

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ, ІНФОРМАЦІЙНОЇ
ТА ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Кафедра електричного транспорту

**АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ
ІНТЕГРАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ
ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ**

Бакалаврська кваліфікаційна робота

Здобувач:

Даніїл ПИРОГОВ

гр. СТ2023-1у

Керівник:

Наталя ЛУКАШОВА

доцент, к.т.н.

Харків – 2026

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
імені О. М. Бекетова

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури
Кафедра електричного транспорту
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕТ

 Микола ХВОРОСТ

« 19 » червня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Пирогову Даніилу Олексійовичу

прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: Аналіз та обґрунтування технічних рішень інтеграції
електромобілів в інтелектуальні транспортні системи

керівник бакалаврської

кваліфікаційної роботи к.т.н., доцент Наталя ЛУКАШОВА

затверджені наказом університету від « 22 » травня 2026 р. № 440-03

2. Строк подання студентом бакалаврської кваліфікаційної роботи 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи *Матеріали переддипломної практики; технічні характеристики електромобілів і зарядних станцій; технології заряджання електромобілів; технології V2G/V2H та інтелектуального розподілу електроенергії; системи підключених і автономних транспортних засобів; параметри зарядної інфраструктури; науково-технічна література з питань інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз сучасних технологій електромобілів та зарядної інфраструктури.

2. Технології взаємодії електромобілів з інтелектуальними транспортними системами.



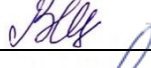

3. Розрахунок технічних параметрів інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи

4. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових слайдів)

Сучасні технології електромобілів та зарядна інфраструктура. Технічні рішення інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи.


6. Консультанти розділів бакалаврської кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Основна частина</i>	<i>Наталья ЛУКАШОВА, доц.</i>		
<i>Антиплагіат</i>	<i>Вікторія ЛЕВЧЕНКО, інж.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Вячеслав ШАВКУН, доц.</i>		

7. Дата видачі завдання 11.05.2026 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Стан питання</i>	11.05 – 24.05.2026	
2	<i>Розробка технічного завдання</i>	25.05 – 31.05.2026	
3	<i>Розрахункова частина</i>	01.05 – 07.06.2026	
4	<i>Охорона праці</i>	08.06 – 11.06.2026	
5	<i>Оформлення паперового та електронного варіантів роботи</i>	12.06 – 16.06.2026	
6	<i>Підготовка доповіді та презентації</i>	17.06 – 20.06.2026	

Здобувач




(підпис)

Даніїл ПИРОГОВ

(прізвище та ініціали)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи



(підпис)

Наталья ЛУКАШОВА

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто сучасні технічні рішення інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи. Проведено аналіз основних типів електромобілів, сучасних технологій заряджання та перспектив розвитку зарядної інфраструктури.

Досліджено технології інтелектуального розподілу електроенергії, двостороннього енергетичного обміну V2G і V2H, підключених транспортних засобів та автономного водіння. Виконано обґрунтування технічних рішень щодо інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи з урахуванням сучасних тенденцій розвитку транспортної та енергетичної інфраструктури.

Оцінено ефективність впровадження інтелектуальних технологій у сфері електромобільності та визначено перспективні напрями їх подальшого розвитку. У розділі з охорони праці проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, розроблено заходи щодо забезпечення безпечних умов праці та підвищення рівня електробезпеки під час експлуатації зарядних станцій електромобілів.

Ключові слова: електромобіль, інтелектуальна транспортна система, зарядна інфраструктура, V2G, V2H, Smart Grid, автономне водіння, підключений транспортний засіб.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ТА ЗАРЯДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	7
1.1 Основні типи електромобілів.....	7
1.2 Системи заряджання електромобілів.....	9
1.3 Висновки до розділу.....	15
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ІНТЕГРАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ.....	16
2.1 Технології інтелектуального розподілу електроенергії.....	16
2.2 Технології V2H та V2G.....	20
2.3 Підключені транспортні засоби.....	25
2.4 Автономне водіння.....	31
2.5 Висновки до розділу.....	38
3 РОЗРАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНТЕГРАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ.....	41
3.2 Розрахунок параметрів акумуляторної батареї електромобіля.....	41
3.2 Розрахунок потужності зарядної станції.....	44
3.3 Висновки до розділу.....	50
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	51
4.1 Вступ.....	51
4.2 Аналіз небезпечних шкідливих факторів.....	52
4.3 Організаційно-технічні заходи по забезпеченню безпеки.....	54
4.4 Висновки.....	63
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65

ВСТУП

Стрімкий розвиток електромобільного транспорту є однією з найважливіших тенденцій сучасної транспортної галузі. Зростання екологічних вимог, необхідність скорочення викидів парникових газів, підвищення енергоефективності та зменшення залежності від викопних видів палива сприяють активному впровадженню електромобілів у багатьох країнах світу. Одночасно з розвитком електротранспорту відбувається формування інтелектуальних транспортних систем, які забезпечують цифровізацію процесів керування транспортом, підвищення безпеки дорожнього руху та ефективності використання транспортної інфраструктури.

Актуальність теми обумовлена необхідністю забезпечення ефективної інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи, що дозволить реалізувати переваги електричного транспорту в умовах цифрової трансформації транспортної галузі. Важливими складовими такого процесу є розвиток зарядної інфраструктури, впровадження технологій Smart Grid, систем двостороннього обміну енергією V2G та V2H, підключених транспортних засобів, а також технологій автономного водіння. Комплексне застосування зазначених рішень створює передумови для підвищення енергоефективності, безпеки та екологічності транспортних систем.

Метою роботи є аналіз та обґрунтування технічних рішень інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи для підвищення ефективності функціонування транспортної та енергетичної інфраструктури.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан розвитку електромобілів та технологій їх заряджання.
2. Обґрунтувати технічні рішення інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи.
3. Розрахувати технічні параметри інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи.
4. Розробити організаційно-технічні заходи з охорони праці під час експлуатації зарядної інфраструктури електромобілів.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ТА ЗАРЯДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

1.1 Основні типи електромобілів

Для покращення стану довкілля та зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферу в останні роки все більшого поширення набуває електричний транспорт. Електромобілі розглядаються як ефективна альтернатива традиційним автомобілям із двигунами внутрішнього згорання. Їх використання дозволяє знизити залежність від обмежених викопних ресурсів, насамперед нафти, нафтопродуктів та природного газу. Водночас електроенергія для живлення таких транспортних засобів може вироблятися з відновлюваних джерел енергії [1].

За останні роки ситуація на світовому ринку електромобілів демонструє стійку позитивну динаміку. Зростає попит на електричний транспорт, а виробники постійно вдосконалюють його технічні характеристики. Значна увага приділяється підвищенню рівня безпеки водія та пасажирів, збільшенню запасу ходу, а також впровадженню інноваційних технологічних рішень.

Сучасний електричний транспорт представлений кількома основними видами. Найбільш поширеними є електромобілі, які здійснюють рух виключно за рахунок енергії акумуляторних батарей. Водночас значну частку ринку займають гібридні транспортні засоби. Такі автомобілі поєднують електродвигун і двигун внутрішнього згорання, що дозволяє ефективно використовувати переваги обох типів силових установок. Меншого поширення наразі набули електромобілі на паливних елементах, а також транспортні засоби, що використовують сонячну енергію як додаткове або основне джерело живлення [2].

Розподіл електромобілів за технологією перетворення енергії за основними типами представлено на рисунку 1.1 [1].

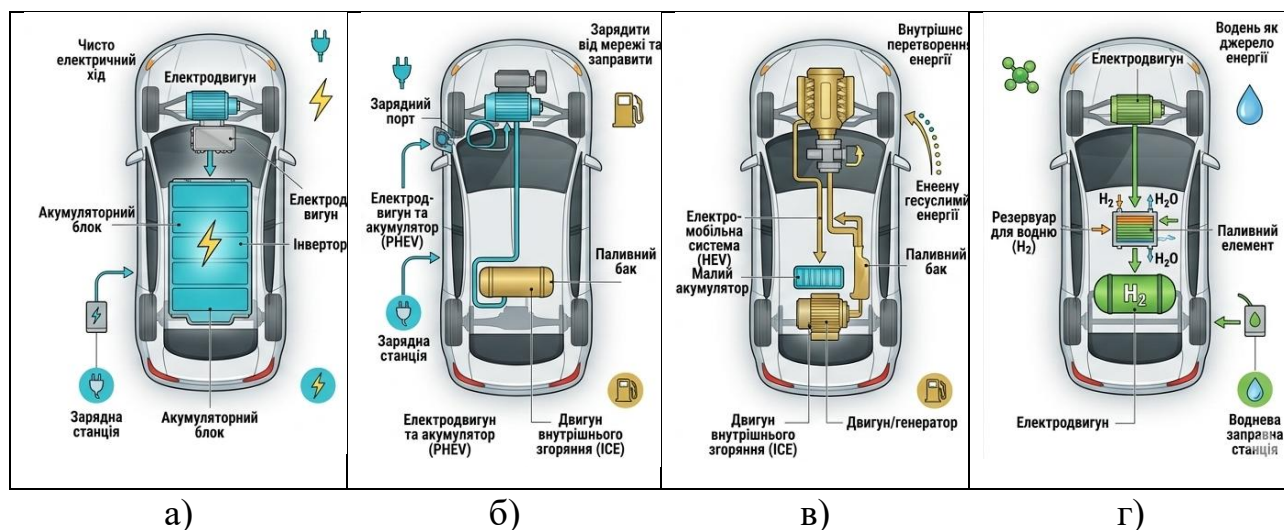


Рисунок 1.1 – Основні типи електромобілів за технологією перетворення енергії: а) електромобіль з живленням від акумулятора; б) плагін-гібридний автомобіль; в) гібридний електромобіль; г) електромобіль на паливних елементах

Електромобіль з живленням від акумулятора (рис 1.1 а), рух якого відбувається за рахунок електричної тяги, без використання додаткових двигунів з бензиновим паливом. За конструкцією в цих електромобілях передбачено розміщувати один або декілька електродвигунів, що будуть живитись енергією від акумулятора. Акумуляторну батарею зроблено з літєвих компонентів для збільшення її потужності та зменшенню ваги [2].

Плагін-гібридний тип автомобіля (рис 1.1 б). Має чіткий конструктивний поділ між електродвигуном та двигуном внутрішнього згорання. Для підзарядки батареї використовує електромережі та зберігає в собі запас ходу на 10-50 миль. Якщо цього бракує, завжди можна перейти на паливо тим самим збільшити відстань для подальшої поїздки [2].

Гібридний електромобіль (рис 1.1 в). Розташування в одному кузові одночасно традиційного двигуна та електродвигуна що отримує заряд тільки через акумуляторну батарею. Цикл заряджання для акумулятора відбувається лише від двигуна або за рахунок рекуперативного гальмування. В першу чергу

електродвигун виконує роль допоміжної ланки, зменшуючи показники холостого ходу та умови використання звичайного палива [2].

Електромобілі з використанням паливних елементів (рис 1.1 г). Джерелом живлення таких транспортних засобів є водень. Для роботи все одно використовується електроенергія, однак отримується вона за рахунок перетворення водню та його ресурсу [2].

1.2 Системи заряджання електромобілів

Для заряджання електромобілів, можуть використовуватись різні типи зарядних пристроїв, кожен з них відрізняється швидкістю, рівнем та технологією застосування (рис. 1.2). Для побудови інфраструктури майбутнього для заряджання електричного транспорту відмінності цих типів мають значення.



Рисунок 1.2 – Типи зарядних пристроїв електромобілів

Найменш технологічно розвинений тип зарядження – це заряджання від змінного струму, його ще називають повільним. Такий тип заряджання обмежений швидкістю до 22 кВт та займає найбільше часу на підзарядку. Варіанти які можна зустріти в житлових приміщеннях або у звичайних паркінгах мають швидкість до 7 кВт, для заряджання електромобіля треба залишати на ніч,

тому що це займає декілька годин. Поширенішим типом у громадських місцях вважається зарядки зі струмом від 7 кВт до 22 кВт.

Швидкий вид заряджання, виконується за допомогою постійного струму та має можливість надавати швидкість понад 22 кВт. Найдоступнішими варіантами таких зарядних станцій є види зі швидкістю від 50 кВт до 150 кВт, які розташовуються на ділянках автомагістралі. Але з ростом технологій у цій галузі вже практикують зарядні станції зі швидкістю в 350 кВт та більше. Для наступних поколінь таких пристроїв, заряджання електромобілів буде доступно за 15 хвилин і менше. З допомогою швидких зарядних пристроїв водії електромобілів значно скорочують свій час на заряджання, особливо якщо це потрібно для далеких подорожей. [3]

Оскільки на дорогах кількість електричного транспорту дедалі збільшується, то і технології заряджання не стоять на місці. Вже зараз встановлюється бездротовий тип зарядки для електромобілів. При використуванні такого заряджання не потрібно мати з собою велику кількість кабелів підключення, різних перехідників для роз'ємів та економлячи час замість підключення до звичайних зарядок. Процес заряджання полягає в тому що встановлюється індуктивна зарядна панель в покриття, на території паркінгу, достатньо припаркувати свій транспортний засіб під цією панеллю і він почне заряджатись без кабелів чи роз'ємів. [4]

Бездротова зарядка

У системах бездротової передачі енергії, що працюють у режимі магнітно-резонансного зв'язку, забезпечується високий рівень ефективності заряджання навіть за наявності значної відстані між передавальною та приймальною котушками [5, 6]. Такий підхід дозволяє передавати електроенергію без суттєвих втрат за умови належного узгодження параметрів резонансних контурів.

За оптимального налаштування обладнання та правильного взаємного розташування елементів системи можлива ефективна зарядка електромобілів, що знаходяться на стоянках, у гаражах або на відкритих парковках.

У таких системах передача енергії може здійснюватися на відстанях, що перевищують характерні для традиційної індуктивної зарядки, із використанням зарядних пристроїв потужністю 3-7 кВт та робочих частот у мегагерцовому діапазоні [7, 8]. Типову схему стаціонарної бездротової зарядної системи наведено на рисунку 1.3.

Бездротові системи заряджання електромобілів характеризуються високим рівнем зручності для користувачів та мають низку переваг порівняно з традиційними провідними способами передавання енергії. До таких переваг належать універсальність застосування, підвищена надійність і тривалий термін експлуатації обладнання. Відсутність механічного контакту між зарядним пристроєм і транспортним засобом дозволяє уникнути зношування зарядних роз'ємів, а також їх пошкодження внаслідок впливу вологи, забруднень і корозійних процесів.

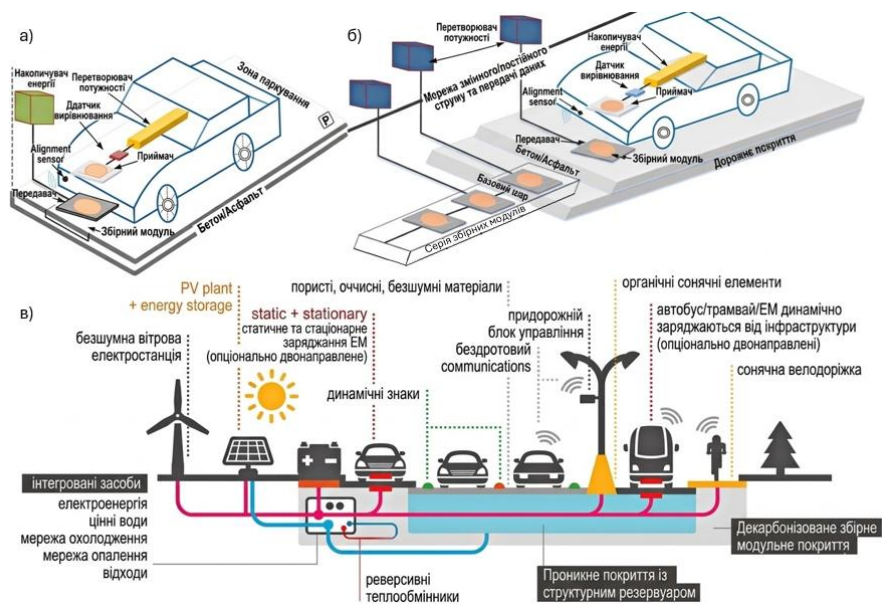


Рисунок 1.3 – Схема стаціонарної бездротової зарядної системи:

а) стаціонарна бездротова зарядка; б) динамічна бездротова зарядка;

в) систем бездротової зарядки для розумного міста

Активному розвитку технологій бездротового заряджання сприяє державна підтримка у вигляді програм стимулювання та субсидування будівництва зарядної інфраструктури. Це дозволяє зменшити фінансові бар'єри

для впровадження нових енергетичних технологій та прискорює розвиток ринку електромобілів. Одночасно вдосконалення електроприводів, акумуляторних систем і зарядного обладнання сприяє подальшому зростанню попиту на електричний транспорт. За прогнозами, світовий ринок бездротового заряджання електромобілів у період з 2020 по 2025 рік мав демонструвати середньорічний темп зростання на рівні 49,38 % [8].

Додатковим фактором розвитку цієї галузі є поширення швидкісних зарядних станцій для електромобілів. Очікується, що завдяки цьому обсяг світового ринку бездротового заряджання перевищить 7 млрд доларів США. Перспективним напрямом вважається технологія динамічного бездротового заряджання, яка передбачає передавання енергії транспортному засобу під час його зупинки на світлофорі або навіть під час руху. Для реалізації такого підходу під дорожнім покриттям розміщуються спеціальні електромагнітні котушки, як показано на рисунку 1.3 б. Концепцію майбутнього інтелектуального міста, оснащеного розвиненою мережею бездротового заряджання електромобілів, наведено на рисунку 1.3 в.

Для демонстрації сучасного рівня розвитку технологій бездротового заряджання доцільно розглянути найбільш відомі комерційні рішення, які вже представлені на ринку електромобілів (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Сучасні технології бездротового заряджання електромобілів:

- а) Plugless Power; б) WiTricity; в) Qualcomm Halo; г) Система бездротової зарядки, розроблена APAS та НКРС.

Plugless Power

Система Plugless Power, розроблена компанією Evatran, належить до серії зарядного обладнання для забезпечення процесу заряджання електромобілів. Та включає настінний блок керування, підлогову платформу з передавальною котушкою і приймальний модуль, який монтується на шасі транспортного засобу [9]. Під час паркування автомобіля над зарядною платформою система автоматично визначає взаємне розташування котушок і забезпечує безконтактну передачу енергії. Максимальна потужність заряджання досягає 7,2 кВт, що дозволяє здійснювати тривале поповнення заряду акумуляторної батареї без використання кабельних з'єднань (рис. 1.4 а).

WiTricity

Компанія WiTricity запропонувала технологію бездротового заряджання, що базується на принципі магнітного резонансу змінного поля [10]. Розроблена система (рис. 1.4 б) підтримує широкий діапазон вихідної потужності – від 3,6 до 11 кВт. Завдяки цьому вона може використовуватися як для підзаряджання гібридних автомобілів із відносно невеликими акумуляторними батареями, так і для повністю електричних транспортних засобів із більшими запасами енергії [11].

Qualcomm Halo

Одним із відомих рішень у сфері бездротового заряджання є система Qualcomm Halo, створена на основі магнітно-резонансної технології [12, 13]. Конструкція системи передбачає використання зарядної платформи, встановленої на поверхні дорожнього покриття або паркувального місця (рис. 1.4 в). Залежно від конфігурації обладнання підтримується передача потужності 3,7; 7,4; 11 та 22 кВт при загальній ефективності понад 90 % [14]. Крім основної функції заряджання, система оснащена засобами виявлення сторонніх предметів та автоматичного контролю позиціонування транспортного засобу.

APAS та НКРС

У 2017 році Центр досліджень і розробок автомобільних платформ та прикладних систем (APAS) спільно з Гонконгською радою з продуктивності (НКРС) створили бездротову зарядну систему відповідно до вимог стандарту SAE. Розробка базується на технології магнітно-резонансного зв'язку та забезпечує вихідну потужність 7 кВт. За таких умов заряджання акумуляторної батареї невеликого електромобіля може бути виконане приблизно за три години. Конструктивне виконання системи наведено на рисунку 1.4 г.

Проблеми та можливості майбутнього розвитку бездротової зарядки електромобілів узагальнено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Проблеми та можливості застосування бездротової зарядки в електромобілях

Проблеми	Можливості
Допуск перекошу зарядного пристрою	Застосування та розробка нових матеріалів
Час високошвидкісної передачі потужності	Збільшений запас ходу та час роботи акумулятора в електромобілях
Кілька транспортних засобів заряджаються на кожному передавачі	Розвиток автономного водіння
Термін служби та довговічність зарядного пристрою в реальних умовах	Зберігання відновлюваної енергії
Вплив сітки	Регулювання частоти на місці підключення до мережі
Висока вартість будівництва інфраструктури та її масштабне розгортання	Зниження вартості електромобілів
Взаємодія між кількома виробниками	Зниження витрат та екологічні переваги
Швидка зарядка	
Універсальні стандарти	

1.3 Висновки до розділу

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану розвитку електромобільного транспорту та технологій його заряджання. Встановлено, що електромобілі є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку транспортної галузі завдяки зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище, скороченню споживання викопних палив та підвищенню енергоефективності транспортних систем.

Розглянуто основні типи електромобілів, зокрема транспортні засоби з живленням від акумуляторних батарей, плагін-гібридні автомобілі, гібридні електромобілі та електромобілі на паливних елементах. Визначено їх конструктивні особливості, принципи роботи та сфери застосування.

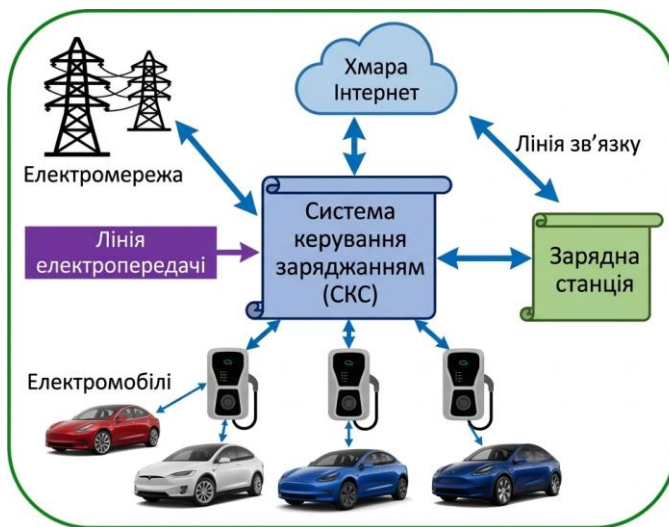
Проаналізовано сучасні технології заряджання електромобілів із акцентом на бездротову передачу енергії. Встановлено, що використання магнітно-резонансного зв'язку дозволяє забезпечити ефективне заряджання транспортних засобів без фізичного контакту між зарядним пристроєм та автомобілем. Показано переваги бездротових систем, серед яких зручність експлуатації, підвищена надійність, зменшення механічного зношування обладнання та можливість автоматизації процесу заряджання.

Розглянуто сучасні комерційні рішення у сфері бездротового заряджання, зокрема системи Plugless Power, WiTricity, Qualcomm Halo, а також розробки APAS та НКРС. Аналіз показав, що бездротові технології заряджання перебувають на стадії активного впровадження та мають значний потенціал для подальшого розвитку. Водночас основними стримувальними факторами залишаються висока вартість інфраструктури, необхідність стандартизації обладнання та забезпечення сумісності між рішеннями різних виробників.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ІНТЕГРАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ

2.1 Технології інтелектуального розподілу електроенергії

Ефективне керування розподілом електричної потужності дозволяє збільшити кількість електромобілів, що одночасно заряджаються, без необхідності суттєвого розширення існуючої електричної інфраструктури. Замість нарощування встановленої потужності система інтелектуального розподілу здатна в режимі реального часу оптимізувати використання наявних енергетичних ресурсів, перерозподіляючи їх між зарядними пристроями залежно від поточних потреб користувачів [15]. Приклад реалізації такого підходу наведено на рисунку 2.1 а.



а)



б)

Рисунок 2.1 – Інтелектуальні системи керування процесом зарядження електромобілів: а) принципова схема інтелектуального розподілу електроенергії; б) «Charging Pro», розроблений APAS та НКРС

Важливою складовою розвитку зарядної інфраструктури є забезпечення зручного доступу до зарядних станцій як для приватних користувачів, так і для комерційних автопарків. Для цього водії повинні мати можливість оперативно отримувати інформацію про розташування зарядних пунктів, їх доступність у поточний момент часу, а також про тарифи на заряджання в години пікового та позапікового навантаження. Використання централізованих систем моніторингу та керування зарядною інфраструктурою дає змогу реалізувати сучасні механізми управління процесом заряджання, зокрема інтелектуальний розподіл енергії та програми керування попитом на електроенергію [16].

Інтеграція відновлюваних джерел енергії та систем накопичення електроенергії в електричні мережі є одним із ключових напрямів розвитку інтелектуальних систем енергорозподілу. Такий підхід створює додаткові можливості для впровадження швидкісних зарядних станцій електромобілів та підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів. Вироблена з відновлюваних джерел електроенергія, а також енергія, накопичена в акумуляторних системах, може передаватися до мережі у періоди підвищеного попиту, забезпечуючи підтримку її енергетичного балансу. Крім того, накопичувачі енергії виконують функцію буферних пристроїв, що дозволяє використовувати запасену електроенергію в аварійних ситуаціях, під час перевантаження мережі або тимчасового припинення електропостачання.

Переваги та можливості

Оскільки заряджання більшості електромобілів відбувається переважно у вечірній та нічний час, виникає значна концентрація попиту на електроенергію. Це призводить до нерівномірного використання потужностей мережі, коли в окремі години навантаження різко зростає, а в інший час наявні ресурси використовуються не повною мірою.

Такі умови можуть спричинити погіршення якості електроенергії, нестабільність напруги та необхідність значних інвестицій у модернізацію

мережевої інфраструктури. Наприклад, у Великій Британії для забезпечення потреб централізованого заряджання електромобілів планується значна модернізація низьковольтних мереж. Водночас впровадження інтелектуальних систем розподілу електроенергії дозволяє ефективніше використовувати наявні мережеві ресурси та зменшити потребу в їх розширенні.

Крім покращення роботи електричних мереж, розвиток технологій інтелектуального розподілу енергії сприяє впровадженню концепції розумного міста, а також стимулює розвиток енергоефективних будівель і систем на основі відновлюваних джерел енергії [17].

Технологічний розвиток

Серед комерційних рішень у сфері інтелектуального розподілу потужності для зарядної інфраструктури електромобілів можна виділити декілька сучасних систем.

EVBox

Зарядні станції EVBox, розроблені одним із провідних виробників обладнання та програмного забезпечення для керування процесами заряджання, підтримують функції балансування навантаження, конфігурації «концентратор–супутник» та обмеження пікових навантажень [17]. Завдяки цим можливостям забезпечується ефективне використання наявної електричної інфраструктури та гнучке керування зарядними вузлами.

Функція балансування навантаження автоматично розподіляє доступну потужність між активними зарядними станціями, запобігаючи перевантаженню мережі. Архітектура «концентратор–супутник» дозволяє об'єднати до 20 зарядних вузлів під керуванням єдиного контролера. Для зменшення впливу пікових навантажень система може автоматично знижувати потужність заряджання або тимчасово призупиняти роботу окремих зарядних пристроїв.

APAS та НКРС

Розроблена APAS та НКРС напівшвидка зарядна станція Charging Pro (рис. 2.1 б) оснащена системою інтелектуального керування навантаженням, яка регулює потужність зарядних вузлів залежно від поточного стану мережі та запобігає її перевантаженню.

Крім того, система забезпечує моніторинг і аналіз параметрів роботи зарядних станцій у режимі реального часу. Це дозволяє підвищити ефективність експлуатації обладнання, своєчасно виявляти відхилення в роботі та зменшувати витрати на технічне обслуговування.

Перспективи

Низьковольтні системи розподілу електроенергії є завершальною ланкою енергопостачання, що забезпечує передачу електроенергії від вузлів підключення до кінцевих споживачів після її раціонального розподілу [18]. Вони визначають надійність та якість електропостачання на рівні споживання і фактично формують «останню мильо» енергетичної системи.

З розвитком інтелектуальних мереж (Smart Grid) зростає складність функцій керування та комунікації в системах розподілу, що потребує впровадження додаткових елементів інфраструктури, зокрема джерел живлення, розподільчих щитів і систем дистанційного моніторингу. Водночас висока вартість модернізації та встановлення зарядної інфраструктури для електромобілів обмежує її впровадження у більшості об'єктів нерухомості.

У результаті значна частина будівель залишається без інтегрованих зарядних станцій, що визначає необхідність подальшого розвитку цього напрямку як одного з ключових у розширенні сервісів для електромобільності в майбутньому.

2.2 Технології V2H та V2G

Технологія V2H (Vehicle-to-Home) передбачає використання енергії, накопиченої в акумуляторі електромобіля, для живлення побутових споживачів, тоді як V2G (Vehicle-to-Grid) забезпечує двосторонній обмін енергією між електромобілем і електромережею (рис. 2.2), тобто можливість як відбору електроенергії для заряджання, так і її повернення в мережу.

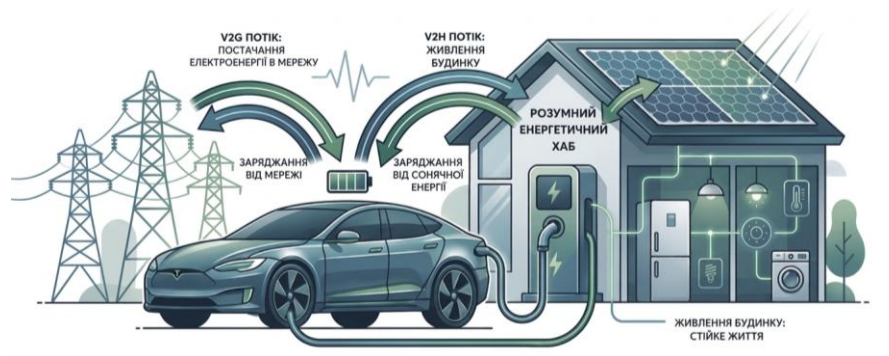


Рисунок 2.2 – Принципи роботи інтелектуальних розумних мереж V2H та V2G

Функціонування V2H і V2G базується на поєднанні програмних засобів керування батареєю, двонаправлених силових перетворювачів та комунікаційних модулів, що забезпечують взаємодію між транспортним засобом і оператором енергосистеми [19]. Інтелектуальні системи керування в режимі реального часу аналізують стан мережі та визначають оптимальні режими: заряджання, розряджання або утримання енергії з урахуванням доступності транспортного засобу.

Переваги

Як наведено на рисунку 2.2, застосування V2H дозволяє заряджати електромобіль у періоди надлишкової генерації (наприклад, від сонячних станцій) або в нічні години з нижчими тарифами, а згодом використовувати накопичену енергію для забезпечення потреб домогосподарства у пікові періоди

або при відключенні мережі. Це також підвищує енергетичну автономність і забезпечує резервне живлення.

У випадку V2G електромобілі можуть заряджатися в години мінімального навантаження та повертати енергію в мережу під час пікових навантажень. Такий підхід сприяє вирівнюванню графіків навантаження, зменшенню пікових перевантажень і підвищенню стабільності енергосистеми. Крім того, електромобілі фактично виконують роль мобільних накопичувачів енергії, що особливо важливо для інтеграції відновлюваних джерел та балансування енергосистеми у часовому вимірі.

Технологічний розвиток

Лідерами у впровадженні та розвитку технологій V2G і V2H є Данія, Нідерланди, США, Японія та Гонконг. Досвід цих країн і регіонів демонструє практичні підходи до інтеграції електромобілів у енергетичні системи та може слугувати орієнтиром для подальшого розвитку аналогічних рішень в інших країнах.

Данія

Данія є одним із світових лідерів у сфері вітроенергетики, де ще до 2015 року близько 42% електроенергії вироблялося за рахунок вітрових станцій. У період 2009-2013 років на острові Борнхольм було реалізовано проєкт EDISON за часткової підтримки держави, метою якого було формування концепції енергосистеми з високою часткою ВДЕ, що планувалася до масштабування до 2025 року. У межах цього підходу V2G розглядався як інструмент балансування мережі та запобігання її перевантаженням за умов значної частки вітрової генерації.

Проєкт EDISON продемонстрував комплексні рішення від провідних національних та міжнародних компаній щодо інтеграції електромобілів у енергосистему, включаючи мережеві архітектури, ринкові механізми та оптимізацію взаємодії енергетичних технологій [20]. Водночас енергосистема

Данії стала зручною платформою для експериментального тестування таких рішень.

Нідерланди

У 2013 році амстердамська консалтингова компанія Resourcefully реалізувала проєкт «Amsterdam Vehicle 2 Grid» (рис. 2.3 а), спрямований на інтеграцію електромобілів, сонячної генерації та побутових споживачів через інтелектуальну мережу та систему управління енергоспоживанням [21].

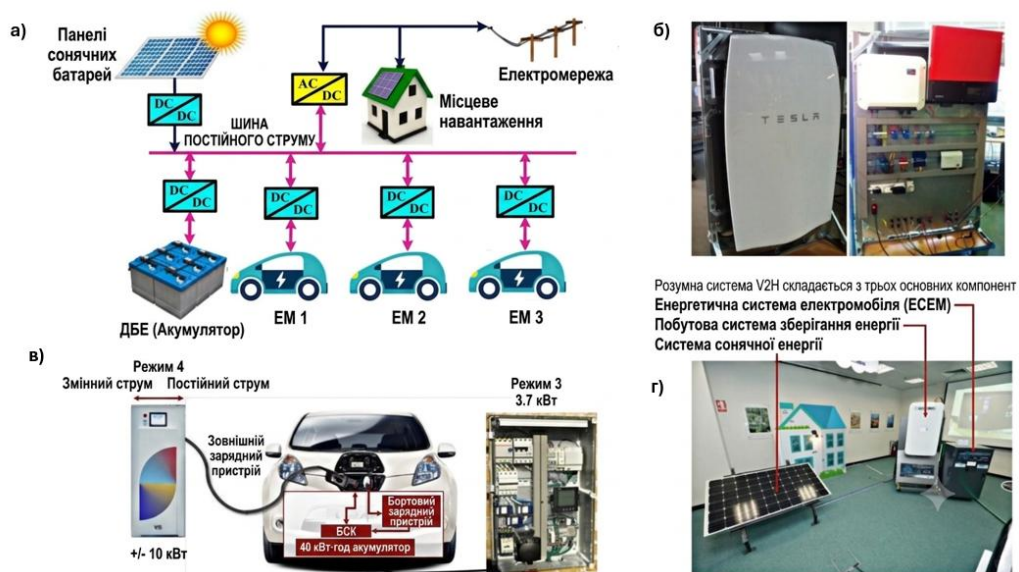


Рисунок 2.3 – Типові системи V2G та V2H у різних країнах: а) система «Amsterdam Vehicle 2 Grid»; б) Powerwall 2 від Tesla; в) автомобіль, готовий до V2G, випущений Nissan; г) інтелектуальна система V2H, розроблена APAS та НКРС

Результати впровадження V2G у межах проєкту показали:

- зростання енергетичної автономності учасників до рівня 65% (з 34%);
- зменшення частоти обміну енергією між мережею та споживачами приблизно на 45%;
- підвищення ефективності використання акумульованої енергії до 93%;
- втрати при циклі «заряд–розряд» на рівні близько 20%;
- незначне зниження ємності акумуляторів (приблизно 6-7% за два роки експлуатації).

США

У США компанія SolarCity у 2016 році представила рішення у сфері сонячної енергетики та накопичення енергії, зокрема систему Powerwall 2 [22]. Сонячні установки забезпечують генерацію електроенергії, тоді як Powerwall 2 (рис. 2.3 б) виконує функцію накопичення енергії як із відновлюваних джерел, так і з мережі.

Система дозволяє використовувати накопичену енергію в нічний час або під час аварійного відключення електропостачання, а також у певних сценаріях – передавати електроенергію назад у мережу за вигідними тарифами. Ємність накопичення становить близько 14 кВт·год при вартості системи близько 6200 доларів США.

Японія

Японія є одним із провідних світових центрів розвитку електромобільності та технологій V2H. Для стандартизації рішень була розроблена специфікація EVPOSSA, яка регламентує параметри систем V2H. Компанія Nissan та інші виробники активно впроваджують відповідні технології у комерційні продукти.

У 2016 році Nissan спільно з Enel реалізувала пілотний проєкт V2G у Великій Британії, у межах якого було встановлено 100 систем для електромобілів Nissan LEAF та e-NV200. Це дозволило власникам отримувати додатковий дохід за рахунок продажу енергії з акумуляторів у мереж. У 2017 році також була представлена модель Nissan Leaf із підтримкою V2G (рис. 2.3 в).

Гонконг

У Гонконзі компанія APAS, використовуючи стандарт EVPOSSA, розробила багатофункціональну систему Smart V2H System (рис. 2.3 г). Вона забезпечує інтеграцію електромобілів, побутових акумуляторів, сонячних систем і мережі електропостачання в єдину керовану структуру.

Система керування EVPS дозволяє координувати потоки енергії між різними джерелами відповідно до потреб споживачів. DC-DC перетворювач забезпечує обмін енергією між акумуляторами, а інвертор DC/AC живить

побутові прилади. Сонячна підсистема з MPPT-контролером забезпечує максимальне відбирання енергії та її накопичення в батареях.

Таким чином, система реалізує функції V2L і V2H на основі стандарту EVPOSSA та створює основу для подальшого розвитку V2G-рішень з урахуванням майбутніх ринкових вимог.

Перспективи

Подальший розвиток технологій V2G та V2H розглядається як із технічної, так і з комерційної точок зору. Загалом ключові напрями еволюції цих технологій охоплюють інтеграцію з інтелектуальними електричними мережами та повторне використання акумуляторів електромобілів після завершення їхнього основного ресурсу.

Інтеграція з інтелектуальними електричними мережами

Розвиток Smart Grid дозволяє приймати обґрунтовані рішення на основі моніторингу в реальному часі, що підвищує узгодженість між операторами мережі, генерацією та кінцевими споживачами. Це сприяє зменшенню експлуатаційних витрат, зниженню екологічного навантаження та підвищенню загальної ефективності й гнучкості енергосистеми.

Важливим елементом таких систем є накопичення надлишкової енергії та керування попитом у різних часових масштабах. У зв'язку з цим зростає потреба в ефективних накопичувачах енергії, зокрема локальних або мережових системах зберігання. З огляду на активний розвиток електромобільності, акумулятори електромобілів розглядаються як перспективне джерело гнучких потужностей для підтримки інтелектуальних мереж.

Інтеграція зі списаними акумуляторами для електромобілів

Ємність акумуляторів електромобілів поступово знижується в процесі експлуатації через циклічне старіння. Зазвичай при зменшенні залишкової ємності до рівня близько 70-80% від номінальної батареї втрачає здатність забезпечувати необхідний запас ходу, що робить її непридатною для подальшого використання в транспорті [23].

Водночас такі акумулятори можуть ефективно застосовуватися у стаціонарних системах накопичення енергії, зокрема в інтелектуальних мережах, що дозволяє продовжити їхній життєвий цикл і підвищити ресурсну ефективність. Прикладом є проєкт Nissan у співпраці з Enel та Eaton у Франції, де використовується система з 100 двонаправлених зарядних станцій CHAdEMO для V2G та накопичувач енергії на основі понад 60 батарей «другого життя», інтегрованих із сонячною генерацією.

Загальна ємність накопичення становить близько 1 МВт·год у стаціонарній системі, а додатково 1-2 МВт·год забезпечується електромобілями на прилеглих майданчиках, що дозволяє формувати достатній резерв потужності для енергетичних потреб. Даний проєкт демонструє ефективність комбінованого використання акумуляторів «другого життя» та технологій V2G для підвищення гнучкості енергосистеми.

2.3 Підключені транспортні засоби

Технології резюме

Підключені транспортні засоби (CV), які також визначаються як елемент «Інтернету транспортних засобів» (IoV), функціонують як складна розподілена система взаємодії в межах V2X-комунікацій, де об'єктом обміну можуть бути інші транспортні засоби, користувачі або мережеві сервіси. Вони є прикладом розширеного застосування IoT у сфері інтелектуальних транспортних систем (ITS) та забезпечують реалізацію інтелектуального керування транспортом, інформаційних сервісів у реальному часі та підтримки прийняття рішень під час керування автомобілем.

Обмін даними між учасниками системи здійснюється відповідно до стандартизованих протоколів, зокрема IEEE 802.11p WAVE, а також через стільникові технології зв'язку. Сучасні CV інтегрують різні канали підключення, включаючи Wi-Fi та мобільні мережі (GSM, HSDPA, LTE і перспективні 5G-рішення), а також технології короткодіапазонного зв'язку для локальної взаємодії.

Після підключення до мережі транспортні засоби отримують доступ до хмарних сервісів, зокрема навігації в реальному часі, екстрених повідомлень та мультимедійних сервісів, як показано на рисунку 2.4. Центральним елементом такої архітектури є термінал глобальної ідентифікації транспортного засобу (GID), який виконує функцію комунікаційного шлюзу та забезпечує унікальну ідентифікацію в мережі.



Рисунок 2.4 – Принципова схема коефіцієнтів розвитку (CV) у розумному місті

Завдяки інтеграції сенсорів, комунікаційних модулів та систем глобальної ідентифікації («онлайн-номер» транспортного засобу), CV забезпечують постійне підключення до мережі, а також можливості глобального позиціонування та відстеження [24].

Переваги

Технологія IoV застосовується для широкого спектра транспортних засобів і силових установок, однак найбільший ефект вона забезпечує саме в електромобілях. Основні сфери використання включають інтелектуальне керування зарядкою, управління паркуванням, диспетчеризацію автопарків,

прогнозне обслуговування, аналіз поведінки водія, страхові сервіси, управління дорожнім рухом та інформаційно-розважальні системи.

Переваги електромобілів

Технології підключених транспортних засобів не є специфічними лише для електромобілів і можуть застосовуватися для будь-яких типів силових установок. Вони забезпечують доступ до інформації про технічний стан у реальному часі, оновлення програмного забезпечення, моніторинг працездатності, а також підтримку процесів післяаварійного аналізу та страхування, що дозволяє зменшити витрати на сервіс і відкликання.

Водночас у випадку електромобілів IoV має суттєво вищу цінність. Зокрема, системи дозволяють здійснювати безперервний моніторинг параметрів роботи через бездротові мережі, що є критично важливим для безпеки, особливо акумуляторних систем. Використання аналітики великих даних сприяє оптимізації енергоефективності та експлуатаційних витрат.

Додатково технології IoV спрощують доступ до зарядної інфраструктури та забезпечують інтелектуальне управління процесом заряджання, що підвищує зручність для користувачів. Також, на відміну від автомобілів із ДВЗ, електромобілі значною мірою залежать від програмного забезпечення, тому IoV забезпечує важливу базу даних для аналізу аварійних ситуацій і страхових випадків.

Управління зарядкою та бронювання паркувальних місць

Інтелектуальні системи паркування, що базуються на IoT, поступово впроваджуються для підвищення ефективності міської інфраструктури. Бортові системи CV можуть надавати водіям інформацію про доступні паркувальні місця та зарядні станції в режимі реального часу.

Алгоритми багатокритеріального вибору аналізують потреби користувача (наприклад, необхідність заряджання або тривалість стоянки) і визначають оптимальне місце паркування [25]. Функції онлайн-бронювання та навігації дозволяють зменшити час пошуку місця та знизити рівень заторів.

На рівні сервера система автоматично обробляє запити бронювання, а також контролює стан паркувальних зон і виявляє порушення, що дозволяє здійснювати прогнозне управління інфраструктурою.

Управління автопарком комерційних електромобілів

Системи управління автопарком охоплюють фінансовий облік, технічне обслуговування, телематичний моніторинг, контроль швидкості, безпеки та витрат енергії. Дані про місцезнаходження, стан та параметри роботи транспортних засобів передаються до хмарної платформи для оперативного аналізу та диспетчеризації з метою підвищення ефективності логістики.

У базах даних фіксуються як технічний стан автомобілів, так і параметри поведінки водіїв, включаючи стиль керування. Використання аналітики великих даних дозволяє оптимізувати управлінські рішення та знизити експлуатаційні витрати [26]. У разі аварій такі дані допомагають швидко встановити обставини події та визначити відповідальність для страхових розрахунків.

Прогнозоване технічне обслуговування

Для приватних користувачів системи IoV забезпечують перехід до моделі прогнозного обслуговування. Сервісні центри на основі аналізу часу роботи та діагностичних даних можуть завчасно повідомляти власників про необхідність технічного обслуговування.

Після підтвердження запиту дані про стан компонентів передаються до сервісної системи для формування індивідуального плану обслуговування, включаючи підбір запчастин і оптимізацію ремонту.

Аналіз поведінки водія

Системи аналітики великих даних дозволяють оцінювати як технічний стан транспортного засобу, так і стиль керування водія на основі телематичних даних. На основі цих оцінок система може формувати рекомендації щодо підвищення безпеки та попереджати про небезпечні дії за кермом.

Керування дорожнім рухом

Бортові системи CV забезпечують водіїв актуальною інформацією про дорожню ситуацію та дозволяють формувати оптимальні маршрути руху в

реальному часі. Одночасно дані про швидкість і місцезнаходження транспортних засобів передаються до хмарної платформи, що формує точну картину трафіку.

Це дозволяє підвищити ефективність організації руху та зменшити кількість аварій, особливо на швидкісних магістралях.

Технологічний розвиток

Нижче наведено приклади ключових рішень IoV у різних країнах та регіонах, що демонструють практичну реалізацію підключених транспортних систем.

Електронний виклик

Система eCall є європейською ініціативою автоматичного екстреного оповіщення, яка забезпечує зв'язок між транспортним засобом і службами порятунку у разі ДТП або аварії. Система може активуватися як вручну, так і автоматично через датчики зіткнення. Після спрацювання встановлюється зв'язок із найближчим оператором служби екстреної допомоги, а також передається пакет критично важливої інформації, зокрема час інциденту, координати, дані транспортного засобу та тип спрацювання системи.

З 2015 року в ЄС реалізується ініціатива I_HeERO, спрямована на створення інфраструктури центрів прийому екстрених викликів (PSAP) та забезпечення сумісності систем eCall між країнами. Проєкт охоплює понад 10 держав та понад 100 партнерських організацій і включає розвиток інфраструктури, інтеграцію високоризикових транспортних засобів (зокрема перевезення небезпечних вантажів і пасажирських автобусів), а також вдосконалення обробки даних у системі E112.

ЄС зобов'язав країни-учасниці забезпечити готовність PSAP-інфраструктури до жовтня 2017 року, а з березня 2018 року всі нові автомобілі та легкі комерційні транспортні засоби повинні бути оснащені системою eCall [27]. За оцінками дослідників, це рішення дозволяє скоротити час реагування екстрених служб приблизно на 40% у містах і до 50% у сільських районах.

OnStar

OnStar – телематична платформа компанії General Motors, що базується на технології CDMA та забезпечує широкий спектр цифрових сервісів у транспортних засобах. Система охоплює екстрену підтримку (реагування на аварії, допомога на дорозі), функції безпеки (віддалене блокування, захист від викрадення), навігаційні сервіси, комунікаційні можливості (4G LTE, Wi-Fi, Bluetooth), а також дистанційний моніторинг і керування автомобілем.

У разі активації – вручну або автоматично через датчики безпеки – система збирає діагностичні дані та GPS-інформацію і передає їх через мережу CDMA до сервісного центру. Платформа була вперше впроваджена у 1997 році на автомобілях Cadillac і з 2002 року поширена на інші моделі, а згодом – на ринки США, Канади, Європи та Китаю.

Материковий Китай

У 2016 році компанія BAIC EV представила систему «I-link» – перше в Китаї IoV-рішення, що використовує 4G-зв'язок для взаємодії між автомобілем і хмарною платформою. Система поєднує голосове керування, мультимедійні сервіси та інтегровану інформаційну панель, забезпечуючи віддалений доступ до сервісів і сповіщень.

Запровадження I-link стало важливим етапом розвитку телематичних технологій у Китаї, розширивши можливості взаємодії транспортних засобів із цифровими сервісами та покращивши користувацький досвід. Паралельно інші виробники активно розвивають співпрацю з ІТ-компаніями для подальшої інтеграції транспортних і цифрових екосистем.

Гонконг

У звіті Smart City Blueprint Study (2017) уряд Гонконгу визначив комплекс заходів для розвитку інтелектуальної мобільності на основі IoV [28]. Серед ключових напрямів – впровадження бортових інформаційних пристроїв (IVU) для доступу до даних про рух і безготівкової оплати, розгортання мережі дорожніх сенсорів, а також тестування електронних систем оплати проїзду.

Також передбачено впровадження адаптивних світлофорів із детекцією транспортних засобів і пішоходів, експерименти з безпілотними транспортними засобами, розвиток систем контролю паркування та управління дорожнім рухом, а також розширення використання цифрових сервісів для громадського транспорту.

Окрему увагу приділено обміну даними між транспортними операторами та державними структурами, розвитку систем моніторингу завантаження доріг і паркувальних зон, а також впровадженню інтелектуальних паркоматів і мобільних сервісів для оплати та навігації в реальному часі.

Перспективи

Подальший розвиток підключених транспортних засобів (CV) пов'язаний насамперед із удосконаленням комунікаційних технологій, підвищенням рівня кібербезпеки та розширенням можливостей аналізу великих даних. Ці напрями

2.4 Автономне водіння

Технології автономних транспортних засобів

Автономне водіння передбачає виконання транспортним засобом функцій керування без або з мінімальною участю водія. Рівень автоматизації визначається ступенем залучення людини до процесу керування, а реалізація таких систем базується на комплексному використанні сенсорів, засобів зв'язку, обчислювальних алгоритмів та штучного інтелекту. Однією з ключових складових автономного водіння є система сприйняття навколишнього середовища.

Стандарти SAE

Найбільш поширеною класифікацією автономного водіння є стандарт SAE J3016, який визначає шість рівнів автоматизації: від рівня 0 (відсутність автоматизації) до рівня 5 (повна автоматизація транспортного засобу) [29].

Проміжні рівні передбачають різний ступінь підтримки водія та передачі функцій керування автоматизованим системам.

Сенсорні технології

Ефективність автономного водіння значною мірою залежить від здатності транспортного засобу сприймати та аналізувати навколишнє середовище. Для цього використовується комплекс датчиків, розташування та зони покриття яких наведені на рисунку 2.5.

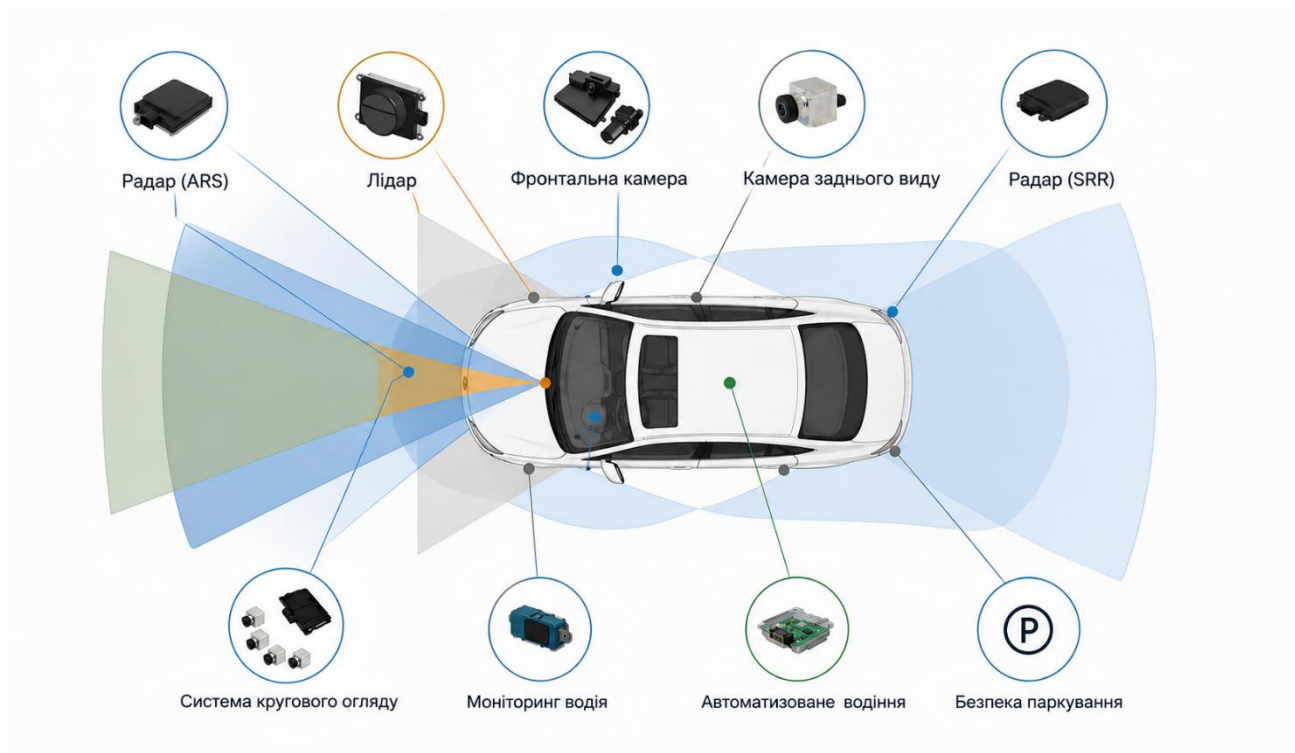


Рисунок 2.5 – Розташування та зони дії основних сенсорів і систем сприйняття довкілля в автономному транспортному засобі

Основні сенсорні технології включають:

Ультразвукові датчики (0–2 м). Використовуються переважно для автоматизованого паркування та виявлення близьких перешкод, таких як інші транспортні засоби, пішоходи або огороження [30]. Їх застосування обмежується малими швидкостями руху.

Комп’ютерний зір (0–120 м). Камери забезпечують розпізнавання дорожніх знаків, світлофорів, розмітки та інших об’єктів навколишнього середовища. Стереокामери додатково дозволяють оцінювати глибину сцени.

Ефективність системи може знижуватися за несприятливих погодних умов або недостатнього освітлення.

Радарні датчики (0–250 м). Радари визначають відстань та відносну швидкість об'єктів за допомогою відбитих радіохвиль, забезпечуючи надійний моніторинг транспортних засобів і пішоходів у різних погодних умовах. Для отримання просторової інформації дедалі ширше застосовуються тривимірні радарні системи.

LIDAR (0–200 м). Лазерні сканери формують високоточну тривимірну модель навколишнього середовища та дозволяють ефективно ідентифікувати дорожні об'єкти. Основними обмеженнями залишаються висока вартість і складність обладнання, хоча розвиток твердотільних систем поступово знижує ці недоліки [31].

GPS та хмарні технології. Супутникова навігація забезпечує визначення координат транспортного засобу, тоді як хмарні сервіси дозволяють обмінюватися інформацією про дорожню ситуацію, затори та перешкоди в реальному часі. Ефективність такого підходу залежить від кількості підключених транспортних засобів та доступності мережевої інфраструктури.

Технологія керування

Інтелектуальні системи керування автономних транспортних засобів аналізують інформацію від численних датчиків, визначають безпечний маршрут руху та формують команди для керування автомобілем. Для цього використовується локальна карта навколишнього середовища, яка постійно оновлюється в режимі реального часу. Алгоритми планування маршруту враховують дорожні знаки, перешкоди, поведінку інших учасників руху та вимоги правил дорожнього руху. У випадках, коли система не може однозначно визначити подальші дії, частково автономні транспортні засоби передають керування водію. Важливою характеристикою сучасних автономних автомобілів є можливість обміну інформацією з іншими транспортними засобами та елементами дорожньої інфраструктури.

Телематичні технології

Телематика об'єднує засоби телекомунікацій та інформаційні технології для збору, передачі й обробки даних про транспортні засоби та навколишнє середовище. Вона забезпечує дистанційний моніторинг, навігацію та підтримку різноманітних сервісів на основі даних GPS і телекомунікаційних мереж. Телематичні системи також використовуються для аналізу стилю водіння та оцінювання рівня безпеки дорожнього руху. У системах автономного керування застосовуються мобільні мережі LTE та 5G, а також глобальні навігаційні супутникові системи GPS, Galileo і BDS [32]. Поєднання високоточного позиціонування та інформації з хмарних сервісів дозволяє оптимізувати маршрут і підвищити ефективність руху транспортного засобу.

Переваги

Попри те, що автономне водіння може використовуватися незалежно від типу силової установки, поєднання цієї технології з електромобілями має значні перспективи. Основні чинники, що сприяють такій інтеграції, наведено нижче.

Поєднання двох інноваційних технологій

Новітні автомобільні технології спочатку впроваджуються у преміальному сегменті, де споживачі зацікавлені в отриманні максимальної кількості інновацій. Саме тому електропривод і автономне водіння часто розглядаються як взаємодоповнювальні рішення. Зі зниженням вартості таких технологій їх використання поступово поширюється на масовий ринок.

Простота інтеграції автономних систем в електромобілі

Автономне керування потребує значних обчислювальних ресурсів та потужного електроживлення. На відміну від традиційних автомобілів із 12-вольтовою електричною системою, електромобілі оснащені високовольтними акумуляторними батареями, які здатні забезпечити необхідний рівень енергопостачання. Крім того, електропривод має простішу конструкцію та легше

піддається автоматизованому керуванню. Саме тому багато компаній використовують електромобілі як базову платформу для розвитку автономних технологій.

Інтеграція бездротового заряджання та автономного керування

Автономні електромобілі можуть самостійно переміщуватися до зарядних станцій і точно позиціонуватися над бездротовими зарядними пристроями. Це дозволяє автоматизувати процес поповнення заряду та реалізувати концепцію «опортуністичного заряджання», коли батарея заряджається під час коротких зупинок між поїздками.

Збільшення запасу ходу

Однією з основних проблем електромобілів залишається обмежений запас ходу. Автономні системи здатні підвищити енергоефективність завдяки плавнішому прискоренню, гальмуванню та вибору оптимальної траєкторії руху. За прогнозами, це може забезпечити збільшення дальності поїздки приблизно на 5–10 % без зміни апаратної частини транспортного засобу.

Паралельний розвиток технологій

Електромобілі та автономні системи перебувають на етапі активного вдосконалення. Зниження вартості акумуляторів сприяє поширенню електротранспорту [33], а розвиток сенсорних систем і програмного забезпечення поступово наближає впровадження повністю автономного керування. Синхронний розвиток обох напрямів створює передумови для їх тісної інтеграції.

Державна підтримка та регулювання

Посилення екологічних вимог і прагнення скоротити використання викопного палива стимулюють уряди багатьох країн до підтримки електромобілів та поступового обмеження використання транспортних засобів із двигунами внутрішнього згорання. Одночасно підвищення безпеки дорожнього руху може сприяти запровадженню обов'язкових систем автономного керування. У перспективі державна політика може стати важливим фактором прискорення інтеграції електричного транспорту та автономних технологій.

Технологічний розвиток електромобілів

Провідні країни світу активно розвивають технології автономного керування електромобілями, створюючи необхідну нормативну базу, випробувальні полігони та інфраструктуру. Досвід цих країн демонструє основні напрями розвитку автономного транспорту та може бути корисним для інших держав.

США

США є одним із світових лідерів у сфері автономного транспорту. У 2009 році компанія Google започаткувала проєкт із розробки автономного водіння, який у 2016 році був виділений в окрему компанію Waymo [34]. У 2019 році Waymo отримала дозвіл на перевезення пасажирів автономними транспортними засобами в Каліфорнії (рис. 2.6 а). Важливий внесок у розвиток технології також зробили компанії Uber та Volvo, які реалізували спільні проєкти з випробування автономних автомобілів. У 2020 році уряд США представив програму «Automated Vehicles 4.0», спрямовану на забезпечення лідерства країни у сфері автоматизованого транспорту та координацію діяльності державних установ щодо впровадження автономних технологій.

Південна Корея

Південна Корея активно інвестує у створення інфраструктури для автономного транспорту. Одним із ключових проєктів є випробувальний полігон «K-City» у провінції Кьонгі, обладнаний мережею 5G та міськими транспортними сценаріями (рис. 2.6 б). Уряд країни затвердив вимоги безпеки для автономних транспортних засобів третього рівня та поставив за мету впровадження повністю автономного транспорту до 2030 року. Значна частина інвестицій у розвиток галузі забезпечується Hyundai Motor Group.

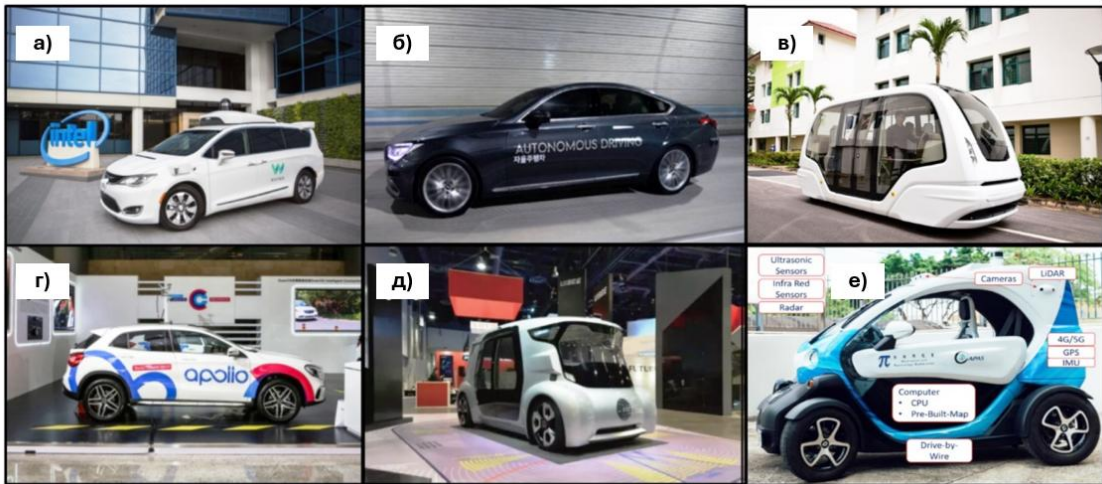


Рисунок 2.6 – Типові автономні транспортні засоби світу: а) автономний транспортний засіб Waymo; б) автономний транспортний засіб Hyundai, випробуваний у «K-City»; в) автономний шатл Наньянського технологічного університету; г) автономний транспортний засіб Baidu; д) автономний транспортний засіб UISEE; е) автономний шатл APAS та НКРС

Сінгапур

Сінгапур є одним із піонерів у сфері регулювання автономного транспорту. У 2017 році були прийняті спеціальні правила для випробувань безпілотних транспортних засобів, а також створено випробувальний центр, який моделює реальні дорожні умови (рис. 2.6 в). Країна активно розширює території для тестування автономного транспорту, включаючи дороги загального користування, та реалізує проекти автономних автобусів і шатлів у міських районах.

Материковий Китай

Китай розглядає автономний транспорт як один із пріоритетних напрямів технологічного розвитку. Компанія Baidu у 2017 році започаткувала платформу Apollo для підтримки розробників автономних систем і спільно з партнерами проводить масштабні випробування безпілотних автомобілів (рис. 2.6 г). Важливим учасником ринку також є компанія UISEE, яка впроваджує автономні

шатли та логістичні транспортні засоби, оснащені комплексом сучасних сенсорів і алгоритмів штучного інтелекту (рис. 2.6 д). Для підтримки галузі урядом створено мережу спеціалізованих випробувальних зон та нормативну базу для проведення дорожніх випробувань.

Гонконг

Розвиток автономного транспорту в Гонконзі перебуває на початковому етапі. Перші випробування автономних транспортних засобів проводилися переважно в межах наукових і технологічних парків. Для підтримки інновацій було створено дослідницькі платформи та експертні групи з питань автономного водіння (рис. 2.6 е). Водночас відсутність повноцінної нормативної бази та суворі вимоги до проведення дорожніх випробувань поки що стримують широке впровадження автономних транспортних засобів.

Перспективи

Досягнення повністю автономного керування потребує високого рівня надійності програмного забезпечення, сенсорних систем та засобів зв'язку. Попри значний прогрес у цій сфері, подальше впровадження автономних транспортних засобів пов'язане з необхідністю вирішення низки технічних, економічних і нормативних питань.

2.5 Висновки до розділу

У розділі проведено аналіз сучасних технологій, що забезпечують інтеграцію електромобілів в інтелектуальні транспортні системи, та на цій основі обґрунтовано технічні рішення, необхідні для ефективного функціонування електричного транспорту в умовах цифровізації транспортної та енергетичної інфраструктури.

Встановлено, що одним із ключових напрямів інтеграції електромобілів є застосування технологій інтелектуального розподілу електроенергії.

Їх використання дозволяє здійснювати динамічне керування процесами заряджання, оптимізувати використання наявних потужностей електричних мереж та зменшувати негативний вплив масового впровадження електромобілів на енергосистему. Проведений аналіз показав, що впровадження систем Smart Grid та інтелектуального керування зарядною інфраструктурою є необхідною умовою подальшого розвитку електромобільності.

Дослідження технологій V2H та V2G підтвердило можливість використання електромобілів не лише як споживачів електричної енергії, а і як активних елементів енергетичної системи. Завдяки двосторонньому обміну енергією електромобілі можуть виконувати функції мобільних накопичувачів, сприяти балансуванню навантаження, підвищенню надійності електропостачання та інтеграції відновлюваних джерел енергії. Аналіз міжнародного досвіду продемонстрував практичну ефективність таких рішень та перспективність їх подальшого впровадження.

Розгляд концепції підключених транспортних засобів показав, що сучасні інформаційно-комунікаційні технології є важливим складником інтелектуальних транспортних систем. Використання технологій IoV та V2X забезпечує безперервний обмін інформацією між транспортними засобами, дорожньою інфраструктурою та сервісними платформами, що дозволяє підвищити безпеку руху, покращити управління транспортними потоками, оптимізувати процеси заряджання та забезпечити ефективне використання міської транспортної інфраструктури.

Аналіз технологій автономного водіння підтвердив, що їх розвиток тісно пов'язаний із поширенням електромобілів. Використання сенсорних систем, телемеханіки, хмарних сервісів та алгоритмів штучного інтелекту створює передумови для формування високоефективних транспортних систем нового покоління. Електромобілі завдяки своїй електронній архітектурі та високовольтним системам живлення є найбільш придатною платформою для впровадження автономних технологій.

Таким чином, на підставі проведеного аналізу обґрунтовано, що основними технічними рішеннями інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи є використання інтелектуального керування зарядною інфраструктурою, технологій двостороннього енергетичного обміну V2G/V2H, підключених транспортних засобів та систем автономного водіння. Комплексне впровадження зазначених рішень забезпечує підвищення енергоефективності транспортної інфраструктури, покращення якості керування транспортними потоками, зниження навантаження на електричні мережі та створює технологічну основу для розвитку концепцій Smart City і сталої мобільності.

3 РОЗРАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНТЕГРАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ

3.1. Розрахунок параметрів акумуляторної батареї електромобіля

Акумуляторна батарея є основним енергетичним елементом електромобіля, від параметрів якої безпосередньо залежить запас ходу, швидкість заряджання та сумісність з зарядною інфраструктурою.

Визначення реальної ємності акумуляторної батареї яка потрібна для електромобіля та його систем, складається з багатьох параметрів, якими є: режими експлуатації електромобіля, способи заряджання, діапазон параметрів мережі через які батарея буде отримувати живлення. Ці системи повинні відповідати один одному, інакше ефективність батареї може бути дуже низькою та не задовольняти усім необхідним вимогам [35].

Таблиця 3.1 Дані для розрахунку акумуляторної батареї [35]

Параметр	Позначення	Значення
Номінальна напруга батареї, В	U	400
Енергоспоживання на тягу, Вт·год/км	E_p	137,8
Енергоспоживання допоміжних систем, Вт·год/км	$E_{доп}$	9,24
ККД трансмісії від батареї до колеса	η_p	0,9
Необхідний запас ходу електромобіля, км	S	300
Глибина розряду батареї	DoD	0,85
ККД зарядної станції	$\eta_{зар}$	0,95

Середнє питоме енергоспоживання електромобіля

Розраховуємо середнє питоме енергоспоживання електромобіля [35]:

$$E_{\text{ср}} = (E_p + E_{\text{доп}}) \cdot (2 - \eta_p), \text{Вт} \cdot \text{год/км} \quad (3.1)$$

де $E_{\text{ср}}$ – середнє питоме енергоспоживання електромобіля, Вт·год/км;

E_p – питоме енергоспоживання на тягу $E_p = 137,8$ кВт · год/км;

$E_{\text{доп}}$ – питоме енергоспоживання допоміжних систем,

$$E_{\text{доп}} = 9,24 \text{ кВт} \cdot \text{год/км};$$

η_p – ККД трансмісії від батареї колеса, $\eta_p = 0,9$.

Підставляємо значення у формулу (3.1):

$$E_{\text{ср}} = (137,8 + 9,24) \cdot (2 - 0,9) = 161,7 \text{ Вт} \cdot \text{год/км} = 0,1617 \text{ кВт} \cdot \text{год/км};$$

Розрахунок необхідної енергетичної ємності батареї

Необхідна енергетична ємність акумуляторної батареї визначається за формулою [35]:

$$W_{\text{бат}} = \frac{E_{\text{ср}} \cdot S}{DoD}, \text{кВт} \cdot \text{год} \quad (3.2)$$

де $W_{\text{бат}}$ – необхідна енергетична ємність батареї, кВт·год;

$E_{\text{ср}}$ – питоме енергоспоживання електромобіля,

$$E_{\text{ср}} = 161,7 \text{ Вт} \cdot \text{год/км} = 0,1617 \text{ кВт} \cdot \text{год/км};$$

S – необхідний запас ходу, км;

DoD – глибина розряду акумуляторної батареї;

Дані підставляємо у формулу (3.2):

$$W_{\text{бат}} = \frac{0,1617 \cdot 300}{0,85} = 57,07 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Таким чином, для забезпечення запасу ходу 300 км в міських умовах необхідна акумуляторна батарея ємністю не менше 57,07 кВт·год. З урахуванням деградації батареї з часом та необхідності резерву приймаємо $W_{\text{бат}} = 60 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 60000 \text{ Вт} \cdot \text{год}$ [35].

Розрахунок ємності батареї в ампер-годинах

Для визначення ємності батареї в ампер-годинах використовується формула [35]:

$$Q = \frac{W_{\text{бат}}}{U}, \text{ А} \cdot \text{год} \quad (3.3)$$

Де Q – ємність батареї, А·год;

$W_{\text{бат}}$ – енергетична ємність батареї, $W_{\text{бат}} = 60 \text{ кВт} \cdot \text{год}$;

U – номінальна напруга батареї, В.

Підставляємо значення у формулу (3.3):

$$Q = \frac{60000}{400} = 150 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Розрахунок запасу ходу електромобіля

Реальний запас ходу електромобіля з урахуванням прийнятої ємності батареї та умов експлуатації визначається за формулою [35]:

$$S = \frac{W_{\text{бат}} \cdot DoD}{E_{\text{сп}}}, \text{ км} \quad (3.4)$$

Підставляємо всі знайдені значення у формулу (3.4):

$$S = \frac{60 \cdot 0,85}{0,1617} = 315 \text{ км.}$$

3.2. Розрахунок потужності зарядної станції

Вихідні дані для розрахунку:

Таблиця 3.2 Дані для розрахунку потужності зарядної станції

Параметр	Позначення	Значення
Ємність батареї електромобіля, кВт·год	$W_{\text{бат}}$	60
Потужність одного зарядного місця, кВт	P_1	11
Кількість зарядних місць	N	4
Коефіцієнт одночасності	$k_{\text{од}}$	0,7
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi$	0,95
Лінійна напруга мережі, В	$U_{\text{л}}$	380
Тривалість роботи станції, год/добу	$t_{\text{роб}}$	18
ККД зарядної станції	$\eta_{\text{зар}}$	0,95
Допустима щільність струму для кабелю, А/мм ²	j	3,5

Розрахунок часу заряджання для кожного рівня зарядки

Час заряджання визначається за формулою [35]:

$$t = \frac{W_{\text{бат}}}{P \cdot \eta_{\text{зар}}}, \text{ год} \quad (3.5)$$

де t – час заряджання, год;

$W_{\text{бат}}$ – ємність батареї, кВт·год;

P – потужність зарядної станції, кВт;

$\eta_{\text{зар}}$ – ККД зарядної станції, $\eta_{\text{зар}} = 0,95$.

Розраховуємо час заряджання для рівня 1:

$$t = \frac{60}{3,7 \cdot 0,95} = 17,07 \text{ год} \approx 17 \text{ год } 4 \text{ хв};$$

Розраховуємо час заряджання для рівня 2:

$$t = \frac{60}{11 \cdot 0,95} = 5,74 \text{ год} \approx 5 \text{ год } 44 \text{ хв};$$

Розраховуємо час заряджання для рівня 3:

$$t = \frac{60}{50 \cdot 0,95} = 1,26 \text{ год} \approx 1 \text{ год } 15 \text{ хв}.$$

Таблиця 3.3 Порівняння часу заряджання в залежності від рівня зарядного пристрою

Рівень заряджання	Тип струму	Потужність	Час заряджання
Рівень 1	АС	3,7 кВт	17 год 4хв
Рівень 2	АС	11 кВт	5 год 44 хв
Рівень 3	DC	50 кВт	1 год 15 хв

З розрахунків видно що при використанні зарядного пристрою 1 рівня отриманий час відповідає заряджанню електромобіля від 0% до 100% що трапляється іноді, через це на практиці заряджання таким типом пристрою може скоротитись до 10-12 годин. При порівнянні з іншими рівнями заряджання, 1 рівень все одно надає великий час заряджання та не є доцільним рішенням або лише як резервне джерело на нічну зарядку електромобіля [36].

Визначення сумарної активної потужності зарядної станції

Використовуємо формулу відповідно до методики розрахунку навантаження зарядних станцій [37]:

$$P_{\text{сум}} = P_1 \cdot N \cdot k_{\text{од}}, \text{ кВт} \quad (3.6)$$

де $P_{\text{сум}}$ – сумарна активна потужність зарядної станції, кВт;

P_1 – потужність одного зарядного місця, $P_1 = 11$ кВт;

N – кількість зарядних місць, $N = 4$;

$k_{\text{од}}$ – коефіцієнт одночасності, $k_{\text{од}} = 0,7$; [3].

Підставляємо всі необхідні значення у формулу (3.6):

$$P_{\text{сум}} = 11 \cdot 4 \cdot 0,7 = 30,8 \text{ кВт.}$$

Повна потужність зарядної станції

Повна потужність враховує як активну так і реактивну складову що виникає через роботу силової електроніки зарядних пристроїв [38]:

$$S = \frac{P_{\text{сум}}}{\cos \varphi}, \text{ кВА} \quad (3.7)$$

де S – повна потужність зарядної станції, кВА;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності, $\cos \varphi = 0,95$.

$$S = \frac{30,8}{0,95} = 32,42 \text{ кВА.}$$

Розрахунок реактивної потужності

Розраховуємо за формулою [38]:

$$Q = \sqrt{S^2 - P_{\text{сум}}^2}, \text{кВАр} \quad (3.8)$$

де Q – реактивна потужність зарядної станції, кВАр.

Підставляємо необхідні дані у формулу (3.8):

$$Q = \sqrt{32,42^2 - 30,8^2} = 10,12, \text{кВАр}$$

Струм споживання від мережі

Струм що споживає зарядна станція від трифазної мережі є базовим параметром для вибору кабелю живлення та захисної апаратури [38]:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}}, \quad (3.9)$$

де I – струм споживання від мережі, А;

S – повна потужність;

$U_{\text{л}}$ – лінійна напруга, В.

Розраховуємо формулу (3.9) підставляючи необхідні дані:

$$I = \frac{32420}{\sqrt{3} \cdot 380} = 49,26 \text{ А}$$

Вибір перерізу кабелю живлення

На основі розрахованого струму визначаємо необхідний переріз кабелю живлення за допустимою щільністю струму [38]:

$$A = \frac{I}{j}, \text{мм}^2 \quad (3.10)$$

де A – переріз кабелю, мм^2 ;

j – допустима щільність струму для кабелю, $j = 3,5 \text{ А/мм}^2$.

$$A = \frac{49,26}{3,5} = 14,07 \text{ мм}^2$$

Приймаємо значення найближче до стандартів $A = 16 \text{ мм}^2$

Розрахунок споживаної електроенергії

Добове споживання електроенергії зарядною станцією [38]:

$$W_{\text{доб}} = P_{\text{сум}} \cdot t_{\text{роб}} \text{ кВт} \cdot \text{год/добу} \quad (3.11)$$

де $W_{\text{доб}}$ – добове споживання, $\text{кВт} \cdot \text{год/добу}$

$$W_{\text{доб}} = 30,8 \cdot 18 = 554,4 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$$

Розраховуємо споживання за місяць та рік:

$$W_{\text{міс}} = W_{\text{доб}} \cdot 30, \text{кВт} \cdot \text{год/міс}; \quad (3.12)$$

$$W_{\text{міс}} = 554,4 \cdot 30 = 16632 \text{ кВт} \cdot \text{год/міс};$$

$$W_{\text{рік}} = W_{\text{доб}} \cdot 365, \text{кВт} \cdot \text{год/рік}; \quad (3.13)$$

$$W_{\text{рік}} = 554,4 \cdot 365 = 202356 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{рік};$$

Визначення пропускної здатності зарядної станції

Кількість електромобілів що можна обслужити за добу [37]:

$$n = \left(\frac{t_{\text{роб}}}{t_{\text{зар}}} \right) \cdot N \cdot k_{\text{од}}, \quad (3.14)$$

де n – кількість електромобілів за добу;

$t_{\text{роб}}$ – тривалість роботи станції, $t_{\text{роб}} = 18$ год;

$t_{\text{зар}}$ – час заряджання одного електромобіля, $t_{\text{зар}} = 5,74$ год;

N – кількість зарядних місць, $N = 4$;

$k_{\text{од}}$ – коефіцієнт одночасності, $k_{\text{од}} = 0,7$.

Маючи всі необхідні дані підставляємо їх у формулу (3.14):

$$n = \left(\frac{18}{5,74} \right) \cdot 4 \cdot 0,7 = 8,78 \approx 9 \text{ авто}/\text{доб}.$$

Розраховуємо річну пропускну здатність:

$$n_{\text{річ}} = n \cdot 365, \quad (3.15)$$

$$n_{\text{річ}} = 9 \cdot 365 = 3285 \text{ авто}/\text{рік}$$

Для розрахунку було обрано зарядну станцію, потужністю 11 кВт на одне зарядне місце, всього на ній розташовано 4 зарядних місця. Відповідно до розглянутих параметрів було розраховано що на протязі року така зарядна станція зможе зарядити 3285 електромобілів.

3.3 Висновки до розділу

У третьому розділі, відповідно до завдання, виконано розрахунок технічних параметрів інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи. Проведені розрахунки дали змогу визначити основні характеристики зарядної інфраструктури та оцінити параметри її функціонування в умовах зростання кількості електромобілів.

Отримані результати підтвердили можливість ефективної інтеграції електромобілів у сучасну транспортну інфраструктуру за умови використання інтелектуальних систем керування процесами заряджання та розподілу електричної енергії. Визначені параметри забезпечують раціональне використання енергетичних ресурсів, підвищення надійності роботи зарядних комплексів та зменшення навантаження на електричні мережі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Вступ

Територія на якій знаходиться зарядна станція для електромобілів, має відповідати всім нормам електробезпеки. На території розташовується обладнання яке підключається від мережі напругою 380 В. При неправильному використанні або недотриманні правил безпеки, обладнання може нашкодити клієнту який заряджає електромобіль або комусь з технічного персоналу. Через це питання безпечних умов праці та їх дотримання є першочерговим.

Права та обов'язки працівників і роботодавців становить Закон України «Про охорону праці», він визначає вимоги до організації безпечних умов праці, проведення навчання та інструктажів з питань безпеки, а також відповідальність за порушення встановлених норм [39]. Порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці на підприємствах регламентується НПАОП 0.00-4.12-05, відповідно до якого усі працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпекою, зобов'язані проходити спеціальне навчання та перевірку знань.

Безпечна робота в системах які пов'язані з умовами підвищеної електричної небезпеки повинна підпорядковуватись правилам охорони праці, особливо у сфері яка щодня обслуговує електромобілі. Обладнання зарядної станції та її обслуговування вимагає дотримання певних норм та правил. Окремі елементи систем працюють з постійним струмом підвищеної напруги. Невідповідність норм електробезпеки, несправність захисних приладів або в крайньому випадку пошкодження ізоляційного матеріалу може призвести до серйозних наслідків – ураження електричним струмом, виникнення пожежі або виходу з ладу дорогого обладнання.

Завданням даного розділу є виявлення небезпечних та шкідливих виробничих факторів на об'єкті проєктування, розробка конкретних організаційно-технічних заходів щодо забезпечення безпечних умов праці на територіях зарядних станцій для електромобілів [40].

4.2 Аналіз небезпечних шкідливих факторів

Електротехнічні системи, з якими працюють при обслуговуванні електромобілів – це та робота, яка вимагає від персоналу не лише високої кваліфікації, але й чіткого розуміння небезпек та їх уникнення. На відміну від звичайного механічного обладнання, електротехнічні системи такого рівня містять одразу кілька джерел потенційної небезпеки, на які треба звертати підвищену увагу та дотримуватись правил безпеки при роботі з ними.

Умови праці на таких об'єктах суттєво відрізняються від типових виробничих умов і характеризуються одночасною присутністю кількох груп шкідливих та небезпечних факторів.

Відповідно до ДСТУ 12.0.003-74* на даному об'єкті можуть мати місце наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори [41]:

1) Фізичні:

- підвищена напруга в електричному колі живлення обладнання – 380/220 В змінного струму – замикання якої здатне відбутися через тіло людини при пошкодженні ізоляції або відмові захисних пристроїв;

- підвищений рівень електромагнітного поля промислової частоти 50 Гц в місцях встановлення силових перетворювачів та інверторів;

- підвищений рівень шуму від систем примусового охолодження силового обладнання та вентиляційних установок;

- недостатня освітленість робочої зони при проведенні технічного обслуговування у вечірній або нічний час;

2) Хімічні поділяються на два типи:

2.1 За характером впливу на організм людини:

- токсичні речовини, що можуть виділятися при механічному пошкодженні літій-іонних акумуляторних батарей електромобілів;

- подразнюючі речовини при випадковому контакті персоналу з електролітом акумуляторних батарей під час технічного обслуговування.

2.2 За шляхом проникнення в організм людини:

- через органи дихання;
- через шкірний покрив та слизові оболонки.

3) Біологічні:

- мікроорганізми (бактерії, віруси)

4) Психофізіологічні:

- підвищена нервово-психічна напруга при обслуговуванні складного електронного обладнання, необхідності швидкого реагування;
- значне напруження зору та підвищена концентрація уваги при роботі з дрібними елементами електроустаткування, що знаходиться під напругою;
- фізичні перевантаження при монтажі, демонтажі важких елементів обладнання під час планового технічного обслуговування.

Усі перелічені фактори тісно пов'язані зі специфікою роботи при обслуговуванні обладнання електромобілів. Серед них найбільшу небезпеку становить ураження електричним струмом. [41]

4.3 Організаційно-технічні заходи по забезпеченню безпеки

4.3.1 Організаційні заходи з охорони праці

Правильна організація для безпечних умов праці, повинна відбуватись з перевірки персоналу та проведення кваліфікаційно підготовчих лекцій. При обслуговуванні обладнання електромобілів та їх електротехнічних систем, кожен працівник повинен бути підготовлений та ознайомлений з технікою безпеки.

Відповідно до НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» усі працівники, які обслуговують електроустановки, зобов'язані пройти навчання безпечним прийомам праці, перевірку знань та отримати відповідну групу з електробезпеки [42].

Порядок проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці на підприємстві регламентується НПАОП 0.00-4.12-05 [40]. Відповідно до цього документа на підприємстві повинні проводитися такі види інструктажів:

- вступний інструктаж – проводиться з усіма новими працівниками перед першим робочим днем;
- первинний інструктаж на робочому місці – проводиться перед початком самостійної виконання свого робочого завдання;
- повторний інструктаж – проводиться для всього робочого персоналу, раз на пів року;
- позаплановий інструктаж – проводиться при зміні умов праці, введенні нового обладнання або після нещасного випадку.

Для працівників, при виконанні робочих завдань з електроустаткуванням, передбачено забезпечувати їх всіма необхідними засобами індивідуального захисту. При виконанні робіт з електроустаткуванням до 1000 В, надається комплекти з діелектричними рукавичками, діелектричним взуттям та спеціальний діелектричний килим, а ще інструменти на яких зроблені ізольовані рукоятки та прилад для вимірювання напруги. Усі засоби індивідуального захисту повинні проходити регулярні випробування у встановлені терміни та мати відповідне маркування. [42]

4.3.2 Електробезпека

Робота з обладнанням електромобіля має ризики ураження струмом. Мережа живлення 380/220 В змінного струму, яка забезпечує роботу зарядної інфраструктури, здатна завдати серйозної шкоди здоров'ю людини навіть при короткочасному контакті. Через це на робочих ділянках відводиться особлива увага правилам електробезпеки та їх знанням, серед персоналу.

Відповідно до класифікації ПУЕ зарядна станція електромобілів, що розміщується на відкритому майданчику, прирівнюється до категорії особливо небезпечних об'єктів за ступенем небезпеки ураження електричним струмом [43].

Основними причинами ураження персоналу електричним струмом на подібних об'єктах є:

- випадковий дотик до струмовідних частин обладнання, що знаходяться під напругою, через порушення правил безпеки;
- поява напруги на металевих корпусах обладнання внаслідок пошкодження ізоляції;
- помилкова подача напруги на обладнання під час виконання ремонтних робіт;

Для надійного захисту персоналу від перелічених ризиків на об'єкті проектування передбачаються технічні засоби захисту: захисне заземлення всіх металевих корпусів електрообладнання, застосування пристроїв захисного відключення з уставкою спрацювання не більше 30 мА, використання системи заземлення та регулярна перевірка стану ізоляції струмопровідних частин обладнання [43].

Розрахунок заземлення зарядної станції електромобілів

Захист зарядної станції, а саме захисне заземлення для персоналу та користувачів необхідне для безпечної експлуатації. Зарядна станція повністю є електротехнічною установкою, що працює з напругою 380/220 В і постійно перебуває у відкритому доступі. Через це питання захисного заземлення потребує особливої уваги – воно дасть захист не лише технічному персоналу, але й кожного, хто підходить до станції зарядити свій автомобіль в разі пошкодження мережі [44].

Визначимо кількість і параметри заземлювача:

1. Розрахуємо питомий опір ґрунту:

$$R_{\text{розр.}} = \varepsilon \cdot \rho \quad (4.1)$$

де $R_{\text{розр.}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом · м;

ε – коефіцієнт сезонності;

ρ – табличне значення питомого опору.

$$P_{\text{розр.}} = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

2. Визначимо опір який може виникнути для одиночного заземлювача:

Спочатку визначимо відстань від поверхні землі до середини труби:

$$H = t_0 + \frac{l}{2}, \text{ м} \quad (4.2)$$

де H – відстань від поверхні землі до середини заземлювача, м;

t_0 – глибина закладання верхнього кінця труби, $t_0 = 0,8$ м;

l – довжина труби, $l = 3$ м.

$$H = 0,8 + \frac{3}{2} = 2,3 \text{ м}$$

Розраховуємо опір розтікання одиночного заземлювача за формулою:

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{розр.}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+3}{4H-3} \right), \text{ Ом} \quad (4.3)$$

Де R_0 – опір розтікання струму, Ом;

l – довжина одиночного заземлювача, м;

H – відстань від поверхні землі до середини заземлювача, м;

d – ширина одиночного заземлювача, $d = 0,05$ м.

Підставляємо у формулу (4.3) всі необхідні значення:

$$R_0 = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) = 40,8 \text{ Ом}$$

Розраховуємо кількість паралельно з'єднаних вертикальних заземлювачів:

$$n_3 = \frac{R_0}{R_{\text{доп}} \cdot \eta}, \text{ шт} \quad (4.4)$$

де n_3 – кількість одиночних заземлювачів, шт;

$R_{\text{доп}}$ – найбільший припустимий опір, Ом;

η – коефіцієнт використання групового заземлення.

Вводимо знайдені значення та розраховуємо формулу (4.4):

$$n_3 = \frac{40,8}{4 \cdot 0,75} = 13,6 \approx 14 \text{ шт.}$$

Розраховуємо довжину горизонтальної з'єднувальної смуги за формулою:

$$l = a \cdot (n_3 - 1), \text{ м} \quad (4.5)$$

де l – довжина горизонтальної сполучної смуги, м;

a – відстань між вертикальними заземлювачами, м.

Підставимо числові значення у формулу (4.5) для розрахунку:

$$l = 3 \cdot (14 - 1) = 39 \text{ м}$$

5. Визначаємо опір сполучної смуги за формулою:

$$R_n = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{dh}, \text{ Ом} \quad (4.6)$$

де R_n – опір з'єднувальної смуги, Ом;

h – глибина залягання смуги, $h = 0,8$ м.

Підставляємо знайдені значення у формулу (4.6):

$$R_n = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 39} \ln \frac{2 \cdot 39^2}{0,04 \cdot 0,8} = 7,02 \text{ Ом}$$

6. Розраховуємо результуючий опір електрода, що заземлює, з урахуванням сполучної смуги:

$$R_{гр} = \frac{R_0 \cdot R_n}{R_0 \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta \cdot \eta_3}, \text{ Ом} \quad (4.7)$$

де $R_{гр}$ – результуючий опір, Ом;

η_n – коефіцієнт використання сполучної смуги.

Для розрахунку формули (4.7) підставимо значення:

$$R_{гр} = \frac{40,8 \cdot 7,02}{40,8 \cdot 0,3 + 7,02 \cdot 0,75 \cdot 14} = 3,33 \text{ Ом}$$

Розрахункове отримане значення $R_{гр} = 3,33 < R_{доп} = 4$ отже, розрахунок виконаний правильно.

Спроектоване захисне заземлення для зарядної станції, буде складатися з 14 вертикальних труб, довжиною 3 метри для кожної. Виконуючи свою задачу, а саме захист персоналу та клієнтів від ураження електричним струмом.

4.3.2.2 Розрахунок безпечної напруги дотику

При роботі електрообладнання на зарядній станції, окрім заземлення важливим фактором є напруга яка може виникнути на корпусі у момент замикання і чи буде вона безпечною для людини. Саме вона визначає реальну небезпеку для людини, в момент виникнення напруги на корпусі станції.

Для розрахунку будуть також використані данні з розрахунку формули (4.7):

$$R_{\text{гр}} = 3,33$$

1. Визначимо струм замикання на землю:

$$I_3 = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{гр}}}, \text{ A} \quad (4.8)$$

де I_3 – струм замикання на землю, А;

$U_{\text{ф}}$ – фазна напруга мережі, $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$;

$R_{\text{гр}}$ – опір заземлювального пристрою, Ом.

Підставляємо значення у формулу (4.8)

$$I_3 = \frac{220}{3,33} = 66,07 \text{ A}$$

2. Знаходимо напругу на заземлювальному пристрої:

$$U_3 = I_3 \cdot R_{\text{гр}}, \text{ В} \quad (4.9)$$

Де U_3 – напруга на заземлювальному пристрої, В;

Знайдені розрахункові значення підставляємо у формулу (4.9):

$$U_3 = 66,07 \cdot 3,33 = 220 \text{ В}$$

3. Розраховуємо напругу дотику:

$$U_{\text{дот}} = U_3 \cdot \alpha, \text{ В} \quad (4.10)$$

Де $U_{\text{дот}}$ – напруга дотику, В;

α – коефіцієнт напруги дотику для контурного заземлення, $\alpha = 0,4$

Підставляємо знайдені розрахункові величини у формулу (4.10)

$$U_{\text{дот}} = 220 \cdot 0,4 = 88 \text{ В}$$

4. Визначаємо струм який йде через тіло людини:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{дот}}}{R_{\text{л}}}, \text{ мА} \quad (4.11)$$

де $I_{\text{л}}$ – струм через тіло людини, А

$R_{\text{л}}$ – опір тіла людини, $R_{\text{л}} = 1000 \text{ Ом}$

Для розрахунку формули (4.11) підставляємо знайдені значення

$$I_{\text{л}} = \frac{88}{1000} = 0,088 \text{ А} = 88 \text{ мА}$$

5. Перевірка умови безпеки

Допустимий струм через тіло людини при тривалій дії становить $I_{\text{л.доп}} = 10 \text{ мА}$ згідно з ДСТУ 12.1.038-82 [7].

Отримане значення $I_{\text{л}} = 88 \text{ мА} > I_{\text{л.доп}} = 10 \text{ мА}$ – умова безпеки не виконується.

Це означає, що лише захисного заземлення недостатньо. Для зарядної станції електромобілів, до якої мають доступ звичайні користувачі, необхідно додатково встановити пристрій захисного відключення (ПЗВ) з уставкою

спрацювання 30 мА. ПЗВ забезпечить автоматичне відключення живлення за час не більше 0,1 с після виникнення замикання.

При часі відключення $t < 0,1$ с допустимий струм через тіло людини становить 500 мА, що значно перевищує розраховане значення 88 мА. Тобто при встановленні ПЗВ умова безпеки виконується.

Системи онлайн моніторингу ізоляції

Розрахунками напруги дотику було доведено, що одного лише захисного заземлення на станціях для заряджання електромобілів буде недостатньо. Потрібно додаткове встановлення ПЗВ, яке збільшить рівень безпеки на території, але буде спрацьовувати вже після того як сталася ситуація. А для того щоб уникати ситуацій які пов'язані з порушенням систем безпеки або ізоляції обладнання до їх виникнення, треба встановити систему онлайн моніторингу ізоляції (Insulation Monitoring Device) [45].

Робота систем онлайн моніторинг ізоляції полягає у безперервному нагляді за показами опору ізоляції між провідниками та корпусом обладнань до яких ця система підключена у вигляді вимірювального пристрою. При найменшому пошкодженні або старінні ізоляції системні показники це фіксують та роблять сповіщення ще до того як може статись якась непередбачена проблема. В системах Insulation Monitoring Device передбачено декілька типів тривоги, таких як звукова та світлова для надавання максимальної інформативності обслуговуючому персоналу для усунення проблеми. Схема підключення показана на рисунку 4.1.

Якщо робиться впровадження таких систем, то дуже важливим рішенням стає вибір самого пристрою, який буде відслідковувати та надавати інформацію опору ізоляції. Монітор ізоляції RN 5897/020 сімейства VARIMETER IMD використовується спеціально для зарядних станцій постійного струму відповідно до стандарту IEC/EN 61851-23 та контролює процес заряджання від зарядної станції до транспортного засобу [46]. Пристрій показано на рисунку 4.2.



Рисунок 4.1 – Схема підключення систем моніторингу ізоляції у системі зарядної станції



Рисунок 4.2 – Пристрій для моніторингу ізоляції
VARIMETER IMD RN 5897/020

Застосування DOLD VARIMETER IMD RN 5897/020 на зарядній станції електромобілів забезпечує виконання вимог стандарту IEC/EN 61851-23 щодо електробезпеки в процесі заряджання та суттєво підвищує рівень захисту як технічного персоналу, так і користувачів станції.

Облаштування зарядних станцій такими системами як DOLD VARIMETER IMD RN 5897/020 дозволить дотримуватись всіх вимог які поставлені для підприємств підвищеної електричної безпеки

4.4 Висновки

Було виявлено основні небезпечні фактори, розроблено організаційні заходи щодо підготовки та допуску персоналу до роботи. Зарядна станція електромобілів – об'єкт з підвищеною електричною безпекою, до якого щодня підходять звичайні люди. На якому підвищена електрична безпека, з цілодобовим наглядом та перевітками як технічного персоналу, так і обладнання. Перевірені та облаштовані всі компоненти та системи обладнання, яке у використанні щодня та знаходиться вільному доступі для клієнтів.

В ході роботи було проаналізовано умови праці на об'єкті проектування, виявлено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори і розроблено конкретні заходи для їх усунення. Особливу увагу приділено електробезпеці – виконано розрахунок захисного заземлення зарядної станції та перевірку безпечної напруги дотику, за результатами яких запропоновано оптимальне технічне рішення для захисту персоналу та користувачів станції.

Запропоновані дії для підвищення безпеки експлуатації на станції заряджання електромобілів. Впровадження системи онлайн моніторингу ізоляції, для подальшого запобіганню аварійних ситуації які можуть створити загрозу життю, отримування сповіщення про можливі проблеми серед обладнання та його ізоляції заздалегідь.

ВИСНОВКИ

У першому розділі проаналізовано сучасний стан розвитку електромобілів та технологій їх заряджання. Розглянуто основні типи електромобілів, їх особливості та принципи роботи. Досліджено сучасні бездротові технології заряджання, визначено їх переваги, недоліки та перспективи розвитку.

У другому розділі на основі аналізу технологій інтелектуального розподілу електроенергії, V2G/V2H, підключених транспортних засобів та автономного водіння обґрунтовано технічні рішення інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи. Встановлено, що їх комплексне застосування забезпечує підвищення енергоефективності, безпеки, рівня автоматизації та ефективності функціонування транспортної інфраструктури.

У третьому розділі виконано розрахунок технічних параметрів інтеграції електромобілів в інтелектуальні транспортні системи та підтверджено технічну доцільність використання сучасної зарядної інфраструктури для забезпечення ефективної експлуатації електричного транспорту.

В розділі Охорона праці розроблено заходи з охорони праці та електробезпеки для зарядної інфраструктури електромобілів, виконано аналіз небезпечних факторів та запропоновано технічні рішення щодо підвищення безпеки експлуатації зарядних станцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. XVII міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» Корпач А.О. - Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/116.pdf>
2. Types of Electric Vehicles – A Complete Guide - <https://www.power-sonic.com/types-of-electric-vehicles/>
3. Advancements in Electric Vehicle Charging Technology [Електронний ресурс] – 2025. – Режим доступу: <https://switchgear-magazine.com/news/technology/advancements-in-electric-vehicle-charging-technology/>
4. Key Trends in EV Charging Technology Revolutionizing Future. Uland Power [Електронний ресурс] – 2025. – Режим доступу: <https://www.ulandpower.com/blog/key-trends-in-ev-charging-technology-revolutionizing-future/>
5. Gao, Y.; Duan, C.; Oliveira, A.A.; Ginart, A.; Farley, K.B.; Tse, Z.T.H. 3-D Coil Positioning Based on Magnetic Sensing for Wireless EV Charging. *IEEE Trans. Transp. Electrification*. 2017, 3, 578–588. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7907313>
6. Khutwad, S.R.; Gaur, S. Wireless charging system for EV. In Proceedings of the 2016 International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPEs), Odisha, India, 3–5 October 2016; pp. 441–445. <https://tinyurl.com/25zmmm8z>
7. Ahmad, A.; Alam, M.S.; Chabaan, R. A Comprehensive Review of Wireless Charging Technologies for EVs. *IEEE Trans. Transp. Electrification*. 2018, 4, 38–63. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8101562>
8. Amjad, M.; Farooq-i-Azam, M.; Ni, Q.; Dong, M.; Ansari, E.A. Wireless charging systems for electric vehicles. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2022**, *167*, 112730. <https://tinyurl.com/2cc2y5f4>
9. Longo, M.; Zaninelli, D.; Viola, F.; Romano, P.; Miceli, R.; Caruso, M.; Pellitteri, F. Recharge stations: A review. In Proceedings of the 2016 Eleventh International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), Monte Carlo, Monaco, 6–8 April 2016; pp. 1–8. <https://tinyurl.com/26qwr9sj>

10. Dai, Z.; Wang, J.; Long, M.; Huang, H. A Witricity-based high-power device for wireless charging of EVs. *Energies* 2017, 10, 323. <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/3/323>
11. Ho, S.L.; Wang, J.; Fu, W.; Sun, M. A comparative study between novel witricity and traditional inductive magnetic coupling in wireless charging. *IEEE Trans. Magn.* 2011, 47, 1522–1525. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5754800>
12. Niu, S.; Xu, H.; Sun, Z.; Shao, Z.; Jian, L. The state-of-the-arts of wireless EV charging via magnetic resonance: Principles, standards and core technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2019, 114, 109302. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119305106?via%3Dihub>
13. Alam, B.; Islam, N.; Subhan, I.; Sarfraz, M. Analysis and Modelling of Basic Wireless Power Transfer Compensation Topology: A Review. In *Intelligent Data Analytics for Power and Energy Systems*; Malik, H., Ahmad, M.W., Kothari, D.P., Eds.; Springer: Singapore, 2022; pp. 501–515. <https://tinyurl.com/2bf9ugr7>
14. Yoon, U. Pickup and Rectifier. In *The On-line EV: Wireless Electric Ground Transportation Systems*; Suh, N.P., Cho, D.H., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2017; pp. 171–185. <https://tinyurl.com/28b7tmy5>
15. Elma, O. A dynamic charging strategy with hybrid fast charging station for EVs. *Energy* 2020, 202, 117680. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220307878?via%3Dihub>
16. Solanke, T.U.; Khatua, P.K.; Ramachandramurthy, V.K.; Yong, J.Y.; Tan, K.M. Control and management of a multilevel electric vehicles infrastructure integrated with distributed resources: A comprehensive review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2021, 144, 111020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121003105?via%3Dihub>
17. Atterby, A.; Bluj, J.; Sjögren, E. Potential for EV Smart Charging Station Expansion at Fyrisskolan. Bachelor's Thesis, Uppsala University, Uppsala, Sweden, 4 June 2018. <https://tinyurl.com/2xskecw9>

18. Rajani, B.; Sekhar, D.C. A hybrid optimization based energy management between EV and electricity distribution system. *Int. Trans. Electr. Energy Syst.* 2021, 31, e12905. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2050-7038.12905>
19. Wang, Y.; Sheikh, O.; Hu, B.; Chu, C.; Gadh, R. Integration of V2H/V2G hybrid system for demand response in distribution network. In *Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, Venice, Italy, 3–6 November 2014; pp. 812–817. <https://tinyurl.com/28tr3va7>
20. Wu, Q.; Larsen, E.; Heussen, K.; Binder, H.; Douglass, P. Remote Off-Grid Solutions for Greenland and Denmark: Using smart-grid technologies to ensure secure, reliable energy for island power systems. *IEEE Electr. Mag.* 2017, 5, 64–73. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7942251>
21. Riffle, C. The Resourceful City. In *The Climate City*; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2022; pp. 235–250. <https://tinyurl.com/23vkhnxl>
22. Cooke, P. Three Disruptive Models of New Spatial Planning: «Attention», «Surveillance» or «Sustainable» Capitalisms? *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.* 2021, 7, 46. <https://tinyurl.com/22z8esmn>
23. Lacap, J.; Park, J.W.; Beslow, L. Development and Demonstration of Microgrid System Utilizing Second-Life EV Batteries. *J. Energy Storage* 2021, 41, 102837. <https://tinyurl.com/2dcy9ds7>
24. Kong, X.; Wang, K.; Hou, M.; Hao, X.; Shen, G.; Chen, X.; Xia, F. A Federated Learning-Based License Plate Recognition Scheme for 5G-Enabled Internet of Vehicles. *IEEE Trans. Ind. Inform.* 2021, 17, 8523–8530. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9381655>
25. Biyik, C.; Allam, Z.; Pieri, G.; Moroni, D.; O’Fraifer, M.; O’Connell, E.; Olariu, S.; Khalid, M. Smart Parking Systems: Reviewing the Literature, Architecture and Ways Forward. *Smart Cities* 2021, 4, 623–642. <https://www.mdpi.com/2624-6511/4/2/32>
26. Li, D.C.; Lin, M.Y.C.; Chou, L.D. Macroscopic Big Data Analysis and Prediction of Driving Behavior With an Adaptive Fuzzy Recurrent Neural Network on

- the Internet of Vehicles. IEEE Access 2022, 10, 47881–47895. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9765502>
27. Kotalova, N.; Michalcova, L.; Rehak, D.; Kralova, K. Sharing and Providing Information to Protect Soft Targets in the Railway Infrastructure. *Transp. Res. Procedia* 2021, 55, 1759–1766. <https://tinyurl.com/2bowuj3s>
28. Mo, T.; Lau, K.-t.; Li, Y.; Poon, C.-k.; Wu, Y.; Chu, P.K.; Luo, Y. Commercialization of EVs in Hong Kong. *Energies* 2022, 15, 942. <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/3/942>
29. Gannavaram V, T.K.; Bejgam, R. Brief Study and Review on the Next Revolutionary Autonomous Vehicle Technology. In *Proceedings of the 2021 International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE)*, Greater Noida, India, 4–5 March 2021; pp. 34–37. <https://tinyurl.com/2a58dbdn>
30. Xu, W.; Yan, C.; Jia, W.; Ji, X.; Liu, J. Analyzing and Enhancing the Security of Ultrasonic Sensors for Autonomous Vehicles. *Internet Things J. IEEE* 2018, 5, 5015–5029. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8451864>
31. Royo, S.; Ballesta-Garcia, M. An Overview of Lidar Imaging Systems for Autonomous Vehicles. *Appl. Sci.* 2019, 9, 4093. <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/19/4093>
32. Khamis, A. Smart Mobility: Foundational Technologies. In *Smart Mobility: Exploring Foundational Technologies and Wider Impacts*; Apress: Berkeley, CA, USA, 2021; pp. 21–73. <https://tinyurl.com/272h4r5l>
33. Mauler, L.; Duffner, F.; Zeier, W.G.; Leker, J. Battery cost forecasting: A review of methods and results with an outlook to 2050. *Energy Environ. Sci.* 2021, 14, 4712–4739. <https://tinyurl.com/28nl6o5s>
34. Scanlon, J.M.; Kusano, K.D.; Daniel, T.; Alderson, C.; Ogle, A.; Victor, T. Waymo simulated driving behavior in reconstructed fatal crashes within an autonomous vehicle operating domain. *Accid. Anal. Prev.* 2021, 163, 106454. <https://tinyurl.com/2cenypv9>

35. X-engineer.org. EV design – battery calculation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://x-engineer.org/ev-design-battery-calculation/>
36. Saraswathi V.N., Ramachandran V.P. A comprehensive review on charger technologies, types, and charging stations models for electric vehicles // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, No. 20. – e38945. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e38945. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024149766>
37. Wang H. et al. Seasonal Load Statistics of EV Charging and Battery Swapping Stations Based on Gaussian Mixture Model for Charging Strategy Optimization in Electric Power Distribution Systems // Energies. – 2025. – Vol. 18, No. 20. – Article 5504. – DOI: 10.3390/en18205504. – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/18/20/5504>
38. Akshay K.C., Hannah Grace G., Gunasekaran K., Samikannu R. Power consumption prediction for electric vehicle charging stations and forecasting income // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – Article 6497. – DOI: 10.1038/s41598-024-56507-2. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-56507-2>
39. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII (у редакції від 12.09.2025). – Верховна Рада України. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
40. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Затверджене наказом Держнаглядохоронпраці України від 26.01.2005 № 15 (із змінами згідно з наказом від 29.08.2024 № 22778).
41. ДСТУ 12.0.003-74*. ССБТ. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Класифікація.
42. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. Затверджені наказом Держкомітету України по нагляду за охороною праці від 06.10.1997 № 257 (із змінами від 25.02.2000 № 26). <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0011-98>

43. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Затверджені наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 № 476. – К., 2017.
44. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Електробезпека. Гранично допустимі значення напруги дотику і струмів. М., 1982.
45. Яцейко А. Я., Бахор З. М. Система онлайн-моніторингу ізоляції високовольтних введів 330 кВ. Електроенергетичні та електромеханічні системи. 2022. № 1 (5). С. 15–23. <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2023/feb/29841/maketno42022doi-17-25.pdf>
46. DOLD VARIMETER IMD RN 5897/020. Insulation monitor for DC charging stations. E. Dold & Söhne GmbH & Co. KG. <https://www.dold.com/en/company/news/insulation-monitoring-for-dc-charging-stations>