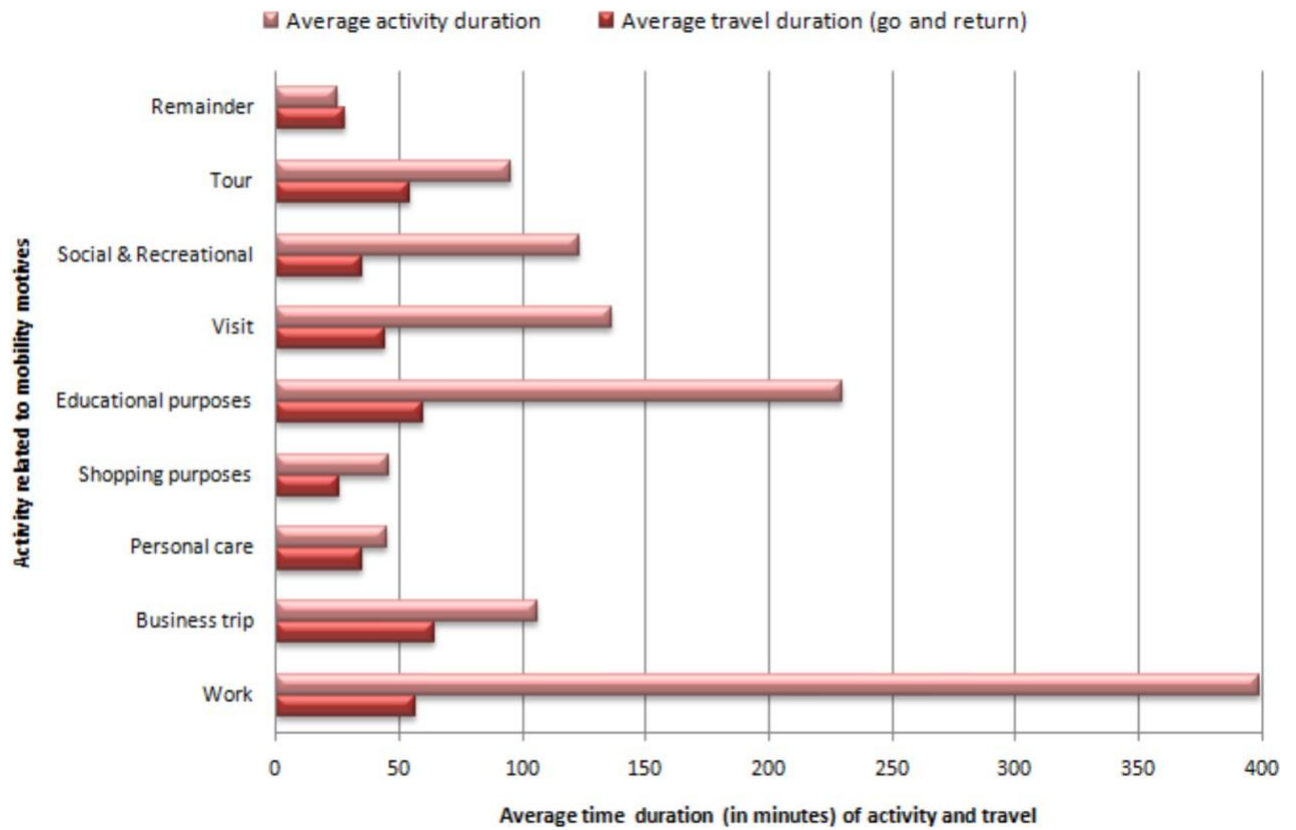


Рисунок 3.5. Розподіл активностей водія впродовж дня

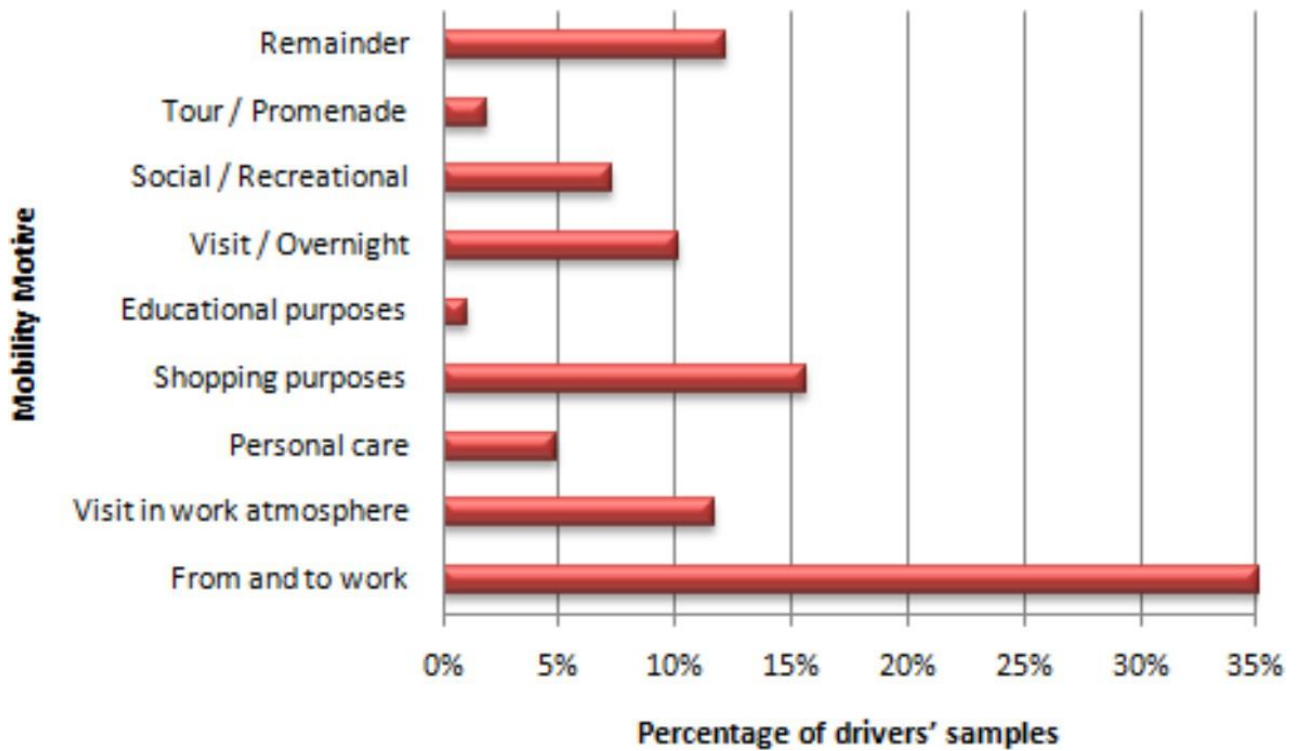


Рисунок 3.6. Відсоток вибірок водіїв за типом мобільності

Аналіз графіків показує, що автомобіль більшу частину дня залишається на стоянці. Таким чином, існують два сценарії участі електромобіля в енергосистемі: без V2G і з V2G. У сценарії без використання технології V2G електромобіль діє виключно як споживач електроенергії. Після завершення денних поїздок він підключається до мережі для заряджання, зазвичай у нічний час, коли тарифи на електроенергію нижчі. Електромобіль споживає електроенергію для поповнення свого акумулятора, але не має можливості повертати енергію назад у мережу. Взаємодія з енергосистемою є односторонньою: від мережі до транспортного засобу. Це може створювати додаткове навантаження на мережу, особливо якщо багато автомобілів заряджаються одночасно під час пікових годин. Коли електромобіль бере участь у технології V2G, він стає активним елементом енергосистеми з двонаправленим обміном енергією.

У цьому сценарії електромобіль не лише заряджається від мережі, але й може повертати надлишкову енергію назад у мережу в періоди пікового споживання або за високих тарифів на електроенергію. Це допомагає балансувати навантаження на мережу, зменшувати пікові навантаження та сприяє більш ефективному використанню відновлюваних джерел енергії. Власник електромобіля може отримувати додатковий дохід за надання енергії в мережу, а також сприяє стабільності та надійності енергосистеми.

Таблиця 3.2. Графік заряду розряду для автомобіля без участі в V2G

Година	Тип участі	Короткий опис процесу
00:00–06:00	Споживач	Нічне заряджання електромобіля від мережі до повного заряду акумулятора.
06:00–08:00	Транспортний засіб	Поїздка на роботу; використання енергії з акумулятора для руху.
08:00–17:00	Паркування	Електромобіль припаркований на стоянці без заряджання; немає взаємодії з мережею.
17:00–18:00	Транспортний засіб	Поїздка додому або за особистими справами; подальше використання енергії з акумулятора.
18:00–24:00	Паркування	Електромобіль припаркований вдома, очікує на нічне заряджання; відсутня взаємодія з мережею.

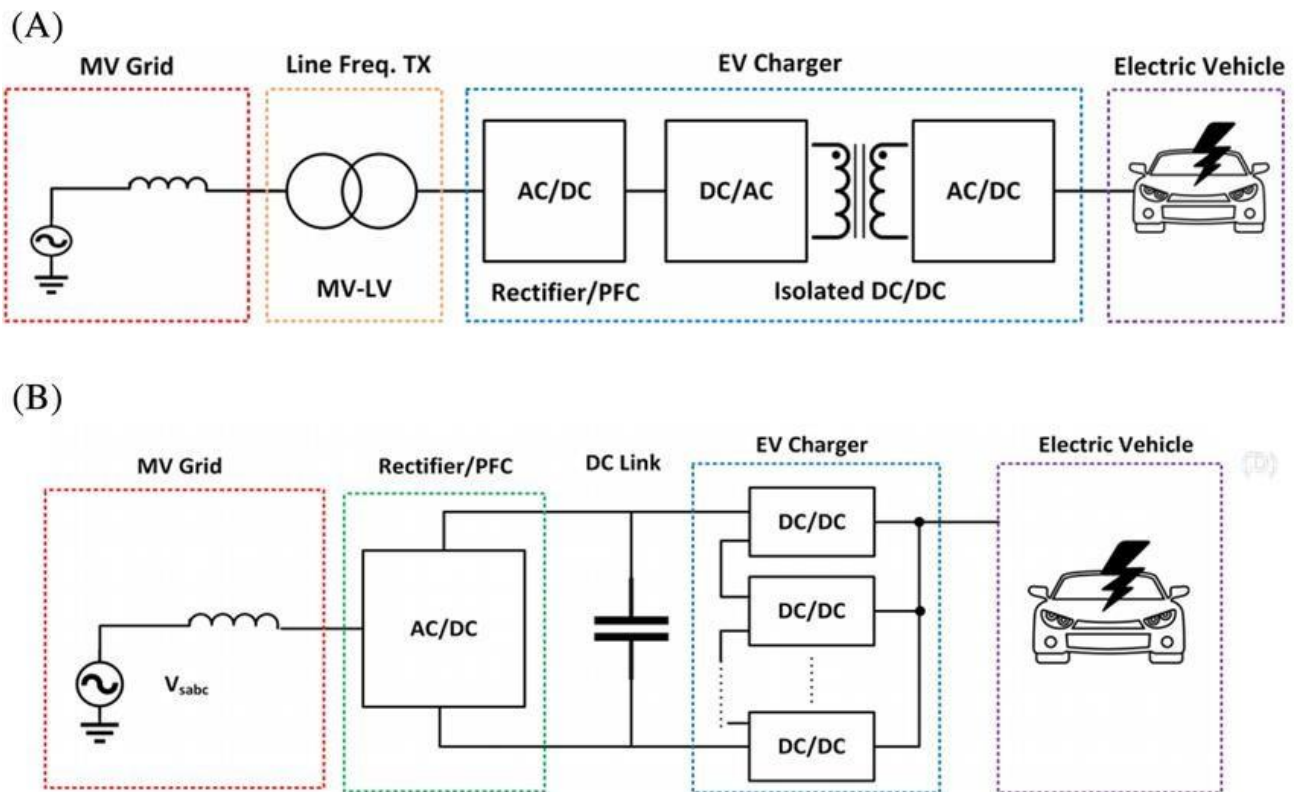


Рисунок 3.7. Головні схемотехнічні рішення для зарядних пристроїв електромобілів

Основою зарядних пристроїв є силова електроніка, яка використовує напівпровідникові компоненти для перетворення та регулювання електричної енергії. Ключовими компонентами є:

- Напівпровідникові прилади:

MOSFET, IGBT, діоди Шоттки, які забезпечують високі швидкості перемикання та ефективність.

- Магнітні компоненти:

Трансформатори та дроселі, виготовлені з високоякісних магнітних матеріалів для зменшення втрат і покращення ефективності.

- Конденсатори:

Високовольтні та високочастотні конденсатори для фільтрації та зберігання енергії.

- Мікроконтролери та процесори:

Використовуються для керування процесом заряджання, моніторингу параметрів та забезпечення безпеки.

Схемотехнічні рішення зарядних пристроїв включають:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ				44

комерційної інфраструктури. Однак, високі витрати на встановлення та експлуатацію, а також технічні вимоги до електромережі є недоліками, які слід враховувати при плануванні та впровадженні таких станцій. Існують наступні топології виконання зарядних станцій:

1. Стаціонарні зарядні станції змінного струму (АС)

Ці станції підключаються до електромережі та забезпечують заряджання електромобілів за допомогою змінного струму. Вони можуть мати потужність від 3,7 кВт до 22 кВт. Зарядний пристрій електромобіля (бортовий зарядний пристрій) перетворює змінний струм у постійний для заряджання АКБ.

Переваги: простота встановлення, нижча вартість порівняно з DC-станціями, сумісність із більшістю електромобілів.

Недоліки: тривалий час заряджання, обмежена потужність через можливості бортового зарядного пристрою.

2. Стаціонарні зарядні станції постійного струму (DC)

Ці станції мають вбудовані потужні перетворювачі, які перетворюють змінний струм з мережі в постійний струм високої потужності та безпосередньо заряджають АКБ, минаючи бортовий зарядний пристрій. Потужність може сягати від 50 кВт до 350 кВт.

Переваги: значно швидше заряджання, підходять для комерційних та громадських місць з високим трафіком.

Недоліки: висока вартість обладнання та встановлення, потреба в потужному електропостачанні, складність технічного обслуговування.

3. Бездротові зарядні пристрої

Використовують принцип електромагнітної індукції для передачі енергії без фізичного контакту. Система складається з передавальної котушки в землі або на поверхні та приймальної котушки в електромобілі.

Переваги: зручність, відсутність зносу роз'ємів, автоматизація процесу заряджання.

Недоліки: нижча ефективність передачі енергії, висока вартість, потреба в точному позиціонуванні, обмежена потужність.

4. Мобільні зарядні пристрої

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Переносні або автомобільні зарядні системи, які можуть бути використані для аварійного підзарядження або в місцях без стаціонарних станцій. Можуть працювати від генераторів або інших джерел енергії.

Переваги: гнучкість використання, можливість зарядження в віддалених місцях.

Недоліки: обмежена потужність, тривалий час зарядження, залежність від наявності альтернативних джерел енергії.

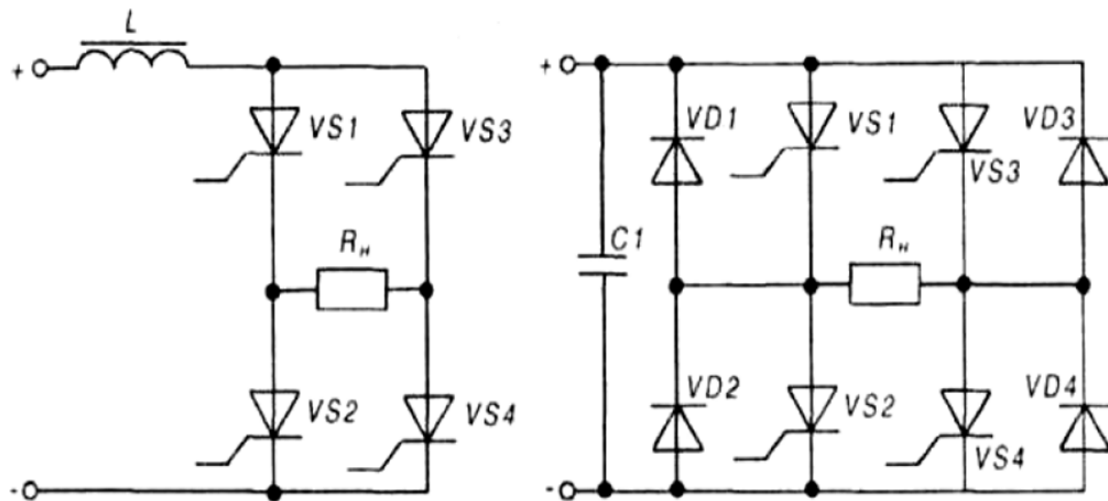


Рисунок 3.9 – Схеми інвертування постійного струму

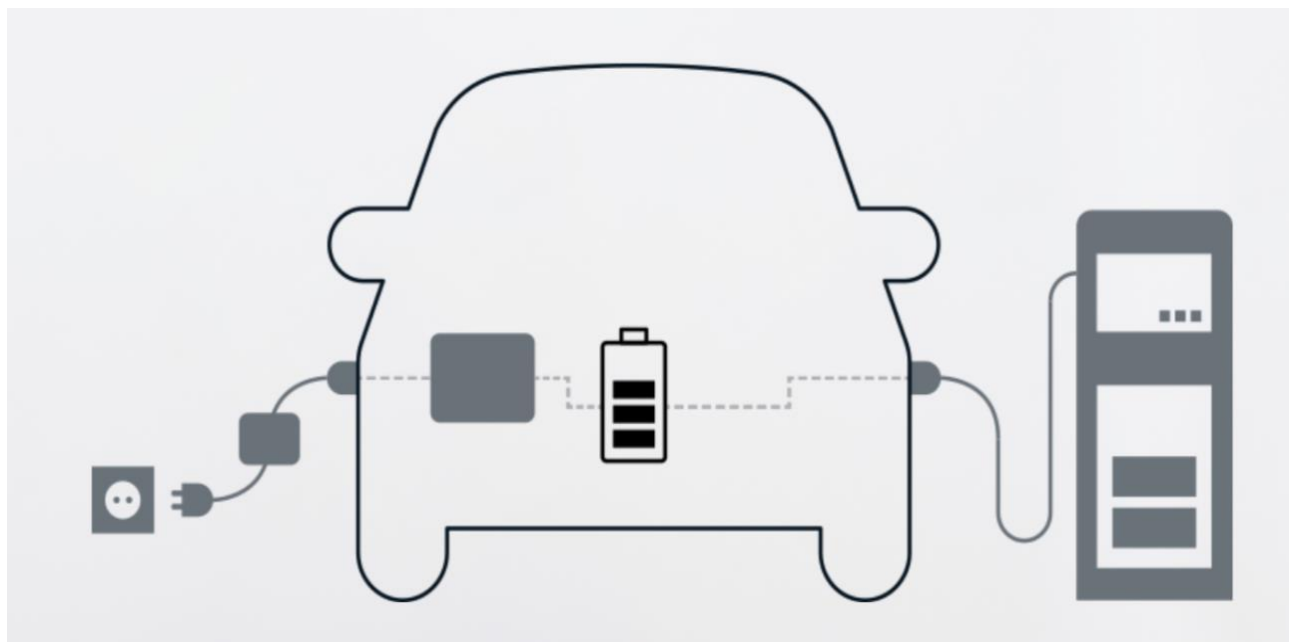


Рисунок 3.10. Структура зарядної системи батареї електричного автомобіля

3.1.3. Розрахунок потужності зарядних станцій та точок підключення

Для ефективного планування мережі зарядних станцій у місті Івано-Франківськ необхідно виконати ряд розрахунків, враховуючи прогнозовану кількість електромобілів до кінця 2026 року. Згідно з наданими даними, очікується, що до цього часу в Івано-Франківську буде приблизно 11 200 електромобілів при населенні 337 000 осіб.

Перш за все, визначимо середню кількість електромобілів на 1000 жителів міста [6]. Це показник важливий для оцінки рівня електромобільності та планування інфраструктури.

Розрахунок виконується за формулою:

$$\left(\frac{11\,200}{337\,000} \right) \times 1000 \approx 33,23 \quad (3.1)$$

Отже, у 2026 році в Івано-Франківську буде приблизно 33 електромобілі на кожен тисячу жителів.

Далі розглянемо середню площу стоянки для автомобілів. Стандартне паркувальне місце займає площу близько 2,5 метрів у ширину та 5 метрів у довжину, що становить 12,5 квадратних метрів. Проте з урахуванням проїздів та маневрових зон загальна площа на одне паркомісце збільшується до приблизно 25 квадратних метрів. Це враховує необхідний простір для безпечного руху автомобілів на стоянці.

Наступним кроком є визначення необхідної кількості точок підключення та кількості електромобілів на одній стоянці [7]. Припустимо, що одночасно потребують заряджання близько 15% від загальної кількості електромобілів:

$$11\,200 \times 0,15 = 1\,680 \quad (3.2)$$

Таким чином, для задоволення попиту необхідно забезпечити 1 680 точок підключення в місті.

Якщо прийняти, що середня стоянка може обслуговувати близько 50 електромобілів, тоді кількість таких стоянок буде:

$$\frac{1\,680}{50} = 33,6 \quad (3.3)$$

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Округлюючи до найближчого цілого числа, отримуємо 34 стоянки з необхідною інфраструктурою для заряджання.

Щодо потужності зарядної станції в режимі Mode 2 [8], цей режим передбачає заряджання змінним струмом від побутової мережі з використанням спеціального кабелю з вбудованими засобами захисту. Максимальна потужність в цьому режимі зазвичай становить 3,7 кВт (при напрузі 230 В і струмі 16 А).

Для розрахунку загальної необхідної потужності використовуємо цю величину:

$$1\ 680 \times 3,7\ \text{кВт} = 6\ 216\ \text{кВт} \quad (3.4)$$

Тобто сумарна потужність, необхідна для одночасного заряджання 1 680 електромобілів у режимі Mode 2, становить 6 216 кВт або 6,216 МВт.

Для забезпечення такої потужності може знадобитися модернізація існуючої електромережі або впровадження системи керування навантаженням, яка дозволить рівномірно розподілити споживання електроенергії та уникнути пікових навантажень.

При виборі моделі зарядної станції слід враховувати її відповідність вимогам режиму Mode 2 [9], надійність, безпеку та можливість інтеграції з системами управління енергоспоживанням. Одним із можливих варіантів є зарядні станції типу Wallbox Pulsar Plus [10], які підтримують заряджання в режимі Mode 2 з потужністю до 7,4 кВт, оснащені інтелектуальними функціями та вбудованими засобами захисту.

Вибір такої моделі обумовлений її компактністю, простотою встановлення та можливістю віддаленого керування через мобільний додаток. Це дозволяє користувачам контролювати процес заряджання, а операторам стоянок ефективно керувати інфраструктурою.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Таблиця 3.4. Технічні характеристики зарядних пристроїв «Wallbox Pulsar Plus»

Характеристика	Опис
Модель	Wallbox Pulsar Plus
Режим заряджання	Mode 3 (змінний струм, AC)
Максимальна потужність	- До 7,4 кВт (однофазний струм, 230 В) - До 22 кВт (трифазний струм, 400 В)
Напруга живлення	110–240 В (однофазний) або 400 В (трифазний)
Максимальний струм	Регульований від 6 А до 32 А
Тип роз'єму	- Type 1 (SAE J1772) - Type 2 (IEC 62196-2)
Комунікація	Вбудований Wi-Fi та Bluetooth
Розміри (Ш x В x Г)	Приблизно 166 x 163 x 82 мм
Вага	Близько 1 кг
Монтаж	Настінний або на стійці (з використанням додаткових аксесуарів)
Клас захисту	IP54 / IK08 (захист від пилу, бризок води та механічних впливів)
Температурний діапазон	Від -25°C до +40°C
Безпека	- Вбудований захист від струму витоку (DC 6 мА) - Захист від перенапруги та перегріву - Відповідність стандартам безпеки

Таким чином, для міста Івано-Франківськ рекомендовано планувати встановлення близько 34 стоянок з зарядними станціями, що забезпечать необхідну кількість точок підключення та потужність для обслуговування прогнозованої кількості електромобілів до 2026 року. Вибір моделей зарядних станцій, таких як Wallbox Pulsar Plus, сприятиме створенню сучасної та ефективної інфраструктури заряджання, відповідаючи потребам користувачів та вимогам безпеки.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

4 МЕРЕЖА ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ М. ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА

4.1 Вибір оптимального розміщення зарядних станцій для електромобілів

Планування оптимального розміщення зарядних станцій у місті Івано-Франківськ є важливим завданням для забезпечення ефективного використання електромобілів та задоволення потреб їх власників. Зарядні станції будуть підключені до енергомережі Івано-Франківськoblenergo з урахуванням технічних можливостей та вимог енергетичної інфраструктури міста.

Підключення зарядних станцій до енергомережі здійснюватиметься шляхом приєднання до існуючих розподільчих мереж низької або середньої напруги [11]. Для цього необхідно провести аналіз пропускної здатності електричних мереж у потенційних місцях встановлення станцій. У випадку використання зарядних станцій типу Wallbox Pulsar Plus у режимі Mode 2, які мають потужність до 7,4 кВт, підключення може здійснюватися до мережі низької напруги (220/380 В). Це значно спрощує процес підключення та знижує вартість інсталяції.

Основними факторами для вибору місця розташування зарядних станцій є:

1. Щільність населення та концентрація електромобілів.

Зарядні станції слід розміщувати в районах з високою щільністю населення та потенційно високим попитом на заряджання. Це забезпечить максимальну ефективність використання станцій та зручність для користувачів.

2. Транспортні потоки та інфраструктура.

Місця з інтенсивним рухом транспорту, такі як центральні вулиці, торгові центри, бізнес-парки та громадські установи, є пріоритетними для встановлення зарядних станцій. Це дозволить обслуговувати більшу кількість електромобілів та сприятиме популяризації електротранспорту.

3. Доступність до енергомережі.

Вибір місць з близьким розташуванням до існуючих електричних мереж високої пропускної здатності зменшує витрати на підключення та мінімізує технічні складнощі. Важливо оцінити можливість підключення без необхідності модернізації мережі або будівництва нових ліній.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ				51

4. Зручність для користувачів.

Зарядні станції повинні бути розташовані в місцях з легким доступом, наявністю паркувальних місць та безпечних умов експлуатації. Освітлення, наявність навігаційних знаків та інформаційних вказівників сприятимуть комфортному користуванню станціями.

5. Можливість розширення інфраструктури.

Вибір локацій з перспективою подальшого розширення кількості зарядних точок або встановлення більш потужних станцій дозволить адаптуватися до зростаючого попиту в майбутньому.

На сьогодні у місті Івано-Франківськ є приблизно 20 зарядних станцій, більшість з яких мають один зарядний пристрій з 1 або 2 точками підключення. Чотири з цих станцій забезпечують швидку зарядку за стандартом CHAdeMo, тоді як решта – повільну зарядку за стандартами J1772 та Mennekes. На рисунку 4.1 показано карту існуючих зарядних станцій.

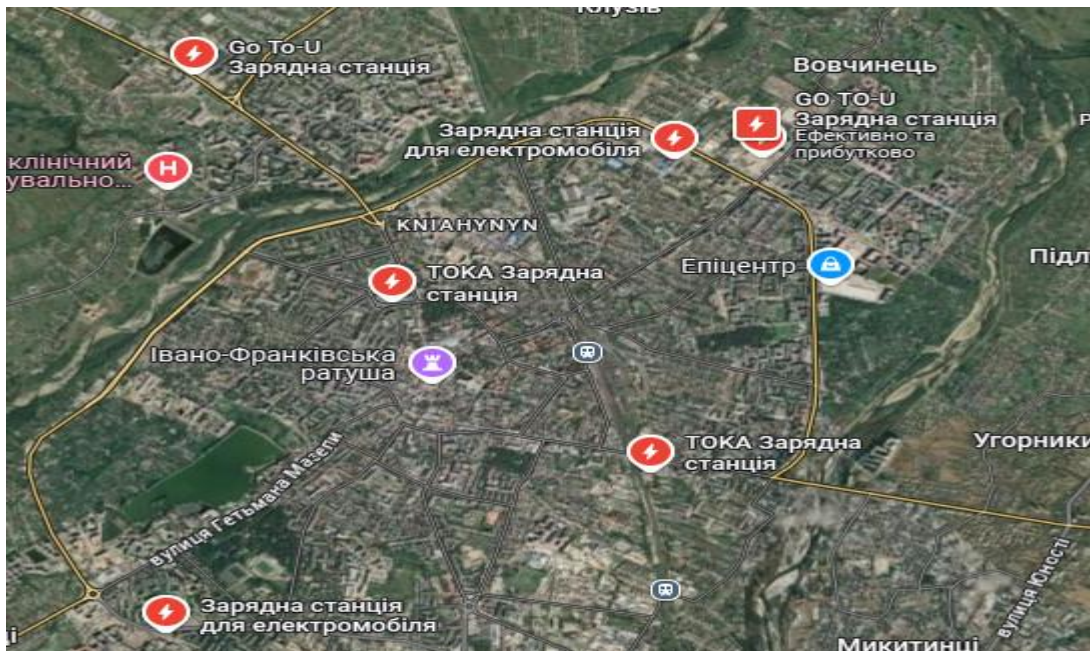


Рисунок 4.1. Існуючі зарядні станції в місті Івано-Франківську

Енергомережа Івано-Франківська загалом здатна забезпечити підключення зарядних станцій малої та середньої потужності, особливо в районах з розвинутою інфраструктурою. Однак для встановлення великої кількості високопотужних станцій, зокрема швидких DC-зарядних пристроїв, може знадобитися детальний аналіз та можлива модернізація мережі.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

У центральній частині міста мережа більш навантажена через велику кількість споживачів, тому підключення додаткових потужностей потребує особливої уваги. У периферійних районах можуть бути кращі можливості для розміщення зарядних станцій з точки зору наявності вільної потужності, але слід враховувати транспортну доступність та потреби користувачів.

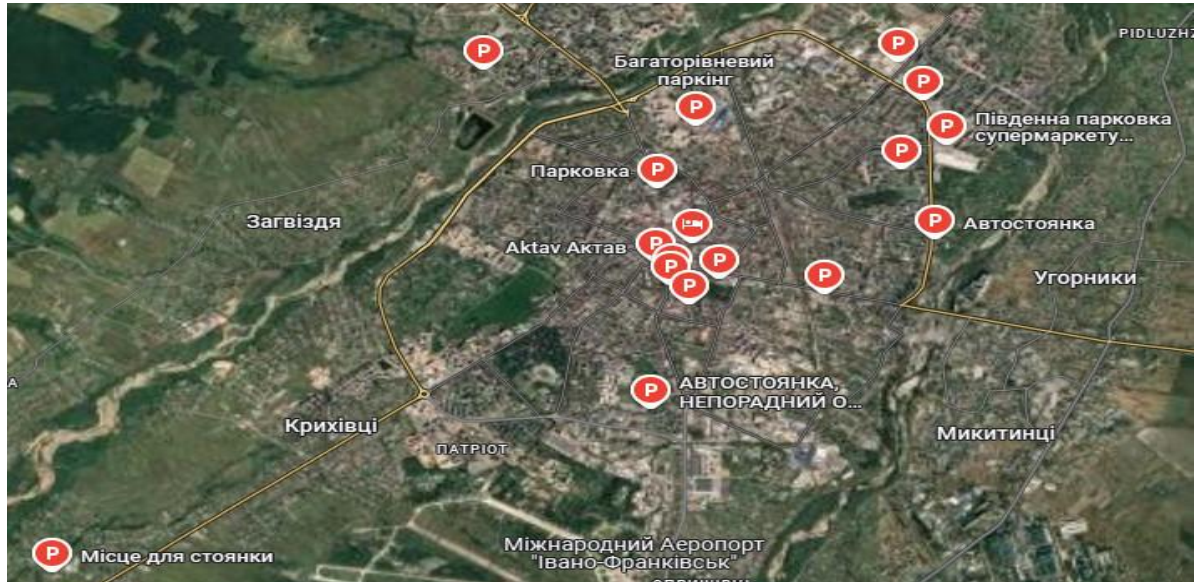


Рисунок 4.2. Існуючі стоянки та паркінги в місті Івано-Франківськ

При підключенні зарядних станцій до енергомережі необхідно враховувати специфіку та характеристики електричної інфраструктури міста Івано-Франківськ. Енергомережа Івано-Франківська управляється компанією «Івано-Франківськобленерго» і складається з розподільчих мереж різних рівнів напруги, трансформаторних підстанцій та інших об'єктів енергосистеми. Енергомережа міста оперує на різних рівнях напруги, включаючи високовольтні лінії 110 кВ та 35 кВ, середньовольтні мережі 10 кВ та низьковольтні мережі 0,4 кВ. Високовольтні мережі забезпечують передачу електроенергії від генеруючих потужностей до районних підстанцій, а середньо- та низьковольтні мережі розподіляють електроенергію безпосередньо до споживачів.

Станом на 2025 рік, енергомережа Івано-Франківська має достатню пропускну здатність для задоволення поточних потреб споживачів. Однак зростання навантаження через підключення великої кількості зарядних станцій для електромобілів може вимагати детального аналізу та, за необхідності, модернізації окремих ділянок мережі. Більшість електричних мереж міста

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	53

перебуває в задовільному стані, але є ділянки, які потребують оновлення та реконструкції. Це важливо враховувати при плануванні підключення нових об'єктів, щоб забезпечити надійність та безпеку електропостачання.

Перед підключенням зарядних станцій необхідно провести детальний аналіз наявних резервів потужності в місцях запланованого встановлення [12]. Це допоможе визначити, чи може існуюча мережа забезпечити додаткове навантаження без ризику перевантаження або зниження якості електропостачання. У разі виявлення недостатньої пропускної здатності або технічних обмежень, може виникнути потреба в модернізації мережевої інфраструктури. Це може включати заміну проводів на більший переріз, встановлення додаткових трансформаторних підстанцій або оновлення обладнання захисту та автоматики.

Для оптимізації використання енергомережі та запобігання піковим навантаженням можна застосовувати технології смарт-чарджингу [13]. Це дозволить регулювати процес заряджання електромобілів залежно від поточного навантаження на мережу та тарифів на електроенергію.

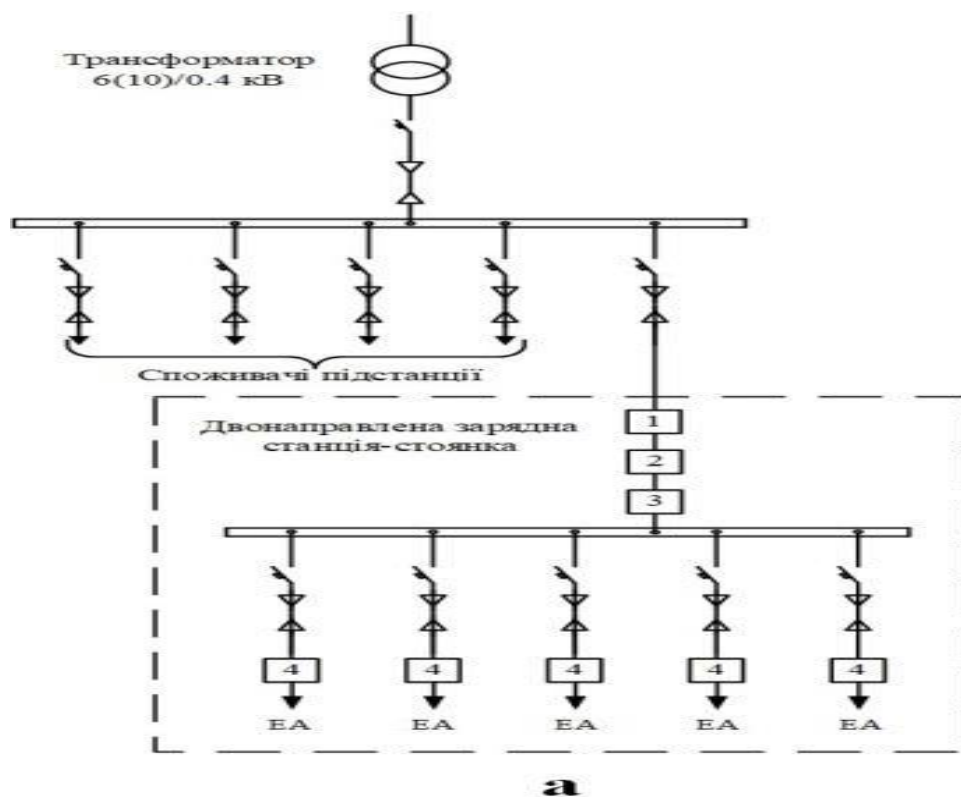


Рисунок 4.3. Схема приєднання зарядної станції до трансформаторної підстанції

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Для визначення оптимальних координат розміщення зарядних станцій необхідно провести кількісний аналіз, використовуючи математичні моделі та формули. Розрахунок базується на таких основних даних:

- Населення міста Івано-Франківськ: $N=337\,000$ осіб.
- Прогнозована кількість електромобілів до кінця 2026 року: $E=11\,200$ одиниць.
- Кількість необхідних зарядних станцій: $S=34$ (виходячи з попередніх розрахунків).

Для визначення оптимальних місць розміщення можна застосувати метод кластерного аналізу з використанням алгоритму k-середніх (k-means clustering). Цей метод дозволяє розподілити точки попиту на зарядні станції на кластери та визначити центри цих кластерів, які будуть оптимальними місцями для встановлення станцій. Необхідні наступні дані:

- Координати точок попиту: $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, де x_1, x_2, \dots, x_n — географічні координати місць з високою концентрацією електромобілів або потенційних користувачів.
- Вагові коефіцієнти: w_i , які відображають інтенсивність попиту в точці x_i (наприклад, кількість електромобілів у районі).
- Кількість кластерів: $K=S=34$.

Задача полягає в мінімізації зваженої суми квадратів відстаней між точками попиту та центрами кластерів:

$$\arg \min_C \sum_{i=1}^n w_i \|x_i - c_{(x_i)}\|^2$$

де:

- $C=\{c_1, c_2, \dots, c_K\}$ — координати центрів кластерів (місць розміщення зарядних станцій).
- $c(x_i)$ — центр кластера, до якого віднесена точка x_i .
- $\|x_i - c(x_i)\|$ — Євклідова відстань між точкою попиту та центром кластера.

Алгоритм включає наступні кроки:

1. Випадково або на основі апріорної інформації вибрати початкові центри кластерів C .
2. Для кожної точки x_i визначити найближчий центр кластера:

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$c_{(x_i)} = \arg \min_{c_k} \|x_i - c_k\|$$

3. Обчислити нові центри кластерів як зважені середні точок, віднесених до кожного кластера:

$$c_k = \frac{\sum_{x_i \in C_k} w_i x_i}{\sum_{x_i \in C_k} w_i}$$

4. Якщо зміни центрів кластерів незначні, алгоритм зупиняється; інакше повернутися до кроку 2.
5. Отримати дані про розподіл населення, кількість електромобілів у різних районах міста, місця тяжіння (торгові центри, офіси, паркінги). Призначити ваги w_i відповідно до кількості потенційних користувачів або інтенсивності транспортного потоку в точці x_i .
6. Розрахувати відстані. Використовується Євклідова відстань між двома точками:

$$d(x_i, c_k) = \sqrt{(x_i^{(1)} - c_k^{(1)})^2 + (x_i^{(2)} - c_k^{(2)})^2}$$

7. Якщо обрані місця не відповідають додатковим критеріям, необхідно:

- Перемістити станцію в найближче місце, що задовольняє вимогам.
- Повторити алгоритм з оновленими обмеженнями.

Результати розрахунку за запропонованим алгоритмом з розміщенням розрахованих зарядних станцій представлено на рис. 4.4.

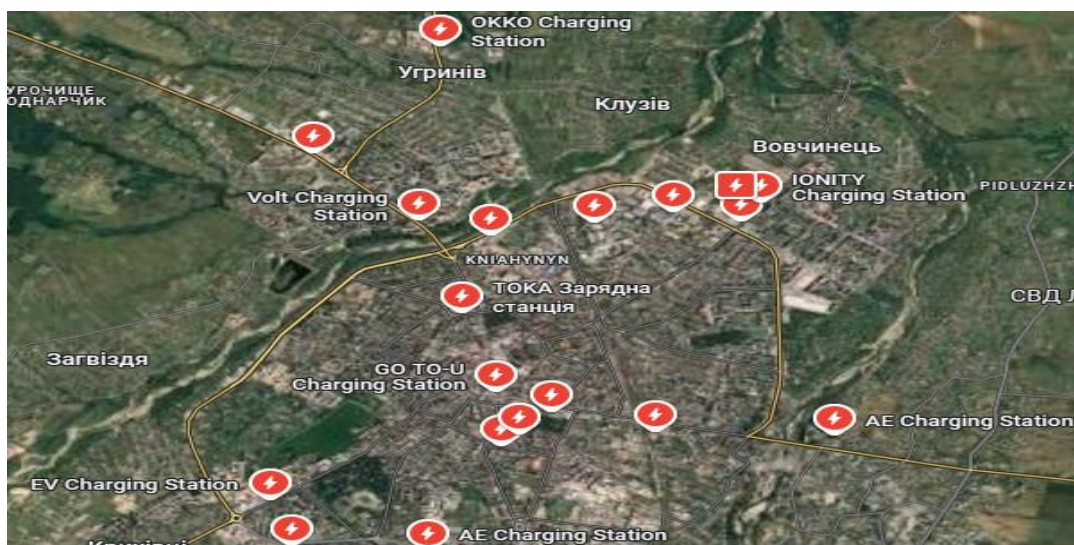


Рисунок 4.4. Розташування перспективних електричних зарядних станцій електроавтомобілів

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Розрахунок оптимальних місць розташування зарядних станцій у місті Івано-Франківськ базується на застосуванні кластерного аналізу з використанням алгоритму k-середніх, врахуванні вагових коефіцієнтів точок попиту та додаткових обмежень. Врахування реальних умов міста, таких як дорожня мережа та доступність електромережі, забезпечує практичність та ефективність отриманих рішень. Цей підхід дозволяє науково обґрунтовано планувати розміщення зарядних станцій, що сприятиме розвитку електромобільності та задоволенню потреб мешканців міста.

4.2 Використання багатозонного диференційованого тарифу для зарядки електромобілів

Використання багатозонного лічильника для зарядки електромобіля надає значні переваги як з економічної, так і з енергетичної точки зору. Основна ідея багатозонного тарифу полягає в тому, що вартість електроенергії змінюється залежно від часу доби: в нічний час вона суттєво нижча, ніж вдень. Це дозволяє власникам електромобілів планувати зарядку на періоди з мінімальним тарифом, що знижує витрати на електроенергію. Крім того, такий підхід сприяє вирівнюванню навантаження на енергосистему, зменшуючи пікові навантаження та підвищуючи ефективність її роботи.

В Україні діють різні тарифи на електроенергію для фізичних та юридичних осіб. Для побутових споживачів (фізичних осіб) тарифи зазвичай встановлюються регулятором і можуть варіюватися залежно від обсягу споживання та наявності багатозонного лічильника [14]. Станом на травень 2025 року середній тариф для населення становить 4,32 грн. за кВт·год. При використанні двозонного лічильника вартість електроенергії в нічний час (з 23:00 до 7:00) може знижуватися до 2,16 грн. за кВт·год, що становить 50 % від денного тарифу.

Для юридичних осіб тарифи на електроенергію встановлюються індивідуально постачальниками електроенергії та можуть залежати від класу напруги, обсягу споживання та інших факторів. В середньому, тарифи для бізнесу є вищими і можуть становити 8,25 грн. за кВт·год вдень та 5,60 грн. за кВт·год в нічний час при використанні багатозонного обліку.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Для подальших розрахунків капітальних та експлуатаційних витрат, а також розрахунку економії, будуть використовуватися наступні технічні та грошові параметри:

- Вартість електроенергії для фізичних осіб:
 - Денний тариф: 4,32 грн/кВт·год.
 - Нічний тариф: 2,16 грн/кВт·год (при використанні двозонного лічильника).
- Вартість електроенергії для юридичних осіб:
 - Денний тариф: 8,25 грн/кВт·год.
 - Нічний тариф: 5,60 грн/кВт·год (при використанні багатозонного лічильника).
- Потужність зарядної станції:
 - Для режиму Mode 2: 3,7 кВт.
- Середній час заряджання електромобіля:
 - 6 годин для повного заряду.
- Кількість зарядних сесій на місяць:
 - Припускаємо 15 заряджвань.
- Вартість встановлення багатозонного лічильника:
 - Для фізичних осіб: 2 000 грн.
 - Для юридичних осіб: 5 000 грн.
- Капітальні витрати на встановлення зарядної станції:
 - Для домашньої станції: 20 000 грн.
 - Для комерційної станції: 50 000 грн.
- Експлуатаційні витрати:
 - 5% від капітальних витрат на рік (обслуговування, ремонт).
- Середній пробіг електромобіля:
 - 1 500 км на місяць.
- Споживання електроенергії на 100 км пробігу:
 - 15 кВт·год.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Використання цих параметрів дозволить детально проаналізувати економічну ефективність впровадження багатозонного тарифу для зарядки електромобілів. Зокрема, можна буде розрахувати термін окупності капітальних вкладень у встановлення багатозонного лічильника та зарядної станції, а також оцінити щомісячну та річну економію на вартості електроенергії. Це сприятиме прийняттю обґрунтованих рішень як для приватних власників електромобілів, так і для підприємств, які планують розвивати інфраструктуру зарядних станцій для електромобілів.

4.3 Розрахунок капітальних витрат

Для розрахунку капітальних витрат, пов'язаних із зарядкою електромобіля та впровадженням багатозонного диференційованого тарифу, необхідно врахувати кілька ключових компонентів. Перш за все, вартість акумуляторної батареї (ЦАКБ) для електромобілів є однією з найбільших статей витрат [15], оскільки батарея є основним елементом електромобіля, що визначає його запас ходу та загальну ефективність. Ціна батареї для електромобілів залежить від її ємності, технології виробництва та виробника. Для точного розрахунку слід отримати актуальні ціни від постачальників або виробників, враховуючи можливі знижки або програми лояльності.

Далі необхідно врахувати вартість доставки (Вдост) акумуляторної батареї для електромобілів до місця встановлення [16]. Це включає транспортні витрати, митні збори, страхування вантажу та інші логістичні витрати. Вартість доставки може значно варіюватися залежно від відстані, способу транспортування (авіа, морський, автомобільний транспорт) та умов постачання, узгоджених з постачальником. Важливо врахувати всі потенційні витрати, щоб уникнути непередбачених витрат у майбутньому.

Третім компонентом є вартість робіт з заміни батареї (Вроб). Ця стаття витрат охоплює оплату праці кваліфікованих фахівців, які виконуватимуть демонтаж старої батареї та встановлення нової.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Процес заміни може вимагати спеціалізованого обладнання та інструментів, а також дотримання техніки безпеки та екологічних норм щодо утилізації старої батареї. Вартість робіт залежить від складності процесу, тривалості робіт та тарифів на послуги спеціалістів у конкретному регіоні. Рекомендується отримати декілька комерційних пропозицій від сервісних центрів або майстерень для порівняння цін та умов виконання робіт.

Сумарно капітальні витрати розраховуються шляхом додавання всіх вищезазначених компонентів:

$$\text{Капітальні витрати} = \text{ЦАКБ} + \text{Вдост} + \text{Вроб} \quad (4.5)$$

Середня вартість нової акумуляторної батареї ємністю 40–60 кВт·год для електромобіля становить приблизно 8 000 доларів США [17-19]. Перераховуємо вартість у гривнях:

$$\text{ЦАКБ} = 8\,000 \times 38 = 304\,000 \text{ грн} \quad (4.6)$$

Вартість доставки акумуляторної батареї, включаючи транспортні витрати, митні збори та страхування, припустимо, становить 1 500 доларів США. Перераховуємо в гривні:

$$\text{Вдост} = 1\,500 \times 38 = 57\,000 \text{ грн} \quad (4.7)$$

Вартість робіт з заміни батареї залишається незмінною, оскільки вона прив'язана до місцевих тарифів і не залежить від курсу валюти. Припустимо, що ця вартість становить 20 000 грн. Тоді сумарні капітальні витрати:

$$\begin{aligned} \text{Капітальні витрати} &= \text{ЦАКБ} + \text{Вдост} + \text{Вроб} \\ &= 304\,000 \text{ грн} + 57\,000 \text{ грн} + 20\,000 \text{ грн} \\ &= 381\,000 \text{ грн} \end{aligned}$$

4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Для оцінки експлуатаційних витрат, пов'язаних з використанням акумуляторної батареї електромобіля, необхідно врахувати амортизацію як механізм розподілу капітальних витрат протягом терміну служби активу. Амортизаційні відрахування дозволяють рівномірно списувати вартість батареї на витрати протягом її корисного використання, що впливає на фінансові показники та планування витрат.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Норма амортизації визначається як відсоток від початкової вартості активу, який списується щорічно протягом терміну його корисного використання. Вона розраховується за формулою:

$$\text{Норма амортизації (\%)} = \left(\frac{1}{n}\right) \times 100\% \quad (4.8)$$

Припустимо, що термін служби акумуляторної батареї становить 8 років. Тоді:

$$\text{Норма амортизації} = \left(\frac{1}{8}\right) \times 100\% = 12,5\%$$

Амортизаційні відрахування за рік обчислюються як добуток початкової вартості активу на норму амортизації:

$$\text{Амортизаційні відрахування за рік} = \text{Початкова вартість} \times \frac{\text{Норма амортизації}}{100\%} \quad (4.9)$$

Враховуючи, що загальні капітальні витрати на придбання та встановлення акумуляторної батареї становлять 381 000 грн (з попереднього розрахунку при курсі долара 38 грн), розраховуємо річні амортизаційні відрахування:

$$\text{Амортизаційні відрахування за рік} = 381\,000 \text{ грн} \times \frac{12,5\%}{100\%} = 381\,000 \text{ грн} \times 0,125 = 47\,625 \text{ грн}$$

4.5 Розрахунок економії

Для визначення загальної річної економії, необхідно розрахувати різницю між вартістю спожитої та згенерованої електроенергії, а також врахувати капітальні витрати на заміну акумуляторної батареї. Цей розрахунок дозволить оцінити фінансову вигоду від використання електромобіля з технологією V2G (Vehicle-to-Grid) та застосуванням багатозонного диференційованого тарифу.

Як було визначено раніше:

- Середній річний пробіг електромобіля: 18 000 км.
- Споживання електроенергії: 15 кВт·год на 100 км.

Загальне споживання електроенергії за рік:

$$\text{Споживання за рік} = \frac{18000 \text{ км}}{100 \text{ км}} * 15 \text{ кВт/год} = 2700 \text{ кВт/год} \quad (4.10)$$

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Вартість електроенергії при заряджанні в нічний час (з 23:00 до 7:00) за тарифом 2,16 грн/кВт·год:

$$\begin{aligned} \text{Вартість спожитої електроенергії} &= 2700 \text{ кВт/год} * 0,84 \text{ грн/кВт} \\ &= 2268 \text{ грн} \end{aligned} \quad (4.11)$$

При використанні технології V2G електромобіль може віддавати електроенергію в мережу під час пікових навантажень, отримуючи за це оплату. Припустимо:

- Кількість днів активної участі в V2G: 250 днів на рік (враховуючи робочі дні).
- Обсяг енергії, що віддається в мережу за день: 5 кВт·год.
- Тариф на електроенергію при віддачі в мережу: 2,68 грн/кВт·год (денний тариф).

Загальний обсяг згенерованої електроенергії за рік:

$$\text{Згенеровано за рік} = 250 * 5 \text{ кВт/год} = 1250 \text{ кВт/год} \quad (4.12)$$

Доход від продажу електроенергії в мережу:

$$\text{Доход від V2G} = 1250 \text{ кВт/год} * 2,68 \text{ грн/кВт} = 3350 \text{ грн} \quad (4.13)$$

Різниця (економія) становить:

$$\begin{aligned} \text{Економія на електроенергії} &= \text{Доход від V2G} - \text{Вартість спожитої електро} \\ &\text{енергії} = 3350 \text{ грн} - 2268 \text{ грн} = 1082 \text{ грн} \end{aligned} \quad (4.14)$$

Отримуємо позитивну величину, що означає, що доход від V2G покриває витрати на заряджання електромобіля. Однак слід врахувати, що електромобіль використовується для перевезень, і основна мета — забезпечення мобільності, а не заробіток від V2G.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

5. ОРГАНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

5.1 Огляд популярних електромобілів в Україні

Електродвигун, в порівнянні з ДВЗ, має значно вищий ресурс, а складність виготовлення електродвигуна відносно незначна.

Порівняльний аналіз моделей-двійників – бензинового автомобіля Nissan Note та електромобіля Nissan Leaf показує, що кузов та механічні вузли є аналогічними. Структура витрат приведена в табл. 5.1 і на рис. 5.1 [12]. За оснащенням, базова версія електромобіля – дуже близька до максимальної комплектації бензинового автомобіля. Аналіз собівартості електромобіля на прикладі моделі Nissan Leaf показує, що в 2010 р. компанія-виробник продавала електромобілі зі збитком 11900 дол. на одиницю (рис. 5.2). При цьому, вартість акумуляторної батареї складала 57,3% від вартості електромобіля.

Таблиця 5.2 - Структура витрат традиційного автомобіля та електромобіля на прикладі Nissan, дол. [12]

Вартість Versa Note SR	18100	Вартість Leaf S	29990
Витрати за вирахуванням трансмісії	14661	Витрати за вирахуванням трансмісії	14661
ДВЗ	1995	Електромотор	1287
Паливна та вихлопна системи	550	Силова та зарядна електроніка	3700
КП	894	КП	350
		Вартість батареї та маржа	9992

Отримати прибуток від продажу електромобіля, що близька до норми прибутку автомобіля з ДВЗ, вдалося в 2021 р. за рахунок зниження вартості батареї. Зрозуміло, що основний внесок у високу вартість електромобіля в порівнянні із звичайним автомобілем, вносять акумуляторна батарея і силова та

зарядна електроніка. Сьогодні вартість цих компонентів може досягати 40...50% від загальної вартості електромобіля. Але перевагами електромобіля є дешева коробка передач та електромотор.

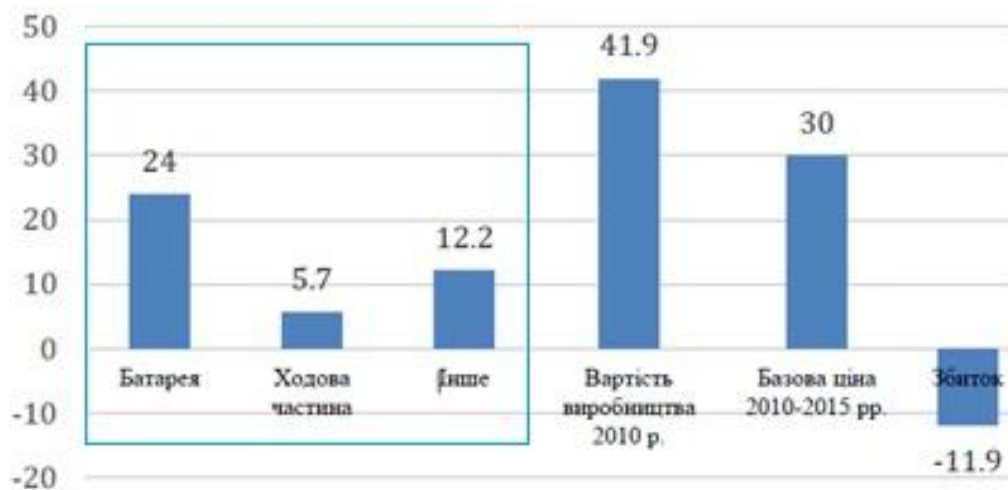


Рис. 5.1. Складові вартості Nissan Leaf, тис. дол. [12]

5.2 Високовольтні АКБ електромобілів

Таким чином, конкурентоспроможність електромобілів значною мірою залежить від акумуляторів, які сьогодні складають до половини собівартості електромобіля і визначають його характеристики з пробігу і зручності експлуатації. У промисловості і автомобілебудуванні широке застосування отримали нікель-кадмієві (NiCd), нікель-метал-гідридні (NiMh), свинцево-кислотні (Pb) і літій-іонні (Li-ion) акумуляторні батареї [5].

Створення герметичних свинцево-кислотних АКБ дозволило обходитися без заміни електроліту, що понизило вимоги до їх обслуговування. А на заміну токсичним нікель-кадмієвим акумуляторам, вимагаючим обов'язкової утилізації і навіть забороненим в деяких країнах, в 1990-х рр. прийшли більш екологічні і енергоємні нікель-метал-гідридні модифікації.

На рис. 5.2 представлена гістограма енергоємності різних систем накопичувачів, включаючи циліндричне і призматичне виконання літій-іонного акумулятора. Як видно, найнижча вартість енергії – у свинцево-кислотного акумулятора (0,12 \$/Вт·год). Li-ion акумулятор в призматичному виконанні є

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

найбільш дорогим з представлених систем, вартість одиниці енергії якого становить (1,0 \$/Вт·год). Li-ion акумулятори в циліндричному виконанні (0,35\$/Вт·год) обходяться дешевше призматичних Li-ion акумуляторів в 2,86 рази, дешевше NiCd і NiMh в 1,43 рази, але в 2,92 рази дорожче свинцево-кислотних. Питомі енергетичні характеристики циліндричних Li-ion акумуляторів нижчі в порівнянні з акумуляторами призматичної конструкції[5].

Прорив літій-іонних акумуляторів, які все більше завойовують ринок, пов'язаний з очікуваними високими питомими характеристиками і значним розширенням робочого температурного діапазону [5]. Але з початку комерціалізації літій-іонної батареї до моменту, коли виробники почали отримувати прибуток – пройшло 27 р.

В циліндричних акумуляторах, скручений у вигляді рулону пакет електродів і сепаратора поміщується в алюмінієвий корпус, з яким з'єднаний негативний електрод. Позитивний електрод акумулятора виводиться через ізолятор на кришку.

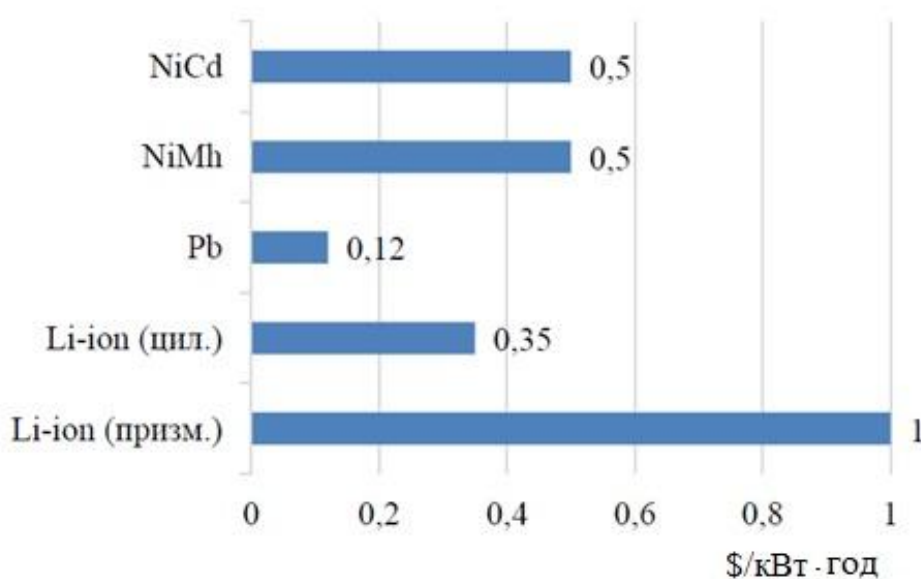


Рис.5.7. Вартість одиниці енергії акумуляторних батарей [5]

Зовнішній вигляд літій-іонного акумулятора електромобіля Nissan Leaf представлений на рис. 5.3 [5].



Рис.5.3. Літій-іонна акумуляторна батарея електромобіля Nissan Leaf

Літій-іонний акумулятор для електромобіля Nissan Leaf зібраний з 192 осередків. До складу акумулятора включений манганат літію на позитивних пластинах і графіт на негативному електроді. Маса акумулятора складає біля 270кг. При ємності батареї 24 кВт·год і можливості рекуперативного гальмування, запас ходу електромобіля складає близько 240 км. Життєвий цикл даного акумулятора – більше 5 років. Повний цикл заряду Li-іон акумуляторів від побутової електромережі з напругою 220 В і силою струму 12 А триває близько 9 год, 80 % ємності на спеціальному зарядному пристрої Nissan заповнюються за 30 хв. Акумулятор розташовано під сидіннями електромобіля (рис. 5.4).



Рис.5.4. Розміщення літій-іонної акумуляторної батареї в електромобілі Nissan Leaf

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Стосовно до акумуляторної батареї, слід зазначити, що швидкість її заряду хоч і залежить від властивостей електрохімічної системи, але у всіх випадках час заряду значно перевершує час поповнення паливом автомобіля, що працює на основі вуглеводного палива або електромобіля з паливними елементами. Електромобіль обладнаний двома гніздами для зарядних пристроїв в передній частині машини: одне – для стандартної і інше – для прискореної підзарядки (рис. 5.5) [5].

Необхідно звернути увагу на те, що подальшого дослідження потребують питання потенційної небезпеки електромобілів для здоров'я водія та пасажирів. Наступний етап визначення конкурентоспроможності електромобілів потребує аналізу технічного обслуговування (ТО) електромобілів.



Рис.5.5. Роз'єми електромобіля Nissan Leaf

5.3 Організація технічного обслуговування та ремонту електромобілів

В умовах жорсткої конкуренції на ринку сервісного обслуговування електромобілів основною метою кожної сучасної СТО є отримання максимального прибутку. Задоволення вимог клієнтів здійснюється за рахунок організації ефективного сервісу, який базується на використанні сучасних технологій, сучасного обладнання, наявності висококваліфікованого персоналу та різноманітного спектру послуг [21].

Поширення електромобілів в Україні потребує забезпечення технічного обслуговування і ремонту електромобілів, тому проблемам експлуатації

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електричних автомобілів і вартості обслуговування присвячено достатньо багато наукових робіт [14-16, 18-21, 36]. Технічне обслуговування електромобілів практично не відрізняється від автомобілів з двигунами внутрішнього згорання, за істотним винятком того, що стосується силової установки, її допоміжних систем і трансмісії [6].

На зміну двигуну внутрішнього згорання з великим числом деталей, які зношуються і вимагають регулярної заміни витратних компонентів, приходять простий по конструкції електродвигун, який практично не потребує обслуговування. Це дуже вигідно для автовласників, тому, що обсяг, складність і вартість технічного обслуговування електромобілів істотно нижче, ніж автомобілів з ДВЗ. Наприклад, з програми регламентного обслуговування виключені витратні для автовласника і дохідні для автосервісу позиції – заміна моторного масла і масляного фільтра; заміна повітряного фільтра двигуна; заміна паливного фільтра; перевірка, регулювання натягу або заміна приводних ременів допоміжних агрегатів; перевірка, регулювання або заміна компонентів приводу газорозподільного механізму (ГРМ); заміна свічок запалювання; заміна ATF в автоматичній коробці перемикачів передач (АКПП) або трансмісійного масла в механічній коробці перемикачів передач (МКПП).

В список регулярних робіт з технічного обслуговування електромобіля входять роботи: перевірка рівня і, при необхідності – доливка або заміна рідин (гальмівна система, охолодження акумулятора, редуктор); перевірка гальмівних магістралей і електричних кабелів; діагностика підвіски і ходової частини; перестановка коліс; регулювання кутів установки коліс; перевірка стану і заміна гальмівних колодок; перевірка пильників приводів коліс; заміна салонного фільтра; комп'ютерна діагностика, в тому числі перевірка стану високовольтної батареї. Скорочуються об'єми поточного ремонту (ПР) при тривалій експлуатації.

Конструкція електромобілів з істотно меншою кількістю компонентів, позитивно позначається на надійності, що знайшло відображення в гарантійних умовах автовиробників. Наприклад, гарантія на батарею Nissan Leaf на старті продажів була 5 років, а в даний час – збільшено до 8 років або 160 000 км.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ці зміни створюють умови для суттєвого збільшення інтервалів технічного обслуговування електромобілів в порівнянні з встановленими зараз для автомобілів з ДВЗ одним роком або десятьма-п'ятнадцятьма тисячами кілометрів пробігу (в залежності від того, що настане раніше). Обслуговування електромобіля переважно складають операції, при яких заміна матеріалів і запчастин проводиться не рідше, ніж раз на кілька десятків тисяч кілометрів пробігу.

До таких операцій відносяться:

- заміна гальмівної рідини – раз на два роки або 40000...60000 км;
- заміна антифризу в системі охолодження блоку батарей – раз в п'ять років, якщо автовиробник не встановив інші терміни;
- заміна гальмівних колодок і дисків (якщо в електромобілі є система рекуперації, то пробіг до заміни гальмівних дисків легко може перевищити 100000 кілометрів) [6].

У напрямку збільшення міжсервісних інтервалів для електромобілів є реальні результати. Наприклад, згідно з європейського Керівництва з експлуатації періодичність обслуговування електромобіля Tesla Model S – через кожні 12 місяців або 20000 кілометрів пробігу. Також Керівництво з експлуатації Tesla Model S містить необхідність перестановки коліс кожні 8000 км пробігу [6].

Виробник Nissan Leaf встановив іншу періодичність ротації коліс – кожні 12000 км. Безумовне правило обслуговування техніки полягає в тому, що необхідно дотримуватись рекомендацій конкретного виробника на конкретну модель транспортного засобу, адже в більшості випадків рекомендації базуються на особливостях конструкції і реальних властивостях застосовуваних матеріалів. Навіть в рекомендаціях щодо заміни гальмівної рідини або антифризу є деякі відмінності [6].

Перехід від традиційних автомобілів з ДВЗ на електромобілі потребує переобладнання ремонтної бази, аленового обладнання і оснастки для обслуговування електромобілів потрібно мінімум. Перш за все – потрібно

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідне діагностичне обладнання, деякий спеціальний інструмент та індивідуальні засоби захисту від ураження механіків електричним струмом. Діагностичне обладнання Bosch вже підтримує роботу з електромобілями. Наприклад, з електромобілями Nissan Leaf і Renault ZOE діагностичне обладнання Bosch працює в повній мірі[6].

Слід очікувати, що перехід до електромобілів призведе до скорочення займаних площ складів, зменшення запасів мастил і фільтрів. Автовиробники підтримують політику професійного обслуговування електромобілів. Наочний приклад цього – заборона самостійно доливати рідину в систему охолодження акумуляторів. Але можливі й винятки, особливо в найпростіших за конструкцією електромобілях [6].

Через скорочення тривалості ТО електромобілів і обсягу їх поточного і капітального ремонту суттєво збільшиться пропускна здатність основних робочих постів у ремонтних зонах. Вже сформована раніше ремонтна зона після переобладнання зможе обслуговувати набагато більшу кількість електромобілів, ніж це було при роботі з автомобілями з ДВЗ. У той же час повинні зменшитись витрати на обслуговування автопарку.

Таким чином, обслуговування електромобілів, в порівнянні з автомобілями з ДВЗ, відрізняється збільшеними міжсервісними інтервалами, меншою кількістю операцій, меншим загальним часом перебування в сервісі, меншим складом і кількістю запчастин і витратних матеріалів [6]. У сукупності це може призвести до суттєвого скорочення витрат на експлуатацію і скорочення простоїв рухомого складу під час ТО і ПР.

Щоденний огляд електромобіля має свої відмінності і складається з таких операцій, як перевірка рівня заряду високовольтної батареї; перевірка працездатності роботи зовнішніх світлових приборів, звукового сигналу, покажчиків повороту, щіток і омивача вітрового скла; перевірка роботи гальмівної системи, стоянкового гальма; наявності слідів експлуатаційних рідин під автомобілем [6].

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Методики проведення ТО електромобілів розробляються відповідно до програм обслуговування, що рекомендовані виробниками. Ретельний аналіз програм технічного обслуговування електромобілів Nissan Leaf і Renault Zoe, а також автомобіля з Hyundai i30 детально проведено в роботі [6].

Nissan Leaf – електромобіль японського виробництва, випуск першого покоління якого почався в 2010 році. В якості двигуна автомобіль отримав електродвигун EM61 потужністю 110 кВт, крутильний момент досягає 320 Н·м. Всі автомобілі серії Leaf – передньоприводні. Тягова літій-іонна батарея ємністю 40 кВт·год, якої вистачає на 389 км пробігу. Технічні характеристики електромобіля Nissan Leaf наведені в табл. 5.3.

Періодом сервісного обслуговування для заміни основних витратних матеріалів при проходженні ТО є пробіг в 15000 км або 1 рік експлуатації. Взагалі, для електромобіля Nissan Leaf можна виділити перші два обслуговування, оскільки подальші дії технічного регламенту являються циклічними.

Для порівняння з Nissan Leaf вибрано автомобіль Hyundai i30, технічні характеристики якого наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 - Технічні характеристики Nissan Leaf

Параметр	Показник
Тип кузова	Хетчбек
Клас автомобіля	С
Кількість дверей	5
Кількість місць	5
Тип двигуна	Трифазний синхронний електродвигун
Потужність двигуна, кВт	110
Крутильний момент двигуна, Н·м	320
Потужність батареї, кВт·год	40
Запас ходу, км	389
Тип приводу	Передній

Тип трансмісії	Редуктор
Максимальна швидкість, км/год	157
Габарити кузова (Д x Ш x В), мм	4480 x 1790 x 1540
Колісна база, мм	2700
Кліренс, мм	150
Маса, кг	1580
Допустима повна маса, кг	1995
Вартість нового автомобіля, грн.	876000

Періодом сервісного обслуговування для Hyundai i30 є пробіг в 15000 км або 1 рік експлуатації.

Renault Zoe – електромобіль французького автовиробника Renault, що був представлений в 2010 р. Електродвигун потужністю 65 кВт і крутильним моментом 220 Н·м. Максимальний пробіг – 210 км. Технічні характеристики наведені в табл. 5.6. Програма ТО Renault Zoe проводиться кожні 12000 км пробігу.

Таблиця 5.5 - Технічні характеристики Hyundai i30

Параметр	Показник
Тип кузова	Хетчбек
Клас автомобіля	С
Кількість дверей	5
Кількість місць	5
Тип двигуна	Рядний, 4-циліндровий, з наддувом
Тип палива	Дизельне паливо
Об'єм двигуна, куб. см	1582
Екологічний тип двигуна	Євро-5
Витрати палива в змішаному циклі, л/100 км	4,4
Потужність двигуна, кВт (к. с.)	100 (136)

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Крутильний момент двигуна, Н·м	280
Об'єм паливного бака, л	53
Тип приводу	Передній
Тип трансмісії	МКПП
Максимальна швидкість, км/год	200
Габарити кузова (Д x Ш x В), мм	4300 x 1780 x 1480
Колісна база, мм	2650
Кліренс, мм	140
Маса, кг	1388
Допустима повна маса, кг	1880
Вартість нового автомобіля, грн	480000

Важливим пунктом при виборі автомобіля є вартість обслуговування, яка залежить від трудомісткості робіт і ціни за нормогодини. Трудомісткість технічного обслуговування (норми часу) встановлює виробник автомобіля з урахуванням конструктивних особливостей окремих моделей.

Така інформація доступна дилерським станціям і авторизованим СТО безпосередньо від автовиробника. Застосування єдиних норм часу і технології виконання робіт має на меті гарантування клієнтам якості обслуговування в будь-якому офіційному сервісі по єдиному стандарту [5, 6].

Таблиця 5.6 - Технічні характеристики Renault Zoe

Параметр	Показник
Тип кузова	Хетчбек
Клас автомобіля	В
Кількість дверей	5
Кількість місць	5
Тип двигуна	Трифазний синхронний електродвигун
Потужність двигуна, кВт	65
Крутильний момент двигуна, Н·м	220

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Потужність батареї, кВт·год	22
Запас ходу, км	210
Тип приводу	Передній
Максимальна швидкість, км/год	135
Габарити кузова (Д x Ш x В), мм	4084 x 1730 x 1562
Колісна база, мм	2588
Кліренс, мм	119
Маса, кг	1480
Допустима повна маса, кг	1966
Вартість нового автомобіля, грн	772800

Вартість послуг формується шляхом помноження норми часу, що встановлено довідником на конкретну сервісну операцію, на затверджену вартість нормогодини [6]. Вартість нормогодини на обслуговування автомобілів залежить від того, чи знаходиться автомобіль на гарантії чи обслуговується в постгарантійний період.

Вартість нормогодини на обслуговування автомобілів в гарантійному періоді частіше встановлюється в зниженому розмірі відносно постгарантійного обслуговування [6].

Вартість робіт і витратних матеріалів для електромобіля Nissan Leaf приведена в табл. 5.7, для автомобіля Hyundai i30 – в табл. 5.8, для електромобіля Renault Zoe – в табл. 5.9 [6].

Таблиця 5.7 - Вартість робіт і витратних матеріалів Nissan Leaf

№	Найменування робіт	Кількість нормогодин
1	2	3
ТО-1		
1	Система клімат – контролю і кондиціонування повітря – перевірка	0,01
2	Діагностика батареї	0,02
3	Гальмівні магістралі, і з'єднання - перевірка	0,01

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

4	Гальмівна рідина - перевірка	0,01
5	Гальмівні диски і колодки - перевірка	0,20
6	Приводні вали і пильники - перевірка	0,01
7	Шарові шарніри передньої підвіски - перевірка	0,01
8	Стоянкова гальмівна система - перевірка	0,01
9	Рульовий механізм - перевірка	0,01
10	Шини (кути установки і знос протектора) - перевірка	0,01
11	Рівень масла в редукторі - перевірка	0,01
12	Заміна салонного фільтра	0,20
13	Система охолодження батареї - перевірка	0,03
14	Всі електричні системи - перевірка	0,10
15	Комп'ютерна діагностика стану авто	0,10
16	Замки, петлі і направляючі дверей - змащування	0,10
17	Форсунки омивача і щітки склоочисників - перевірка	0,01
	Всього	0,85
Вартість витратних матеріалів		
	Салонний фільтр	170 грн.
	Всього	170 грн.
ТО-2		
1	Система клімат – контролю і кондиціонування повітря - перевірка	0,01
2	Діагностика батареї	0,02
3	Гальмівні магістралі, і з'єднання - перевірка	0,01
4	Гальмівна рідина - заміна	0,30
5	Гальмівні диски і колодки - перевірка	0,20
6	Приводні вали і пильники - перевірка	0,01
7	Шарові шарніри передньої підвіски - перевірка	0,01
8	Стоянкова гальмівна система - перевірка	0,01
9	Рульовий механізм – перевірка	0,01
10	Шини (кути установки і знос протектора) - перевірка	0,01
11	Заміна масла в редукторі	0,10
12	Заміна салонного фільтра	0,20
13	Система охолодження батареї - перевірка	0,03
14	Стан охолоджуючої рідини - перевірка	0,01
15	Всі електричні системи - перевірка	0,10
16	Комп'ютерна діагностика стану авто	0,10
17	Роз'єм зарядки - перевірка	0,01
18	Замки, петлі і направляючі дверей - змащування	0,10

						БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
							75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

19	Форсунки омивача і щітки склоочисників - перевірка	0,01
	Всього	1,25
Вартість витратних матеріалів		
1	Гальмівна рідина	150 грн.
2	Салонний фільтр	200 грн.
3	Масло в редуктор	170 грн.
	Всього	520 грн.

Таблиця 5.8 - Вартість робіт і витратних матеріалів Hyundai i30

№	Найменування робіт	Кількість нормогодин
1	2	3
ТО-1		
1	Повітряний фільтр	0,20
2	Система клімат – контролю і кондиціонування повітря	0,01
3	Стан АКБ	0,01
4	Гальмівні магістралі, і з'єднання	0,01
5	Гальмівна рідина/рідина приводу зчеплення	0,01
6	Повітряний фільтр паливного бака	0,01
7	Гальмівні диски і колодки	0,01
8	Приводні ремені	0,01
9	Приводні вали і пильники	0,01
10	Вихлопна система	0,01
11	Шарові шарніри передньої підвіски	0,10
12	Паливний фільтр	0,20
13	Паливні магістралі і з'єднання	0,01
14	Стоянкова гальмівна система	0,01
15	Рульова рейка	0,01
16	Шини (кути установки і знос протектора)	0,10
17	Рівень масла в МКПП	0,05
18	Моторне масло і масляний фільтр	0,60
19	Салонний фільтр	0,20
20	Система охолодження двигуна	0,01
21	Рідина системи охолодження двигуна	0,01
22	Комп'ютерна діагностика стану автомобіля	0,30
23	Замки, петлі і направляючі дверей	0,10
24	Форсунки омивача і щітки склоочисників	0,01
	Всього	1,87

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вартість витратних матеріалів		
1	Повітряний фільтр	410 грн.
2	Моторне масло	1700 грн.
3	Масляний фільтр	320 грн.
4	Салонний фільтр	170 грн.
	Всього	2600 грн.

ТО-2

1	Повітряний фільтр - заміна	0,20
2	Система клімат – контролю і кондиціювання повітря - перевірка	0,01
3	Стан АКБ	0,01
4	Гальмівні магістралі, і з'єднання - перевірка	0,01
5	Гальмівна рідина/рідина приводу зчеплення - перевірка	0,01
6	Повітряний фільтр паливного бака - заміна	0,40
7	Гальмівні диски і колодки - перевірка	0,10
8	Приводні ремені - перевірка	0,01
9	Приводні вали і пильники - перевірка	0,01
10	Вихлопна система - перевірка	0,01
11	Шарові шарніри передньої підвіски - перевірка	0,10
12	Паливний фільтр - заміна	0,60
13	Паливні магістралі і з'єднання - огляд	0,01
14	Стоянкова гальмівна система - перевірка	0,01
15	Рульова рейка - перевірка	0,01
16	Шини (кути установки і знос протектора) - перевірка	0,10
17	Рівень масла в МКПП - перевірка	0,05
18	Моторне масло и масляний фільтр - заміна	0,60
19	Салонний фільтр - заміна	0,20
20	Система охолодження двигуна - перевірка	0,01
21	Рідина системи охолодження двигуна	0,20
22	Комп'ютерна діагностика стану автомобіля	0,30
23	Замки, петлі і направляючі дверей	0,10
24	Форсунки омивача і щітки склоочисників - перевірка	0,01
	Всього	2,87

Вартість витратних матеріалів

1	Повітряний фільтр	410 грн.
2	Моторне масло	1700 грн.
3	Масляний фільтр	320 грн.
4	Салонний фільтр	170 грн.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

5	Повітряний фільтр паливного бака	130 грн.
6	Паливний фільтр	780 грн.
	Всього	3510 грн.

Таблиця 5.9 - Вартість робіт і витратних матеріалів Renault Zoe

№	Найменування робіт	Кількість нормогодин
1	2	3
ТО-1		
1	Система клімат – контролю і кондиціонування повітря – перевірка	0,01
2	Діагностика батареї	0,02
3	Гальмівна рідина – перевірка	0,01
4	Гальмівні диски і колодки - перевірка	0,10
5	Приводні вали і пильники - перевірка	0,01
6	Шарові шарніри передньої підвіски - перевірка	0,01
7	Стоянкова гальмівна система - перевірка	0,01
8	Рульовий механізм - перевірка	0,01
9	Шини (кути установки і знос протектора) - перевірка	0,01
10	Система охолодження батареї - перевірка	0,03
11	Всі електричні системи - перевірка	0,10
12	Комп'ютерна діагностика стану авто	0,10
13	Замки, петлі і направляючі дверей - змащування	0,10
14	Форсунки омивача і щітки склоочисників - перевірка	0,01
	Всього	0,53
ТО-2		
1	Система клімат – контролю і кондиціонування повітря - перевірка	0,01
2	Діагностика батареї	0,02
3	Гальмівна рідина – заміна	0,30
4	Гальмівні магістралі, і з'єднання - перевірка	0,01
5	Гальмівні диски і колодки - перевірка	0,20
6	Приводні вали і пильники - перевірка	0,01
7	Шарові шарніри передньої підвіски - перевірка	0,01
8	Стоянкова гальмівна система - перевірка	0,01
9	Рульовий механізм – перевірка	0,01
10	Шини (кути установки і знос протектора) - перевірка	0,01
11	Масло в редукторі - заміна	0,05

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12	Салонний фільтр - заміна	0,10
13	Система охолодження батареї - перевірка	0,03
14	Стан охолоджуючої рідини - перевірка	0,01
15	Всі електричні системи - перевірка	0,10
16	Комп'ютерна діагностика стану авто	0,10
17	Роз'єм зарядки - перевірка	0,01
18	Замки, петлі і направляючі дверей - змащування	0,10
19	Форсунки омивача і щітки склоочисників - перевірка	0,01
	Всього	1,19
Вартість витратних матеріалів		
1	Гальмівна рідина	150 грн.
2	Салонний фільтр	170 грн.
3	Масло в редуктор	170 грн.
	Всього	490 грн.

Таким чином, загальні витрати на придбання та експлуатацію Z_{Σ} автомобіля є сумою складових, що розраховуються за формулою:

$$Z_{\Sigma} = Z_A + Z_{\Pi} + Z_{TO1} + Z_{TO2} + Z_{BM1} + Z_{BM2}, \quad (5.1)$$

де Z_A – вартість нового автомобіля;

Z_{Π} – витрати на дизельне паливо, що потрібно для одного автомобіля (або витрати на електроенергію у випадку розрахунку для електромобіля);

Z_{TO1} – витрати на проведення ТО-1 одного автомобіля;

Z_{TO2} – витрати на проведення ТО-2 одного автомобіля;

Z_{BM1} – витратні матеріали під час проведення ТО-1 одного автомобіля;

Z_{BM2} – витратні матеріали під час проведення ТО-2 одного автомобіля.

З метою можливості порівняння витрат, розраховуються питомі витрати на експлуатацію автомобіля на один кілометр пробігу:

$$Z_{\text{пит}} = \frac{Z_{\Sigma}}{L_{\text{кр}}}, \quad (5.2)$$

де $L_{\text{кр}}$ – пробіг автомобіля до капітального ремонту, км.

Розрахунки витрат на експлуатацію автомобілів Nissan Leaf та Hyundai i30 на протязі пробігу 300000 км, за умовою експлуатації в службі таксі, показали,

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що питомі витрати на експлуатацію електромобіля Nissan Leaf склали 3,19 грн./км, а для автомобіля Hyundai i30 ця сума досягла 3 грн./км [6]. Решта витрат (на мийку, стоянку, страховку та ін.) у власників цих автомобілів однакові.

Особливістю українського ринку електромобілів є дуже висока частка транспортних засобів, що були в користуванні. Така тенденція викликана високою вартістю нового електромобіля. Наприклад, вартість для нового Mitsubishi i-MiEV ще недавно становила близько 30 тис. \$ США, а для Nissan Leaf – 35 тис. \$ США. Придбання електромобілів, що вже були в використанні, не тільки зменшує екологічний ефект, але і несе ризик, насамперед, швидкого вичерпання ресурсу високовартісних акумуляторів.

З метою визначення найбільш поширених проблем, пов'язаних з експлуатацією електромобілів, авторами статті [21] було проведене опитування 123 власників електромобілів Nissan Leaf. Результати аналізу найбільш частих звернень власників електромобілів до СТО представлені на рис. 5.6.

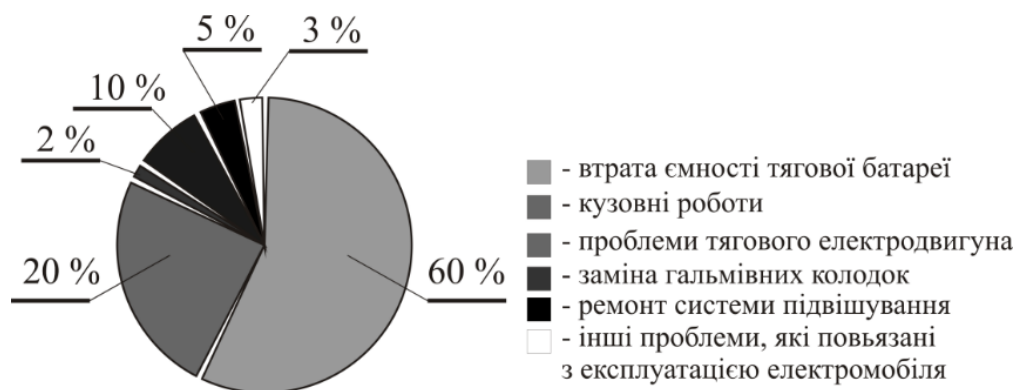


Рис. 5.6. Найбільш поширені проблеми, що пов'язані з експлуатацією електромобілів Nissan Leaf, за результатами аналізу даних опитування власників електромобілів [21]

Найбільшу частку звернень, а саме 60 %, складають проблеми втрати ємності акумуляторної батареї. На другому місці – звернення власників з проблемами кузовного ремонту – 20 % (ушкодження, які отримані під час транспортування до місця призначення, ДТП та ін.). На третьому місці (10 %) – звернення власників з заміною гальмівних колодок.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

П'ять відсотків складають звернення власників щодо проблем системи підвішування. Інші проблеми, які пов'язані з експлуатацією електромобілів (ремонт приєднувального штекера системи зарядки тягової батареї, ремонт системи кондиціонування, заміна фільтра салону, ремонт приладів освітлювання та ін.) та з роботою тягового електродвигуна становлять 5 % і 3 %, відповідно.

Оскільки АКБ є найбільш вагомим елементом конструкції електромобілів з точки зору ремонтного впливу, то саме вона потребує більш ретельного ставлення щодо вимог, які пред'являються до її експлуатації. Працездатна експлуатація АКБ електромобіля підтримується за рахунок проведення планового діагностування і усунення відмов, які виникли в процесі експлуатації, у формі ремонтних робіт на дільниці з діагностування і ремонту тягової батареї, включаючи комплекс ремонтних робіт з заміни тих елементів АКБ, для яких втрата ємності досягла критичної границі [21].

Основні етапи виконання технологічного процесу ремонту і заміни елементів живлення тягової батареї електромобіля, які проводяться на дільниці ремонту АКБ електромобілів, зображено на рис. 5.14 [21].

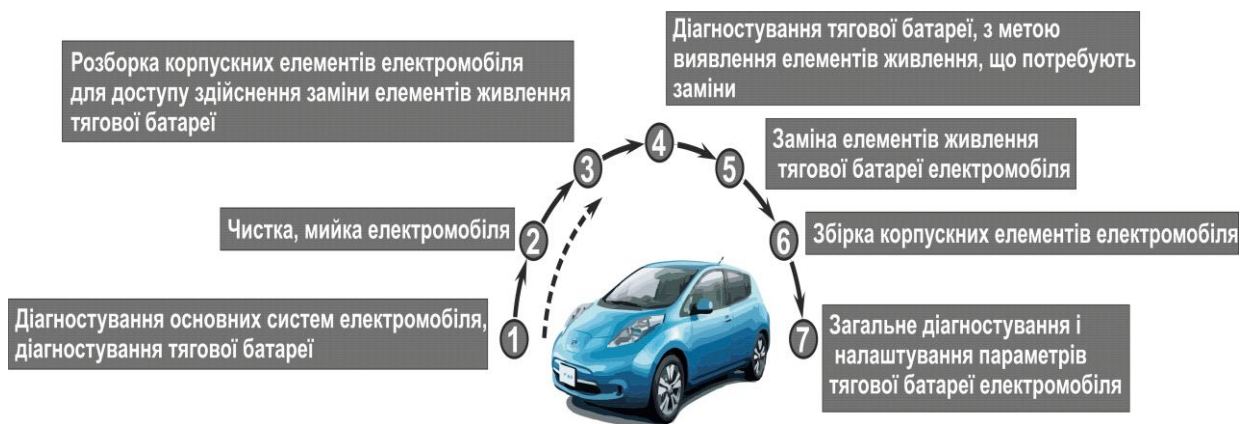


Рис.5.8. Основні етапи виконання технологічного процесу ремонту і заміни елементів живлення тягової батареї електромобіля Nissan Leaf [55]

Зміст робіт, які проводяться на дільниці ремонту АКБ електромобілів, а також зведені показники вартості і витрати часу на виконання ремонтних робіт АКБ електромобілів визначені емпірично і наведені в табл. 5.10 [21].

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

Таблиця 5.10 - Зведені показники вартості і витрати часу на виконання ремонтних робіт акумуляторної батареї електромобіля

№ етапу	Зміст технологічних операцій	Витрати часу, год.	Вартість, грн.	Вартість, \$
1	2	3	4	5
1	Діагностування основних систем електромобіля, діагностування тягової батареї	0,7	1397	50
2	Чистка, мийка електромобіля	0,3	240	9
3	Розборка основних корпусних елементів електромобіля для доступу здійснення заміни елементів живлення тягової батареї	4	11172	400
4	Діагностування тягової батареї, з метою виявлення елементів живлення, що потребують заміни	0,5		
5	Заміна елементів живлення тягової батареї електромобіля	0,5		
6	Збірка корпусних елементів електромобіля	4		
7	Загальне діагностування і налаштування параметрів тягової батареї електромобіля	0,7	1396	50
УСЬОГО		10,7	14205	509

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

ВИСНОВКИ

У ході проведеного дослідження було розглянуто комплекс питань, пов'язаних із взаємодією електричних автомобілів та електричної мережі, зокрема з впровадженням технології Vehicle-to-Grid (V2G) у місті Івано-Франківськ. Актуальність роботи обумовлена стрімким зростанням кількості електромобілів, необхідністю розвитку зарядної інфраструктури та оптимізації використання енергетичних ресурсів.

Проведений аналіз сучасних електричних автомобілів та їх технічних параметрів дозволив визначити ключові характеристики, що впливають на процес заряджання та вимоги до зарядних станцій. Особливу увагу було приділено типам акумуляторних батарей, їх перевагам і недолікам, а також факторам, які впливають на тривалість їх експлуатації. Виявлено, що правильний вибір режимів заряджання та експлуатації може значно продовжити термін служби акумуляторів.

Виконано розрахунок необхідної кількості зарядних станцій для міста Івано-Франківськ з урахуванням прогнозованої кількості електромобілів до кінця 2026 року, яка становитиме близько 11 200 одиниць. Визначено, що для задоволення потреб користувачів необхідно встановити приблизно 34 стоянки з зарядними станціями, забезпечивши 1 680 точок підключення. Обрано модель зарядної станції Wallbox Pulsar Plus, яка відповідає сучасним вимогам ефективності та безпеки.

Проведено детальний аналіз процесу вибору оптимальних місць розташування зарядних станцій у межах міста. Враховано технічні характеристики енергомережі Івано-Франківська, зокрема пропускну здатність та можливості підключення до мережі «Івано-Франківськобленерго». Встановлено, що оптимальне розміщення станцій повинно базуватися на аналізі щільності населення, транспортних потоків, доступності до енергомережі та зручності для користувачів.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянуто переваги використання багатозонного диференційованого тарифу для зарядки електромобілів. Встановлено, що заряджання в нічний час за зниженим тарифом дозволяє значно зменшити витрати на електроенергію як для фізичних, так і для юридичних осіб.

Виконано розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат, включаючи вартість акумуляторної батареї, доставки та робіт з її заміни, а також амортизаційні відрахування та витрати на електроенергію.

Проведено економічний аналіз участі електромобіля в технології V2G. Розрахунки показали, що за поточних умов дохід від продажу електроенергії в мережу покриває додаткові витрати, пов'язані зі зменшенням терміну служби акумуляторної батареї через додаткові цикли заряджання-розряджання.

Таким чином, результати роботи можуть бути використані для планування розвитку зарядної інфраструктури в місті Івано-Франківськ та інших регіонах, а також для формування стратегії інтеграції електромобілів в енергетичну систему з урахуванням економічних та технічних аспектів.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Clement-Nyns, K., Haesen, E., & Driesen, J. (2010). The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid. *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(1), 371-380.
2. Sundström, O., & Binding, C. (2012). Flexible charging optimization for electric vehicles considering distribution grid constraints. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(1), 26-37.
3. Wang, Y., Yao, E., & Wu, J. (2013). Optimization of charging station locations in urban areas using GPS data and flow-intercept technique. *International Journal of Automotive Technology*, 14(3), 453-459.
4. Alonso, M., Amaris, H., & Galán, J. M. (2014). Optimal charging scheduling of electric vehicles in smart grids by heuristic algorithms. *Energies*, 7(4), 2449-2475.
5. International Energy Agency (IEA). (2016). *Global EV Outlook 2016: Beyond one million electric cars*.
6. Yilmaz, M., & Krein, P. T. (2013). Review of charging power levels and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. 2013 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), 207-213.
7. Kempton, W., & Tomic, J. (2005). Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *Journal of Power Sources*, 144(1), 280-294.
8. Johansen, J. S. (2013). *Fast-charging electric vehicles using AC*. Master's thesis, Norwegian University of Science and Technology.
9. Gage, T. B. (2003). Development and evaluation of a plug-in HEV with vehicle-to-grid power flow. In *Global Powertrain Congress*.
10. Nissan Europe Newsroom. (2016). Nissan, Enel and Nuvve operate world's first fully commercial vehicle-to-grid hub in Denmark. Отримано з <https://europe.nissannews.com/>.
11. HEVCars. (n.d.). Електричні та гібридні автомобілі в Україні та світі.

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Отримано з <https://hevcars.com.ua/>

12. НЕК “Укренерго”. (n.d.). Добовий графік виробництва та споживання електроенергії. Отримано з <https://ua.energy/diyalnist/dyspetcherska-informatsiya/dobovuj-grafik-vyrobnytstva-spozhyvannya-e-e/>

13. Верховна Рада України. (2017). Закон України “Про внесення змін щодо стимулювання розвитку електротранспорту”.

14. Wallbox Pulsar. Каталог зарядних пристроїв для електромобілів. Отримано з https://wallbox.com/en_us/wallbox-pulsar-plus

15. E-move. (n.d.). Каталог електричних автомобілів. Отримано з https://emove.com.ua/electrocars_catalog/

16. Луценко, І. М., & Циган, П. С. (2017). Технічні та економічні аспекти використання електромобілів в електричних мережах України. Вісник КрНУ, (6), 107.

17. Tesla, Inc. (n.d.). Tesla Powerwall. Отримано з <https://www.tesla.com/powerwall>

18. Smart Automobile. (n.d.). Офіційний вебсайт. Отримано з <https://www.smart.com/>

					БР.АТ-54.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Тема бакалаврської роботи

«Оптимізація засобів та мережі зарядних пристроїв електромобілів для м. Івано-Франківська»

Крицький Іван Васильович

СТАН З ЕЛЕКТРОМОБІЛЯМИ В УКРАЇНІ НА 01.01.2025 р.

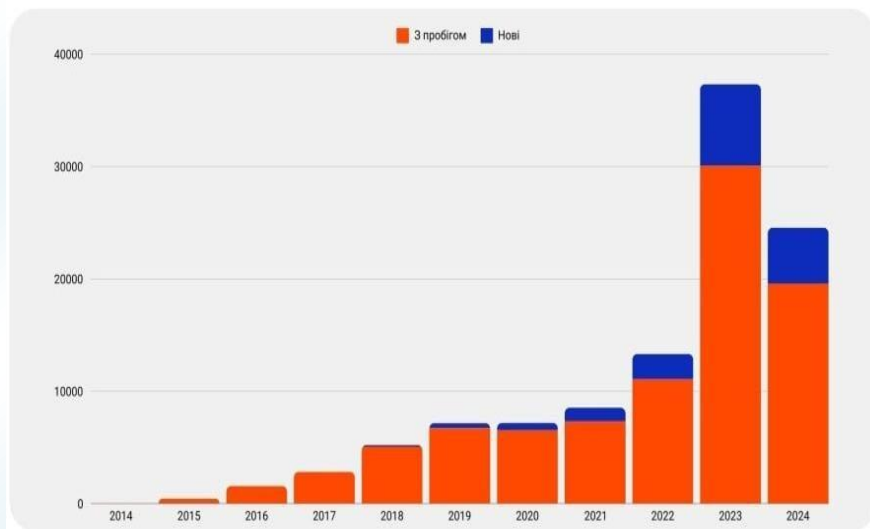


Рис 2.1. Кількість реєстрацій електромобілів в Україні за 2015-2024 роки

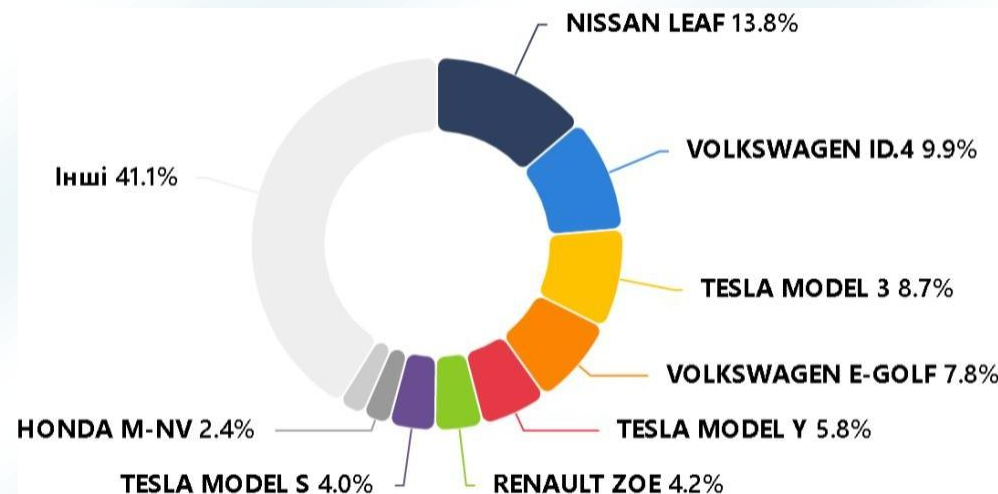


Рис. 2.2. Найбільш поширені виробники електромобілів та їх частка на ринку України

Таблиця 2.1 Кількість зареєстрованих електромобілів в Україні по областях станом на 01.01.2025 р.

№	Область	од.	№	Область	од.
1	Київська	90 464	14	Івано-Франківська	4060
2	Одеська	40 114	15	Донецька	немає даних
3	Харківська	20 715	16	Івано-Франківська	3081
4	Дніпропетровська	20 302	17	Волинська	3609
5	Львівська	10 805	18	Черкаська	3620
6	Вінницька	8600	19	Закарпатська	3210
7	Запорізька	7503	20	Херсонська	1906
8	Житомирська	6707	21	Сумська	1086
9	Рівненська	5507	22	Кіровоградська	1806
10	Полтавська	5022	23	Чернігівська	1290
11	Чернівецька	4026	24	Луганська	немає даних
12	Миколаївська	4210	25	АРК	немає даних
13	Хмельницька	4007			

ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС СТАНДАРТІВ ЗАРЯДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ



Рис 3.1. Основні стандарти зарядних портів АКБ електро- і гібридних автомобілів у світі

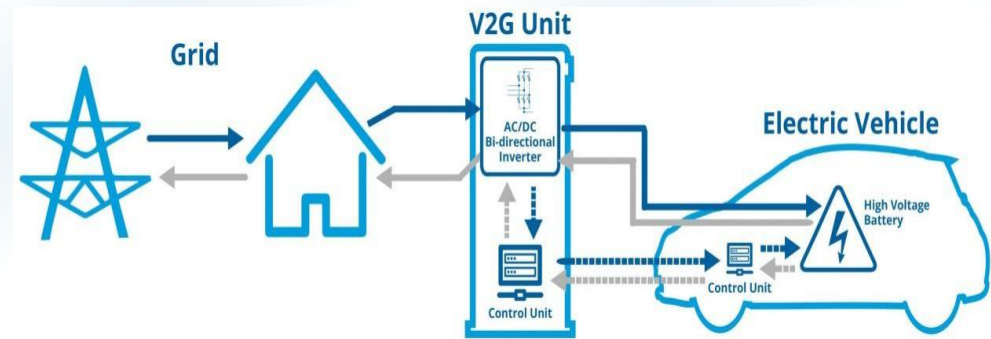


Рис. 3.2. Загальний вигляд системи стандарту V2G

Тип роз'єму	Дизайн	Вихідна потужність	Країна
Type 1 (SAE J1772)		до 7,4 кВт	Японія Північна Америка Європа
Type 2 (Mennekes)		3,5 кВт, 7 кВт (1-фаза) 11 кВт, 22 кВт (3-фази) 43 кВт (Mode 3)	Європа та решта країн світу
GB/T (AC)		до 7,4 кВт	Китай
Tesla (AC)		11 кВт, 16,5 кВт, 22 кВт залежно від моделі / конфігурації	Європа та решта країн світу

Рисунок 3.3. Параметри режимів заряджання АКБ електромобілів

АНАЛІЗ НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ СТАНДАРТІВ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОМОБІЛІВ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Стандарти	Опис	Переваги
Vehicle-to-Grid (V2G)	Двосторонній обмін енергією між електромобілем та електричною мережею. Електромобіль може як споживати, так і віддавати енергію назад у мережу.	Балансування навантаження мережі, підтримка стабільності, інтеграція відновлюваних джерел енергії, можливість отримання доходу від продажу електроенергії в мережу.
Vehicle-to-Home (V2H)	Використання електромобіля як резервного джерела живлення для домашнього господарства.	Енергетична автономність, зниження витрат на електроенергію, резервне живлення під час відключень або пікових навантажень, інтеграція з домашніми ВДЕ (сонячні панелі).
Vehicle-to-Building (V2B)	Інтеграція електромобілів у систему енергоменеджменту будівлі для забезпечення енергетичних потреб будівлі.	Зменшення пікових навантажень, економія витрат на електроенергію, підвищення енергоефективності будівлі, підтримка стабільності мережі на рівні підприємств або офісних центрів.
Vehicle-to-Load (V2L)	Пряме живлення зовнішніх пристроїв та обладнання від електромобіля без підключення до мережі.	Забезпечення електроенергією в віддалених місцях, під час подорожей або в екстрених ситуаціях, мобільне живлення для електроінструментів або побутових приладів.
Смарт-чарджинг	Інтелектуальне керування процесом заряджання з урахуванням тарифів, стану мережі, відновлюваних джерел та потреб користувача.	Оптимізація витрат на заряджання, зменшення навантаження на мережу в години пік, підвищення ефективності використання електроенергії, сприяння стабільності мережі.
Peer-to-Peer (P2P)	Децентралізований обмін енергією між власниками електромобілів та іншими учасниками через спеціальні платформи або технології блокчейн.	Створення гнучкої та стійкої енергосистеми, можливість продажу надлишкової енергії від електромобілів, вигідні тарифи, залучення споживачів електромобілів як активних учасників ринку електроенергії.

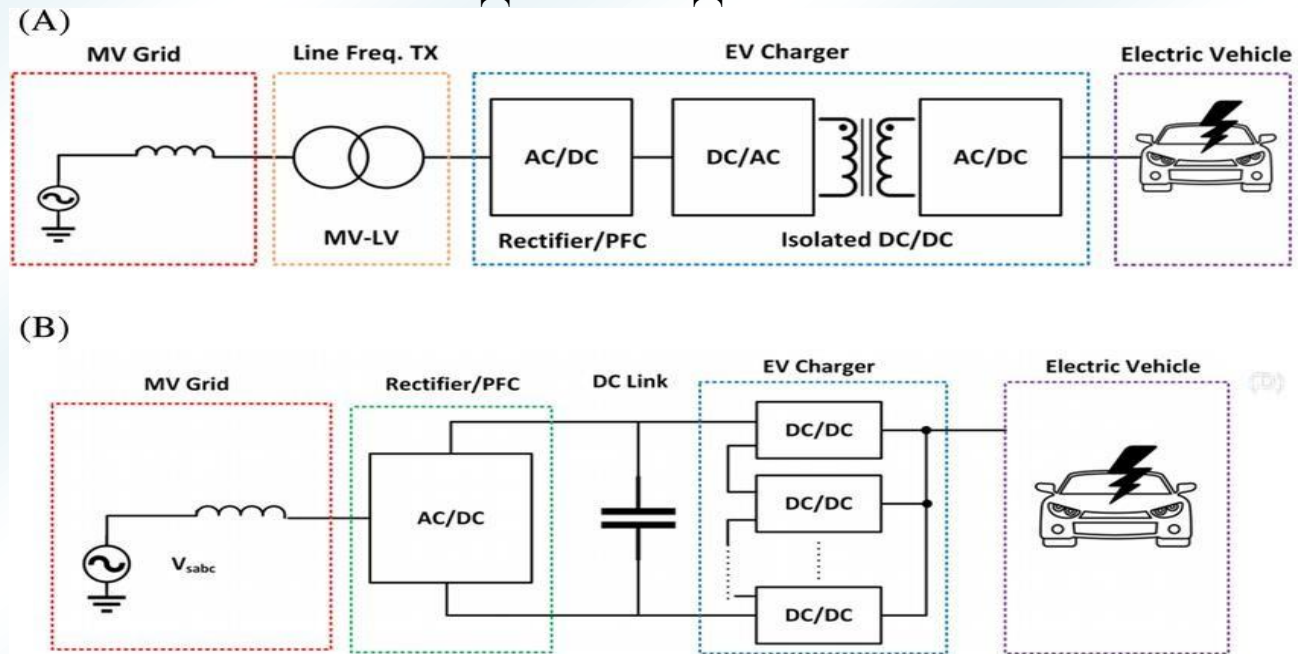


Рисунок 5.1. Головні схемотехнічні рішення для зарядних пристроїв електромобілів

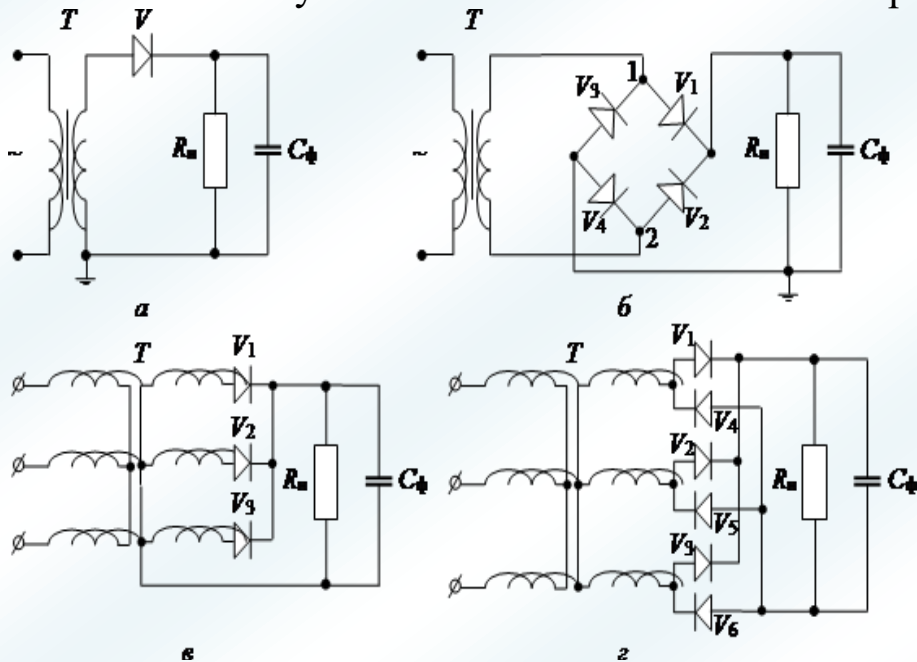


Рис. 5.2. Схеми перетворювачів змінного струму для зарядки електромобілів

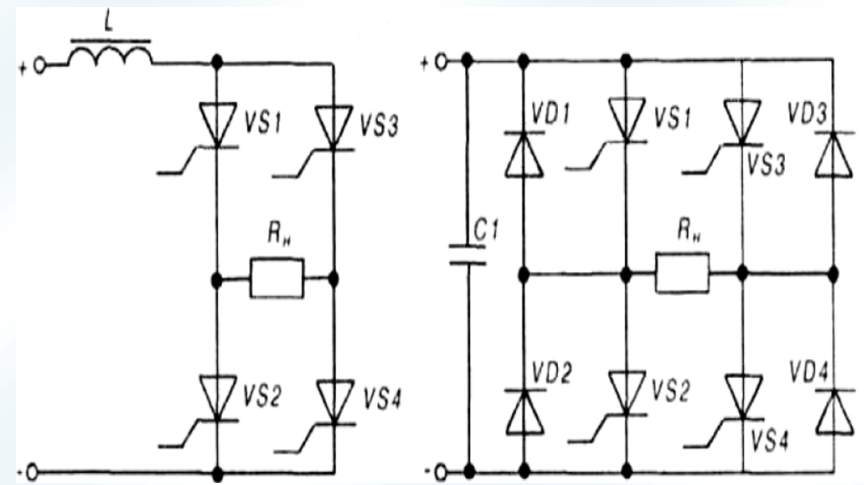


Рис. 5.3. Схеми інвертування постійного струму

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОМОБІЛІВ

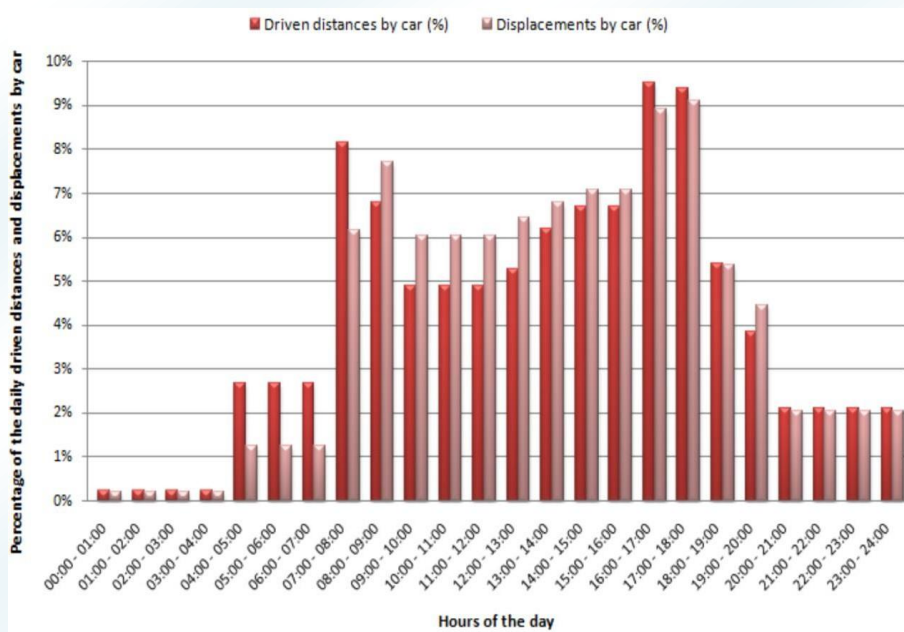


Рис. 6.1. Графік експлуатації ЕА протягом дня

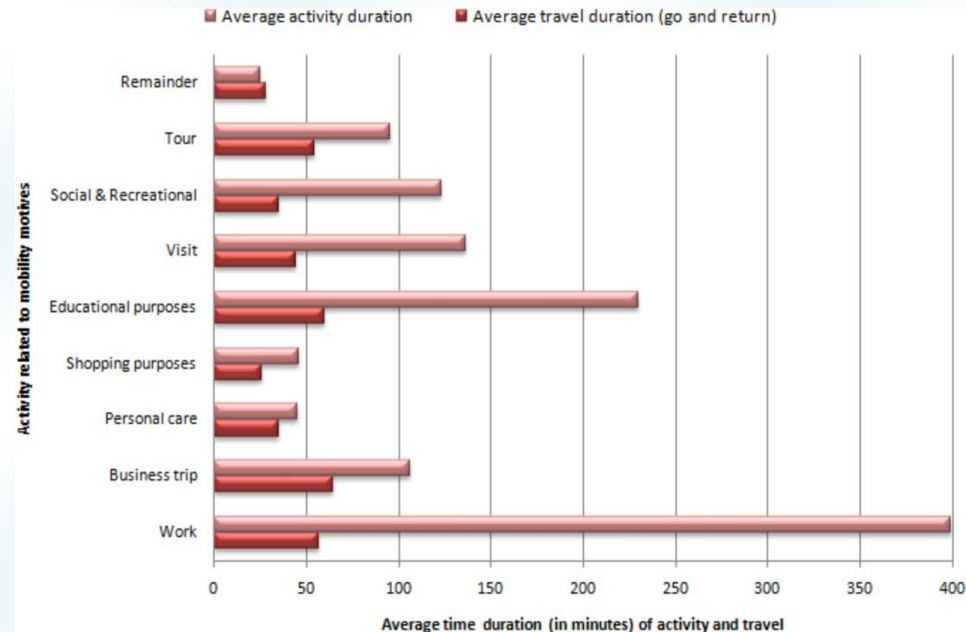


Рис. 6.2. Тривалість використання ЕА за способом експлуатації

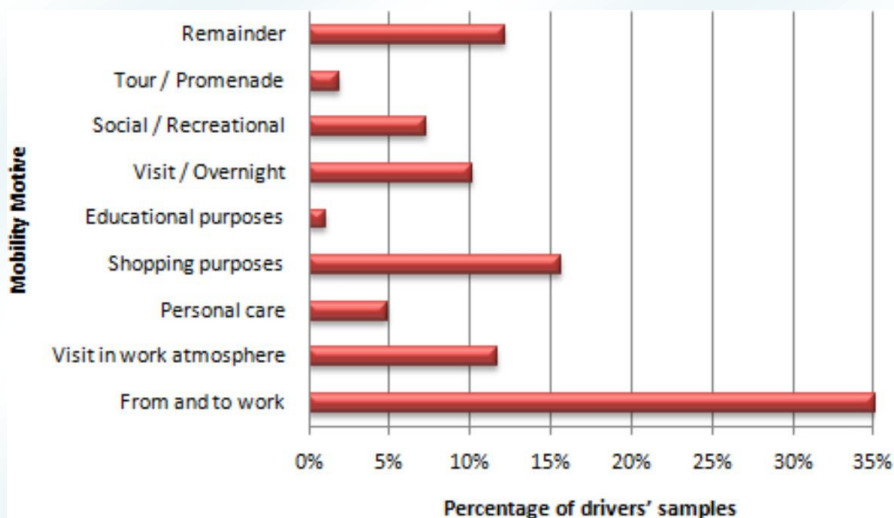


Рис. 6.3. Інтенсивність використання ЕА за способом експлуатації

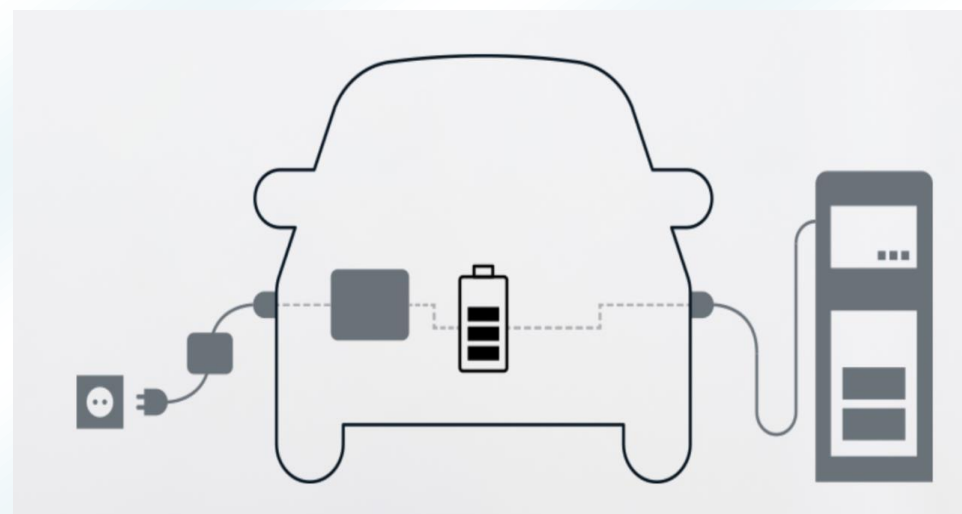


Рис. 6.4. Структура зарядної системи батареї електричного автомобіля

ПАРАМЕТРИ ВИСОКОВОЛЬТНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОМОБІЛІВ

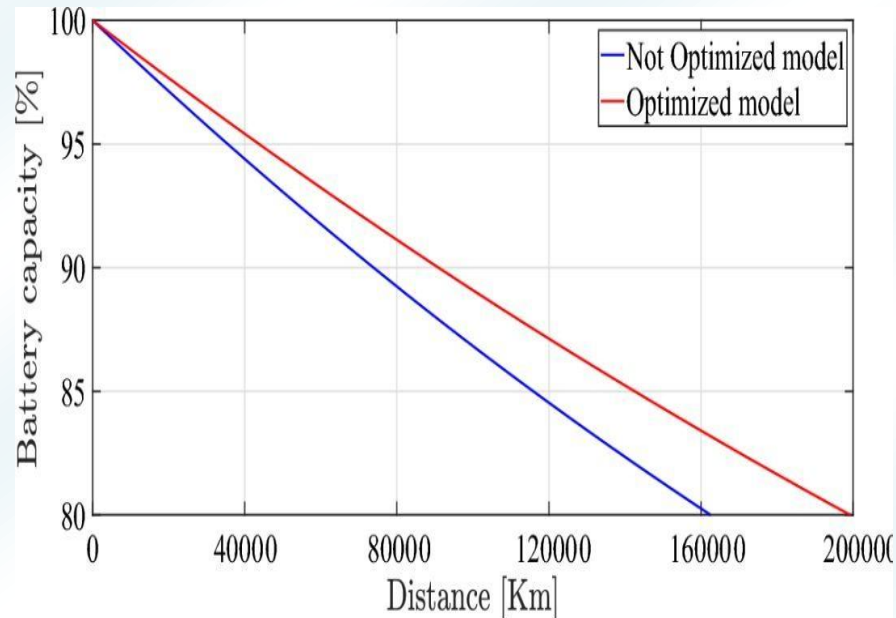


Рис. 7.1. Залежність зменшення ємності акумулятора від пройденого шляху

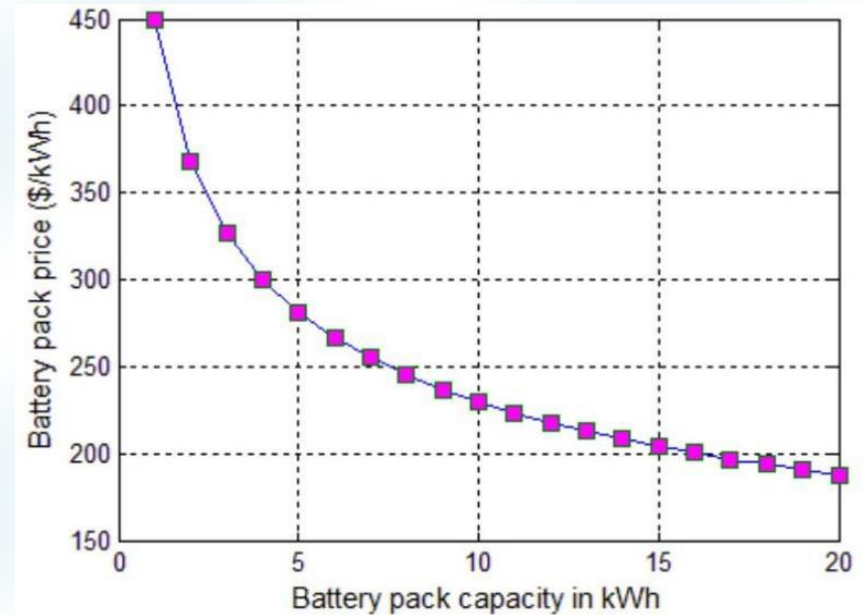


Рис. 7.2. Вартість батареї та їх ємності

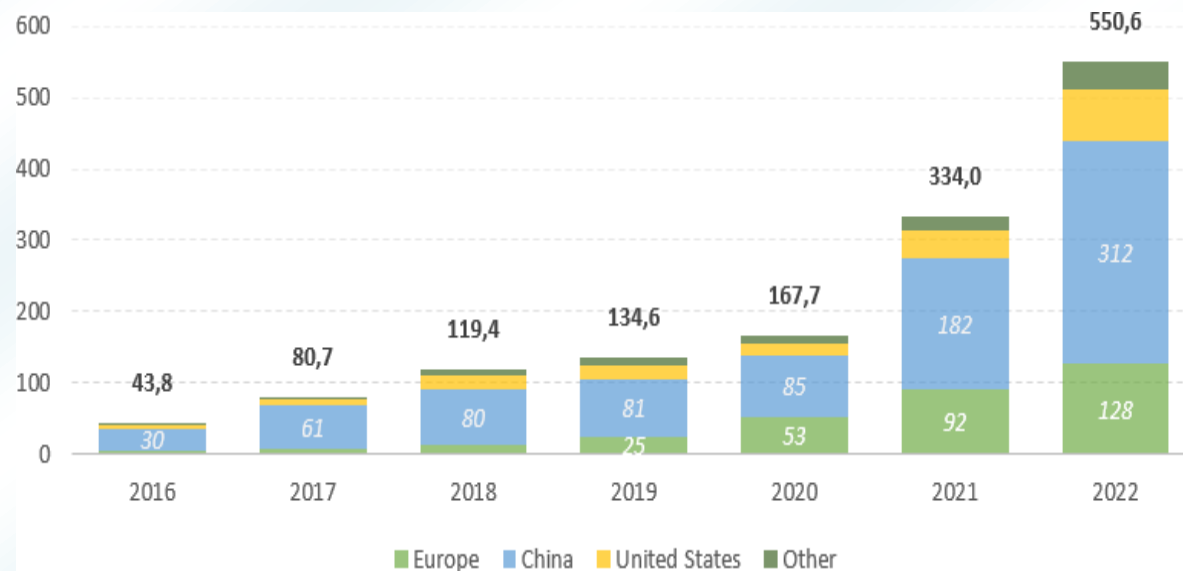


Рис.7.1. Частка Li-ion акумуляторів на ринку електричних автомобілів

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ТА СУПУТНЬОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УКРАЇНІ

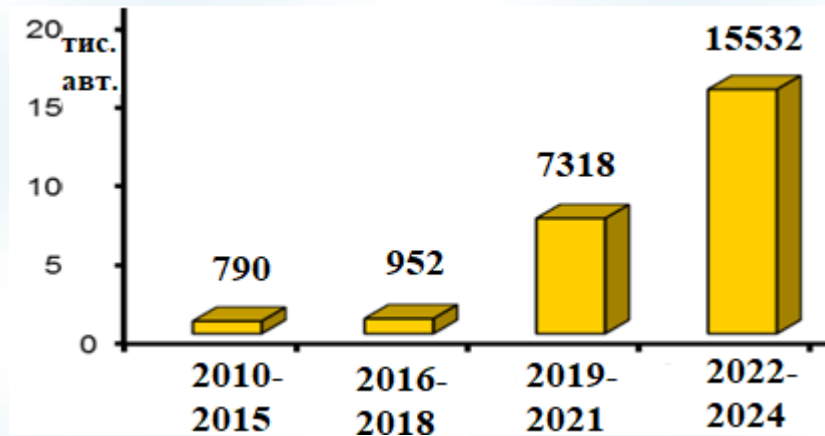


Рис. 8.1. Динаміка зростання обсягів ввезення електромобілів в Україну в 2010...2024 рр. (Джерело: <http://biz.nv.ua/publications/rynok-elektromobilej-rastet-219416.html>)



Рис. 8.3. Структура продажів легкових електромобілів в Україні (Джерело: ГСЦ МВС України; IRS Group, 2018-2025; www.irsgroup.com.ua/ecars)



Рис. 8.2. Структура продажів легкових електромобілів в Україні в 2024 р. (Джерело: ГСЦ МВС України; IRS Group, 2025; www.irsgroup.com.ua/ecars)

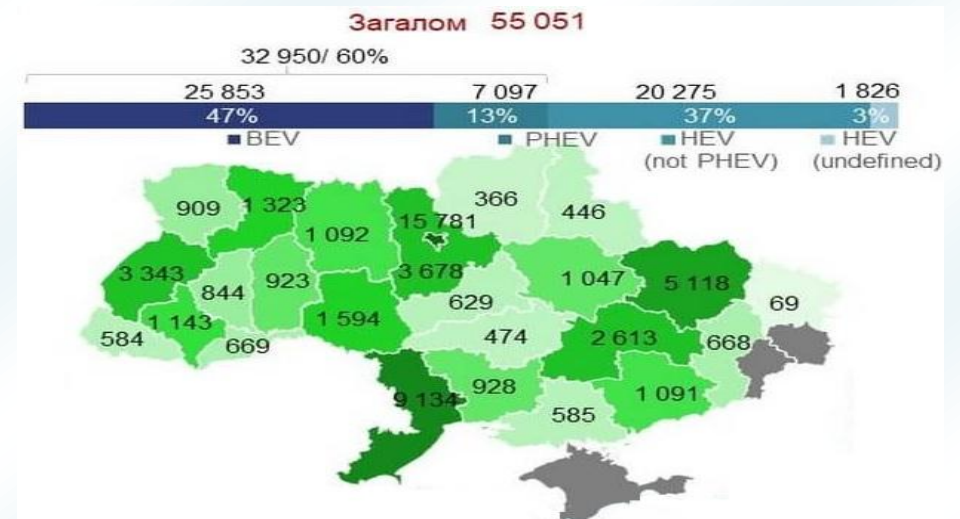


Рис. 8.4. Кількість зареєстрованих легкових та легких комерційних електромобілів і гібридів в Україні станом на 01.01.2025 (Джерело: ГСЦ МВС України; IRS Group, 2018-2025; www.irsgroup.com.ua/ecars)

ОПЕРАТОРИ ЕЛЕКТРОЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ УКРАЇНИ ТА СХЕМИ ПРИЄДНАННЯ ЗАРЯДНОЇ СТАНЦІЇ ДО ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ



Рис. 9.1. Кількість електрозарядних станцій та частки операторів в Україні станом на 2024 рік

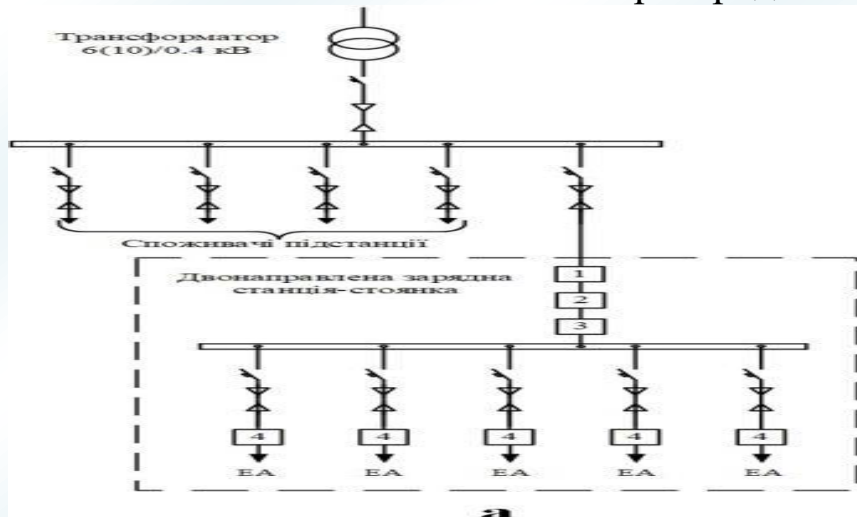


Рис. 9.2. Схема приєднання зарядної станції до трансформаторної підстанції

Характеристика	Опис
Модель	Wallbox Pulsar Plus
Режим заряджання	Mode 3 (змінний струм, AC)
Максимальна потужність	- До 7,4 кВт (однофазний струм, 230 В) - До 22 кВт (трифазний струм, 400 В)
Напруга живлення	110–240 В (однофазний) або 400 В (трифазний)
Максимальний струм	Регульований від 6 А до 32 А
Тип роз'єму	- Type 1 (SAE J1772) - Type 2 (IEC 62196-2)
Комунікація	Вбудований Wi-Fi та Bluetooth
Розміри (Ш x В x Г)	Приблизно 166 x 163 x 82 мм
Вага	Близько 1 кг
Монтаж	Настінний або на стійці (з використанням додаткових аксесуарів)
Клас захисту	IP54 / IK08 (захист від пилу, бризок води та механічних впливів)
Температурний діапазон	Від -25°C до +40°C
Безпека	- Вбудований захист від струму витоку (DC 6 мА) - Захист від перенапруги та перегріву - Відповідність стандартам безпеки

Рис. 9.3. Технічні характеристики зарядних пристроїв «Wallbox Pulsar Plus»

Для визначення оптимальних координат розміщення зарядних станцій необхідно провести кількісний аналіз, використовуючи формули математичні моделі.

Розрахунок базується на таких основних даних: населення міста Івано-Франківськ: $N=337\ 000$ осіб; прогнозована кількість електромобілів до кінця 2026 року: $E=11\ 200$ одиниць.

Для визначення оптимальних місць розміщення можна застосувати метод кластерного аналізу з використанням алгоритму k-середніх (k-means clustering). Цей метод дозволяє розподілити точки попиту на зарядні станції на кластери та визначити центри цих кластерів, які будуть оптимальними місцями для встановлення станцій.

Необхідні наступні дані:

- Координати точок попиту: $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, де x_1, x_2, \dots, x_n — географічні координати місць з високою концентрацією електромобілів або потенційних користувачів.
- Вагові коефіцієнти: w_i , які відображають інтенсивність попиту в точці x_i (наприклад, кількість електромобілів у районі).
- Кількість кластерів: $K=S=34$.

Задача полягає в мінімізації суми квадратів відстаней між точками попиту та центрами кластерів:

$$\arg \min_C \sum_{i=1}^n w_i \|x_i - c_{(x_i)}\|^2,$$

де: $C=\{c_1, c_2, \dots, c_K\}$ - координати центрів кластерів (місць розміщення зарядних станцій); $c(x_i)$ - центр кластера, до якого віднесена точка x_i ; $\|x_i - c(x_i)\|$ - Євклідова відстань між точкою попиту та центром кластера.

Алгоритм включає наступні кроки:

1. Випадково або на основі апріорної інформації вибрати початкові центри кластерів C .

2. Для кожної точки x_i визначити найближчий центр кластера: $c_{(x_i)} = \arg \min_{c_k} \|x_i - c_k\|$

3. Обчислити нові центри кластерів як зважені середні точок, віднесених до кожного кластера:
$$c_k = \frac{\sum_{x_i \in C_k} w_i x_i}{\sum_{x_i \in C_k} w_i}$$

4. Якщо зміни центрів кластерів незначні, алгоритм зупиняється; інакше повернутися до кроку 2.

5. Отримати дані про розподіл населення, кількість електромобілів у різних районах міста, місця тяжіння (торгові центри, офіси, паркінги). Призначити ваги w_i відповідно до кількості потенційних користувачів або інтенсивності транспортного потоку в точці x_i .

6. Розрахувати відстані. Використовується Євклідова відстань між двома точками: $d(x_i, c_k) = \sqrt{(x_i^{(1)} - c_k^{(1)})^2 + (x_i^{(2)} - c_k^{(2)})^2}$

7. Якщо обрані місця не відповідають додатковим критеріям, необхідно:

- Перемістити станцію в найближче місце, що задовольняє вимогам.
- Повторити алгоритм з оновленими обмеженнями.

ІСНУЮЧІ ТА ПРОПОНОВАНІ ЗАРЯДНІ СТАНЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В МІСТІ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКУ

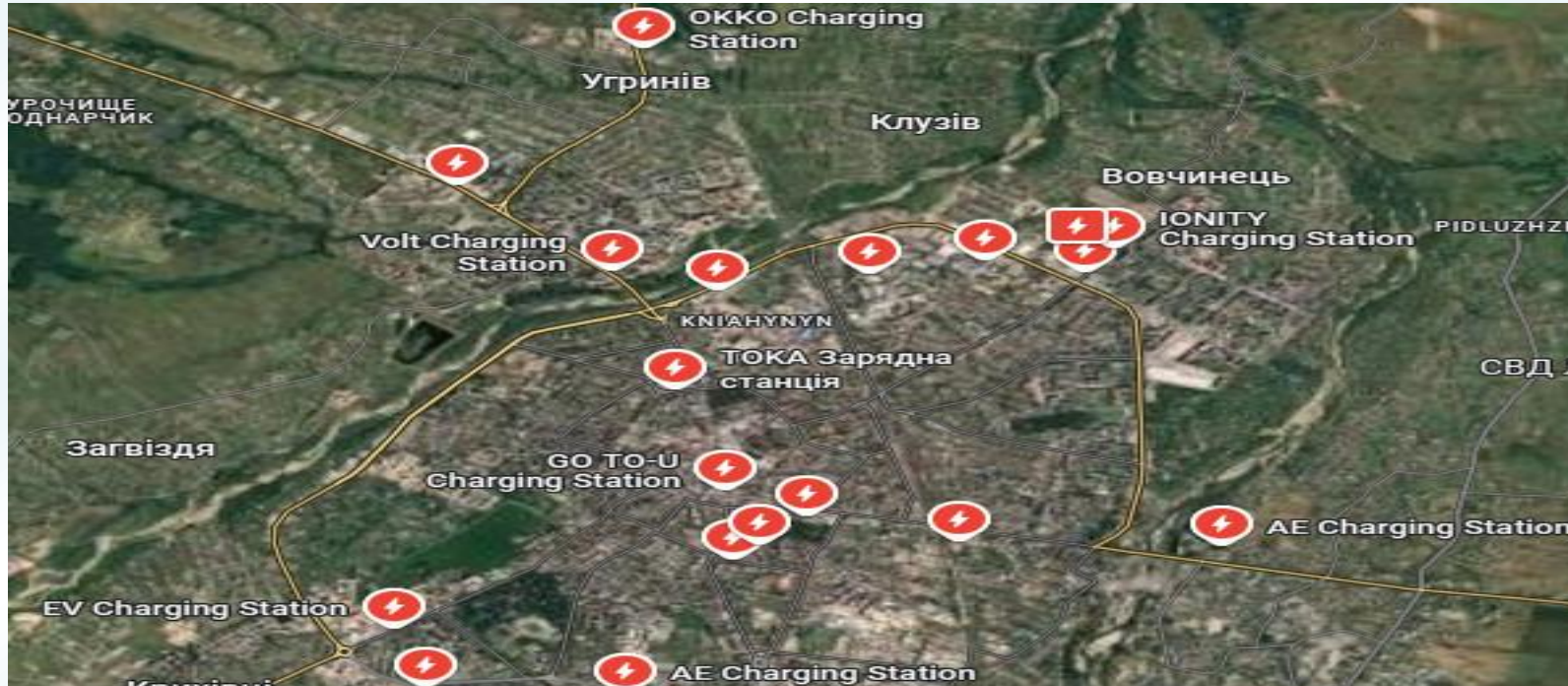


Рис. 11.1. Перспективна карта пропонуванних зарядних станцій в місті Івано-Франківську

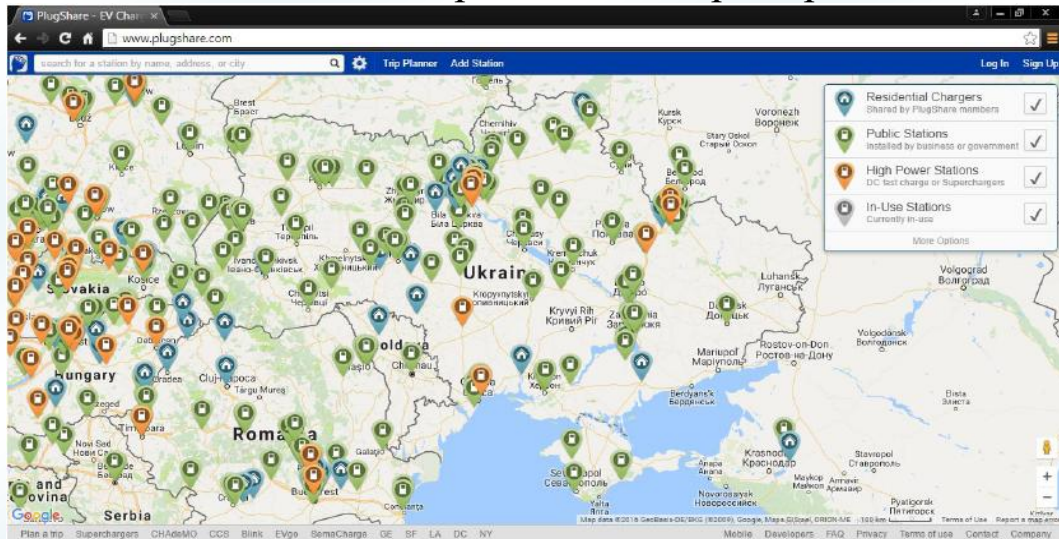


Рис. 11.2. Мережа зарядних станцій електромобілів на мапі України станом на середину 2024 року

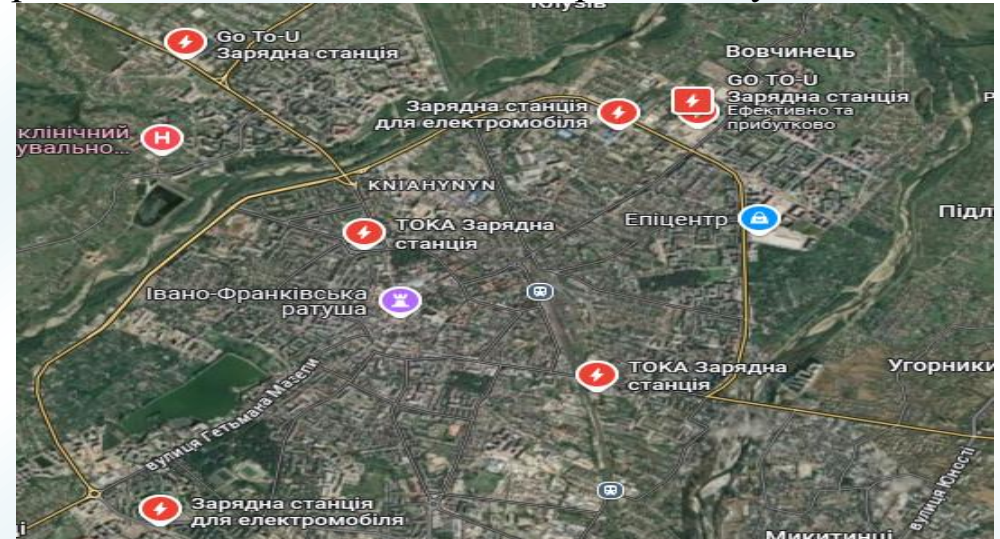


Рис. 11.3. Існуюча карта зарядних станцій в місті Івано-Франківську на середину 2024 року

Назва моделі	Технічні характеристики				Ціна, \$
	Запас ходу, км	Ємність батареї, кВт/год	Максимальна швидкість, км/год	Потужність двигуна, к.с.	
Nissan Leaf	160	30	140	109	від 30000
Tesla Model S	426	75	240	315	від 52000
Tesla Model 3	499	100	210	567	від 40000
Tesla Model X	565	100	250	567	від 95000
Renault ZOE	300	41	135	92	від 20000
BMW i3	130	22	150	170	від 18500
FIAT 500e	130	24	137	113	від 13800
Mercedes-Benz B-Class Electric Drive	140	28	160	177	від 16500
BAIC EC-Series	160	20,6	100	30	від 22000
BAIC Eu-Series	416	53,6	155	215	від 32500
BYD e5	305	43	160	218	від 34600
JAC iEV E/S	180	40	130	116	від 25265
Chery eQ EV	151	22	100	41	від 14000
Geely Emgrand EV	253	45	140	129	від 12300
Hawtai xEV	266	50	130	109	від 13000
Hawtai EV160	160	21	105	30	від 15000
Dongfeng Junfeng Skio	255	30,2	72	80	від 16000

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАЙБІЛЬШ РОЗПОВСЮДЖЕНИХ ЕЛЕКТРОАВТОМОБІЛІВ В УКРАЇНІ

Таблиця 13.1 - Технічні характеристики Nissan Leaf

Параметр	Показник
Тип кузова	Хетчбек
Клас автомобіля	С
Кількість дверей	5
Кількість місць	5
Тип двигуна	Трифазний синхронний електродвигун
Потужність двигуна, кВт	110
Крутильний момент двигуна, Н·м	320
Потужність батареї, кВт·год	40
Запас ходу, км	389
Тип приводу	Передній
Тип трансмісії	Редуктор
Максимальна швидкість, км/год	157
Габарити кузова (Д x Ш x В), мм	4480 x 1790 x 1540
Колісна база, мм	2700
Кліренс, мм	150
Маса, кг	1580
Допустима повна маса, кг	1995
Вартість нового автомобіля, грн	876000

Таблиця 13.2 - Технічні характеристики Renault Zoe

Параметр	Показник
Тип кузова	Хетчбек
Клас автомобіля	В
Кількість дверей	5
Кількість місць	5
Тип двигуна	Трифазний синхронний електродвигун
Потужність двигуна, кВт	65
Крутильний момент двигуна, Н·м	220
Потужність батареї, кВт·год	22
Запас ходу, км	210
Тип приводу	Передній
Максимальна швидкість, км/год	135
Габарити кузова (Д x Ш x В), мм	4084 x 1730 x 1562
Колісна база, мм	2588
Кліренс, мм	119
Маса, кг	1480
Допустима повна маса, кг	1966
Вартість нового автомобіля, грн	772800

Таблиця 13.3 - Технічні характеристики Hyundai i30

Параметр	Показник	Параметр	Показник
Тип кузова	Хетчбек	Габарити кузова (Д x Ш x В), мм	4300 x 1780 x 1480
Клас автомобіля	С	Колісна база, мм	2650
Кількість дверей	5	Кліренс, мм	140
Кількість місць	5	Маса, кг	1388
Тип двигуна	Рядний, 4-циліндровий, з наддувом	Допустима повна маса, кг	1880
Тип палива	Дизельне паливо	Потужність двигуна, кВт (к. с.)	100 (136)
Об'єм двигуна, куб. см	1582	Крутильний момент двигуна, Н·м	280
Екологічний тип двигуна	Євро-5	Тип трансмісії	МКПП
Витрати палива в змішаному циклі, л/100 км	4,4	Максимальна швидкість, км/год	200
Об'єм паливного бака, л	53	Вартість нового автомобіля, грн	480000
Тип приводу	Передній		

ВАРТІСТЬ РОБІТ І ВИТРАТНИХ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

14. ВАРТІСТЬ РОБІТ І ВИТРАТНИХ МАТЕРІАЛІВ

NISSAN LEAF

№	Найменування робіт	Кількість нормогодин
ТО-1		
1	Система клімат – контролю і кондиціювання повітря – перевірка	0,01
2	Діагностика батареї	0,02
3	Гальмівні магістралі, і з'єднання - перевірка	0,01
4	Гальмівна рідина - перевірка	0,01
5	Гальмівні диски і колодки - перевірка	0,20
6	Приводні вали і пильники - перевірка	0,01
7	Шарові шарніри передньої підвіски - перевірка	0,01
8	Стоянкова гальмівна система - перевірка	0,01
9	Рульовий механізм - перевірка	0,01
10	Шини (кути установки і знос протектора) - перевірка	0,01
11	Рівень масла в редукторі - перевірка	0,01
12	Заміна салонного фільтра	0,20
13	Система охолодження батареї - перевірка	0,03
14	Всі електричні системи - перевірка	0,10
15	Комп'ютерна діагностика стану авто	0,10
16	Замки, петлі і направляючі дверей - змащування	0,10
17	Форсунки омивача і щітки склоочисників - перевірка	0,01
	Всього	0,85
Вартість витратних матеріалів		
	Салонний фільтр	170 грн.

	Всього	170 грн.
ТО-2		
1	Система клімат – контролю і кондиціювання повітря - перевірка	0,01
2	Діагностика батареї	0,02
3	Гальмівні магістралі, і з'єднання - перевірка	0,01
4	Гальмівна рідина - заміна	0,30
5	Гальмівні диски і колодки - перевірка	0,20
6	Приводні вали і пильники - перевірка	0,01
7	Шарові шарніри передньої підвіски - перевірка	0,01
8	Стоянкова гальмівна система - перевірка	0,01
9	Рульовий механізм – перевірка	0,01
10	Шини (кути установки і знос протектора) - перевірка	0,01
11	Заміна масла в редукторі	0,10
12	Заміна салонного фільтра	0,20
13	Система охолодження батареї - перевірка	0,03
14	Стан охолоджуючої рідини - перевірка	0,01
15	Всі електричні системи - перевірка	0,10
16	Комп'ютерна діагностика стану авто	0,10
17	Роз'єм зарядки - перевірка	0,01
18	Замки і направляючі дверей - змащування	0,10
19	Форсунки омивача і щітки склоочисників - перевірка	0,01
	Всього	1,25
Вартість витратних матеріалів		
1	Гальмівна рідина	150 грн.
2	Салонний фільтр	200 грн.
3	Масло в редуктор	170 грн.
	Всього	520 грн.

**15 ВАРТІСТЬ РОБІТ І ВИТРАТНИХ МАТЕРІАЛІВ
Renault Zoe**

№	Найменування робіт	Кількість нормогодин
1	2	3
ТО-1		
1	Система клімат – контролю і кондиціонування повітря – перевірка	0,01
2	Діагностика батареї	0,02
3	Гальмівна рідина – перевірка	0,01
4	Гальмівні диски і колодки - перевірка	0,10
5	Приводні вали і пильники - перевірка	0,01
6	Шарові шарніри передньої підвіски - перевірка	0,01
7	Стоянкова гальмівна система - перевірка	0,01
8	Рульовий механізм - перевірка	0,01
9	Шини (кути установки і знос протектора) - перевірка	0,01
10	Система охолодження батареї - перевірка	0,03
11	Всі електричні системи - перевірка	0,10
12	Комп'ютерна діагностика стану авто	0,10
13	Замки, петлі і направляючі дверей - змащування	0,10
14	Форсунки омивача і щітки склоочисників - перевірка	0,01
	Всього	0,53
ТО-2		
1	Система клімат – контролю і кондиціонування повітря - перевірка	0,01
2	Діагностика батареї	0,02
3	Гальмівна рідина – заміна	0,30

4	Гальмівні магістралі, і з'єднання - перевірка	0,01
5	Гальмівні диски і колодки – перевірка	0,30
6	Приводні вали і пильники – перевірка	0,01
7	Шарові шарніри передньої підвіски - перевірка	0,01
8	Стоянкова гальмівна система - перевірка	0,01
9	Рульовий механізм – перевірка	0,01
10	Шини (кути установки і знос протектора) - перевірка	0,01
11	Масло в редукторі - заміна	0,15
12	Салонний фільтр - заміна	0,20
13	Система охолодження батареї - перевірка	0,03
14	Стан охолоджуючої рідини - перевірка	0,01
15	Всі електричні системи - перевірка	0,10
16	Комп'ютерна діагностика стану авто	0,10
17	Роз'єм зарядки - перевірка	0,01
18	Замки, петлі і направляючі дверей - змащування	0,10
19	Форсунки омивача і щітки склоочисників - перевірка	0,01
	Всього	1,39
Вартість витратних матеріалів		
1	Гальмівна рідина	150 грн.
2	Салонний фільтр	170 грн.
3	Масло в редуктор	370 грн.
	Всього	690 грн.

16. ВАРТІСТЬ РОБІТ І ВИТРАТНИХ МАТЕРІАЛІВ HYUNDAI I30

№	Найменування робіт	Кількість нормогодин
ТО-1		
1	Повітряний фільтр	0,20
2	Система клімат – контролю і кондиціювання повітря	0,01
3	Стан АКБ	0,01
4	Гальмівні магістралі, і з'єднання	0,01
5	Гальмівна рідина/рідина приводу зчеплення	0,01
6	Повітряний фільтр паливного бака	0,01
7	Гальмівні диски і колодки	0,01
8	Приводні ремені	0,01
9	Приводні вали і пильники	0,01
10	Вихлопна система	0,01
11	Шарові шарніри передньої підвіски	0,10
12	Паливний фільтр	0,20
13	Паливні магістралі і з'єднання	0,01
14	Стоянкова гальмівна система	0,01
15	Рульова рейка	0,01
16	Шини (кути установки і знос протектора)	0,10
17	Рівень масла в МКПП	0,05
18	Моторне масло і масляний фільтр	0,60
19	Салонний фільтр	0,20
20	Система охолодження двигуна	0,01
21	Рідина системи охолодження двигуна	0,01
22	Комп'ютерна діагностика стану автомобіля	0,30
23	Замки, петлі і направляючі дверей	0,10
24	Форсунки омивача і щітки склоочисників	0,01
	Всього	1,87
Вартість витратних матеріалів		
1	Повітряний фільтр	410 грн.
2	Моторне масло	1700 грн.
3	Масляний фільтр	320 грн.
4	Салонний фільтр	170 грн.
	Всього	2600 грн.

ТО-2		
1	Повітряний фільтр - заміна	0,20
2	Система клімат – контролю і кондиціювання повітря - перевірка	0,01
3	Стан АКБ	0,01
4	Гальмівні магістралі, і з'єднання - перевірка	0,01
5	Гальмівна рідина/рідина приводу зчеплення - перевірка	0,01
6	Повітряний фільтр паливного бака - заміна	0,40
7	Гальмівні диски і колодки - перевірка	0,10
8	Приводні ремені - перевірка	0,01
9	Приводні вали і пильники - перевірка	0,01
10	Вихлопна система - перевірка	0,01
11	Шарові шарніри передньої підвіски - перевірка	0,10
12	Паливний фільтр - заміна	0,60
13	Паливні магістралі і з'єднання - огляд	0,01
14	Стоянкова гальмівна система - перевірка	0,01
15	Рульова рейка - перевірка	0,01
16	Шини (кути установки і знос протектора) - перевірка	0,10
17	Рівень масла в МКПП - перевірка	0,05
18	Моторне масло и масляний фільтр - заміна	0,60
19	Салонний фільтр - заміна	0,20
20	Система охолодження двигуна - перевірка	0,01
21	Рідина системи охолодження двигуна	0,20
22	Комп'ютерна діагностика стану автомобіля	0,30
23	Замки, петлі і направляючі дверей	0,10
24	Форсунки омивача і щітки склоочисників - перевірка	0,01
	Всього	2,87
Вартість витратних матеріалів		
1	Повітряний фільтр	410 грн.
2	Моторне масло	1700 грн.
3	Масляний фільтр	320 грн.
4	Салонний фільтр	170 грн.
5	Повітряний фільтр паливного бака	130 грн.
6	Паливний фільтр	780 грн.
	Всього	3510 грн.

ЗАГАЛЬНА БУДОВА ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ



Рис.17.1. Розміщення літій-іонної акумуляторної батареї в електромобілі Nissan Leaf



Рис.17.2. Літій-іонна акумуляторна батарея електромобіля Nissan Leaf



Рис.17.3. Роз'єми електромобіля Nissan Leaf

ПРОБЛЕМИ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ З ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ NISSAN LEAF

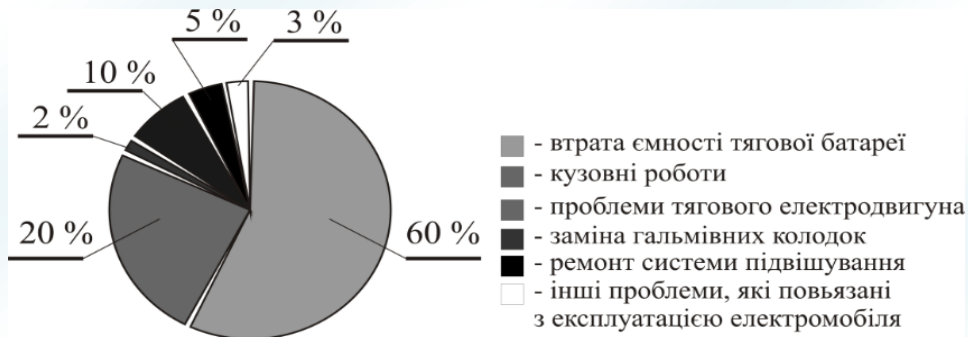


Рис. 18.1. Найбільш поширені проблеми, що пов'язані з експлуатацією електромобілів Nissan Leaf, за результатами аналізу даних опитування власників електромобілів

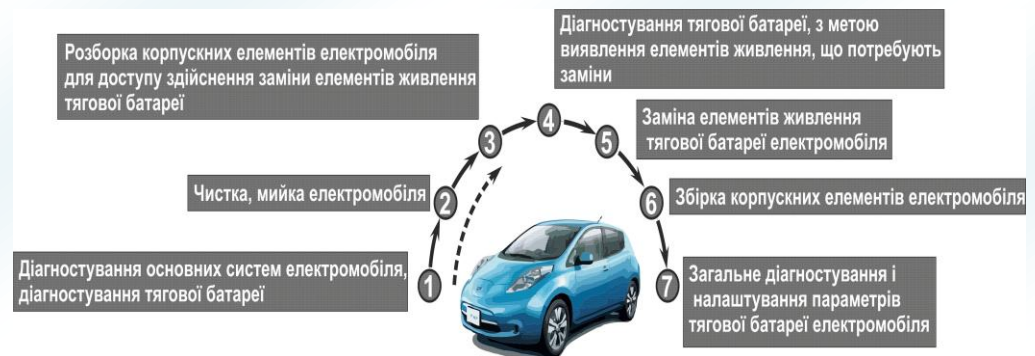


Рис. 18.2. Основні етапи виконання технологічного процесу ремонту і заміни елементів живлення тягової батареї електромобіля Nissan Leaf

Таблиця 18.3 - Зведені показники вартості і витрати часу на виконання ремонтних робіт акумуляторної батареї 24 кВт електромобіля Nissan Leaf

№ етапу	Зміст технологічних операцій	Витрати часу, год.	Вартість, грн.	Вартість, \$
1	Діагностування основних систем електромобіля, діагностування тягової батареї	0,7	1397	50
2	Чистка, мийка електромобіля	0,3	240	9
3	Розборка основних корпусних елементів електромобіля для доступу здійснення заміни елементів живлення тягової батареї	24	11172	2400
4	Діагностування тягової батареї, з метою виявлення елементів живлення, що потребують заміни	4,5		
5	Заміна елементів живлення тягової батареї електромобіля	0,5		
6	Збірка корпусних елементів електромобіля	14		
7	Загальне діагностування і налаштування параметрів тягової батареї електромобіля	0,7	1396	50
УСЬОГО		44,7	14205	2509

ВИСНОВКИ

У ході проведеного дослідження було розглянуто комплекс питань, пов'язаних із взаємодією електричних автомобілів та електричної мережі, зокрема з впровадженням технології Vehicle-to-Grid (V2G) у місті Івано-Франківськ. Актуальність роботи обумовлена стрімким зростанням кількості електромобілів, необхідністю розвитку зарядної інфраструктури та оптимізації використання енергетичних ресурсів.

Проведений аналіз сучасних електричних автомобілів та їх технічних параметрів дозволив визначити ключові характеристики, що впливають на процес заряджання та вимоги до зарядних станцій. Особливу увагу було приділено типам акумуляторних батарей, їх перевагам і недолікам, а також факторам, які впливають на тривалість їх експлуатації. Виявлено, що правильний вибір режимів заряджання та експлуатації може значно продовжити термін служби акумуляторів.

Виконано розрахунок необхідної кількості зарядних станцій для міста Івано-Франківськ з урахуванням прогнозованої кількості електромобілів до кінця 2026 року, яка становитиме близько 11 200 одиниць. Визначено, що для задоволення потреб користувачів необхідно встановити приблизно 34 стоянки з зарядними станціями, забезпечивши 1 680 точок підключення. Обрано модель зарядної станції Wallbox Pulsar Plus, яка відповідає сучасним вимогам ефективності та безпеки.

Проведено детальний аналіз процесу вибору оптимальних місць розташування зарядних станцій у межах міста. Враховано технічні характеристики енергомережі Івано-Франківська, зокрема пропускну здатність та можливість підключення до мережі «Івано-Франківськобленерго». Встановлено, що оптимальне розміщення станцій повинно базуватися на аналізі щільності населення, транспортних потоків, доступності до енергомережі та зручності для користувачів. Розглянуто переваги використання багатозонного диференційованого тарифу для зарядки електромобілів. Встановлено, що заряджання в нічний час за зниженим тарифом дозволяє значно зменшити витрати на електроенергію як для фізичних, так і для юридичних осіб.

Виконано розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат, включаючи вартість акумуляторної батареї, доставки та робіт з її заміни, а також амортизаційні відрахування та витрати на електроенергію.

Проведено економічний аналіз участі електромобіля в технології V2G. Розрахунки показали, що за поточних умов доход від продажу електроенергії в мережу покриває додаткові витрати, пов'язані зі зменшенням терміну служби акумуляторної батареї через додаткові цикли заряджання-розряджання.

Таким чином, результати роботи можуть бути використані для планування розвитку зарядної інфраструктури в місті Івано-Франківськ та інших регіонах, а також для формування стратегії інтеграції електромобілів в енергетичну систему з урахуванням економічних та технічних аспектів.