

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Інженерії машин, споруд та технологій
(назва факультету)
Автомобілів
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(назва освітнього ступеня)
на тему: Розробка підходу до реалізації транспортного засобу
з електричним приводом з зарядним пристроєм від відновлювальних
джерел енергії

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МАМ-63
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

	(підпис)	Ревак Д.Ю.	(прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Міронов Д.В.	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Хорошун Р.В.	(прізвище та ініціали)
Зав. кафедри	(підпис)	Цьонь О.П	(прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)		(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«12» листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Ревак Дмитро Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка підходу до реалізації транспортного засобу
з електричним приводом з зарядним пристроєм від відновлювальних
джерел енергії

Керівник роботи Міронов Дмитро Вікторович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 11 » листопада 2024 року № 4/7-1080

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики електричних і гібридних
автомобілів. Дані по сонячній інсоляції в регіонах України.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.
4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних
ситуаціях.

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

Аналіз розвитку ринку електромобілів – 1А1.

Ефективність використання ВДЕ для різних регіонів України – 1А1.

Класифікація основних типів електро- і гібридних транспортних засобів – 2А1.

Схемотехнічні рішення для побудови мережі зарядних пристроїв на базі
відновлювальних джерел енергії – 1А1.

Електрична схема зарядної станції на базі ВДЕ – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Безпека в надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі
завдання

12.11.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	25.11.2024	
2	Технологічний розділ	04.12.2024	
3	Конструкторський розділ	11.12.2024	
4	Науково-дослідний розділ	18.12.2024	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	18.12.2024	
6	Оформлення графічної частини	20.12.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	27.12.2024	

Студент

(підпис)

Ревак Д.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Міронов Д.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Розробка підходу до реалізації транспортного засобу з електричним приводом з зарядним пристроєм від відновлювальних джерел енергії».

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка концепції реалізації зарядних станцій для електромобілів на базі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Це дозволить сприяти розвитку екологічного транспорту, оптимізувати використання відновлювальних ресурсів, а також знизити викиди вуглекислого газу.

Основні завдання, які необхідно вирішити у роботі:

- дослідити сучасні тенденції розвитку ринку електричного та гібридного транспорту;
- проаналізувати стан розвитку відновлювальної енергетики у світі та Україні;
- визначити основні типи електричних транспортних засобів та їх потреби у зарядних станціях;
- розробити та проаналізувати схемотехнічні рішення для мереж зарядних пристроїв, які базуються на ВДЕ;
- розробити математичну модель процесу заряду тягової акумуляторної батареї (АКБ) від зарядної станції;
- сформулювати рекомендації з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях для об'єктів, де встановлюватимуться зарядні станції.

Перший розділ кваліфікаційної роботи магістра «Загально-технічний розділ» включає в себе аналіз сучасних тенденцій розвитку ринку електричного та гібридного транспорту, а також оцінку поточного стану відновлювальної енергетики у світі та Україні.

Другий розділ кваліфікаційної роботи магістра «Технологічний розділ» містить класифікацію основних видів електричних та гібридних транспортних засобів, а також аналіз схемотехнічних рішень для побудови мережі зарядних пристроїв на базі відновлювальних джерел енергії.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи магістра «Конструкторський розділ» проведено аналіз основних типів зарядних пристроїв для електромобілів, а також розраховано схемотехнічні рішення для вузлів зарядних станцій, які використовують відновлювальні джерела енергії.

Четвертий розділ кваліфікаційної роботи магістра «Науково-дослідний розділ» містить розробку математичної моделі процесу заряду тягової акумуляторної батареї від зарядної станції, що працює на базі відновлювальних джерел енергії.

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто основні принципи та функції управління охороною праці на виробництві, а також концепцію захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 72 сторінок формату А4 та 6 аркушів формату А1 графічної частини і 6 сторінок додатків.

Ключові слова: електромобіль, автономне електропостачання, сонячна інсоляція, електростанція, сонячний модуль, контролер, акумуляторна батарея.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Сучасні тенденції розвитку ринку електро- і гібридних транспортних засобів	9
1.2 Аналіз і оцінка сучасного стану відновлювальної енергетики в Україні	16
1.3 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу	20
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	22
2.1 Класифікація основних видів електро- і гібридних транспортних засобів	22
2.2 Аналіз схемотехнічних рішень для побудови мережі зарядних пристроїв на базі відновлювальних джерел енергії	28
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	39
3.1 Аналіз основних типів зарядних пристроїв електро- і гібридних транспортних засобів	39
3.2 Розрахунок схемотехнічних рішень для вузлів мережі зарядних станцій на базі відновлювальних джерел енергії	47
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	55
4.1 Розробка математичної моделі процесу заряду тягової АКБ від зарядної станції на базі відновлювального джерела енергії	55
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
5.1 Основні принципи та функції управління охороною праці на виробництві	63
5.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	70
БІБЛІОГРАФІЯ	71
ДОДАТКИ	73

ВСТУП

Сучасний світовий розвиток транспортної індустрії демонструє значне зростання інтересу до електрифікації колісного транспорту. Основними причинами цього явища є необхідність скорочення викидів парникових газів, боротьба зі змінами клімату та потреба зменшення залежності від викопного палива, яке має обмежені запаси. Електромобілі, завдяки своїй екологічності, енергоефективності та можливості інтеграції з сучасними технологіями, стали перспективною альтернативою традиційним транспортним засобам з двигунами внутрішнього згоряння.

Використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) є перспективним шляхом підвищення енергоефективності електромобільності. ВДЕ, такі як сонячна та вітрова енергія, дозволяють забезпечити сталу та екологічну генерацію електроенергії для зарядки електромобілів. Завдяки цьому знижується вуглецевий слід, підвищується енергетична незалежність та забезпечується довготривала стабільність енергопостачання.

На основі аналізу сучасних тенденцій розвитку електромобільності та ВДЕ обрана тема дослідження, яка спрямована на розробку концепції зарядних станцій для електромобілів, що базуються на ВДЕ. Актуальність цієї теми зумовлена необхідністю інтеграції екологічно чистих джерел енергії у транспортну інфраструктуру для забезпечення сталого розвитку та підвищення енергетичної ефективності. Запропонована структура роботи дозволяє послідовно вирішити науково-технічні завдання, спрямовані на досягнення цієї мети.

Метою роботи є розробка концепції реалізації зарядних станцій для електромобілів на базі відновлювальних джерел енергії, яка включає аналіз сучасного стану, вибір оптимальних схемотехнічних рішень та формування рекомендацій для розгортання мережі таких станцій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Дослідити сучасні тенденції розвитку ринку електричного та гібридного транспорту.

2. Проаналізувати стан відновлювальної енергетики в Україні та світі.
3. Розробити класифікацію основних видів електричних транспортних засобів та їх потреб у зарядних станціях.
4. Виконати аналіз та вибір схемотехнічних рішень для побудови зарядних пристроїв на базі ВДЕ.
5. Розробити математичну модель процесу заряду тягової АКБ від зарядної станції.
6. Сформулювати рекомендації з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях для об'єктів інфраструктури зарядних станцій.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Сучасні тенденції розвитку ринку електро- і гібридних транспортних засобів

На сьогоднішній день електромобільність переживає стрімке зростання в усьому світі. Згідно зі звітом Міжнародного енергетичного агентства (ІЕА) [1], станом на 2023 рік глобальні продажі електромобілів досягли рекордних 14 мільйонів одиниць, що становить близько 14% від загального обсягу продажів легкових автомобілів. Це свідчить про те, що електромобілі поступово стають масовим явищем, а їхній ринок продовжує демонструвати високі темпи зростання.

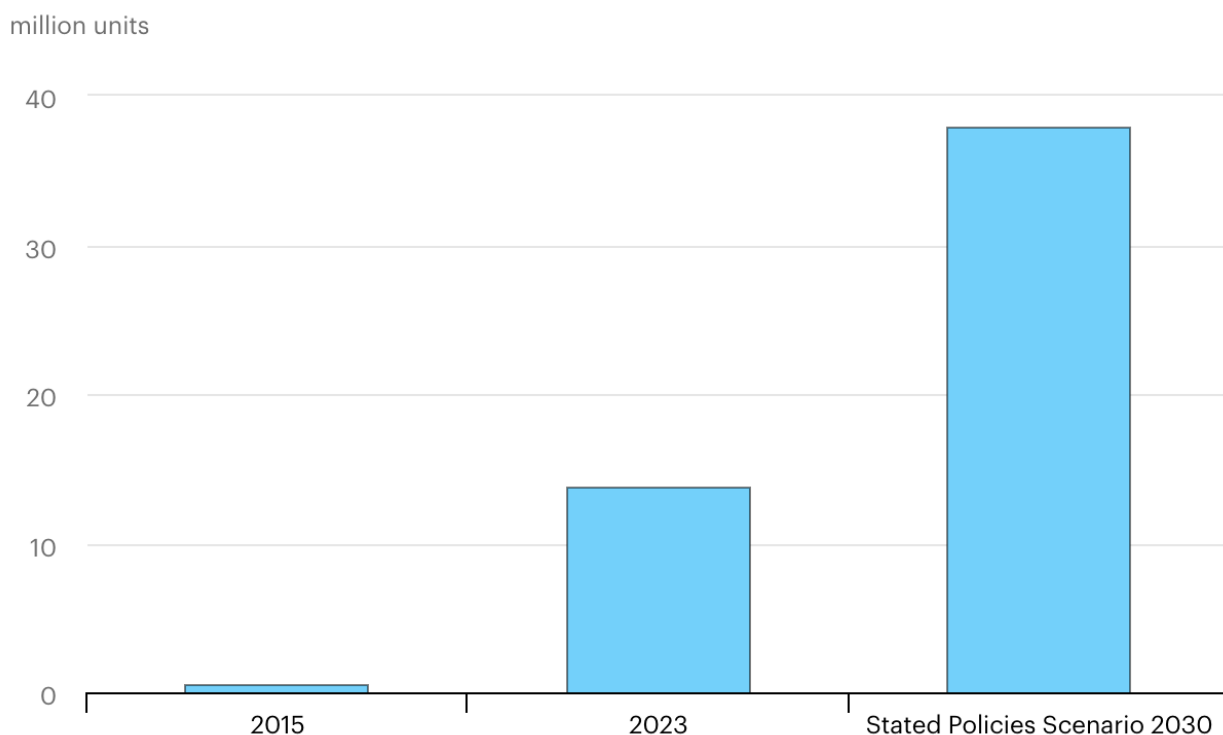


Рисунок 1.1 – Кількість реалізацій електро- і гібридних авто у світі

Основними причинами такого розвитку є потреба у зменшенні негативного впливу транспорту на навколишнє середовище, зниження викидів парникових газів та боротьба зі змінами клімату. Традиційний транспорт, який використовує викопне паливо, є одним із найбільших джерел викидів вуглекислого газу, і

електромобілі пропонують ефективну альтернативу. За оцінками, один електромобіль за весь свій життєвий цикл може скоротити викиди CO₂ на 50–70% порівняно з автомобілем, що працює на бензині чи дизелі.

Різні країни світу активно впроваджують політики, які стимулюють перехід населення на електромобілі. Наприклад, у Норвегії, де електромобільність є найбільш розвиненою, понад 80% нових автомобілів, проданих у 2023 році, були електричними. Це стало можливим завдяки запровадженню масштабних пільг: звільнення від податків на купівлю автомобіля, безкоштовне паркування, знижки на платні дороги та доступ до смуг громадського транспорту.

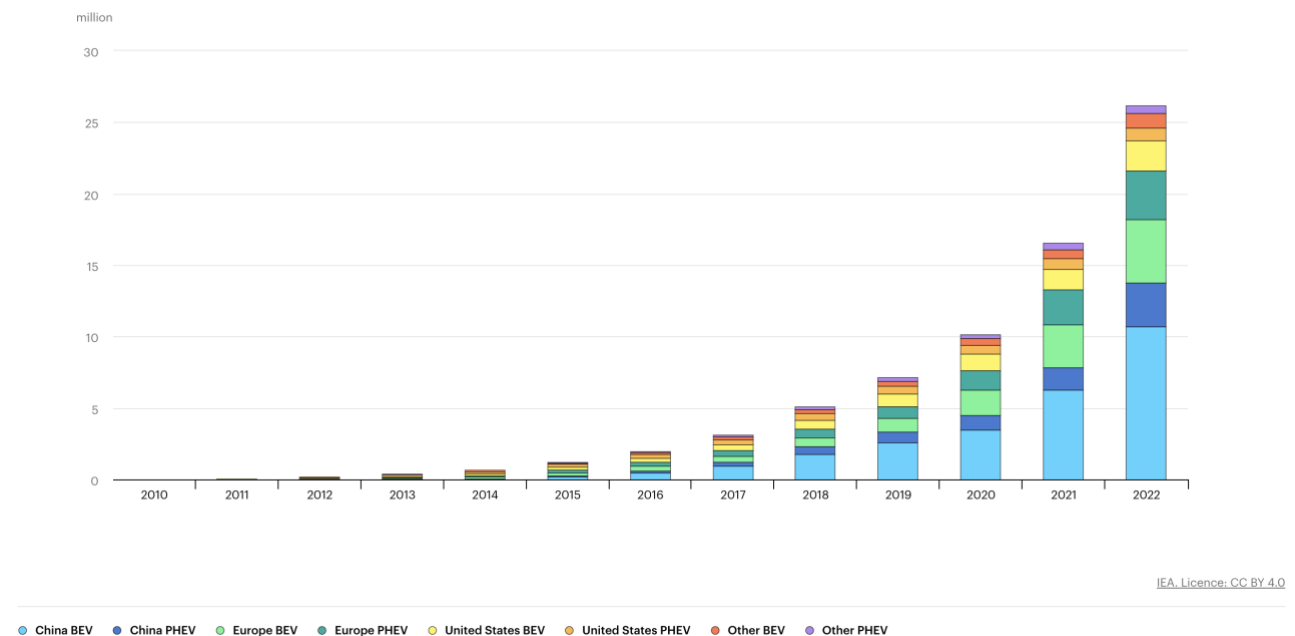


Рисунок 1.2 – Зміна кількості продажів електроавтомобілів у розрізі країн

У Китаї, найбільшому ринку електромобілів, уряд інвестує значні кошти у субсидії для покупців електротранспорту та розвиток зарядної інфраструктури. У 2023 році Китай перевищив позначку у 15 мільйонів електромобілів на дорогах країни, що є результатом комплексної підтримки галузі, включаючи податкові пільги та встановлення понад 4 мільйони громадських зарядних станцій.

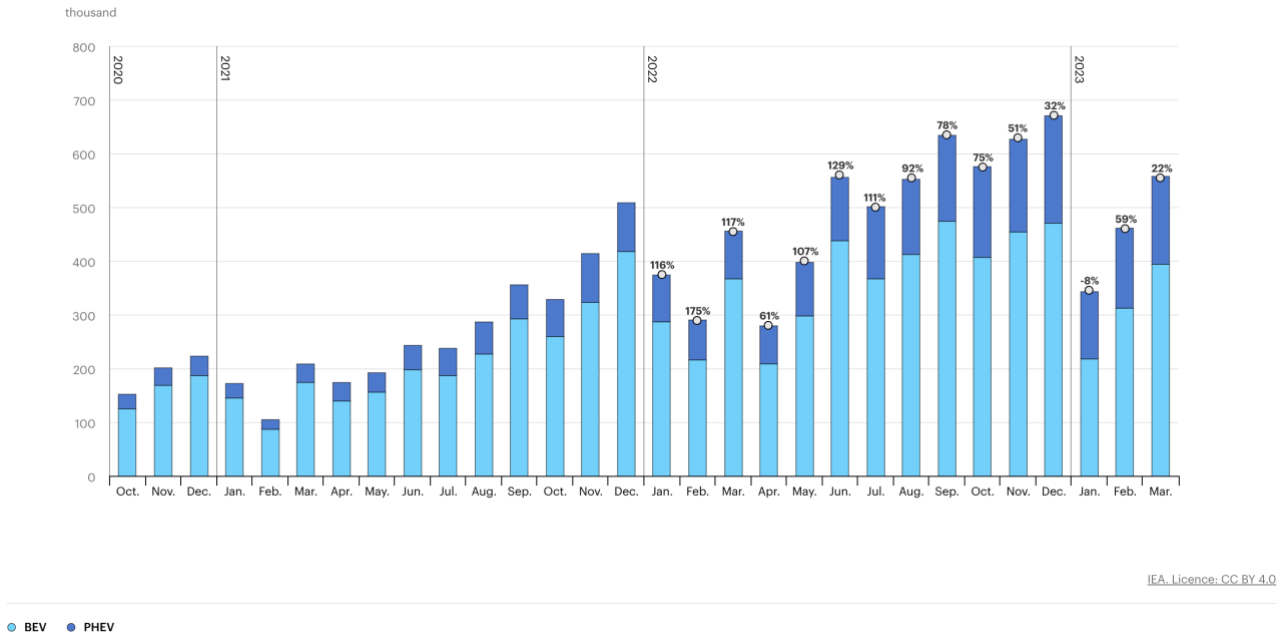


Рисунок 1.3 – Продажі гібридних і електроавто в Китаї

Європейський Союз також активно підтримує електромобільність через амбітні кліматичні цілі. Зокрема, директива "Fit for 55" передбачає, що до 2035 року всі нові автомобілі, продані в ЄС, повинні бути з нульовими викидами. У таких країнах, як Німеччина та Франція, уряди пропонують субсидії до 9 000 євро на купівлю електромобіля, а також податкові знижки для виробників екологічного транспорту.

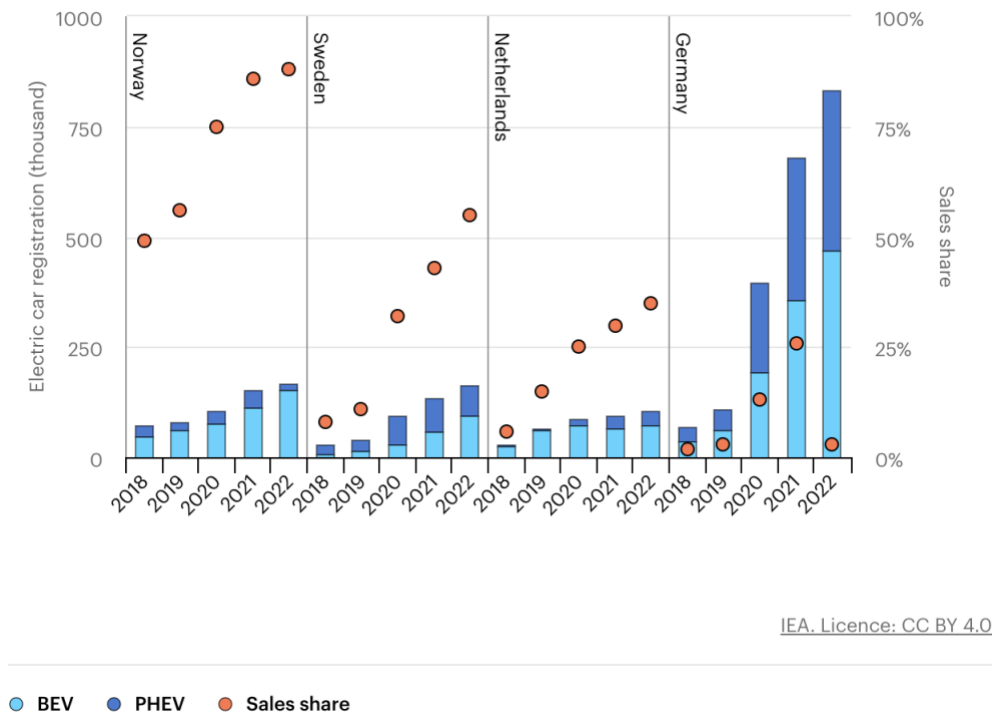


Рисунок 1.4 – Продажі гібридних і електроавто в Євросоюзі

США, зі свого боку, запровадили програму "Inflation Reduction Act", яка включає субсидії у розмірі до \$7 500 для покупців електромобілів, виготовлених на місцевому рівні. Завдяки цьому у 2023 році продажі електромобілів у США зросли на 65% порівняно з попереднім роком, а їхня частка у загальному обсязі продажів автомобілів досягла 8%.

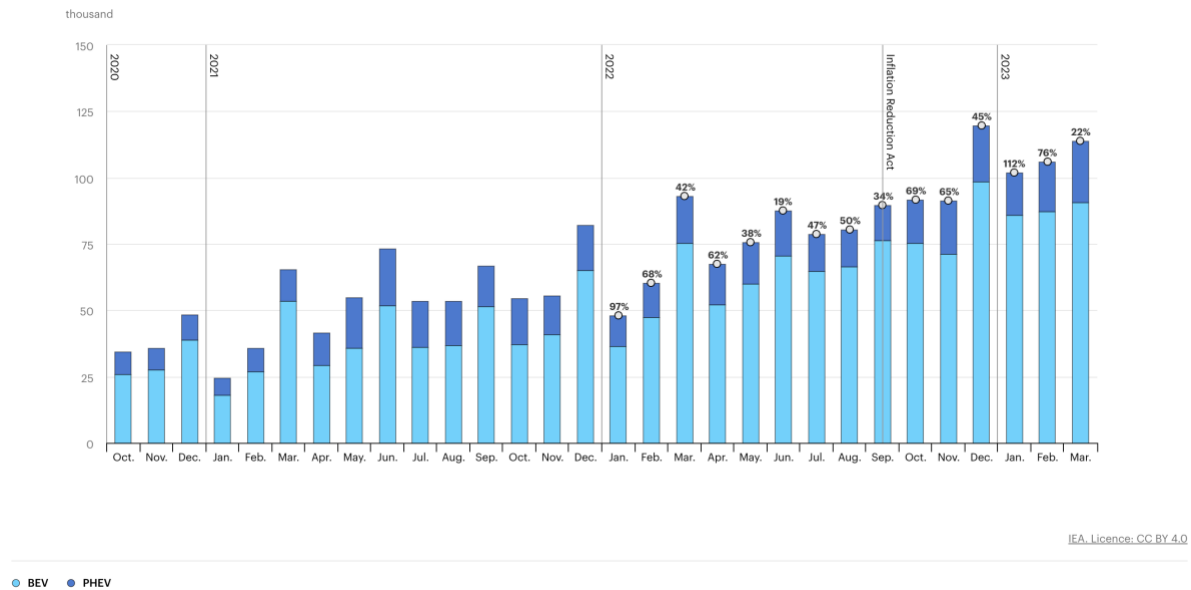


Рисунок 1.5 – Продажі гібридних і електроавто у США

Отже, розвиток електромобільності у світі є результатом як технологічного прогресу, так і активної державної політики. Екологічні переваги, фінансові стимули та зростаюча доступність зарядної інфраструктури роблять електромобілі дедалі популярнішим вибором для споживачів, формуючи основи сталого транспортного майбутнього.

В Україні розвиток електромобільності також набирає обертів, хоча й поступається провідним країнам світу за темпами впровадження. Станом на 2023 рік на дорогах України зареєстровано понад 60 тисяч електромобілів, що свідчить про поступове зростання попиту на екологічний транспорт. Однією з основних причин такої динаміки є зростання обізнаності населення про екологічні переваги електротранспорту, а також державні ініціативи, спрямовані на стимулювання переходу на електромобілі.

Український уряд запровадив низку податкових пільг для покупців електротранспорту. Зокрема, з 2018 року діє норма, яка звільняє від сплати ПДВ та акцизу на імпорту електромобілів. Ця ініціатива зробила електромобілі значно доступнішими для українських споживачів. Крім того, власники електротранспорту звільнені від сплати транспортного збору, що також сприяє зниженню витрат на їх утримання.

У великих містах, таких як Київ, Львів, Одеса та Харків, активно розвивається зарядна інфраструктура. Уряд спільно з приватними інвесторами сприяє встановленню громадських зарядних станцій, що робить експлуатацію електромобілів більш зручною. На початок 2023 року в Україні діяло понад 3 500 зарядних станцій, і їх кількість продовжує зростати.

Також на місцевому рівні запроваджуються ініціативи, спрямовані на популяризацію електромобілів. Наприклад, у Києві електромобілі мають право безкоштовного паркування на муніципальних стоянках, а у Львові впроваджено систему спеціальних преференцій для компаній, які займаються перевезеннями на електротранспорті.

Ще одним стимулом є активна роль бізнесу. Великі корпорації, що працюють в Україні, дедалі частіше інвестують у розвиток електромобільності, включаючи зарядні станції та сервіси обслуговування електротранспорту.

Таким чином, в Україні поступово формуються сприятливі умови для переходу на електромобільність. Хоча масштаби та темпи цього процесу ще далекі від світових лідерів, державні ініціативи, підтримка бізнесу та зростаюча зацікавленість населення створюють перспективи для подальшого розвитку екологічного транспорту.

У розвинених країнах світу продажі електромобілів демонструють стабільне зростання, що свідчить про формування нового етапу у глобальній автомобільній індустрії. Станом на 2023 рік частка електромобілів у загальному обсязі продажів нових автомобілів досягла 14%, тоді як ще у 2020 році цей показник становив лише 4%. Такий приріст обумовлений розвитком технологій, зниженням вартості батарей, масштабними державними програмами субсидій та

зростанням попиту серед споживачів, які дедалі більше звертають увагу на екологічність транспортних засобів.

Наприклад, у Норвегії частка електромобілів перевищила 80% у загальному обсязі продажів автомобілів у 2023 році, що є результатом масштабної підтримки уряду. У Китаї електромобілі становили близько 30% від усіх проданих автомобілів, що закріплює за країною статус найбільшого ринку електротранспорту. У Європейському Союзі середній показник досяг 20%, при цьому Німеччина, Франція та Великобританія демонструють найвищі темпи зростання. У США, завдяки новим федеральним субсидіям, частка електромобілів зросла до 8%. Загалом світовий тренд вказує на те, що електромобілі поступово займають значне місце у транспортній екосистемі, замінюючи автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння.

В Україні темпи зростання продажів електромобілів також є позитивними, хоча й значно поступаються розвиненим країнам. У 2023 році на українському ринку було реалізовано понад 15 тисяч нових та вживаних електромобілів, що на 30% більше, ніж у попередньому році. Частка електромобілів у загальному обсязі продажів нових автомобілів в Україні залишається невеликою, близько 5%, але цей показник постійно зростає.

Це зростання пов'язане з доступністю вживаних електромобілів, які імпортуються з Європи та США, а також із розвитком зарядної інфраструктури, яка стає дедалі більш поширеною у великих містах. Наприклад, серед найпопулярніших моделей, які купують в Україні, є Nissan Leaf, Tesla Model 3 та Renault Zoe, що відображає прагнення українців до доступних та енергоефективних рішень.

У Норвегії у 2023 році продано понад 140 тисяч електромобілів, що становить понад 80% загального обсягу продажів. Китай реалізував близько 6 мільйонів електромобілів, що робить його світовим лідером за абсолютними показниками. У Німеччині продано 1,4 мільйона електромобілів, у Франції – 750 тисяч, а у Великобританії – 660 тисяч. У США продажі досягли 1,2 мільйона автомобілів. У менш населених країнах, таких як Нідерланди та Швеція, було

продано 400 тисяч та 250 тисяч електромобілів відповідно, що становить значні частки їхніх ринків.

В Україні, як зазначено, продано 15 тисяч електромобілів, що демонструє значну різницю у масштабах порівняно з розвиненими країнами. Проте зростання продажів на 30% щороку є свідченням формування стійкого ринку електротранспорту, який поступово інтегрується в транспортну екосистему країни.

У розвинених країнах світу електромобілі поступово починають витіснити автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), демонструючи стабільне зростання частки у загальному обсязі продажів нових транспортних засобів. У країнах Європейського Союзу середня частка електромобілів у продажах у 2023 році досягла 20%, а у Норвегії цей показник перевищив 80%, що свідчить про близький кінець епохи ДВЗ у цій країні. У Китаї, найбільшому ринку електромобілів, електричні транспортні засоби вже займають близько 30% ринку, тоді як у США – 8%. Водночас продажі автомобілів з ДВЗ поступово скорочуються, оскільки уряди країн вводять все більше обмежень на використання автомобілів із традиційними двигунами через їхній вплив на екологію.

В Україні ситуація суттєво відрізняється. Автомобілі з ДВЗ досі домінують на ринку, складаючи понад 90% продажів нових транспортних засобів. Це пов'язано з тим, що ринок електромобілів перебуває на етапі становлення, а значна частина електротранспорту, який купується, – це вживані автомобілі, завезені з Європи та США. Однак варто зазначити, що в Україні відзначається зростання попиту на електромобілі, і їхня частка продажів поступово збільшується, досягаючи 5% у 2023 році.

У розвинених країнах фактори на користь електромобілів включають широкий доступ до зарядної інфраструктури, масштабні державні субсидії, податкові пільги та обмеження на використання автомобілів із ДВЗ. У таких країнах, як Норвегія, Франція чи Нідерланди, уряди встановлюють дедлайни щодо припинення продажів нових автомобілів з ДВЗ, що стимулює споживачів переходити на електротранспорт.

В Україні, навпаки, електромобілі поки що сприймаються як нішева альтернатива через обмежену кількість зарядних станцій та слабшу фінансову підтримку з боку держави. Проте звільнення від ПДВ та акцизів на імпорту електромобілів дає змогу дещо збільшити їхню привабливість.

Загалом порівняльний аналіз свідчить, що у розвинених країнах електромобілі вже починають домінувати на автомобільному ринку, тоді як в Україні вони лише поступово входять у масовий сегмент. Водночас глобальний тренд на користь електромобільності демонструє, що і в Україні попит на електротранспорт буде продовжувати зростати, особливо за умов покращення зарядної інфраструктури та додаткової підтримки з боку держави.

1.2 Аналіз і оцінка сучасного стану відновлювальної енергетики в Україні

Відновлювальна енергетика в Україні демонструє позитивну динаміку розвитку, поступово інтегруючись у загальну енергосистему країни. Станом на 2023 рік частка електроенергії, виробленої з відновлювальних джерел, становить приблизно 15% від загального виробництва електроенергії в Україні. Основними видами ВДЕ, які використовуються в Україні, є сонячна енергія, вітрова енергія, гідроенергія та біоенергетика [2].

Сонячна енергетика займає провідне місце серед відновлювальних джерел, забезпечуючи близько 8% від загального виробництва електроенергії у країні. Значну кількість сонячних електростанцій (СЕС) зосереджено у південних регіонах, таких як Одеська, Миколаївська, Херсонська та Запорізька області, які мають високий рівень сонячної інсоляції. Наприклад, у Запорізькій області розташована одна з найбільших СЕС в Україні – «Солар Парк Підгородне», що генерує понад 200 МВт енергії.

Вітрова енергетика також є важливим компонентом відновлювальної енергетики України, забезпечуючи приблизно 4% від загального виробництва. Найбільший потенціал для розвитку вітрових електростанцій (ВЕС) спостерігається у південних та східних регіонах, таких як Миколаївська,

Запорізька та Донецька області. Особливе значення мають прибережні території, де вітрові потоки забезпечують стабільну генерацію енергії. У Миколаївській області діє одна з найбільших ВЕС – «Приморська», встановлена потужність якої перевищує 200 МВт.

Гідроенергетика, включаючи великі та малі гідроелектростанції (ГЕС), залишається традиційним джерелом відновлювальної енергії. Її частка становить близько 2-3% у загальному балансі електроенергії. Найбільш значущими об'єктами гідроенергетики є ДніпроГЕС та інші станції каскаду на річці Дніпро, які забезпечують стабільне виробництво електроенергії навіть у періоди нестачі інших джерел [3].

Біоенергетика, хоча й займає меншу частку, близько 1%, демонструє значний потенціал для зростання, особливо у центральних та західних регіонах країни. Біогазові установки та станції, що працюють на біомасі, активно будуються на базі агропромислових підприємств. Зокрема, у Вінницькій області працює біогазовий комплекс потужністю понад 15 МВт, який використовує відходи аграрного виробництва.

Загалом, розвиток відновлювальної енергетики в Україні має значні перспективи. Високий природний потенціал сонячної та вітрової енергії у південних та східних регіонах, у поєднанні з поступовим удосконаленням інфраструктури та державною підтримкою, створюють передумови для подальшого збільшення частки ВДЕ у загальному енергетичному балансі країни.

Державна підтримка та законодавча база відіграють ключову роль у стимулюванні розвитку відновлювальної енергетики (ВДЕ) в Україні. Протягом останніх років уряд запровадив низку ініціатив, спрямованих на створення сприятливих умов для інвесторів та розвитку інфраструктури ВДЕ. Однією з основних програм є «зелений тариф», який забезпечує підвищену оплату за електроенергію, вироблену з відновлювальних джерел. Цей механізм, запроваджений ще у 2009 році, дозволив залучити значні інвестиції у будівництво сонячних, вітрових та біоенергетичних станцій. Станом на 2023 рік Україна є однією з країн з найвищими тарифами для виробників ВДЕ, що сприяло введенню в експлуатацію понад 10 ГВт потужностей.

Законодавство України також передбачає звільнення обладнання для ВДЕ від імпорتنих мит та ПДВ, що значно знижує вартість будівництва нових станцій. Такий підхід зробив технології ВДЕ доступнішими для інвесторів та компаній, зацікавлених у переході на екологічно чисту енергетику[4].

Окрім цього, ухвалення закону «Про альтернативні джерела енергії» визначило загальні принципи та стандарти для розвитку ВДЕ в Україні. Згідно з цією законодавчою базою, країна має амбітну ціль – досягти 25% частки відновлювальної енергетики у загальному енергобалансі до 2035 року.

Програми стимулювання розвитку ВДЕ також підтримуються міжнародними організаціями. Наприклад, Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР) надав Україні кредити на суму понад 500 мільйонів євро для реалізації проектів у сфері ВДЕ. Це дозволило профінансувати будівництво сонячних і вітрових електростанцій, а також модернізацію існуючої енергетичної інфраструктури.

Значною ініціативою останніх років стало впровадження аукціонної системи підтримки ВДЕ, що замінила «зелений тариф». Ця система дозволяє проводити відкриті торги, у яких проекти з найнижчою ціною продажу електроенергії отримують державну підтримку. Завдяки цьому процес став більш прозорим, а конкуренція між інвесторами сприяє зниженню вартості відновлювальної енергетики.

Уряд також підтримує розвиток мікрогенерації ВДЕ для домогосподарств. Програми, які забезпечують «зелений тариф» для домашніх сонячних панелей, дозволили тисячам українських родин не лише скоротити власні витрати на електроенергію, але й отримати прибуток від продажу її надлишків у загальну мережу. Станом на 2023 рік в Україні понад 50 тисяч домогосподарств встановили сонячні панелі.

Таким чином, Україна демонструє активну підтримку ВДЕ через широкий спектр програм, пільг та законодавчих ініціатив. Однак, для забезпечення сталого розвитку необхідно вирішувати питання стабільності фінансування, модернізації мереж та покращення управління у сфері відновлюваної енергетики.

Розвиток відновлювальної енергетики (ВДЕ) в Україні стикається з низкою технічних, економічних та інфраструктурних бар'єрів, які уповільнюють її розширення. Одним із основних технічних викликів є недостатня потужність та зношеність енергетичної інфраструктури. Багато енергомереж в Україні не пристосовані до інтеграції змінних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергетика. Застарілі трансформатори та підстанції часто не можуть ефективно розподіляти електроенергію, що створює ризики перевантаження мережі, особливо в регіонах з великою концентрацією ВДЕ.

Економічні бар'єри включають обмежений доступ до фінансування для малих та середніх інвесторів. Хоча великі компанії можуть залучати кредити або інвесторів, менш масштабні проекти часто стикаються з високими кредитними ставками та недостатньою державною підтримкою. Висока вартість обладнання, попри пільги, залишається серйозною перепорою для розвитку нових проектів, особливо у випадку з біоенергетикою, де необхідна додаткова інфраструктура для збору та переробки біомаси.

Інфраструктурні проблеми пов'язані із недостатньо розвинутою зарядною мережею для електротранспорту та відсутністю інтегрованих систем зберігання енергії. Відсутність достатньої кількості акумуляторних станцій обмежує можливість балансування енергомережі, особливо в умовах нерівномірного виробництва енергії з ВДЕ. Ця проблема особливо актуальна для сонячної енергетики, яка має пік генерації вдень, коли споживання енергії часто є нижчим [5].

Однак, попри ці бар'єри, перспективи розвитку ВДЕ в Україні залишаються значними. Країна володіє потужним природним потенціалом, особливо у сфері сонячної та вітрової енергетики. За оцінками міжнародних організацій, Україна здатна збільшити потужності ВДЕ до 20–25 ГВт до 2030 року, якщо будуть усунуті ключові перешкоди.

Серед можливих шляхів вирішення технічних проблем є модернізація енергомереж та впровадження сучасних систем управління енергетикою. Використання смарт-мереж дозволить підвищити ефективність інтеграції ВДЕ, а будівництво батарейних сховищ енергії допоможе забезпечити стабільність

енергопостачання. Урядові інвестиції в модернізацію інфраструктури, зокрема через співпрацю з міжнародними організаціями, здатні значно прискорити цей процес.

Щодо економічних бар'єрів, одним із рішень може стати вдосконалення системи аукціонів для ВДЕ, яка забезпечить прозоріші умови фінансування проектів. Залучення міжнародних інвесторів через створення стабільного законодавчого середовища та додаткові фінансові стимули також здатні підвищити доступність ресурсів для розвитку галузі.

Інфраструктурні виклики можуть бути подолані через розширення мережі зарядних станцій, інтеграцію відновлювальних джерел із системами зберігання енергії, а також розвиток локальних ініціатив із мікрогенерації. Наприклад, розвиток програм підтримки для домогосподарств із встановленням сонячних панелей та мікротурбін може значно розширити використання ВДЕ на місцевому рівні.

Таким чином, хоча Україна стикається зі значними бар'єрами у розвитку ВДЕ, існують реалістичні шляхи для їх подолання. Успішна реалізація цих рішень дозволить не лише збільшити частку ВДЕ у загальному енергетичному балансі, але й зміцнити енергетичну безпеку країни, створити нові робочі місця та сприяти екологічній стабільності.

1.3 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу

Розвиток електромобільності та відновлювальної енергетики є одним із ключових напрямків сучасної транспортної та енергетичної політики у світі та в Україні. Зростання попиту на електромобілі зумовлене глобальними екологічними викликами, прагненням до зниження залежності від викопного палива та державними ініціативами, спрямованими на стимулювання переходу до екологічно чистого транспорту. Водночас Україна має значний потенціал для розвитку відновлювальної енергетики, однак стикається з технічними, економічними та інфраструктурними викликами, які потребують вирішення. Об'єднання електромобільності та ВДЕ створює перспективи для формування

сталої енергетичної інфраструктури, зниження викидів парникових газів та підвищення енергетичної незалежності країни.

Обрана тема роботи є актуальною, оскільки інтеграція зарядних станцій для електромобілів на базі відновлювальних джерел енергії відповідає сучасним світовим тенденціям та сприяє вирішенню екологічних, економічних та соціальних проблем.

Задачі, які необхідно вирішити у наступних розділах:

1. Проаналізувати сучасний стан електромобільності та відновлювальної енергетики у світі та в Україні.
2. Розробити класифікацію електричних транспортних засобів та визначити їх потреби у зарядній інфраструктурі.
3. Дослідити можливі схемотехнічні рішення для побудови зарядних станцій на базі ВДЕ, враховуючи технічні та економічні параметри.
4. Розрахувати оптимальні схемотехнічні рішення для вузлів зарядних станцій, включаючи розрахунок необхідних потужностей та вибір елементів.
5. Розробити математичну модель процесу заряду тягової акумуляторної батареї від зарядної станції з використанням енергії ВДЕ.
6. Сформулювати рекомендації щодо інтеграції зарядних станцій у загальну енергетичну систему України.
7. Проаналізувати аспекти охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях для об'єктів зарядної інфраструктури.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Класифікація основних видів електро- і гібридних транспортних засобів

Електричні та гібридні транспортні засоби представляють сучасний напрямок розвитку автомобільної індустрії, що спрямований на зменшення залежності від викопного палива та зниження негативного впливу на довкілля.

Електромобіль – це транспортний засіб, який використовує електродвигун як єдине джерело руху. Енергія для роботи двигуна зберігається в акумуляторній батареї, яка заряджається від зовнішнього джерела електроенергії [6].

Гібридний автомобіль – це транспортний засіб, що має два джерела енергії: традиційний двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електродвигун. Завдяки цій комбінації гібридні авто поєднують переваги обох технологій, дозволяючи знизити витрату палива та викиди шкідливих речовин.

Різновиди електричних і гібридних транспортних засобів

1. Battery Electric Vehicle (BEV)

BEV – це повністю електричний транспортний засіб, який працює виключно на електродвигуні. Енергія для руху зберігається в акумуляторній батареї, яку необхідно періодично заряджати від зовнішнього джерела електроенергії. Цей тип авто не має ДВЗ або паливного бака, тому є екологічно чистим. BEV характеризуються низькими експлуатаційними витратами, відсутністю шкідливих викидів та простотою конструкції. Прикладами таких автомобілів є Tesla Model 3, Nissan Leaf і Chevrolet Bolt. Основними обмеженнями є залежність від зарядної інфраструктури та відносно невеликий запас ходу, який зазвичай становить 300–500 км.

2. Extended-Range Electric Vehicle (EREV)

EREV – це електромобіль із подовженим запасом ходу, який має додатковий невеликий двигун внутрішнього згоряння. ДВЗ у цьому випадку не використовується для прямого руху автомобіля, а виконує функцію генератора для зарядки батареї, коли вона розряджається. Це дозволяє значно збільшити

запас ходу автомобіля, зберігаючи при цьому переваги електротранспорту.

Прикладом такого авто є Chevrolet Volt.

3. Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)

PHEV – це гібридний автомобіль, який можна заряджати від зовнішнього джерела електроенергії. Він має більшу батарею, ніж у традиційних гібридів, що дозволяє проїжджати значні відстані виключно на електротязі (зазвичай 30–70 км). Коли батарея розряджається, автомобіль автоматично перемикається на використання ДВЗ. Це забезпечує гнучкість у використанні, оскільки водій може обирати між електричним і паливним режимами залежно від умов. Прикладами є Toyota Prius Prime та Mitsubishi Outlander PHEV.

4. Hybrid Electric Vehicle (HEV)

HEV – це класичний гібридний автомобіль, який не вимагає зарядки від зовнішнього джерела. У ньому ДВЗ працює разом із електродвигуном для забезпечення руху. Енергія для роботи електродвигуна отримується за рахунок рекуперативного гальмування, коли кінетична енергія перетворюється в електричну. HEV характеризуються економічністю та зниженими викидами порівняно з традиційними автомобілями. Одним із найвідоміших прикладів є Toyota Prius.

Таким чином, кожен із цих типів транспортних засобів має свої особливості, переваги та обмеження, які визначають їхню придатність для різних умов використання. BEV акцентується на екологічності, EREV забезпечує більший запас ходу, PHEV пропонує універсальність, а HEV відзначається доступністю та економічністю. Усі ці види відіграють важливу роль у поступовому переході до сталого транспорту.

2.1.1. Battery Electric Vehicle (BEV)

Battery Electric Vehicle (BEV) – це повністю електричний транспортний засіб, який функціонує виключно за рахунок електродвигуна [7]. Енергія для руху зберігається в акумуляторній батареї, яка заряджається від зовнішнього джерела електроенергії, наприклад, зарядної станції або домашнього зарядного пристрою. BEV не мають двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), паливного бака

чи системи вихлопу, що робить їх екологічно чистими та сприяє зниженню шкідливих викидів.

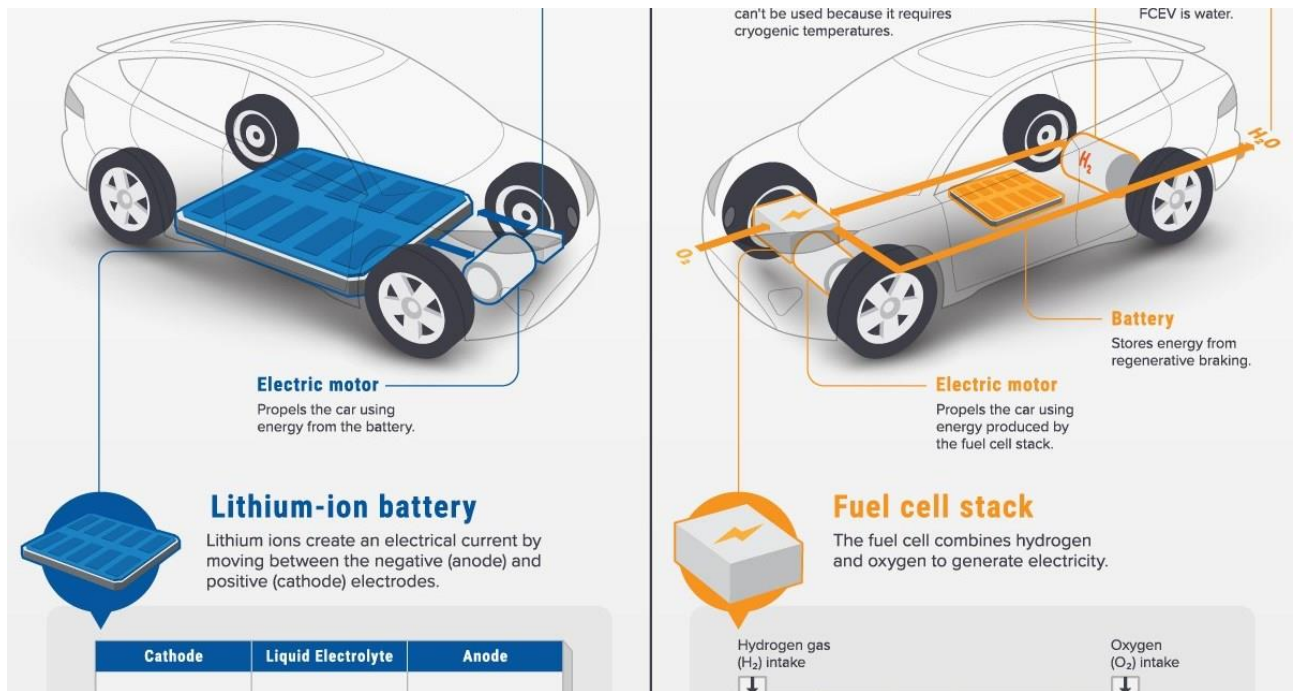


Рисунок 2.1 – Типологія електромобілів (BEV)

Принцип роботи BEV полягає у перетворенні електричної енергії, що зберігається в батареї, на механічну енергію через електродвигун. Електронний контролер регулює потужність двигуна залежно від натискання педалі акселератора, забезпечуючи плавний розгін і ефективне використання енергії. Під час гальмування застосовується система рекуперативного гальмування, яка повертає частину кінетичної енергії назад у батарею, підвищуючи енергоефективність автомобіля.

BEV зазвичай оснащені літій-іонними акумуляторними батареями, які характеризуються високою енергетичною щільністю та довгим терміном служби. Ємність батареї вимірюється в кіловат-годинах (кВт·год) і визначає запас ходу автомобіля. У сучасних BEV запас ходу коливається від 200 до 600 км на одному заряді залежно від моделі та умов експлуатації.

Електродвигуни BEV мають високий коефіцієнт корисної дії (до 90%), що забезпечує високу енергоефективність у порівнянні з ДВЗ. Потужність двигуна

варіюється від 100 до 500 кВт, залежно від класу автомобіля – від компактних міських моделей до спортивних електромобілів.

Інфраструктура зарядки є важливим елементом експлуатації BEV. Сучасні моделі підтримують кілька типів зарядки: повільну (AC), прискорену (AC) і швидку (DC). Швидка зарядка дозволяє зарядити батарею до 80% за 30–40 хвилин.

Серед найбільш відомих представників BEV можна виділити:

- Tesla Model 3 – один із найпопулярніших електромобілів у світі, що пропонує запас ходу до 580 км та розгін до 100 км/год за 3,3 секунди у версії Performance.
- Nissan Leaf – один із перших масових електромобілів, який має запас ходу до 385 км у сучасних версіях і є доступним варіантом для багатьох споживачів.
- Chevrolet Bolt EV – компактний електромобіль із запасом ходу до 416 км, який поєднує доступну ціну та хорошу продуктивність.
- Volkswagen ID.4 – електричний кросовер із запасом ходу до 520 км, орієнтований на сімейне використання.

Основними перевагами BEV є екологічність, низькі експлуатаційні витрати, простота обслуговування та відсутність шкідливих викидів. До обмежень належать залежність від зарядної інфраструктури, довший час зарядки порівняно із заправкою пального, а також висока початкова вартість автомобіля, хоча вона поступово знижується з розвитком технологій.

Таким чином, BEV є ключовим компонентом сучасного екологічного транспорту, який активно розвивається завдяки прогресу в технологіях батарей та зарядних пристроїв. Їхня популярність зростає у всьому світі, формуючи нову еру в автомобільній промисловості.

2.1.2. Hybrid Electric Vehicle (HEV)

Hybrid Electric Vehicle (HEV) – це гібридний транспортний засіб, який поєднує два джерела енергії: двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електродвигун [8]. Така комбінація забезпечує ефективне використання пального, зниження витрат палива та зменшення викидів шкідливих речовин.

HEV не потребують зарядки від зовнішнього джерела, оскільки батарея заряджається під час руху автомобіля завдяки системі рекуперативного гальмування та роботі ДВЗ.

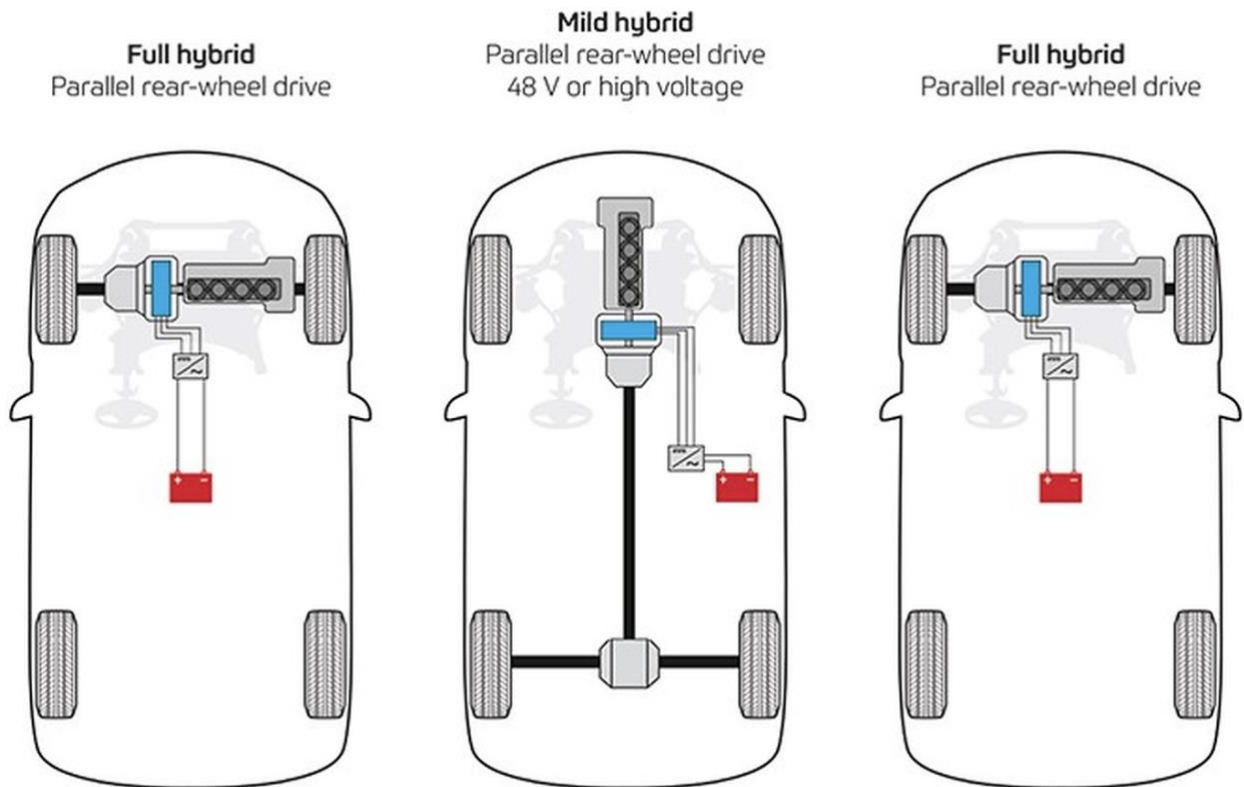


Рисунок 2.2 – Типологія гібридів (HEV)

Принцип роботи HEV полягає у взаємодії ДВЗ та електродвигуна, які можуть працювати окремо або спільно залежно від умов експлуатації. Під час запуску та руху на низьких швидкостях автомобіль використовує електродвигун, що забезпечує тиху та екологічну роботу. При підвищенні швидкості або під час великих навантажень, таких як підйом, активується ДВЗ, який забезпечує додаткову потужність. Система рекуперативного гальмування перетворює кінетичну енергію гальмування у електричну, заряджаючи батарею.

HEV оснащені відносно невеликими літій-іонними або нікель-металогідридними батареями, які мають ємність від 1 до 2 кВт·год. Цього достатньо для підтримки короткотривалої роботи електродвигуна, зокрема під

час запуску автомобіля чи руху на низьких швидкостях. ДВЗ у HEV є основним джерелом енергії для руху на великих швидкостях та при тривалих поїздках.

Електродвигуни HEV мають меншу потужність порівняно з іншими типами гібридів, але вони ефективно доповнюють роботу ДВЗ, що дозволяє знизити витрату пального. Типова витрата палива для HEV становить 3,5–5,5 л на 100 км, що значно менше, ніж у традиційних автомобілів з ДВЗ.

Система управління HEV автоматично регулює співвідношення використання ДВЗ та електродвигуна залежно від стилю водіння та дорожніх умов. Це забезпечує оптимальну продуктивність і економію енергії.

Серед найпопулярніших моделей HEV можна виділити:

- Toyota Prius – піонер у сфері гібридних автомобілів, який став символом економічності та екологічності. Його середня витрата палива становить близько 4,5 л на 100 км.
- Honda Insight – ще один популярний гібридний автомобіль із сучасним дизайном, витратою палива до 4,2 л на 100 км та високою надійністю.
- Ford Fusion Hybrid – комфортний седан із витратою палива близько 5 л на 100 км, який пропонує баланс між продуктивністю та економічністю.
- Hyundai Ioniq Hybrid – сучасний гібрид із стильним дизайном та витратою палива до 3,9 л на 100 км, орієнтований на міських споживачів.

Гібридні автомобілі HEV мають низку переваг, зокрема знижену витрату пального, менші викиди вуглекислого газу, тиху роботу на низьких швидкостях та надійність у довготривалій експлуатації. Відсутність необхідності зарядки від зовнішніх джерел робить їх зручними для водіїв, які не мають доступу до зарядної інфраструктури.

До обмежень HEV належить обмежена можливість руху виключно на електричній тязі та залежність від використання викопного палива. Також вартість HEV зазвичай вища, ніж у традиційних автомобілів, хоча довгострокова економія на паливі може компенсувати ці витрати.

Таким чином, HEV є ефективним рішенням для тих, хто хоче знизити витрати пального та зменшити свій вплив на довкілля, зберігаючи при цьому

комфорт і практичність традиційного автомобіля. Їхня популярність зростає завдяки балансу між доступністю, економічністю та екологічністю.

2.2 Аналіз схемотехнічних рішень для побудови мережі зарядних пристроїв на базі відновлювальних джерел енергії

Ефективне функціонування мереж зарядних станцій для електромобілів потребує ретельного підходу до вибору та впровадження схемотехнічних рішень. Інтеграція відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) до таких мереж є одним із найважливіших напрямків, оскільки дозволяє забезпечити екологічність, енергетичну незалежність та економічну ефективність зарядної інфраструктури. Сучасні технології пропонують різні підходи до підключення сонячних і вітрових електростанцій до зарядних пристроїв, що дозволяє адаптувати інфраструктуру до місцевих умов та потреб [9].

2.2.1. Інтеграція зарядних пристроїв із відновлювальними джерелами енергії

Інтеграція зарядних станцій із сонячними та вітровими електростанціями є складним технічним процесом, який передбачає використання спеціальних схемотехнічних рішень. Сонячні електростанції (СЕС) генерують постійний струм (DC), який необхідно перетворювати в змінний струм (AC) для передачі в мережу або подачі до зарядного пристрою. Це завдання виконується за допомогою інверторів, які також оптимізують роботу системи, забезпечуючи стабільність напруги.

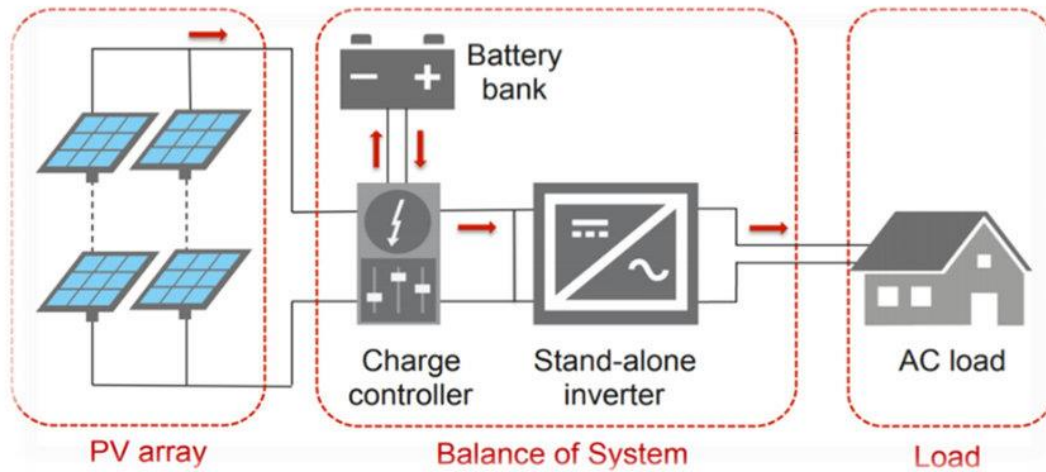


Рисунок 2.3 – Процес генерації енергії сонячними електростанціями

У випадку вітрових електростанцій (ВЕС) генерація енергії здійснюється у вигляді змінного струму, однак частота і напруга можуть бути нестабільними. Для забезпечення сумісності з зарядними пристроями застосовуються перетворювачі енергії, які стабілізують параметри струму перед подачею до зарядної станції або акумуляторної системи.

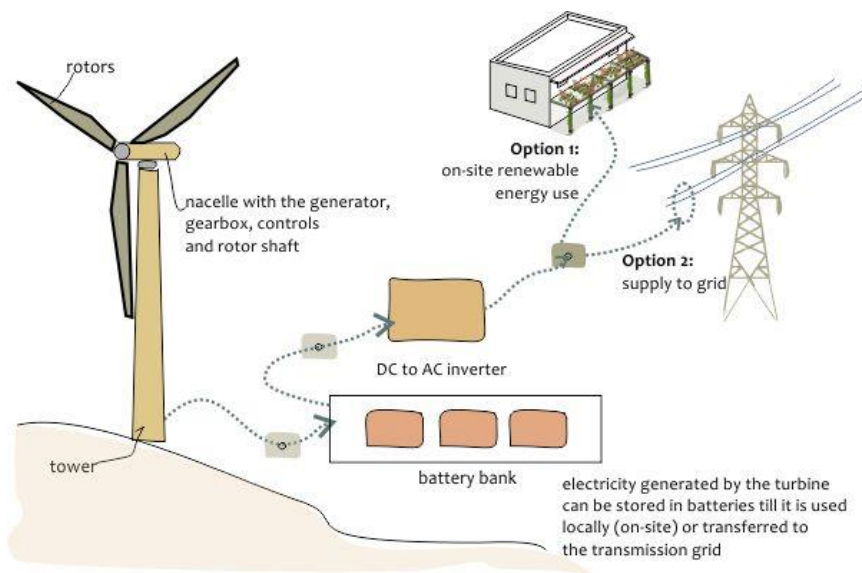


Рисунок 2.4 – Процес генерації енергії вітровими електростанціями

Основною технічною проблемою при інтеграції ВДЕ є їхня змінна природа генерації енергії. Наприклад, сонячні станції працюють тільки вдень, а вироблення енергії залежить від погодних умов, тоді як вітрові станції ефективні лише за наявності постійного вітру. Для подолання цих викликів у схемах

інтеграції використовуються системи зберігання енергії (ESS), які дозволяють накопичувати надлишкову енергію під час пікової генерації та використовувати її у періоди низької генерації.

Згідно зі звітом IRENA (International Renewable Energy Agency), інтеграція систем зберігання енергії може підвищити ефективність використання ВДЕ до 85%. Наприклад, зарядна станція потужністю 100 кВт, яка підключена до сонячної електростанції із батарейною системою ємністю 200 кВт·год, здатна забезпечити безперебійну роботу навіть за умов зниження генерації.

Ще одним важливим аспектом є впровадження смарт-технологій для управління енергоспоживанням. Вони дозволяють автоматично розподіляти енергію між зарядними пристроями, зберіганням і мережею, враховуючи поточний рівень генерації ВДЕ та попит на зарядку електромобілів. За даними McKinsey & Company, використання таких технологій може знизити загальні витрати на експлуатацію зарядної станції до 30%.

У світі вже існують успішні приклади реалізації подібних проектів. Наприклад, у Нідерландах було створено мережу зарядних станцій Fastned, які працюють виключно на енергії від сонячних і вітрових електростанцій. Подібні проекти впроваджуються і в Україні. У Львівській області працює перша сонячна зарядна станція, яка використовує систему зберігання енергії для забезпечення стабільної роботи.

Таким чином, інтеграція зарядних пристроїв із ВДЕ вимагає комплексного підходу, що включає використання інверторів, систем зберігання енергії та смарт-технологій. Це дозволяє забезпечити ефективність, екологічність і стабільність роботи зарядних станцій, сприяючи розвитку електромобільності та зниженню викидів вуглекислого газу.

2.2.2. Системи зберігання енергії (Energy Storage Systems, ESS)

Системи зберігання енергії (ESS) відіграють ключову роль у забезпеченні стабільної роботи зарядних станцій, що базуються на відновлювальних джерелах енергії (ВДЕ). Через змінну природу генерації енергії сонячними та вітровими електростанціями виникають періоди надлишкової генерації та дефіциту енергії, які можуть створювати значні проблеми для безперервного функціонування

зарядної інфраструктури. Використання акумуляторних батарей як частини ESS дозволяє ефективно накопичувати енергію у періоди надлишку і використовувати її тоді, коли генерація з ВДЕ є недостатньою або відсутньою.

Роль ESS полягає у згладжуванні пікових навантажень, балансуванні попиту та пропозиції енергії, а також у забезпеченні безперервного постачання енергії до зарядних пристроїв. Наприклад, сонячна електростанція генерує найбільшу кількість енергії вдень, тоді як попит на зарядку електромобілів може бути вищим у вечірні години. У таких умовах ESS дозволяє зберігати надлишкову енергію, вироблену вдень, і забезпечувати зарядні станції енергією у вечірній час.

Технічно ESS складається з набору акумуляторних батарей, інверторів та системи управління. Акумуляторні батареї, зазвичай літій-іонні, використовуються завдяки їх високій енергетичній щільності, тривалому терміну служби та ефективності. Ємність систем ESS варіюється залежно від потреб станції: від кількох десятків кіловат-годин для невеликих станцій до кількох мегават-годин для великих комерційних об'єктів.

За даними Bloomberg New Energy Finance, використання ESS дозволяє збільшити коефіцієнт використання енергії від ВДЕ до 80–90%, тоді як без ESS цей показник часто не перевищує 50%. Наприклад, для зарядної станції потужністю 50 кВт із сонячною електростанцією потужністю 100 кВт використання ESS із ємністю 200 кВт·год дозволяє повністю покрити потреби станції навіть за умов низької генерації.

Крім того, ESS може використовуватися для зниження навантаження на електричну мережу. У періоди пікових навантажень на мережу система може подавати збережену енергію, зменшуючи витрати на споживання електроенергії з мережі та мінімізуючи ризики перевантаження.

Ще однією перевагою ESS є можливість інтеграції з двонаправленими зарядними пристроями (V2G), які дозволяють використовувати батареї електромобілів як додаткові резервуари енергії. Це створює можливість для транспортних засобів брати участь у балансуванні мережі та забезпечувати додаткове джерело енергії для зарядної інфраструктури.

Згідно зі звітом IRENA, до 2030 року глобальний обсяг встановлених ESS на базі літій-іонних батарей зросте до 1 ТВт·год, що дозволить значно підвищити ефективність використання ВДЕ у різних сферах, включаючи зарядні станції для електромобілів.

Таким чином, системи зберігання енергії є критично важливим компонентом для інтеграції ВДЕ в зарядну інфраструктуру. Вони забезпечують стабільність енергопостачання, знижують витрати на енергію та сприяють розширенню використання екологічно чистих джерел енергії, роблячи електромобільність доступнішою та ефективнішою.

2.2.3. Автоматизація та управління енергоспоживанням шляхом впровадження смарт-технологій

Автоматизація та впровадження смарт-технологій є ключовими факторами, що забезпечують ефективність роботи зарядних станцій для електромобілів, особливо у випадку використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Смарт-системи дозволяють оптимізувати процес енергоспоживання, балансувати навантаження, прогнозувати енергетичні потоки та підвищувати загальну продуктивність зарядної інфраструктури.

Одним із головних викликів при роботі зарядних станцій, що базуються на ВДЕ, є нерівномірність генерації енергії та її споживання. Наприклад, сонячні станції виробляють енергію лише вдень, тоді як попит на зарядку електромобілів може бути вищим у вечірні години. Смарт-технології дозволяють вирішити цю проблему за допомогою систем управління енергоспоживанням, які регулюють подачу енергії залежно від поточного рівня генерації, стану систем зберігання енергії (ESS) та запитів від зарядних пристроїв.

Система балансування енергоспоживання забезпечує розподіл енергії між зарядними пристроями, локальними джерелами енергії (наприклад, сонячними панелями чи вітровими станціями) та загальною електричною мережею. Використання таких систем знижує ризик перевантаження мережі та дозволяє ефективніше використовувати доступну енергію. Наприклад, за даними звіту McKinsey & Company, впровадження смарт-систем управління

енергоспоживанням може знизити витрати на експлуатацію зарядних станцій до 25–30% завдяки оптимізації роботи в реальному часі.

Прогнозування енергетичних потоків є ще однією важливою функцією смарт-технологій. За допомогою алгоритмів машинного навчання системи можуть аналізувати історичні дані про генерацію енергії, погодні умови, час доби та поведінку користувачів, щоб прогнозувати майбутні потреби в енергії. Це дозволяє зарядним станціям заздалегідь підготуватися до періодів пікового навантаження, зокрема за рахунок зарядки ESS у періоди низького попиту або надлишкової генерації енергії.

Важливим компонентом смарт-інфраструктури є використання двонаправлених зарядних пристроїв, які підтримують технологію V2G (vehicle-to-grid). Ця технологія дозволяє використовувати батареї електромобілів як додаткові джерела енергії, які можуть повертати енергію до мережі у періоди її дефіциту. За даними IRENA, інтеграція V2G-технологій може підвищити гнучкість енергосистем на 10–20%, зменшуючи потребу в додаткових потужностях генерації.

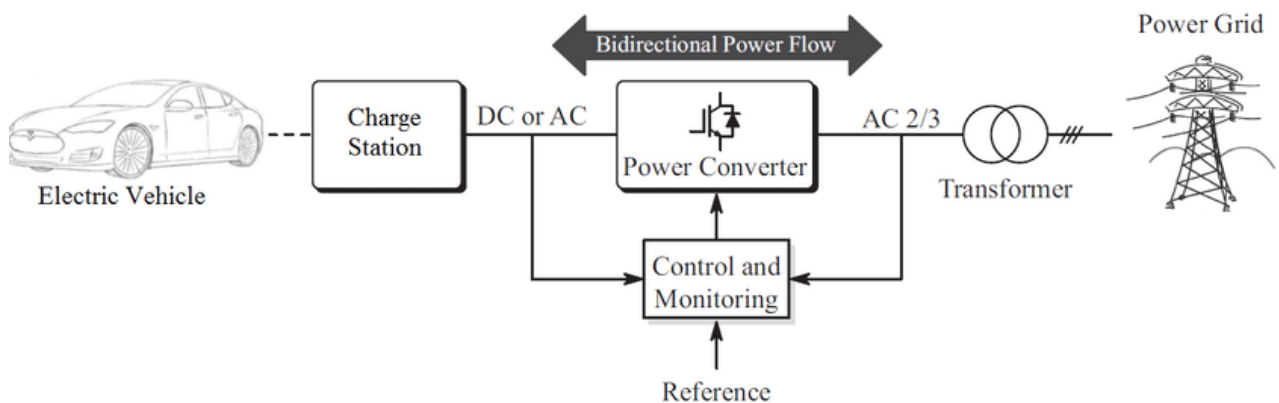


Рисунок 2.5 – Принцип роботи V2G (vehicle-to-grid) технології

Смарт-системи також забезпечують підвищення зручності для користувачів. Наприклад, за допомогою мобільних додатків користувачі можуть отримувати інформацію про доступні зарядні станції, рівень заряду батареї та вартість зарядки, а також резервувати зарядний пристрій заздалегідь.

Практичні приклади впровадження таких рішень можна знайти у мережі зарядних станцій Tesla Supercharger, яка використовує смарт-технології для оптимізації процесу зарядки. В Україні компанії також починають інтегрувати подібні рішення. Наприклад, кілька мереж зарядних станцій вже використовують системи автоматичного балансування енергоспоживання та додатки для управління зарядкою.

Таким чином, автоматизація та смарт-технології є основою для створення ефективної зарядної інфраструктури, що базується на ВДЕ. Вони забезпечують не лише стабільність роботи станцій, а й їхню економічну ефективність та інтеграцію з майбутніми інноваційними рішеннями у сфері енергетики та транспорту.

2.2.4. Порівняння централізованих і децентралізованих схем зарядних станцій

Розвиток зарядної інфраструктури для електромобілів може базуватися на двох основних підходах: централізованій та децентралізованій схемах. Кожен із цих підходів має свої технічні та економічні переваги, які визначають їхню придатність для різних умов та масштабів використання.

Централізовані зарядні станції характеризуються високою потужністю та підключенням до основної енергетичної мережі. У таких схемах велика кількість зарядних пристроїв зосереджена в одному місці, що дозволяє обслуговувати великий потік автомобілів. Основною перевагою централізованого підходу є можливість створення потужної інфраструктури, здатної задовольнити високий попит у місцях із великою кількістю користувачів, наприклад, на автомагістралях, парковках торгових центрів або в міських транспортних вузлах.

З технічної точки зору централізовані станції дозволяють ефективно використовувати великі обсяги енергії завдяки підключенню до високовольтної мережі. Це знижує втрати під час передачі енергії та дозволяє одночасно заряджати багато автомобілів на високій потужності (зазвичай від 50 до 350 кВт на зарядний пристрій). Однак централізовані схеми вимагають значних капітальних вкладень у підключення до мережі та будівництво інфраструктури.

Економічно централізовані станції вигідні у випадках високої концентрації користувачів, оскільки забезпечують більшу окупність за рахунок великого обсягу зарядок. Проте їхнім недоліком є залежність від мережі, що може створювати ризики перевантаження під час пікових навантажень. Наприклад, згідно зі звітом McKinsey & Company, у США такі станції найкраще підходять для магістральних маршрутів, де попит на зарядку є стабільно високим.

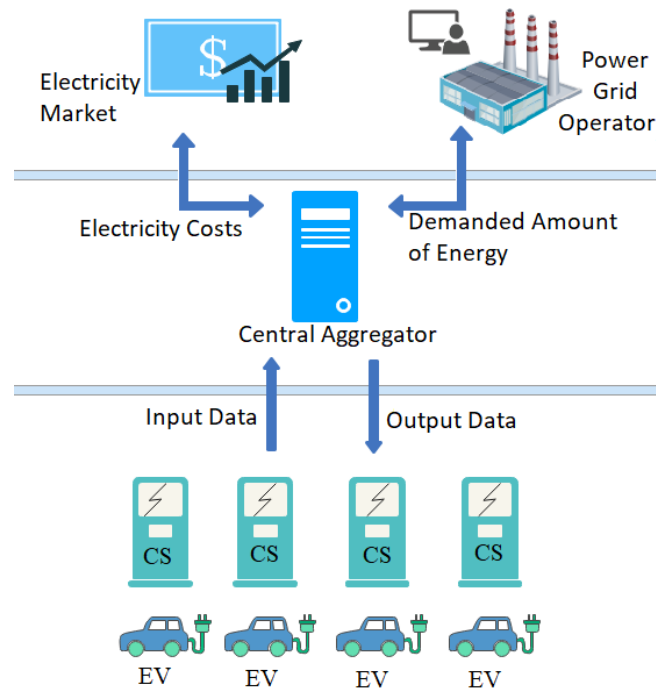


Рисунок 2.6 – Централізовані зарядні станції

Децентралізовані зарядні станції, навпаки, розташовані ближче до кінцевого споживача і часто використовують локальні джерела енергії, зокрема відновлювальні. Цей підхід передбачає встановлення менш потужних зарядних пристроїв у житлових районах, на невеликих паркувальних майданчиках чи біля офісних будівель.

З технічної точки зору децентралізовані станції є гнучкими, оскільки їх можна інтегрувати з місцевими джерелами енергії, такими як сонячні панелі або невеликі вітрові установки. Використання систем зберігання енергії (ESS) дозволяє забезпечити автономну роботу станції навіть за умов обмеженого доступу до центральної мережі. Децентралізовані станції краще підходять для

зарядки електромобілів із середньою потужністю (3–22 кВт), що відповідає потребам більшості користувачів у житлових умовах.

Економічно децентралізовані станції є більш доступними для початкових інвестицій, оскільки не потребують складних підключень до високовольтних мереж. Вони також ефективні в умовах нерівномірного розподілу попиту, оскільки можуть встановлюватися поступово залежно від потреб регіону. Наприклад, у Нідерландах більшість зарядних станцій є децентралізованими, що дозволяє забезпечити рівномірне покриття всієї країни зарядною інфраструктурою.

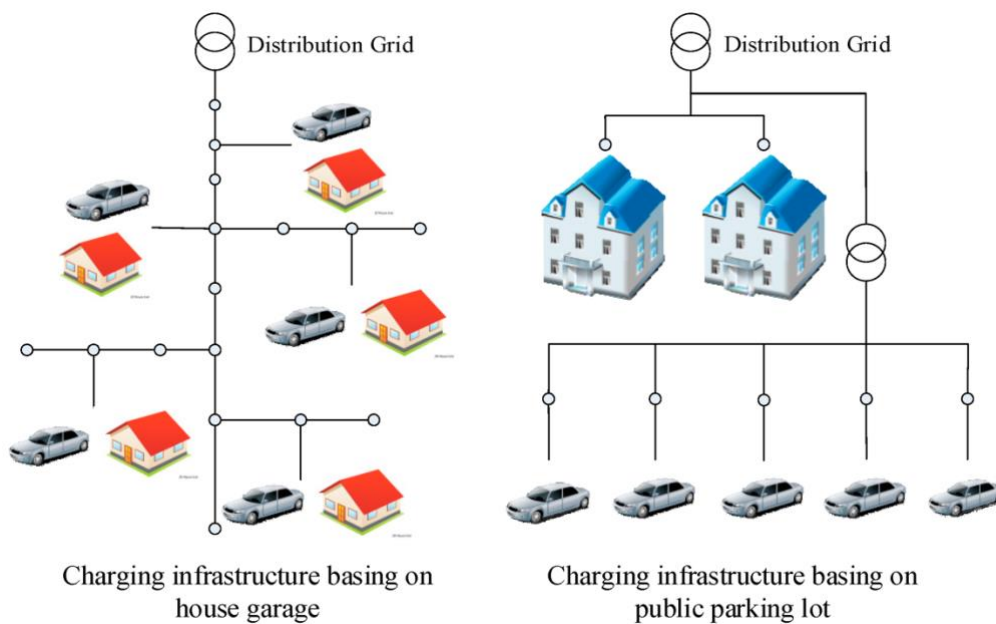


Рисунок 2.7 – Децентралізовані зарядні станції

Вибір між централізованим і децентралізованим підходом залежить від специфіки регіону, попиту на зарядку та доступності енергетичних ресурсів. Централізовані станції ефективні для інтенсивного використання в місцях з високою пропускнуою здатністю, тоді як децентралізовані краще підходять для створення широкого покриття зарядної інфраструктури в міських та приміських умовах. Обидва підходи можуть працювати спільно, доповнюючи один одного, для забезпечення максимальної доступності та ефективності зарядних мереж.

2.2.5. Використання інверторів та перетворювачів енергії

Інтеграція відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) у зарядні станції для електромобілів вимагає спеціалізованих схемотехнічних рішень для адаптації

параметрів енергії до вимог зарядних пристроїв. Сонячні електростанції (СЕС) генерують постійний струм (DC), тоді як вітрові електростанції (ВЕС) генерують змінний струм (AC) із нестабільними параметрами. У зв'язку з цим використання інверторів та перетворювачів енергії є критично важливим для забезпечення стабільної роботи зарядної інфраструктури.

Інвертори виконують основну функцію перетворення постійного струму, отриманого з СЕС, у змінний струм, сумісний із зарядними пристроями та загальною електромережею. Ці пристрої забезпечують необхідну стабільність напруги та частоти струму, що дозволяє уникнути пошкодження зарядних станцій чи батарей електромобілів. Сучасні інвертори, такі як пристрої з технологією MPPT (Maximum Power Point Tracking), також оптимізують вироблення енергії з ВДЕ, максимально використовуючи їх потенціал навіть за змінних погодних умов.

У випадку ВЕС основним викликом є стабілізація змінного струму, який може мати коливання частоти та напруги залежно від швидкості вітру. Тут застосовуються перетворювачі енергії, які вирівнюють параметри струму до стандартних значень (зазвичай 50 Гц і 230 В для побутових мереж або 400 В для промислових станцій). Комбінація інверторів та перетворювачів дозволяє створити систему, яка може працювати як автономно, так і у поєднанні з електромережею.

Окрім базової функції адаптації енергії, інвертори та перетворювачі енергії грають важливу роль у захисті зарядної інфраструктури. Вони оснащені механізмами автоматичного вимкнення у разі перевантаження або короткого замикання, що забезпечує безпеку користувачів і продовжує термін служби обладнання.

За даними досліджень IRENA, сучасні інвертори мають коефіцієнт корисної дії (ККД) до 98%, що мінімізує втрати енергії при її перетворенні. Це є важливим фактором, особливо у великих зарядних станціях, де високий ККД сприяє зниженню експлуатаційних витрат.

Одним із прикладів використання таких рішень є комбіновані системи, які інтегрують зарядні станції з сонячними панелями та акумуляторними системами.

Наприклад, зарядна станція потужністю 50 кВт із встановленою потужністю сонячних панелей 100 кВт може використовувати інвертори для прямої зарядки електромобілів у періоди високої генерації. У періоди низької генерації інвертори перенаправляють енергію з систем зберігання, забезпечуючи стабільну роботу.

Також варто зазначити, що інтеграція інверторів у зарядну інфраструктуру сприяє підвищенню гнучкості всієї системи. Вони дозволяють динамічно змінювати параметри енергопостачання залежно від рівня навантаження на станцію, а також інтегрувати різні джерела енергії, такі як ВДЕ, системи зберігання або загальна мережа.

Таким чином, інвертори та перетворювачі енергії є невід'ємною частиною сучасних зарядних станцій, що базуються на ВДЕ. Вони забезпечують адаптацію параметрів струму, підвищують ефективність використання енергії, забезпечують безпеку інфраструктури та сприяють інтеграції зарядних станцій у загальну енергосистему. Використання цих технологій є важливим кроком на шляху до створення стійкої та надійної інфраструктури для електромобільності.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Аналіз основних типів зарядних пристроїв електро- і гібридних транспортних засобів

Зарядні пристрої для електричних та гібридних транспортних засобів є важливим елементом інфраструктури, що забезпечує їхню ефективну експлуатацію. Основними вимогами до зарядних пристроїв є безпека, універсальність, швидкість зарядки, енергоефективність та відповідність стандартам [10].

Безпека зарядного пристрою є ключовим аспектом, який включає захист від короткого замикання, перенапруги та перегріву. Сучасні зарядні пристрої оснащені системами автоматичного вимкнення у разі несправностей, що мінімізує ризики для користувачів та електромобілів. Універсальність є ще однією важливою вимогою, оскільки зарядні пристрої мають бути сумісними з різними типами електромобілів та відповідати міжнародним стандартам роз'ємів і протоколів зв'язку.

Швидкість зарядки є визначальним фактором для комфорту користувачів, оскільки вона залежить від потужності зарядного пристрою та ємності батареї електромобіля. Зарядні пристрої повинні мати можливість заряджати батареї в мінімально можливий час, особливо у випадках використання швидкісної зарядної інфраструктури. Енергоефективність зарядних пристроїв забезпечує зниження втрат енергії під час зарядки, що є важливим як з точки зору економічності, так і екологічності.

На сучасному ринку існує кілька основних типів зарядних пристроїв, які класифікуються за потужністю, швидкістю зарядки та типом струму.

Перший тип – це зарядні пристрої змінного струму (АС). Вони є найбільш поширеними та використовуються для повільної або помірної зарядки. Потужність таких пристроїв варіюється від 3,7 до 22 кВт, залежно від їх призначення. АС-зарядні пристрої зазвичай встановлюються у приватних будинках, офісах та на громадських паркувальних майданчиках. Вони

заряджають батарею електромобіля через бортовий зарядний пристрій, що обмежує їхню максимальну швидкість зарядки.

Другий тип – це швидкі зарядні пристрої постійного струму (DC). Вони забезпечують зарядку безпосередньо батареї, обходячи бортовий зарядний пристрій, що дозволяє значно скоротити час зарядки. Потужність таких пристроїв може досягати 350 кВт, завдяки чому зарядка до 80% ємності батареї займає лише 20–40 хвилин. DC-зарядні пристрої встановлюються на магістральних маршрутах, у транспортних вузлах та інших місцях із високою пропускною здатністю.

Третій тип – це надшвидкі зарядні пристрої, які можуть мати потужність понад 400 кВт і використовуються для спеціалізованих транспортних засобів, таких як вантажівки чи автобуси. Вони є менш поширеними через високу вартість та специфічні вимоги до інфраструктури.

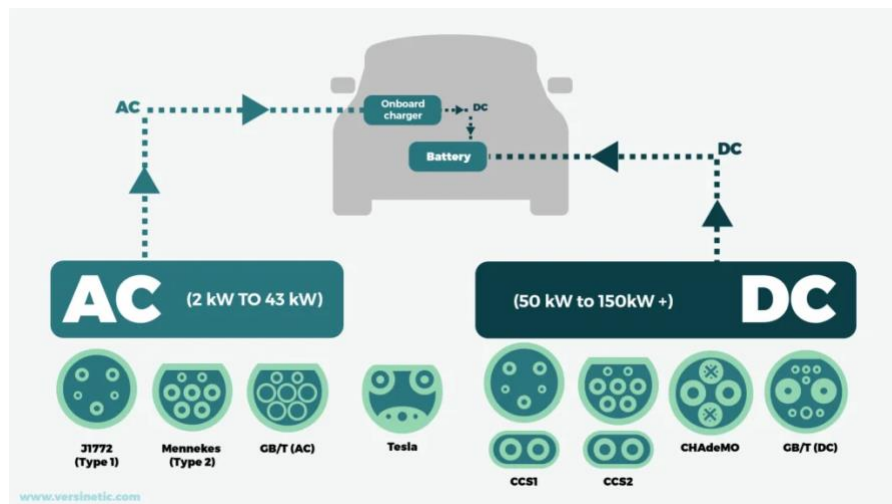


Рисунок 3.1 – Типи зарядних пристроїв для електромобілів

Окрім цього, існують портативні зарядні пристрої, які зазвичай використовуються як резервне рішення для зарядки електромобілів у будь-якому місці. Вони мають невелику потужність (до 3,7 кВт) і можуть підключатися до звичайної побутової розетки.

Зарядні пристрої також класифікуються за стандартами роз'ємів, серед яких найпоширенішими є CCS (Combined Charging System), CHAdeMO та Type 2. Ці стандарти визначають технічні параметри підключення та обміну даними між зарядним пристроєм і автомобілем.

Таким чином, сучасні зарядні пристрої забезпечують широкий спектр рішень для різних сценаріїв використання, починаючи від повільної зарядки вдома і закінчуючи швидкісною зарядкою на автомагістралях. Їхній подальший розвиток сприятиме підвищенню доступності електромобільності та прискоренню переходу до сталого транспорту.

3.1.1. Стандарт зарядки CCS (Combined Charging System)

CCS (Combined Charging System) [11] є одним із найбільш поширених стандартів зарядки електромобілів, що забезпечує універсальність і ефективність зарядного процесу. Основною особливістю CCS є можливість підтримки як зарядки змінним струмом (AC), так і постійним струмом (DC) через єдиний роз'єм. Така конструкція дозволяє використовувати CCS як для повільної домашньої зарядки, так і для швидкісної зарядки на громадських станціях.



Рисунок 3.2 – CCS (Combined Charging System)

Роз'єм CCS складається з двох частин: верхньої секції, яка відповідає стандарту Type 2 (для AC зарядки), та нижньої, яка додає два контакти для DC зарядки. Коли електромобіль підключений до зарядної станції, зарядний пристрій автоматично визначає тип зарядки (AC або DC) та відповідно адаптує параметри зарядного процесу. Це забезпечує зручність і спрощує взаємодію користувачів із зарядною інфраструктурою.

Технічні характеристики стандарту CCS включають широкий діапазон потужностей зарядки. Для AC зарядки CCS підтримує потужності до 43 кВт, що

відповідає можливостям більшості домашніх або офісних зарядних пристроїв.

У режимі DC зарядки потужність може досягати 350 кВт, що дозволяє заряджати електромобілі до 80% за 20–40 хвилин залежно від ємності батареї.

Таблиця 3.1 – Ключові параметри стандарту CCS

Характеристика	Значення
Типи струму	Змінний (AC), Постійний (DC)
Максимальна потужність AC	43 кВт
Максимальна потужність DC	350 кВт
Напруга	До 1000 В
Струм	До 500 А

CCS також підтримує сучасні протоколи обміну даними, такі як ISO 15118, які дозволяють впроваджувати функції Plug & Charge, де автомобіль автоматично авторизується для зарядки, без необхідності використання додаткових карток чи додатків.

Однією з головних переваг CCS є універсальність. Завдяки підтримці AC і DC зарядки він сумісний із різними сценаріями використання, що знижує потребу в спеціалізованих зарядних пристроях для різних умов. Стандарт також підтримує високошвидкісну зарядку, що є критично важливим для автомобілів із великими батареями та інтенсивним використанням. CCS широко поширений у Європі, Північній Америці та інших регіонах, завдяки чому електромобілі з таким роз'ємом можуть заряджатися на більшості зарядних станцій.

До недоліків CCS можна віднести складність і вартість впровадження інфраструктури, яка підтримує зарядку на високій потужності. Будівництво зарядних станцій із потужністю понад 150 кВт потребує значних інвестицій у мережеву інфраструктуру та обладнання. Крім того, CCS ще не став стандартом у деяких регіонах, наприклад, у Японії, де використовується CHAdeMO.

CCS є стандартом зарядки для багатьох сучасних електромобілів, включаючи моделі європейських, американських і корейських виробників. Наприклад, такі популярні електромобілі, як Volkswagen ID.4, BMW i4, Audi e-tron, Ford Mustang Mach-E, Hyundai Ioniq 5 та Kia EV6, використовують CCS для

зарядки. Завдяки підтримці високошвидкісної зарядки стандарт особливо популярний серед електромобілів із великими батареями, які розраховані на тривалі поїздки.

Стандарт CCS є універсальним і перспективним рішенням для зарядки електромобілів, що поєднує можливості повільної та швидкісної зарядки. Його використання сприяє зручності для користувачів, розширенню зарядної інфраструктури та прискоренню переходу на електромобільність. Завдяки технічним характеристикам і широкій підтримці з боку автовиробників CCS продовжує зміцнювати свої позиції як провідний стандарт у галузі.

3.1.2. Стандарт зарядки CHAdeMO

CHAdeMO (Charge de Move) є одним із перших стандартів швидкісної зарядки електромобілів, розробленим у Японії у 2010 році [12]. Основною особливістю цього стандарту є використання постійного струму (DC) для зарядки батарей електромобілів, що дозволяє забезпечити високу швидкість зарядки. Принцип роботи CHAdeMO полягає у прямій передачі енергії до батареї електромобіля через спеціалізований роз'єм. При цьому зарядний пристрій і автомобіль обмінюються даними в реальному часі для регулювання потужності зарядки та забезпечення безпеки.

Current type	Region			
	Japan	America	Europe, rest of world	China
AC				
Plug name:	J1772 (or Type 1)	J1772 (or Type 1)	Mennekes (or Type 2)	GB/T
DC				
Plug name:	CHAdeMO	CCS1	CCS2	GB/T

Рисунок 3.3 – Стандарт зарядки CHAdeMO

CHAdeMO використовує окремий роз'єм для швидкісної зарядки DC, який не інтегрований із зарядкою змінним струмом (AC). Це означає, що для зарядки електромобілів стандарту CHAdeMO необхідні спеціалізовані зарядні станції.

CHAdeMO підтримує потужність зарядки до 100 кВт у стандартній версії, але новіші варіанти, такі як CHAdeMO 2.0, дозволяють досягати потужності 400 кВт. Напруга зарядки варіюється в межах від 200 до 1000 В, а максимальний струм сягає 400 А. Ці параметри роблять стандарт придатним для зарядки як легкових автомобілів, так і комерційного транспорту, такого як автобуси та вантажівки.

Таблиця 3.2 – Ключові параметри стандарту CHAdeMO

Характеристика	Значення
Тип струму	Постійний (DC)
Максимальна потужність	100–400 кВт
Напруга	200–1000 В
Струм	До 400 А
Протоколи зв'язку	CAN

Стандарт CHAdeMO підтримує обмін даними між автомобілем і зарядним пристроєм через протокол CAN (Controller Area Network), що забезпечує точний контроль за процесом зарядки та безпеку.

Однією з головних переваг CHAdeMO є стабільність і надійність зарядки. Стандарт розроблений таким чином, щоб забезпечити безперебійний зарядний процес навіть за умов високих навантажень. Крім того, CHAdeMO підтримує двонаправлену зарядку, що дозволяє використовувати електромобілі як резервні джерела енергії (Vehicle-to-Grid, V2G). Це робить стандарт особливо привабливим у країнах, де існує попит на інтеграцію електромобілів у енергосистему.

CHAdeMO також широко розповсюджений у Японії та Європі, де більшість зарядних станцій підтримують цей стандарт. Його популярність

пояснюється активною підтримкою з боку японських автовиробників, таких як Nissan і Mitsubishi.

Одним із основних недоліків CHAdeMO є його обмежена універсальність. Оскільки роз'єм CHAdeMO використовується виключно для DC зарядки, автомобілі з таким стандартом потребують окремого порту для зарядки змінним струмом (AC). Це збільшує складність конструкції та може створювати незручності для користувачів.

Крім того, CHAdeMO поступово втрачає популярність у Європі та Північній Америці, де стандарт CCS набуває більшого поширення. Це обмежує доступність інфраструктури для електромобілів із CHAdeMO, особливо у регіонах, де зарядні станції CHAdeMO є рідкістю.

Стандарт CHAdeMO переважно використовується японськими автовиробниками. Наприклад, Nissan Leaf, один із найпопулярніших електромобілів у світі, підтримує зарядку CHAdeMO. Інші моделі, такі як Mitsubishi Outlander PHEV та Nissan e-NV200, також оснащені цим стандартом. CHAdeMO підходить для зарядки легкових автомобілів, комерційного транспорту, а також електробусів.

CHAdeMO залишається важливим стандартом зарядки, який забезпечує високу швидкість, надійність і підтримку двонаправленої зарядки. Однак обмежена універсальність та зниження популярності у деяких регіонах ставлять виклики перед його подальшим використанням. Незважаючи на це, CHAdeMO зберігає свою актуальність у країнах, де існує розвинена інфраструктура цього стандарту, і серед користувачів японських електромобілів.

3.1.3. Стандарт зарядки Type 2

Type 2, відомий також як роз'єм Mennekes, є європейським стандартом зарядки для електромобілів, який забезпечує зарядку змінним струмом (AC). Він розроблений для домашніх, комерційних і громадських зарядних станцій, забезпечуючи широкий спектр потужностей зарядки та підтримуючи як однофазні, так і трифазні мережі [13].

Роз'єм Type 2 використовується для передачі змінного струму до вбудованого зарядного пристрою автомобіля, який перетворює AC на постійний

струм (DC) для зарядки батареї. Завдяки цьому підходу Type 2 сумісний із більшістю електромобілів та зарядних станцій у Європі. У стандартній конфігурації роз'єм має сім контактів, що забезпечують стабільну передачу струму та обмін даними між автомобілем і зарядним пристроєм.



Рисунок 3.4 – Стандарт зарядки Type 2

Стандарт Type 2 підтримує зарядку з потужністю до 43 кВт у трифазній конфігурації та до 7,4 кВт в однофазній. Напруга зарядки варіюється від 230 В для однофазної мережі до 400 В для трифазної. Максимальний струм досягає 63 А, що дозволяє заряджати батареї великої ємності за прийнятний час.

Таблиця 3.2 – Ключові параметри стандарту Type 2

Характеристика	Значення
Тип струму	Змінний (AC)
Максимальна потужність	7,4 кВт (однофазна), 43 кВт (трифазна)
Напруга	230 В (однофазна), 400 В (трифазна)
Струм	До 63 А
Сумісність	Європа, міжнародні ринки

Однією з головних переваг Type 2 є його універсальність і відповідність європейським вимогам. Роз'єм використовується у більшості домашніх зарядних станцій, що дозволяє користувачам заряджати електромобіль вдома з мінімальними витратами на інфраструктуру. Трифазна зарядка, яку підтримує

Type 2, забезпечує значно швидшу зарядку, ніж однофазна, що є важливим фактором для комерційного використання.

Стандарт Type 2 також сумісний із системою зарядки CCS (Combined Charging System), де Type 2 використовується для AC зарядки. Ця особливість підвищує його гнучкість і розширює спектр сумісних автомобілів.

Type 2 обмежений у швидкості зарядки порівняно з системами постійного струму (DC), такими як CCS або CHAdeMO. Максимальна потужність 43 кВт у трифазній конфігурації не завжди відповідає потребам автомобілів із великими батареями, які потребують більшої швидкості зарядки. Крім того, для використання трифазної зарядки необхідно мати доступ до трифазної мережі, що не завжди є можливим для приватних домогосподарств.

Стандарт Type 2 є основним для більшості європейських автомобілів, зокрема BMW i3, Audi e-tron, Volkswagen ID.4, Mercedes-Benz EQC та багатьох інших моделей. Багато міжнародних виробників також адаптували свої автомобілі до цього стандарту для європейського ринку, що забезпечує його широке застосування.

3.2 Розрахунок схемотехнічних рішень для вузлів мережі зарядних станцій на базі відновлювальних джерел енергії

Розрахунок схемотехнічних рішень для зарядних станцій на базі відновлювальних джерел енергії є ключовим етапом, який визначає їхню ефективність, стабільність роботи та економічну доцільність. Інтеграція сонячних або вітрових електростанцій із зарядною інфраструктурою вимагає точного визначення параметрів, що впливають на потужність станції, потребу в системах зберігання енергії та здатність відповідати попиту користувачів. Від правильності цих розрахунків залежить, наскільки ефективно станція зможе обслуговувати електромобілі, забезпечувати безперервність зарядки та інтегруватися в загальну енергосистему.

3.2.1. Розрахунок потужності зарядної станції (P_s)

Потужність зарядної станції визначає її здатність одночасно обслуговувати певну кількість електромобілів. Цей параметр залежить від потужності кожного

зарядного пристрою та їх кількості. Для визначення загальної потужності зарядної станції використовується наступна формула:

$$P_s = N \times P_o \times K_u \quad (3.1)$$

Де:

- P_s — загальна потужність зарядної станції, Вт;
- N — кількість зарядних пристроїв на станції;
- P_o — потужність одного зарядного пристрою, Вт;
- K_u — коефіцієнт одночасного використання зарядних пристроїв (враховує, що не всі пристрої працюють одночасно, зазвичай $0.7 \leq K_u \leq 0.9$).

Розрахунок потужності також дозволяє оцінити, чи відповідає генерація енергії від відновлювальних джерел потребам станції, та визначити, чи необхідна додаткова потужність від централізованої мережі або систем зберігання енергії. Для цього у подальших розрахунках враховуються середньодобова генерація, пікові навантаження та енергоефективність зарядних пристроїв.

3.2.2. Розрахунок ємності системи зберігання енергії (E_{ess})

Система зберігання енергії (Energy Storage System, ESS) є ключовим компонентом зарядної станції на базі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Її ємність визначає, наскільки ефективно станція може накопичувати енергію під час пікової генерації від ВДЕ та використовувати її для забезпечення безперебійної роботи у періоди низької генерації або високого попиту. Розрахунок ємності ESS базується на добовому енергетичному балансі, потребах зарядних пристроїв і змінності генерації енергії.

Формула для визначення необхідної ємності системи зберігання енергії виглядає наступним чином:

$$E_{ess} = (P_s \times t_a) - (P_{ren} \times t_a \times \eta_e) \quad (3.2)$$

Де:

- E_{ess} — необхідна ємність системи зберігання енергії, Вт·год;
- P_s — потужність зарядної станції, Вт (визначається з попереднього розрахунку);
- t_a — час автономної роботи станції без генерації ВДЕ, годин;
- P_{ren} — середня потужність генерації від ВДЕ, Вт;
- η_e — ефективність системи зберігання енергії (враховує втрати на заряд і розряд, зазвичай $\eta_e \approx 0.9$).

Перша частина формули ($P_s \times t_a$) визначає енергію, яку станція споживає для забезпечення роботи протягом часу автономії. Друга частина ($P_{ren} \times t_a \times \eta_e$) визначає енергію, яку станція може отримати від ВДЕ за той самий період, враховуючи ефективність системи. Різниця між цими значеннями визначає обсяг енергії, який потрібно зберігати в ESS.

Ємність ESS є критичним параметром, який залежить від потужності зарядної станції, тривалості автономної роботи та ефективності генерації енергії від ВДЕ. Розрахунок цього показника дозволяє забезпечити безперебійну роботу зарядної інфраструктури, оптимізувати використання ресурсів та мінімізувати залежність від зовнішньої електричної мережі.

3.2.3. Розрахунок вихідної потужності відновлювальних джерел енергії (P_{ren})

Вихідна потужність відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) є ключовим параметром для проектування зарядних станцій, оскільки визначає, скільки енергії можна отримати для зарядки електромобілів та живлення інших компонентів інфраструктури. Потужність генерації залежить від типу ВДЕ (сонячна чи вітрова енергія), встановленої потужності джерел, природних умов та ефективності обладнання.

Для розрахунку вихідної потужності використовується загальна формула:

$$P_{ren} = P_{in} \times C_r \times \eta_{so} \quad (3.3)$$

Де:

- P_{ren} — вихідна потужність відновлювальних джерел енергії, Вт;
- P_{in} — встановлена потужність ВДЕ (сонячних панелей або вітрових турбін), Вт;
- C_r — коефіцієнт використання потужності джерела (Capacity Factor), який залежить від природних умов і технологій, зазвичай $0.15 \leq C_r \leq 0.4$;
- η_{so} — ефективність системи, яка враховує втрати в інверторах, кабелях та інших компонентах (зазвичай $\eta_{so} \approx 0.9$).

Формула враховує не лише встановлену потужність джерела, але й його реальну продуктивність за рахунок коефіцієнта використання потужності C_r , який залежить від тривалості сонячного випромінювання, швидкості вітру та інших факторів. Ефективність системи враховує технологічні втрати, які можуть виникати під час генерації та передачі енергії.

Розрахунок вихідної потужності ВДЕ є критично важливим для забезпечення енергетичного балансу зарядної станції. Цей показник дозволяє визначити, скільки енергії можна отримати від ВДЕ для зарядки електромобілів, та оцінити, чи потрібно додаткове підключення до електромережі або використання систем зберігання енергії. Оптимізація потужності генерації ВДЕ залежить від вибору місця розташування зарядної станції, характеристик джерел енергії та параметрів роботи інфраструктури.

3.2.4. Розрахунок параметрів інверторів і перетворювачів енергії

Інвертори та перетворювачі енергії є важливими компонентами систем зарядних станцій, що працюють на базі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Вони забезпечують адаптацію струму, виробленого джерелами ВДЕ, до вимог зарядних пристроїв та інфраструктури. Інвертори перетворюють постійний струм (DC), що генерується сонячними панелями, у змінний струм (AC), придатний для подальшого використання. Перетворювачі енергії стабілізують параметри струму, регулюючи напругу та частоту.

Основним параметром інверторів є їхня номінальна потужність, яка повинна відповідати вихідній потужності відновлювальних джерел енергії (P_{ren}) з урахуванням пікових навантажень. Формула для визначення необхідної номінальної потужності інвертора виглядає наступним чином:

$$P_{inv} = P_{ren} \times K_{peak} \quad (3.4)$$

Де:

- P_{inv} — номінальна потужність інвертора, Вт;
- P_{ren} — вихідна потужність ВДЕ (визначена раніше), Вт;
- K_{peak} — коефіцієнт запасу на пікові навантаження (зазвичай $1.2 \leq K_{peak} \leq 1.5$).

Для перетворювачів енергії важливо врахувати стабільність параметрів струму. Основними характеристиками є вихідна напруга (U_o) та частота (f_o), які повинні відповідати стандартам зарядних пристроїв: напруга зазвичай становить 230 В (однофазна мережа) або 400 В (трифазна), а частота — 50 Гц.

Параметри інверторів і перетворювачів енергії є критично важливими для стабільної роботи зарядних станцій. Розрахунок номінальної потужності інверторів із запасом на пікові навантаження дозволяє уникнути перевантаження системи. Вихідні параметри перетворювачів повинні відповідати стандартам

електромережі, що забезпечує сумісність із зарядними пристроями. Оптимізація цих параметрів гарантує ефективну інтеграцію відновлювальних джерел енергії у зарядну інфраструктуру.

3.2.5. Розрахунок рівня втрат енергії у системі (W_{loss})

Втрати енергії у системі зарядної станції, що базується на відновлювальних джерелах енергії (ВДЕ), є неминучими через передачу, перетворення та зберігання енергії. Визначення рівня цих втрат дозволяє оцінити ефективність роботи станції та оптимізувати її компоненти. Втрати виникають на різних етапах, зокрема під час передачі енергії кабелями, перетворення в інверторах і системах зберігання, а також під час зарядки електромобілів.

Формула для розрахунку загального рівня втрат енергії виглядає наступним чином:

$$W_{loss} = W_{trans} + W_{peroot} + W_{ess} \quad (3.5)$$

Де:

- W_{loss} — загальний рівень втрат енергії, Вт·год;
- W_{trans} — втрати під час передачі енергії кабелями;
- W_{peroot} — втрати у перетворювачах енергії (інверторах, випрямлячах);
- W_{ess} — втрати в системах зберігання енергії.

Втрати на передачу залежать від опору кабелів (R_t), сили струму (I_t) та тривалості роботи системи (t):

$$W_{trans} = R_t \times I_t^2 \times t_t \quad (3.6)$$

Де ρ — питомий опір матеріалу кабелю, L — довжина кабелю, A — площа поперечного перерізу.

Втрати у перетворювачах енергії (W_{peroot}) залежать від потужності, що обробляється (P_o), та ефективності перетворювачів (η_{root}):

$$W_{peroot} = P_o \times (1 - \eta_{root}) \times t_o \quad (3.7)$$

Втрати в системах зберігання енергії (W_{ess}) визначаються як втрати під час заряду та розряду акумуляторів:

$$W_{ess} = E_{ess} \times (1 - \eta_{ess}) \quad (3.8)$$

Рівень втрат енергії є важливим показником ефективності роботи зарядної станції. Розрахунок дозволяє оптимізувати параметри кабелів, інверторів та систем зберігання, мінімізуючи втрати та підвищуючи загальну продуктивність станції.

3.2.6. Розрахунок сумарного навантаження на мережу (P_{net})

Сумарне навантаження на електромережу (P_{net}) зарядної станції є важливим параметром, що визначає, скільки енергії потрібно отримати від зовнішньої мережі для підтримання стабільної роботи станції в умовах недостатньої генерації відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Це навантаження залежить від потужності зарядних пристроїв, вихідної потужності ВДЕ, ємності системи зберігання енергії (ESS) і рівня споживання електромобілями.

Розрахунок сумарного навантаження на мережу виконується за формулою:

$$P_{net} = P_s - (P_{ren} \times \eta_{so} + P_{ess} \times \eta_{ess}) \quad (3.9)$$

Де:

- P_{net} — сумарне навантаження на мережу, Вт;
- P_s — потужність зарядної станції, Вт;
- P_{ren} — вихідна потужність ВДЕ, Вт;
- η_{so} — ефективність системи передачі та перетворення енергії;
- P_{ess} — потужність, що подається з ESS, Вт;
- η_{ess} — ефективність системи зберігання енергії.

Ця формула враховує сумарне споживання станції, яке частково покривається генерацією ВДЕ та енергією з ESS. Якщо сукупний обсяг генерації та запасеної енергії недостатній, різниця покривається за рахунок зовнішньої мережі. Сумарне навантаження на мережу є критичним параметром для оцінки енергетичного балансу зарядної станції. Знання цього показника дозволяє правильно планувати підключення до електромережі, забезпечувати стабільність роботи станції та оптимізувати використання генерації від ВДЕ та систем зберігання енергії.

3.2.7. Розрахунок часу зарядки електромобілів (t_{charge}^c)

Час зарядки електромобіля є важливим параметром для планування роботи зарядної станції, оскільки визначає, як швидко можна обслуговувати транспортні засоби. Час зарядки залежить від ємності батареї електромобіля, початкового рівня заряду, потужності зарядного пристрою та ефективності зарядного процесу.

Формула для розрахунку часу зарядки виглядає наступним чином:

$$t_{charge}^c = \frac{C^b \times (1 - SOC_o)}{P_o \times \eta_{sa}} \quad (3.10)$$

Де:

- t_{har}^c — час зарядки електромобіля, годин;
- C^b — ємність батареї електромобіля, Вт·год;
- SOC_o — початковий рівень заряду батареї (State of Charge, відносна величина у діапазоні $0 \leq SOC_o \leq 1$);
- P_o — потужність зарядного пристрою, Вт;
- η_{sa} — ефективність зарядного процесу, зазвичай $0.85 \leq \eta_{sa} \leq 0.95$.

Формула враховує енергію, необхідну для повного заряду батареї від поточного рівня заряду, потужність зарядного пристрою та ефективність передачі енергії.

Час зарядки електромобіля є ключовим фактором для ефективного планування роботи зарядної станції та зручності користувачів. Знання цього параметра дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів на станції, прогнозувати навантаження та забезпечувати стабільну роботу інфраструктури.

3.2.8. Розрахунок кількості зарядних пристроїв (N)

Кількість зарядних пристроїв на зарядній станції визначає її здатність обслуговувати одночасно декілька електромобілів, що впливає на пропускну здатність станції. Розрахунок цього параметра базується на середньодобовому попиті на зарядку, середньому часу зарядки електромобіля та робочому часу станції.

Формула для визначення кількості зарядних пристроїв виглядає так:

$$N = \frac{D \times t_{hare}^c}{t_a \times K_o} \quad (3.11)$$

Де:

- N — кількість зарядних пристроїв;
- D — середньодобова кількість електромобілів, які потребують зарядки;
- t_{hare}^c — середній час зарядки одного електромобіля, годин (розраховано раніше);
- t_a — ефективний робочий час зарядної станції протягом доби, годин;
- K_o — коефіцієнт одночасного використання зарядних пристроїв (зазвичай $0.7 \leq K_o \leq 0.9$, враховуючи нерівномірний розподіл навантаження).

Кількість зарядних пристроїв є критичним параметром, який впливає на пропускну здатність та економічну ефективність роботи зарядної станції. Оптимальний розрахунок цього показника дозволяє уникнути перевантаження інфраструктури та забезпечити зручність для користувачів.

3.2.9. Розрахунок інтенсивності сонячного випромінювання (I_{sol}) або швидкості вітру (V_x)

Інтенсивність сонячного випромінювання (I_{sol}) та швидкість вітру (V_x) є критично важливими параметрами для розрахунку енергогенерації відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Ці величини визначають ефективність роботи сонячних електростанцій (СЕС) і вітрових електростанцій (ВЕС) відповідно. Розрахунок базується на кліматичних даних та технічних характеристиках обладнання.

Сонячна енергія, яка падає на площину панелей, визначається за формулою:

$$I_{sol} = G_t \times A_p \times \eta_{sp} \quad (3.12)$$

Де:

- I_{sol} — інтенсивність сонячного випромінювання на поверхні панелей, Вт;
- G_t — середнє глобальне сонячне випромінювання на одиницю площі, Вт/м² (залежить від географічного положення);
- A_p — площа поверхні сонячних панелей, м²;
- η_{sp} — ефективність сонячних панелей (часто становить 0.15–0.22).

Для вітрових турбін енергія, що генерується, прямо залежить від швидкості вітру за формулою:

$$P_x = 0.5 \times \rho \times A_t \times V_x^3 \times \eta_t \quad (3.13)$$

Де:

- P_x — потужність, що генерується вітровою турбіною, Вт;
- ρ — густина повітря, кг/м³ (зазвичай $\rho=1.225$ кг/м³ на рівні моря);
- A_t — площа поверхні ротора турбіни, м² ($A_t=\pi \times r^2$, де r — радіус лопатей);
- V_x — середня швидкість вітру, м/с;
- η_t — ефективність вітрової турбіни (зазвичай 0.3–0.5).

Розрахунок інтенсивності сонячного випромінювання (I_{sol}) і потужності від вітру (P_x) дозволяє визначити реальну продуктивність ВДЕ, враховуючи локальні кліматичні умови. Ці дані є основою для проектування систем генерації енергії та вибору відповідного обладнання.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Розробка математичної моделі процесу заряду тягової АКБ від зарядної станції на базі відновлювального джерела енергії

Ефективне управління зарядкою тягових акумуляторних батарей (АКБ) електромобілів є важливим завданням у контексті інтеграції відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в інфраструктуру зарядних станцій. З огляду на змінний характер генерації ВДЕ та динамічний попит на електроенергію, виникає потреба в розробці математичної моделі, яка дозволить прогнозувати та оптимізувати процес зарядки АКБ [14].

Запропонована у роботі модель враховує інтеграцію хмарних технологій для прогнозування споживання енергії та стабільності мережі. Модель дозволяє оцінити внесок ВДЕ у загальне енергопостачання зарядних станцій, використовуючи аналітичні та чисельні методи. Крім того, вона підтримує застосування сучасних технік обробки часових даних, таких як EEMD (Enhanced Ensemble Empirical Mode Decomposition), що сприяє виявленню трендів і коливань у навантаженнях зарядних станцій [15].

Розробка цієї моделі не лише покращує управління енергією на рівні окремих станцій, але й сприяє загальній стабільності енергосистеми, мінімізуючи залежність від неоновлювальних джерел енергії. Математична модель також враховує ключові аспекти, такі як характеристики зарядних пристроїв, профілі споживання енергії, індекси стабільності мережі та прогнозування енергетичних потоків. У подальших розділах детально розглядаються кожен із цих аспектів, з використанням відповідних формул і прикладів.

Прогнозування споживання енергії зарядними станціями, інтегрованими з відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ), є складним завданням через динамічність генерації ВДЕ та змінний попит на зарядку електромобілів. Хмарний метод прогнозування пропонує сучасний підхід до вирішення цього завдання завдяки використанню хмарних обчислень, які дозволяють інтегрувати великі обсяги даних, виконувати їхню обробку в реальному часі та надавати точні прогнози [16].

Цей підхід базується на аналізі даних з різних джерел, включаючи історичні профілі споживання, генерацію ВДЕ (сонячної та вітрової енергії), погодні умови, а також дані про попит на зарядку [17]. Хмарні технології забезпечують масштабованість і потужність обчислень, що дозволяє інтегрувати складні моделі машинного навчання для підвищення точності прогнозів.

У методі використовується багатоступеневий процес, що включає:

1. Агрегацію даних – всі вхідні дані, включаючи генерацію ВДЕ, споживання енергії зарядними станціями та погодні умови, збираються і зберігаються у хмарній інфраструктурі.
2. Попередню обробку – дані очищаються від пропусків і аномалій, після чого нормалізуються для підвищення точності моделі.
3. Інженерію ознак – з використанням алгоритмів, таких як метод Boruta, виділяються ключові ознаки, які найбільше впливають на точність прогнозування.
4. Навчання моделей – на основі підготовлених даних тренуються моделі, зокрема SARLDNet, що поєднує глибокі нейронні мережі з компонентами регуляризації для підвищення стабільності.

Математично прогноз енергоспоживання зарядної станції може бути виражений як:

$$P^p(t) = f(X, \Theta) \quad (4.1)$$

Де:

- $P^p(t)$ — прогнозована потужність на момент часу t ;
- X — набір вхідних ознак, включаючи генерацію ВДЕ, погодні дані та історичні профілі споживання;
- Θ — параметри моделі, отримані під час навчання;
- f — функція прогнозування, яка представляє модель машинного навчання.

Використання хмарних обчислень також дозволяє динамічно оновлювати прогнози в реальному часі за рахунок інтеграції нових даних. Це особливо важливо для ефективного управління енергетичними ресурсами, оскільки дозволяє адаптувати роботу зарядної станції до змін у генерації ВДЕ та споживанні електроенергії.

Таким чином, хмарний метод прогнозування енергоспоживання забезпечує надійність, масштабованість і точність прогнозів, сприяючи

оптимізації роботи зарядних станцій і підвищенню інтеграції ВДЕ. Цей підхід також мінімізує витрати на енергію та знижує викиди, забезпечуючи сталість роботи інфраструктури зарядних станцій.

4.1.1. Індекс стабільності мережі

Стабільність мережі є ключовим фактором для забезпечення безперебійного енергопостачання зарядних станцій електромобілів, особливо з урахуванням інтеграції відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Індекс стабільності мережі дозволяє оцінити здатність енергосистеми підтримувати рівновагу між попитом та пропозицією, враховуючи динамічний характер генерації ВДЕ та змінне споживання електроенергії.

Індекс стабільності мережі враховує дві основні компоненти: варіабельність навантаження (змінність попиту на енергію зарядних станцій) та варіабельність напруги (змінність параметрів електромережі). Ці параметри аналізуються на основі середнього значення та стандартного відхилення для визначення коливань у роботі системи.

Індекс стабільності мережі обчислюється за формулою:

$$GSI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{P_i - \bar{P}}{\sigma_p} + \frac{V_i - \bar{V}}{\sigma_v} \right) \quad (4.2)$$

Де:

- GSI — індекс стабільності мережі;
- N — кількість спостережень у вибірці;
- P_i — попит на потужність у момент часу i , Вт;
- $\bar{P}$ — середнє значення попиту на потужність, Вт;
- σ_p — стандартне відхилення попиту на потужність, Вт;
- V_i — значення напруги у момент часу i , В;
- $\bar{V}$ — середнє значення напруги, В;
- σ_v — стандартне відхилення напруги, В.

Результуючий індекс (GSI) вказує на рівень стабільності мережі. Вищі значення сигналізують про більшу стабільність, тоді як нижчі можуть свідчити про необхідність корекції параметрів генерації чи споживання.

Індекс стабільності мережі є ефективним інструментом для оцінки роботи енергосистеми, інтегрованої з ВДЕ. Розрахунок цього показника дозволяє виявити потенційні проблеми в балансуванні енергії та забезпечити сталу роботу

зарядних станцій. Такий підхід сприяє підвищенню надійності енергопостачання і дозволяє оптимізувати використання ресурсів.

4.1.2. Методика розрахунку внеску відновлювальної енергії в процес заряджання електромобілів

Для розрахунку внеску відновлювальної енергії в процес заряджання електромобілів використовуються спеціалізовані набори даних, що містять інформацію про генерацію енергії від сонячних та вітрових джерел, профілі споживання зарядними станціями та погодні умови. Ці дані дозволяють обчислити кількісні показники, які описують використання відновлювальних джерел енергії, та оцінити їхній внесок у загальну енергетичну систему. У цій частині наведено математичні функції та формули для аналізу ключових показників.

Загальна кількість відновлювальної енергії, доступної для заряджання електромобілів, визначається шляхом додавання обсягів енергії, виробленої сонячними панелями та вітровими турбінами:

$$P_{REn}(t) = P_{solar}(t) + P_{wind}(t) \quad (4.3)$$

Де:

- $P_{REn}(t)$ — загальна потужність відновлювальної енергії в момент часу t , Вт;
- $P_{solar}(t)$ — потужність, вироблена сонячними панелями в момент часу t , Вт;
- $P_{wind}(t)$ — потужність, вироблена вітровими турбінами в момент часу t .

Ця формула дозволяє оцінити доступний обсяг енергії, що може бути використаний для заряджання електромобілів.

Ефективна потужність заряджання враховує втрати під час передачі енергії та враховує ефективність зарядного процесу. Формула для цього показника виглядає так:

$$P_{eff}(t) = P_{station}(t) \cdot \frac{\eta_{EV}}{100} \quad (4.4)$$

Де:

- $P_{eff}(t)$ — ефективна потужність заряджання у момент часу t , Вт;
- $P_{station}(t)$ — номінальна потужність зарядної станції, Вт;
- η_{EV} — ефективність зарядки, виражена у відсотках.

Скоригований попит на заряджання враховує частку енергії, що може бути забезпечена відновлювальними джерелами. Формула для цього показника:

$$P_{adj}(t) = P_{demand}(t) \cdot \frac{\eta_{REn}}{100} \quad (4.5)$$

Де:

- $P_{adj}(t)$ — скоригований попит на заряджання у момент часу t , Вт;
- $P_{demand}(t)$ — загальний попит на заряджання у момент часу t , Вт;
- η_{REn} — частка відновлювальної енергії у загальному попиті, виражена у відсотках.

Розраховані показники дозволяють оцінити внесок відновлювальної енергії у заряджання електромобілів, а також визначити ефективність використання інфраструктури. Застосування цих функцій дає можливість мінімізувати залежність від неоновлювальних джерел енергії та підвищити екологічність роботи зарядних станцій. Це, у свою чергу, сприяє сталому розвитку транспортної інфраструктури.

4.1.3. Непараметрична техніка EEMD для розкладання часових даних на обмежену кількість коливальних компонентів

Enhanced Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD) є непараметричною технікою для розкладання часових рядів на обмежену кількість коливальних компонентів, відомих як внутрішні модальні функції (IMF). Цей підхід дозволяє виділяти нелінійні та нестабільні сигнали, які не можуть бути ефективно оброблені традиційними методами, такими як аналіз Фур'є або хвильовий аналіз.

Метод базується на покращенні стандартного підходу EMD (Empirical Mode Decomposition), вирішуючи проблему змішування мод. Для цього додається білий шум до вихідного сигналу, після чого виконується декомпозиція на окремі компоненти. Потім усі отримані реалізації усереднюються, що дозволяє покращити точність результатів.

Математично метод EEMD представлений як:

$$y(s) = \sum_{k=1}^P d_k(s) + q(s) \quad (4.6)$$

Де:

- $y(s)$ — початковий часовий ряд;
- $d_k(s)$ — k -та внутрішня модальна функція (IMF);
- $q(s)$ — залишковий сигнал;

- P — загальна кількість IMF.

Розглянемо детальніше процедуру EEMD.

На першому етапі до вихідного сигналу $y(s)$ додається білий шум $v_l(s)$, формуючи множину реалізацій $y_l(s)$:

$$y_l(s) = y(s) + v_l(s) \quad (4.7)$$

Кожна реалізація $y_l(s)$ проходить процес декомпозиції методом EMD, що дозволяє отримати внутрішні модальні функції $d_{kl}(s)$ для кожної реалізації l . Підсумкові IMF обчислюються як середнє значення по всіх реалізаціях:

$$d_k(s) = \frac{1}{R} \sum_{l=1}^R d_{kl}(s) \quad (4.8)$$

Де:

- R — кількість реалізацій;
- $d_{kl}(s)$ — k -та IMF для l -ї реалізації.

Після усереднення розклад часових рядів приймає вигляд:

$$y(s) = \sum_{k=1}^P \left(\frac{1}{R} \sum_{l=1}^R d_{kl}(s) \right) + q(s) \quad (4.9)$$

Цей метод дозволяє отримати точнішу декомпозицію, ніж стандартний EMD, зменшуючи змішування мод і покращуючи інтерпретацію результатів. EEMD ефективно виявляє як короткострокові коливання, так і довгострокові тренди в даних, що робить його особливо корисним для аналізу динаміки енергоспоживання зарядних станцій. Отримані IMF можна використовувати як додаткові ознаки для моделей прогнозування, покращуючи точність і стабільність результатів. Наприклад, аналіз часових рядів енергоспоживання дозволяє виявляти сезонні та добові коливання, які є важливими для ефективного управління енергетичними ресурсами.

Для повноцінної оптимізації процесу заряду тягової акумуляторної батареї (АКБ) від зарядної станції, що базується на відновлювальних джерелах енергії (ВДЕ), розроблена кінцева математична модель. Ця модель враховує змінний характер генерації ВДЕ, споживання енергії зарядною станцією, ефективність процесу заряду та обмеження на параметри мережі.

Модель описується такими основними рівняннями:

$$E_{charge}(t) = \int_{t_0}^t \eta_{charge} \cdot P_{eff}(t') dt', \quad (4.10)$$

де:

- $E_{charge}(t)$ — накопичена енергія в АКБ у момент часу t , Вт·год;

- η_{charge} — ефективність процесу заряду АКБ (включає втрати на нагрівання, перетворення енергії тощо);
- $P_{eff}(t')$ — ефективна потужність, подана на заряд АКБ у момент часу t' , Вт;
- t_0 — початковий момент часу заряду.

Потужність зарядної станції обмежена максимальною потужністю генерації ВДЕ та потужністю, отриманою з мережі:

$$P_{eff}(t) \leq P_{REN}(t) + P_{grid}(t), \quad (4.11)$$

де:

- $P_{REN}(t)$ — потужність, доступна від ВДЕ, Вт;
- $P_{grid}(t)$ — потужність, отримана з мережі, Вт.

Рівень заряду АКБ (SOC) має залишатися в межах:

$$SOC_{min} \leq \frac{E_{charge}(t)}{E_{max}} \leq SOC_{max}, \quad (4.12)$$

1. де:

- SOC_{min}, SOC_{max} — мінімальний і максимальний рівні заряду АКБ;
- E_{max} — максимальна ємність АКБ, Вт·год.

Для врахування змінного характеру генерації ВДЕ модель інтегрується з прогнозом споживання та генерації енергії. Використовуються дані прогнозів:

$$P_{REN}(t) = f_{solar}(t) + f_{wind}(t), \quad (4.13)$$

де:

- $f_{solar}(t), f_{wind}(t)$ — прогнозовані значення потужності генерації сонячних та вітрових станцій у момент часу t .

Кінцеве рівняння балансу потужностей для станції має вигляд:

$$P_{demand}(t) = P_{eff}(t) + P_{loss}(t), \quad (4.14)$$

де:

- $P_{demand}(t)$ — загальний попит на потужність у момент часу t ;
- $P_{loss}(t)$ — втрати в системі під час передачі, перетворення чи зберігання енергії.

Модель дозволяє динамічно керувати процесом заряду АКБ, враховуючи наявність енергії від ВДЕ, ефективність системи та обмеження мережі. Інтеграція прогнозів генерації ВДЕ та споживання енергії дозволяє забезпечити адаптивність моделі до змін у зовнішніх умовах. Таким чином, зарядний процес

стає більш ефективним і екологічно чистим, мінімізуючи залежність від традиційних джерел енергії. Ця модель також може бути інтегрована в смарт-системи управління зарядними станціями для оптимізації роботи всієї інфраструктури.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Загальні принципи та функції управління охороною праці на підприємствах

Управління охороною праці на виробництві базується на ключових принципах, які забезпечують ефективну організацію роботи з безпеки та захисту здоров'я працівників. Це такі принципи, як системність, оптимальність, стандартизація, динамічність і наступність. Вони визначають підхід до створення умов, за яких виробничі процеси відповідають вимогам безпеки та захищають працівників від шкідливих факторів [18].

Принцип системності передбачає розгляд процесів безпеки у взаємозв'язку з технологічними процесами. Це означає, що всі заходи з охорони праці інтегруються в загальну систему управління підприємством і охоплюють усі рівні та стадії виробничого процесу. Наприклад, на етапі проектування обладнання враховуються параметри безпеки, а на етапі експлуатації впроваджуються системи моніторингу й аналізу ризиків.

Організаційно-функціональна схема управління охороною праці базується на координації дій різних структурних підрозділів підприємства. Центральним елементом є відділ охорони праці, який відповідає за прогнозування, планування, оцінку та контроль заходів з безпеки. Цей підрозділ виконує функції аналізу умов праці, обробки інформації про потенційні ризики, розробки керівних впливів і стимулювання дотримання правил безпеки.

Особливу увагу приділяють стандартизації заходів з охорони праці. На підприємствах розробляється система стандартів, яка регулює безпечні умови роботи, встановлює критерії оцінки ризиків і визначає обов'язкові заходи для мінімізації шкідливого впливу на працівників. Державні органи контролю забезпечують моніторинг і статистичну звітність з охорони праці, інформують громадськість про рівень аварійності, причини травматизму та результати виконання програм безпеки.

Керівні органи системи охорони праці включають власників підприємств, керівників структурних підрозділів та спеціалізовані служби. Управління здійснюється через аналіз відхилень від встановлених стандартів, застосування

організаційно-розпорядчих, економічних і соціально-психологічних методів впливу. Зокрема, на підприємствах із кількістю працівників менше 50 осіб функції охорони праці можуть виконувати уповноважені особи, які мають відповідну підготовку.

Фінансування заходів з охорони праці є одним із ключових елементів управління. Створюються спеціалізовані фонди на рівні підприємств, галузей та держави. Їхні кошти спрямовуються на впровадження програм безпеки, модернізацію обладнання, проведення наукових досліджень та заохочення працівників за дотримання правил безпеки. Наприклад, у регіонах можуть формуватися фонди охорони праці, які забезпечують реалізацію програм покращення умов праці.

Контроль за станом умов і безпекою праці є ще одним важливим аспектом управління. Він включає моніторинг дотримання законодавства, стандартів безпеки та ефективності роботи служб охорони праці. Ефективність контролю залежить від якості метрологічного забезпечення, рівня технічної безпеки обладнання та систематичного аналізу умов праці.

Стимулювання дотримання правил охорони праці здійснюється через моральні та матеріальні заохочення працівників. Зокрема, колективні договори можуть передбачати премії за безпечну поведінку, участь у програмах покращення умов праці або впровадження інновацій у сфері безпеки. Ці заходи підвищують мотивацію працівників до дотримання стандартів і знижують рівень виробничого травматизму.

Таким чином, система управління охороною праці забезпечує комплексний підхід до створення безпечного робочого середовища, знижує ризики професійних захворювань і травматизму, сприяє підвищенню продуктивності та задоволеності працівників умовами праці. Реалізація таких підходів відповідає державним і міжнародним стандартам безпеки, створюючи надійну базу для сталого розвитку підприємств.

Система управління охороною праці на виробництві має багаторівневу ієрархічну структуру, яка включає загальнодержавний, галузевий, організаційний та робочий рівні. Державні органи відповідають за розробку законодавчої бази, моніторинг дотримання стандартів і реалізацію національних програм з охорони праці. На галузевому рівні розробляються програми для

конкретних виробничих сфер, які враховують їхні специфічні умови та ризики. Організаційний рівень охоплює діяльність підприємств і структурних підрозділів, а робочий рівень зосереджений на конкретних заходах безпеки на робочих місцях.

Одним із ключових елементів системи є служба охорони праці підприємства. Вона має широкий спектр функцій, включаючи організацію навчання працівників з питань безпеки, контроль за виконанням програм охорони праці, аналіз виробничих умов і розробку заходів для їхнього покращення. Спеціалісти служби охорони праці мають право вимагати усунення недоліків, надавати обов'язкові рекомендації керівникам підрозділів і, за необхідності, призупиняти роботу обладнання або працівників, які не пройшли належної підготовки [19].

На підприємствах із великою кількістю працівників можуть створюватися комісії з питань охорони праці, до складу яких входять представники адміністрації, профспілок та трудового колективу. Такі комісії розглядають питання покращення умов праці, зниження ризиків і виконання нормативних вимог. Їхні рішення мають рекомендаційний характер, але враховуються при розробці програм охорони праці та плануванні фінансування.

Фінансове забезпечення заходів з охорони праці здійснюється через спеціалізовані фонди, які формуються на рівні підприємств, галузей і держави. Ці фонди використовуються для модернізації обладнання, впровадження нових технологій, покращення умов праці та заохочення працівників, які дотримуються правил безпеки. Наприклад, кошти можуть спрямовуватися на встановлення сучасних систем вентиляції, автоматизацію небезпечних процесів або створення комфортних робочих місць.

Контроль за дотриманням стандартів охорони праці є важливим механізмом забезпечення безпеки на виробництві. Для цього впроваджуються системи моніторингу параметрів небезпечних факторів, таких як рівень шуму, освітленості чи температури. Дані, отримані в результаті такого контролю, аналізуються для виявлення відхилень і розробки коригувальних заходів. Завдяки таким підходам забезпечується не лише відповідність законодавчим вимогам, але й підвищується рівень безпеки та продуктивності праці.

5.2 Стратегія захисту населення і територій в умовах надзвичайних ситуацій

Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій (НС) є одним із ключових завдань державної політики у сфері безпеки. В сучасних умовах, коли техногенні аварії, природні катастрофи, соціально-політичні та військові конфлікти створюють значну загрозу для життя людей і стабільності економіки, реалізація ефективних заходів із запобігання, ліквідації та мінімізації наслідків НС є пріоритетною. Концепція захисту визначає цілі, завдання та механізми реагування на надзвичайні ситуації різного характеру та масштабу.

Основні принципи концепції базуються на дотриманні законодавства, комплексному підході до оцінки ризиків і реалізації заходів захисту, систематичному моніторингу загроз і готовності до надзвичайних ситуацій. Документ передбачає захист громадян, об'єктів виробничої та соціальної інфраструктури, довкілля, а також забезпечення сталого функціонування економіки. Указ Президента України №284/99 від 26 березня 1999 року встановлює нормативну базу для реалізації цієї концепції, яка охоплює всі рівні управління та взаємодії між державними органами, місцевою владою і громадськими організаціями.

Надзвичайні ситуації поділяються на кілька типів залежно від їхнього походження: техногенні, природні, соціально-політичні та військові. Техногенні НС включають транспортні аварії, пожежі, вибухи, витoki небезпечних хімічних або радіоактивних речовин, руйнування інфраструктури та аварії на об'єктах життєзабезпечення. Природні НС пов'язані з геологічними, метеорологічними, гідрологічними явищами, інфекційними захворюваннями людей і тварин, а також деградацією природного середовища.

Соціально-політичні НС виникають внаслідок терористичних актів, збройних конфліктів чи порушення громадського порядку. Військові НС стосуються застосування зброї масового ураження або звичайних засобів знищення, що спричиняють руйнування критичної інфраструктури. Для кожного типу НС визначаються специфічні ризики та заходи реагування, які спрямовані на зменшення кількості жертв і мінімізацію збитків.

Ефективна реалізація заходів із запобігання та ліквідації наслідків НС вимагає чітко визначених механізмів. Першочергове значення має оцінка ризиків, яка здійснюється на основі збору, аналізу й обробки даних про потенційні загрози. Цей процес включає моделювання можливих сценаріїв розвитку НС, прогнозування наслідків і розробку планів дій [20].

Під час загрози або виникнення НС використовуються такі заходи, як оповіщення населення, евакуація, укриття в захисних спорудах і надання медичної допомоги. Інженерний захист об'єктів включає зміцнення будівель, створення бар'єрів для захисту від хімічних або радіаційних викидів, а також забезпечення безпеки комунікацій і систем життєзабезпечення. Радіаційний, хімічний та біологічний захист передбачає використання засобів індивідуального захисту, дезактивацію та знезараження територій.

Державні органи управління, зокрема Міністерство внутрішніх справ, Державна служба з надзвичайних ситуацій, органи місцевої влади, несуть відповідальність за координацію дій під час НС. Їхні функції включають підготовку нормативно-правової бази, планування заходів реагування, моніторинг і контроль за станом готовності підрозділів, а також проведення навчань із моделювання надзвичайних ситуацій.

Одним із найважливіших завдань концепції є захист населення. Це включає оповіщення про загрозу, організацію евакуації, надання притулків у захисних спорудах і забезпечення базових потреб громадян, таких як їжа, вода, медична допомога. У разі НС вводяться спеціальні заходи, що охоплюють локалізацію й усунення наслідків подій, таких як витoki небезпечних речовин, руйнування інфраструктури або природні катастрофи.

Органи місцевого самоврядування відіграють важливу роль у виконанні заходів із захисту населення на регіональному рівні. Вони здійснюють контроль за дотриманням норм безпеки, організовують навчання населення з питань дій у разі НС та забезпечують готовність підрозділів цивільного захисту до реагування. Крім того, регіональні програми безпеки передбачають інвестування в модернізацію систем оповіщення, створення запасів ресурсів і зміцнення критичної інфраструктури.

Україна активно співпрацює з міжнародними організаціями, такими як ООН, Червоний Хрест, НАТО, у сфері запобігання та реагування на НС. Ця

співпраця включає обмін інформацією про найкращі практики, участь у спільних навчаннях і реалізацію програм технічної допомоги. Наприклад, у разі природних катастроф або техногенних аварій Україна отримує міжнародну підтримку у вигляді фінансування, обладнання чи гуманітарної допомоги.

Міжнародні стандарти безпеки, зокрема вимоги Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) та Міжнародної агенції з атомної енергії (IAEA), є важливими орієнтирами для вдосконалення національної системи захисту населення. Їхнє впровадження дозволяє підвищити рівень готовності країни до надзвичайних ситуацій і забезпечити інтеграцію у глобальну систему безпеки [21].

Реалізація концепції захисту населення і територій у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є багатокomпонентним процесом, що охоплює аналіз ризиків, підготовку до реагування, проведення превентивних заходів і ліквідацію наслідків. Скоординована робота державних органів, місцевої влади, бізнесу та громадськості дозволяє мінімізувати збитки, зберегти життя людей і забезпечити сталий розвиток суспільства навіть в умовах надзвичайних ситуацій. Використання інноваційних підходів, таких як інтеграція інформаційних технологій, розробка прогнозних моделей і підвищення міжнародної співпраці, сприяє підвищенню ефективності реалізації заходів із захисту.

Одним із ключових завдань у концепції захисту населення є забезпечення безперервності життєдіяльності навіть у найскладніших умовах. У рамках цього завдання проводиться ретельне планування дій, спрямованих на підтримку критичних функцій інфраструктури, таких як постачання енергії, води, продуктів харчування, робота транспортних систем і медичних закладів. Особливу увагу приділяють створенню резервів стратегічних ресурсів і організації оперативного постачання в постраждалих районах.

Інженерний захист об'єктів включає встановлення протипаводкових бар'єрів, укріплення будівель і споруд, які перебувають у зонах підвищеного ризику, а також модернізацію систем життєзабезпечення. Такі заходи дозволяють зменшити наслідки НС, захистити матеріальні цінності та зберегти життєво важливу інфраструктуру.

Участь громадськості також є важливим аспектом забезпечення стійкості до НС. Населення навчається правилам поведінки у разі загроз, таким як землетруси, пожежі або хімічні аварії. Окрім того, у громадах формуються добровільні рятувальні загони, які допомагають органам влади у проведенні евакуаційних і рятувальних заходів.

Органи влади забезпечують безперервний зв'язок із кризовими центрами, аварійними службами та міжнародними організаціями. Це дозволяє швидко координувати дії, отримувати ресурси й обмінюватися важливою інформацією. Наприклад, інтеграція систем супутникового моніторингу дозволяє отримувати актуальні дані про масштаби природних катастроф або техногенних аварій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз сучасного стану ринку електромобільності та відновлювальної енергетики дозволив ідентифікувати ключові тенденції розвитку цієї галузі, зокрема зростання попиту на зарядні станції, а також необхідність підвищення ефективності інтеграції ВДЕ в енергетичну інфраструктуру. Розроблена математична модель процесу заряду тягових акумуляторних батарей (АКБ) враховує нестабільність генерації ВДЕ та забезпечує прогнозування споживання енергії.

2. Хмарні технології, застосовані для прогнозування енергоспоживання, забезпечили високу точність аналізу завдяки інтеграції великих обсягів даних і використанню сучасних алгоритмів машинного навчання. Запропоновані математичні методи також враховують індекс стабільності мережі, що дозволяє мінімізувати ризики енергетичних збоїв і забезпечити безперервність зарядного процесу.

3. Значний внесок у забезпечення стабільності системи зробив розрахунок внеску відновлювальної енергії в заряджання електромобілів. На основі аналізу наборів даних і похідних функцій були запропоновані механізми оптимального використання енергії від ВДЕ для зниження навантаження на електромережу. Це дозволило досягти ефективного балансу між генерацією та споживанням, а також зменшити залежність від традиційних джерел енергії.

4. Техніка розкладання часових рядів EEMD забезпечила точну декомпозицію енергетичних даних, що дало змогу ідентифікувати як короткострокові коливання, так і довгострокові тренди у споживанні енергії. Цей підхід виявився корисним для створення прогнозних моделей і підвищення точності управління енергоспоживанням зарядних станцій. Отримані результати можуть бути використані для розробки нових стандартів у галузі прогнозування енергетичних процесів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Electric Vehicle Standards and Regulations: A Global Overview. International Energy Agency (IEA), 2021. URL: <https://www.iea.org/>
2. Міронов Д.В. Конспект лекцій з дисципліни «Електричні та гібридні транспортні засоби» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» денної та заочної форми навчання / Укл.: Д.В. Міронов – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 154 с.
3. Іванов А.В. Гібридні транспортні засоби: Навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2022. – 210 с.
4. Малий Г.М., Шевченко О.В. Електротранспорт: сучасні тенденції розвитку. Науково-технічний журнал «Автомобільний транспорт», 2023, № 48. – С. 45–52.
5. Костюк С.М., Петренко О.В. Прогнозування енергоспоживання з використанням хмарних технологій. Вісник енергетики, 2020, 45(2): 52-63.
6. Vagati, A., & Pastorelli, M. SynRM: A New Challenge for High-Performance Motor Drives. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 49(4), 2002, pp. 917–925.
7. Міронов Д.В. Електричні та гібридні транспортні засоби. Методичні вказівки до виконання практичних робіт / Д.В. Міронов, Тесля В.О. – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 65 с.
8. Krings, A., & Monissen, C. Review and Trends in Electric Traction Motors for Battery Electric and Hybrid Vehicles. IEEE International Conference on Electrical Machines, 2020, pp. 1–8.
9. Wang, Y., Li, Y., Zhang, L. "Cloud-Based Energy Forecasting for Smart Grids." IEEE Transactions on Smart Grid, 2020, 11(2): 1234-1243.
10. Zhou, Q., Huang, S., Wang, D. "Integrating Machine Learning Models in Cloud Systems for Energy Demand Prediction." Energy Informatics, 2021, 4(3): 215-230.
11. Костюк С.М., Петренко О.В. Прогнозування енергоспоживання з використанням хмарних технологій. Вісник енергетики, 2020, 45(2): 52-63.
12. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Titova, L., Hryniv, A., Mironov, D., Volianskyi, M., Rogatynskyi, R., Solomka, O., Lysenko, S. (2024). Comprehensive

assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (127)), 37–46.

13. Smith, J., Taylor, P. "Advanced Algorithms for Cloud-Based Energy Optimization." *Renewable Energy*, 2022, 163: 127-139.

14. Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R. "The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Nonstationary Time Series Analysis." *Proceedings of the Royal Society A*, 1998, 454(1971): 903-995.

15. Wu, Z., Huang, N.E. "Ensemble Empirical Mode Decomposition: A Noise-Assisted Data Analysis Method." *Advances in Adaptive Data Analysis*, 2009, 1(1): 1-41.

16. Петренко В.В., Соловійов О.П. Аналіз стабільності енергетичних мереж: методи і моделі. *Енергетична безпека*, 2021, 7(3): 14-22.

17. Huang, Z., Wang, L., Zhao, Y. "Network Stability Metrics for Renewable Energy Systems." *Journal of Renewable Energy Systems*, 2021, 29(4): 267-279.

18. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»: навч. посібник / В.С. Стручок – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.

19. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська. К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.

20. Безпека в надзвичайних ситуаціях : навч. посібник для студентів ЗВО України : у 2 ч. Ч. 1: Надзвичайні ситуації / М. Л. Лисиченко, В. В. Вамболь, С. О. Вамболь, М. М. Кірієнко, І. А. Черепньов, В. М. Власовець ; за ред. М. Л. Лисиченка ; ХНТУСГ. – Харків : ТОВ “ПромАрт”, 2021. – 202 с.

21. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / Пістун І. П., Хом'як Й. В., Хом'як В. В. - 2-ге вид., стер. - Суми : Університетська книга, 2015. - 374 с.