

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

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проектування швидкісної зарядної станції для електро- і гібридних транспортних засобів з живленням від сонячних панелей

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МА-41 спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

	Пайончківський Д.Т. (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	Пиндус Т.Б. (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис) (прізвище та ініціали)
Зав. кафедри	Цьонь О.П (підпис) (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)

«24» січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Пайончківському Дмитру Тарасовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування швидкісної зарядної станції для електро- і гібридних транспортних засобів з живленням від сонячних панелей

Керівник роботи Пиндус Тетяна Борисівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» січня 2025 року № 4/7-46

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2025

3. Вихідні дані до роботи Технічні параметри зарядних пристроїв та параметри АКБ для електро- і гібридних автомобілів. Технічні параметри сонячних батарей.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

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

Динаміка реєстрацій і продажів електромобілів у світі – 1А1.

Динаміка реєстрацій і продажів електромобілів в Україні – 1А1.

Основні типи електро- і гібридних автомобілів – 1А1.

Основні типи тягових акумуляторів електро- і гібридних автомобілів – 1А1.

Технічні характеристики основних типів зарядних станцій – 1А1.

Технічні характеристики основних типів сонячних електростанцій – 1А1.

Принципова схема та технічні характеристики зарядного пристрою з СЕС – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання

24.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	07.02.2025	
2	Технологічний розділ	06.06.2025	
3	Конструкторський розділ	13.06.2025	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	18.06.2025	
5	Оформлення графічної частини	20.06.2025	
6	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	23.06.2025	

Студент

(підпис)

Пайончківський Д.Т.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Пиндус Т.Б.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи бакалавра на тему: «Проектування швидкісної зарядної станції для електро- і гібридних транспортних засобів з живленням від сонячних панелей».

Метою роботи є розробка технічних рішень та рекомендацій щодо проектування швидкісних зарядних станцій електромобілів, інтегрованих з малогабаритними сонячними електростанціями.

Об'єктом дослідження є зарядні станції для електро- і гібридних транспортних засобів, які використовують відновлювані джерела енергії, зокрема сонячні панелі.

Предметом дослідження є методики розрахунку та вибору оптимальних схемотехнічних і конструктивних рішень швидкісних зарядних станцій, які забезпечуються енергією від сонячних електростанцій, а також аналіз їх розміщення та енергетичної ефективності.

У роботі виконано аналіз сучасного стану електромобільності у світі та в Україні, вивчено основні параметри та характеристики сучасних електричних і гібридних автомобілів. Досліджено типи та режими заряджання акумуляторних батарей, а також стандарти і технології підключення зарядних станцій до електромережі. Визначено основні технологічні рішення інтеграції сонячних панелей із швидкісними зарядними станціями та здійснено вибір схемотехнічних рішень для реалізації такого проекту. Розроблено конструктивну схему зарядної станції з сонячним живленням, визначено оптимальне місце розміщення, виконано розрахунок необхідної потужності станцій та кількості точок підключення. Також висвітлено питання безпеки життєдіяльності, охорони праці та захисту населення і територій у разі виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з експлуатацією зарядних станцій на сонячній енергії.

Пояснювальна записка складається з чотирьох розділів і 63 сторінки формату А4 та 7 аркушів формату А1 графічної частини і 7 сторінок додатків.

Ключові слова: електричний автомобіль, гібридний автомобіль, зарядна станція, сонячна енергія, акумуляторна батарея, схемотехнічні рішення, інтеграція відновлюваних джерел енергії.

	5
ЗМІСТ	
РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1 Сучасний стан електромобільності у світі та Україні	7
1.2 Основні параметри та характеристики сучасних електро- і гібридних автомобілів	11
1.3 Типи і режими заряджання акумуляторних батарей електромобілів	16
1.4 Постановка задач дослідження	20
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	22
2.1 Аналіз сучасних технологій швидкісних зарядних станцій	22
2.2 Огляд технологічних рішень малогабаритних сонячних електростанцій	26
2.3 Технічні рішення інтеграції сонячних панелей з зарядними станціями	31
2.4 Вибір схемотехнічних рішень для швидкісної зарядної станції з сонячним живленням	35
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	41
3.1 Розробка структурної схеми зарядної станції з живленням від сонячних панелей	41
3.2 Розрахунок необхідної потужності зарядних станцій та кількості точок підключення	49
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	54
4.1 Основні принципи та функції управління охороною праці на виробництві	54
4.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	60
БІБЛІОГРАФІЯ	62
ДОДАТКИ	64

ВСТУП

Сучасний етап розвитку транспортної галузі характеризується стрімким зростанням інтересу до електричних та гібридних транспортних засобів. Перехід до електромобільності зумовлений необхідністю зменшення залежності від викопних енергоресурсів, зниження рівня забруднення довкілля та боротьби зі змінами клімату. Паралельно з цим розвиток відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної енергетики, відкриває перспективи для створення стійких та автономних енергетичних систем для заряджання транспортних засобів.

Актуальність теми полягає у необхідності забезпечення ефективної та доступної мережі зарядних станцій, що використовують відновлювану енергію, яка дозволить знизити навантаження на енергомережу та мінімізувати екологічний вплив. Застосування сонячних електростанцій у якості джерел живлення для зарядних станцій відкриває нові можливості для автономного та екологічно чистого енергопостачання.

Метою роботи є розробка технічних рішень для проектування швидкісних зарядних станцій електромобілів, які використовують сонячні панелі в якості основного джерела живлення, а також визначення оптимальних параметрів та розміщення таких станцій.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

1. Провести аналіз сучасного стану електромобільності в Україні та світі.
2. Вивчити параметри та особливості електричних і гібридних автомобілів.
3. Дослідити типи та режими заряджання акумуляторних батарей електромобілів.
4. Визначити сучасні стандарти та технології підключення зарядних станцій до електромережі.
5. Виконати аналіз та обрати технологічні рішення інтеграції сонячних панелей із зарядними станціями.
6. Розробити конструктивну схему швидкісної зарядної станції з живленням від сонячних панелей.
7. Провести розрахунок оптимальної потужності та кількості точок зарядних станцій.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Сучасний стан електромобільності у світі та Україні

Сучасна автомобільна галузь переживає значні трансформації, зокрема завдяки активному переходу на електричні транспортні засоби. Зростання популярності електромобілів обумовлене низкою глобальних викликів, серед яких ключовими є потреба у скороченні викидів парникових газів, зниження залежності від викопних джерел енергії, покращення якості повітря у великих містах та боротьба зі зміною клімату. Електромобілі є значно екологічнішими за традиційні автомобілі, оскільки не продукують шкідливих викидів в процесі експлуатації.

За інформацією Міжнародного енергетичного агентства (IEA) [1], у 2024 році глобальні продажі електромобілів перевищили 17 мільйонів одиниць, що склало понад 20% від загального обсягу продажів нових автомобілів. Це вказує на стрімке зростання популярності та поширення електричного транспорту у світі.

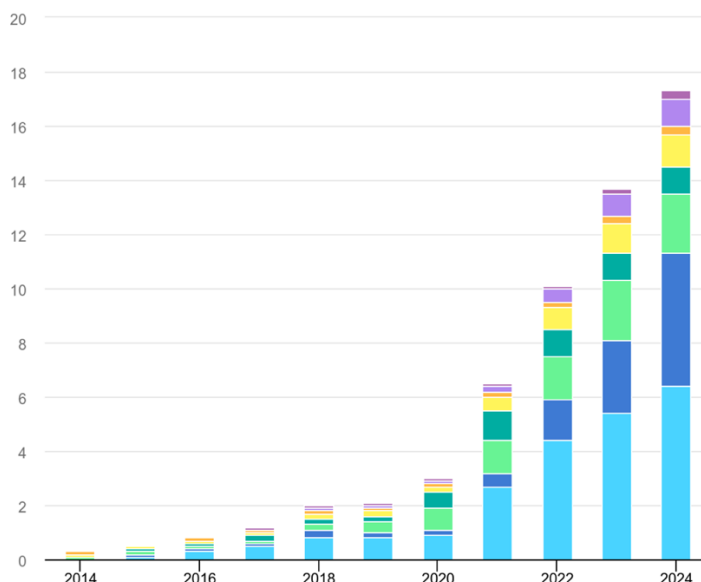


Рисунок 1.1. Динаміка глобальних продажів електромобілів у світі

Світовим лідером за темпами впровадження електромобільності залишається Китай, де у 2024 році було продано понад 11 мільйонів електромобілів, що становить близько 65% світового ринку. Частка електромобілів у загальних продажах нових автомобілів у Китаї наблизилась до 50%. Такий успіх зумовлений активною державною підтримкою, яка включає значні субсидії для виробників і споживачів електротранспорту, а також звільнення від податків. Крім того, Китай активно інвестує в розвиток інфраструктури зарядних станцій, що робить використання електромобілів значно зручнішим і доступнішим для громадян.

Країни Європейського Союзу також активно впроваджують електромобільність. На кінець 2024 року близько 20% усіх нових автомобілів, проданих в ЄС, були електричними. Особливо високий рівень електромобільності спостерігається в

Норвегії, де у 2024 році електромобілі становили 88% усіх нових автомобілів. Такий результат досягнутий завдяки широкомасштабним державним програмам підтримки, що включають пільгові податкові умови, безкоштовне паркування, можливість руху смугами громадського транспорту та добре розвинену інфраструктуру зарядних станцій.

В США у 2024 році продажі електромобілів перевищили 1,6 мільйона одиниць, що склало більше 10% загального ринку нових автомобілів. Причиною такого зростання є комплексний підхід до стимулювання електромобільності, який включає як федеральні, так і регіональні субсидії, пільги на придбання електромобілів, а також значні інвестиції у розбудову національної мережі зарядних станцій. Розширення асортименту доступних моделей електромобілів також сприяє зростанню попиту серед американських споживачів.

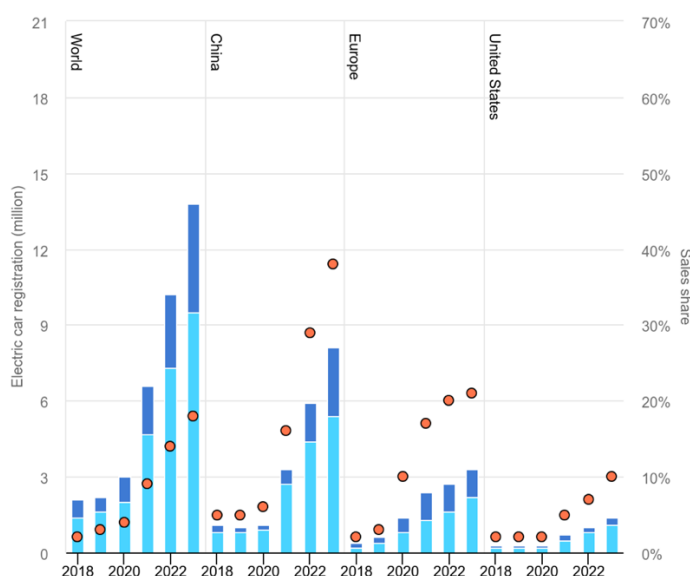


Рисунок 1.2. Динаміка реєстрацій електромобілів в Європі і світі

У 2024 році ринок електромобілів в Україні продовжив демонструвати позитивну динаміку [2]. Згідно з даними «Укравтопрому», за рік було зареєстровано 51,7 тисячі електромобілів, що на 38% більше порівняно з 2023 роком. Станом на кінець 2024 року загальна кількість електромобілів в Україні досягла 139 200 одиниць.

З 2018 року в Україні діє система податкових пільг для імпорту електромобілів. До кінця 2025 року електрокари звільнені від сплати мита та ПДВ, а акцизний збір становить лише 1 євро за 1 кВт·год ємності батареї. Ці пільги значно знижують вартість електромобілів для кінцевих споживачів. Однак, з 1 січня 2026 року планується скасування цих пільг, що може призвести до подорожчання електромобілів на 20–30%.

Інфраструктура для зарядки електромобілів в Україні активно розвивається. Станом на 2024 рік в країні налічується 2 054 зарядні станції з 4 069 точками підключення. Це забезпечує співвідношення приблизно одна зарядна станція на кожні

7 електромобілів, що є порівнянним з показниками деяких європейських країн. Уряд України має амбітні плани щодо подальшого розвитку інфраструктури. Зокрема, до 2032 року планується обладнати не менше 15% паркомісць зарядними станціями звичайної потужності, а до 2050 року цей показник має зрости до 100%.

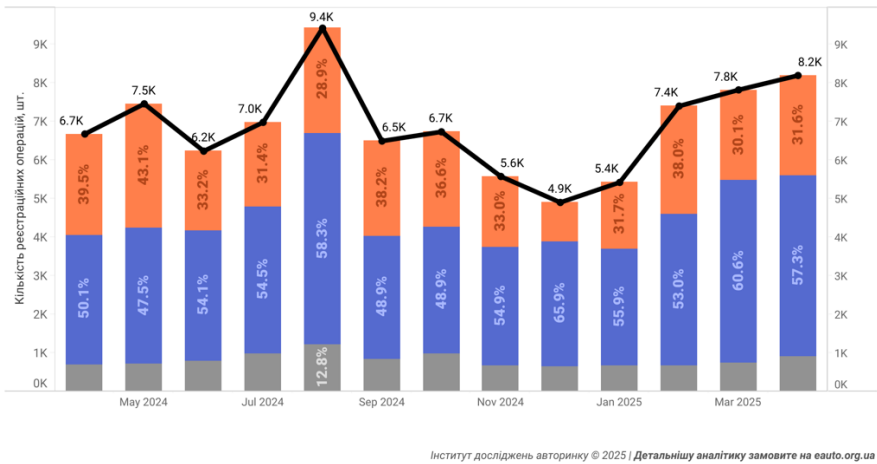


Рисунок 1.3. Динаміка кількості реєстрацій електромобілів в Україні

У 2024 році світовий ринок електромобілів продовжив демонструвати динамічне зростання [3], хоча темпи варіювалися залежно від регіону. Загалом було продано понад 17 мільйонів електромобілів, що становить понад 20% від загального обсягу продажів нових автомобілів. Це свідчить про поступовий перехід до електромобільності в багатьох країнах.

Таблиця 1.1. Продажі електромобілів у 2024 році в провідних країнах

Країна	Продажі EV (тис. од.)	Частка ринку EV (%)	Зміна до 2023 року (%)
Китай	11 000	50	+40
США	1 800	12	+9
Норвегія	110	91.6	+1.2
Швеція	171	60	+3.5
Нідерланди	140	30	+2.1
Франція	450	25	+1.8
Великобританія	470	25	+2.0
Німеччина	699	24.6	-1.2
Канада	210	9.4	+1.3
Австралія	100	10	+2.5
Україна	77.5	6.83	+44.6

У Китаї електромобілі склали половину всіх продажів нових автомобілів, що стало можливим завдяки державним субсидіям та розвиненій інфраструктурі. У США зростання склало 9%, хоча частка ринку EV залишилася на рівні 12%. Європейські

країни, такі як Норвегія, Швеція та Нідерланди, продовжують лідирувати за часткою електромобілів у загальних продажах.

В Україні ринок електромобілів зріс на 44.6% порівняно з 2023 роком, досягнувши 77.5 тисяч одиниць. Це зростання обумовлене податковими пільгами, зокрема звільненням від ПДВ та акцизного збору при імпорті електромобілів. Також спостерігається активний розвиток інфраструктури зарядних станцій, що сприяє популяризації електротранспорту в країні.

У країнах Європейського Союзу, зокрема в Норвегії, частка електромобілів в продажах вже майже повністю витіснила транспорт із ДВЗ — у 2024 році понад 91% нових автомобілів, що були придбані, мали електричну силову установку. Така ситуація склалась завдяки багаторічним комплексним програмам підтримки електротранспорту: відсутності мит і податків, безкоштовному паркуванню, зниженим дорожнім зборам та доступу до автобусних смуг. У Швеції та Нідерландах електромобілі займають понад 30–60% ринку нових продажів, тоді як автомобілі з ДВЗ поступово втрачають конкурентоспроможність навіть у бюджетному сегменті.

У США, хоча ринок електромобілів зростає повільніше, продажі EV перевищили 1,8 млн одиниць у 2024 році. Це складає 12% ринку нових авто. Для порівняння, автомобілі з ДВЗ все ще домінують, але їх частка зменшується щороку, що є наслідком посилення екологічних стандартів та федеральних субсидій на електромобілі.

У Німеччині, Франції, Великій Британії електромобілі вже займають 24–25% ринку, і хоча автомобілі з ДВЗ залишаються основною масою автопарку, вони дедалі частіше поступаються новим технологіям [4]. При цьому саме автомобілі з гібридними силовими установками відіграють роль «перехідного» рішення — частка PHEV (плагін-гібридів) зростає нарівні з BEV.

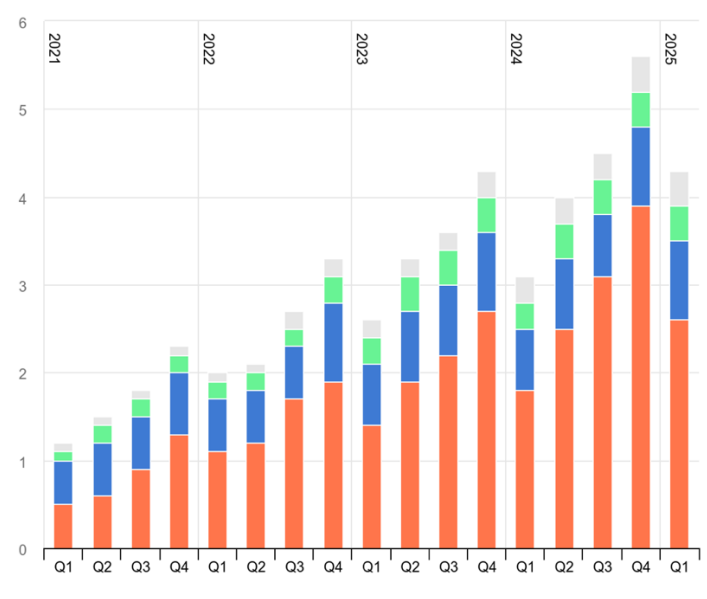


Рисунок 1.4. Динаміка продажів електромобілів у світі за період 2021-2025 рр.

В Україні ситуація дещо інша. У 2024 році частка електромобілів у загальних продажах нових авто становила лише близько 7%, тоді як переважна більшість автомобілів все ще оснащені ДВЗ. Причини цього — як економічні, так і інфраструктурні. Зокрема, на ринку домінують уживані авто з Європи, серед яких переважно транспорт з бензиновими та дизельними двигунами. Водночас, зростаючий попит на електромобілі обумовлений зручністю зарядки у міських умовах, відсутністю необхідності в дорогому паливі та підтримкою з боку держави у вигляді податкових пільг.

1.2. Основні параметри та характеристики сучасних електро- і гібридних автомобілів

Електричні та гібридні автомобілі становлять основу трансформації сучасного транспорту в бік більш екологічних та енергоефективних рішень. На відміну від традиційних транспортних засобів із двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), ці автомобілі використовують електричну енергію як основне або додаткове джерело живлення, що дозволяє знизити рівень викидів шкідливих речовин і зменшити залежність від викопного палива [5].

Електромобіль (Battery Electric Vehicle, BEV) — це транспортний засіб, який повністю працює від електродвигуна, живлення якого здійснюється від тягової акумуляторної батареї. BEV не має ДВЗ, систем подачі пального чи вихлопної системи. Заряджання здійснюється від зовнішніх джерел електроенергії через роз'єм. Серед ключових параметрів BEV — ємність батареї (зазвичай від 30 до 100 кВт·год), запас ходу (залежно від моделі — 150–600 км), час зарядки та максимальна потужність зарядного пристрою.

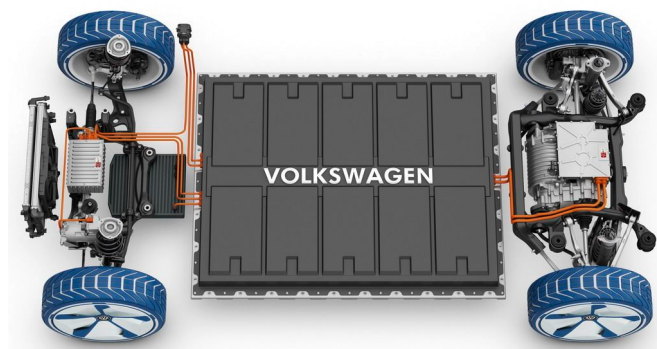


Рисунок 1.5. Електромобіль (Battery Electric Vehicle, BEV)

Його силова установка складається з одного або кількох електродвигунів, які живляться від акумуляторної батареї. У таких авто відсутній двигун внутрішнього згоряння, паливна система, коробка передач у традиційному розумінні та вихлопна система. Основним елементом живлення є високовольтна літій-іонна батарея, ємність якої залежить від призначення і класу автомобіля. У сучасних моделях вона може варіюватися від 24 до понад 120 кіловат-годин. Зокрема, масові моделі на кшталт Tesla

Model 3 Long Range або Hyundai IONIQ 6 оснащуються батареями, що дозволяють долати до 600–700 км на одному заряді за циклом WLTP.

Процес зарядки BEV здійснюється від зовнішніх джерел струму. При використанні змінного струму (AC) через стандартний роз'єм Type 2 автомобіль може заряджатися зі швидкістю до 22 кіловат, що зазвичай займає кілька годин. Однак значно поширеніше в міських умовах є повільне заряджання на 7–11 кВт, яке дозволяє повністю зарядити авто за ніч. Для подорожей чи інтенсивного використання застосовується зарядка постійним струмом (DC) за допомогою швидкісних станцій типу CCS Combo 2, що забезпечують потужність до 350 кВт. У таких випадках досягнення 80% заряду можливе менш ніж за 30 хвилин. Автомобілі з архітектурою 800 В, як-от Porsche Taycan, дозволяють ще більше скоротити час підзарядки.

З огляду на відсутність у BEV двигуна внутрішнього згоряння та пов'язаних із ним систем, експлуатаційні витрати значно нижчі. У таких авто відсутні витрати на моторне масло, фільтри, паливну систему або зчеплення. Крім того, витрати на енергію у перерахунку на 100 км пробігу у кілька разів менші, ніж при використанні бензину або дизелю. У багатьох країнах електромобілі додатково отримують фінансову підтримку — знижене оподаткування, безкоштовне паркування або відсутність мита при імпорті. В Україні, наприклад, на час до кінця 2025 року діють податкові пільги при ввезенні електрокарів.

Гібридний автомобіль (Hybrid Electric Vehicle, HEV) — це транспортний засіб, який поєднує в собі електродвигун і ДВЗ [6]. Основною особливістю HEV є те, що зарядка акумулятора відбувається виключно за рахунок рекуперативного гальмування або роботи ДВЗ, а не від зовнішніх джерел. У такому автомобілі електродвигун використовується для допомоги ДВЗ під час розгону, що знижує споживання пального. HEV не мають можливості підзарядки від електромережі.

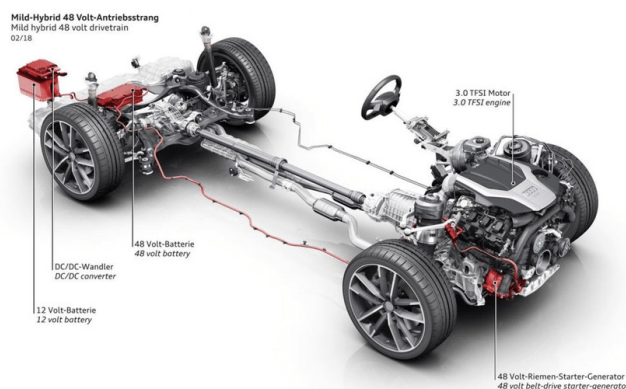


Рисунок 1.6. Гібридний автомобіль (Hybrid Electric Vehicle, HEV)

Конструктивно такі автомобілі мають компактні акумуляторні батареї з ємністю зазвичай у межах 1–2 кВт·год, які забезпечують короткочасну підтримку електротяги при старті, прискоренні або русі на низьких швидкостях. Це дозволяє знизити навантаження на ДВЗ, покращити паливну ефективність і зменшити викиди. Під час

руху з помірною швидкістю, наприклад у міських умовах, HEV здатні періодично переходити в режим повністю електричної тяги на відстані до кількох кілометрів, хоча такий режим не є тривалим і залежить від рівня заряду батареї.

Двигун внутрішнього згоряння у HEV залишається основним рушієм і джерелом енергії. Він працює у зв'язці з електродвигуном, забезпечуючи передачу крутного моменту на колеса або заряджаючи акумулятор у моменти низького навантаження. Координацію роботи обох двигунів здійснює електронна система керування, яка автоматично обирає оптимальний режим залежно від умов руху, стилю водіння та рівня заряду батареї.

Серед важливих технічних переваг HEV — висока економічність пального, особливо в умовах міського трафіку. Завдяки частому відключенню ДВЗ і переходу в електричний режим споживання пального зменшується на 20–40% порівняно з аналогічними бензиновими автомобілями. Крім того, система рекуперації дозволяє частково компенсувати втрати енергії під час гальмування, що додатково підвищує ефективність.

Попри наявність електродвигуна, HEV не потребують зміни інфраструктури — їм не потрібні зарядні станції, і вони не залежать від доступності зовнішніх джерел електроенергії. Це робить їх зручними у використанні в країнах, де зарядна інфраструктура ще недостатньо розвинена. Проте це також є обмеженням, оскільки HEV не можуть рухатись тривалий час виключно на електротязі, і всі поїздки супроводжуються споживанням пального та викидами CO₂.

У плані вартості володіння HEV є компромісом між традиційними авто з ДВЗ та повноцінними електромобілями. Вони мають менші витрати на пальне та дещо нижчі експлуатаційні витрати завдяки меншому зносу гальмівної системи та меншим навантаженням на ДВЗ, але все ще потребують регулярного технічного обслуговування двигуна внутрішнього згоряння. У деяких країнах HEV можуть мати часткові податкові пільги, проте такі стимули поступово зміщуються на користь повністю електричних рішень.

Плагін-гібридний електромобіль (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) — це гібрид, який має можливість заряджання від зовнішнього джерела енергії. PHEV обладнані як електродвигуном, так і ДВЗ, а їх батарея має більшу ємність у порівнянні з HEV. На повністю електричній тязі PHEV можуть проїжджати 40–100 км, після чого вмикається ДВЗ, що дозволяє використовувати авто на далеких відстанях без потреби частого заряджання.

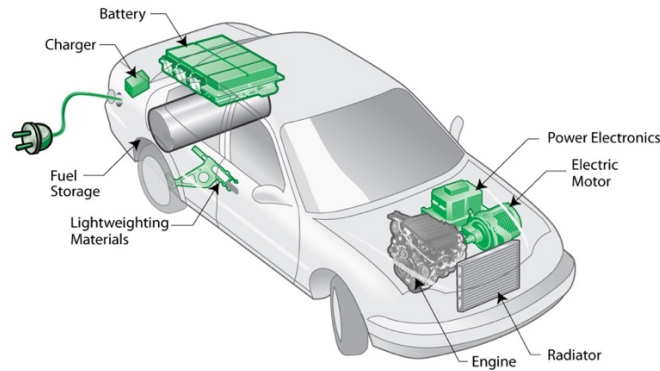


Рисунок 1.7. Плагін-гібридний електромобіль (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)

Акумуляторні батареї у PHEV мають, як правило, ємність у межах від 8 до 20 кВт·год, що забезпечує запас ходу в діапазоні 40–100 км у повністю електричному режимі. Цей показник часто є достатнім для більшості щоденних поїздок у межах міста. Після вичерпання заряду батареї автомобіль автоматично переходить у гібридний режим, у якому ДВЗ забезпечує основну тягу або працює у парі з електродвигуном для покращення паливної економічності. Таке поєднання дозволяє уникнути так званої «тривоги запасу ходу» (range anxiety), характерної для повністю електричних авто.

Зовнішнє заряджання здійснюється від побутової або спеціалізованої зарядної станції. У більшості випадків заряджання батареї потужністю 10–13 кВт·год займає від 2 до 6 годин залежно від типу джерела струму. Це дозволяє водіям повністю зарядити акумулятор, наприклад, вночі або під час стоянки на роботі, і зекономити на витратах на паливе. З огляду на це, ефективність PHEV найбільш помітна у змішаному або міському циклі, де можливість регулярного підзаряджання повністю реалізує потенціал електричної тяги.

Ще однією перевагою PHEV є можливість працювати в режимі повністю електричного приводу при наявності достатнього заряду батареї. У цьому режимі транспортний засіб рухається без участі ДВЗ, не створюючи шкідливих викидів у довкілля. При цьому режим перемикання між електричним і бензиновим приводом є автоматичним і непомітним для водія, а енергетична система управляється спеціальним блоком, що оптимізує витрати енергії та пального залежно від умов руху.

Попри переваги, PHEV мають і певні обмеження. У випадку, якщо водій регулярно не підзаряджає акумулятор, ефективність такого транспортного засобу знижується, оскільки використання лише ДВЗ не дає очікуваної економії. Крім того, наявність двох незалежних силових установок — електричної та теплової — ускладнює конструкцію, збільшує вагу автомобіля та вимагає регулярного технічного обслуговування обох систем.

Розширений електромобіль із запасом ходу (Extended Range Electric Vehicle, EREV) — це тип електромобіля, в якому основним рушієм є електродвигун, а ДВЗ

виконує функцію генератора, що підзаряджає акумулятор у разі його розрядження. На відміну від PHEV, у EREV ДВЗ не пов'язаний механічно з колесами. Таким чином, рух здійснюється виключно за рахунок електротяги, а ДВЗ лише забезпечує збільшення запасу ходу. Класичним прикладом є Chevrolet Volt першого покоління.

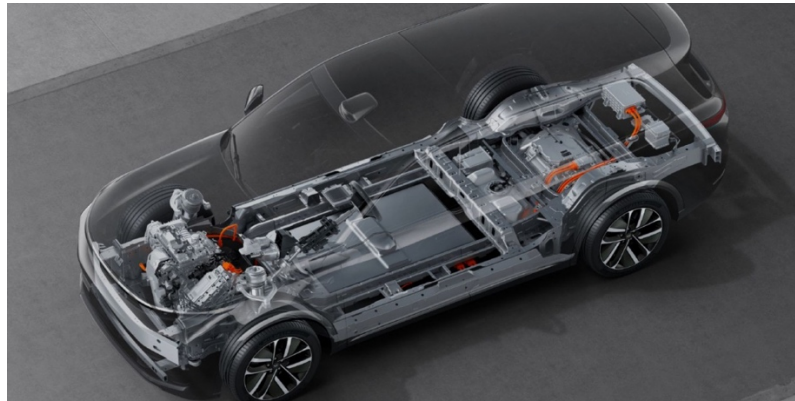


Рисунок 1.8. Розширений електромобіль із запасом ходу (Extended Range Electric Vehicle, EREV)

Ця концепція дозволяє автомобілю рухатися виключно за рахунок електротяги незалежно від умов, зберігаючи при цьому резерв у вигляді бензинового генератора для подовження дальності. Така система дозволяє подолати так званий бар'єр «страху низького заряду» (range anxiety), що часто стримує потенційних покупців електромобілів. У звичайному режимі EREV працює як типове BEV — акумулятор заряджається від зовнішніх джерел, а електродвигун забезпечує весь процес руху. Після вичерпання основного запасу енергії запускається генератор, який не заряджає батарею до повного рівня, а лише підтримує її в межах, достатніх для продовження поїздки.

Акумуляторна батарея в EREV має середню ємність, яка дозволяє подолати 50–100 км у повністю електричному режимі. Для щоденних поїздок у місті цього більш ніж достатньо, і, при регулярному заряджанні, ДВЗ може залишатися майже неактивним протягом тривалого періоду експлуатації. Прикладом такої архітектури є перше покоління Chevrolet Volt, який здобув популярність у Північній Америці як ефективна альтернатива бензиновим авто без необхідності щоденної залежності від інфраструктури зарядних станцій.

У порівнянні з класичними гібридами або навіть PHEV, EREV забезпечує вищий рівень електрифікації, оскільки рух здійснюється винятково за рахунок електродвигуна. ДВЗ у таких системах працює в оптимальному режимі навантаження, що підвищує його ефективність і знижує рівень викидів. Крім того, відсутність механічного з'єднання з колесами спрощує конструкцію трансмісії та дозволяє реалізовувати більш гнучкі схеми керування тягою [7].

Разом з тим, архітектура EREV має і певні недоліки. Зокрема, вона ускладнена необхідністю інтеграції повноцінної електропривідної системи з допоміжним

генератором, що підвищує масу та вартість автомобіля. Також у випадку розрядження батареї та активного використання ДВЗ, рівень споживання пального може наближатися до показників класичних автомобілів, що нівелює переваги електротяги. Крім того, з огляду на поширення доступних і високоефективних BEV, популярність EREV поступово знижується, особливо на ринках із розвинутою інфраструктурою швидкісних зарядних станцій.

1.3. Типи і режими заряджання акумуляторних батарей електромобілів

Тягові акумуляторні батареї електромобілів є ключовим елементом енергетичної системи сучасного електротранспорту. Саме вони відповідають за зберігання та подачу електричної енергії до електродвигуна, забезпечуючи рух транспортного засобу. На відміну від стартерних або допоміжних акумуляторів, що використовуються в традиційних автомобілях з ДВЗ, тягові батареї призначені для циклічного використання — регулярного багаторазового заряджання і розряджання — та здатні працювати під високим навантаженням протягом усього терміну служби автомобіля.

	Lithium Ion	Nickel-Metal	Lead-Acid	Ultracapacitors
Easy Access / Inexpensive	✓	✗	✓	✗
Energy Efficient	✓	✓	✓	✓
Temp. Performance	✓	✗	✗	✓
Weight	✓	✓	✓	✓
Life Cycle	✓	✗	✓	✗

Рисунок 1.9. Типи тягових акумуляторних батарей і їх характеристики

Тягові батареї повинні відповідати низці критичних вимог. Насамперед — високий рівень безпеки. Оскільки вони працюють з напругою до 400–800 В, будь-яке пошкодження, перегрів або коротке замикання можуть призвести до займання або виходу системи з ладу. Саме тому сучасні електромобілі оснащуються складними системами керування батареєю (Battery Management System, BMS), які контролюють температуру, напругу, струм і рівень заряду кожного модуля акумулятора.



Рисунок 1.10. Система керування батареєю (Battery Management System, BMS)

Іншим важливим критерієм є температурна стабільність. Оптимальний температурний діапазон роботи тягових батарей зазвичай становить від $+15$ до $+35$ °C. В умовах перегріву чи переохолодження ефективність, довговічність і безпека батареї знижуються. З цієї причини більшість сучасних електромобілів обладнані активними системами терморегуляції — рідинним охолодженням або підігрівом, що забезпечує підтримку необхідного теплового режиму в будь-яких кліматичних умовах.

Висуваються також вимоги до довговічності та циклічної стабільності. Середній сучасний акумулятор здатен витримувати 1000–3000 повних циклів заряджання-розряджання без суттєвої втрати ємності. Це дозволяє експлуатувати електромобіль протягом 8–15 років із поступовим зниженням запасу ходу, який зазвичай становить не більше 15–20% за весь термін служби батареї.

Окрім технічних параметрів, важливою є і екологічна складова. Тягові батареї містять метали, зокрема літій, кобальт, нікель і марганець, видобуток яких пов'язаний із серйозним екологічним навантаженням. Тому питання вторинного використання та переробки батарей стає дедалі актуальнішим, і багато виробників уже впроваджують програми замкненого циклу, що дозволяють зменшити потребу у первинній сировині.

У сучасній електромобільності застосовуються декілька типів акумуляторних батарей, кожен із яких має свої особливості, переваги й обмеження. Основними критеріями для вибору технології є енергетична щільність, безпека, вартість, ресурс циклічного життя та стабільність роботи в різних температурних умовах. Найбільш поширеними типами акумуляторів для електромобілів сьогодні є: літій-іонні (Li-ion), літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄ або LFP), літій-нікель-марганець-кобальтові (NMC), літій-нікель-кобальт-алюмінієві (NCA), а також — у меншій мірі — твердотільні акумулятори, які перебувають на стадії комерціалізації.

Літій-іонні акумулятори (Li-ion) є базовою технологією, що використовується в переважній більшості сучасних електромобілів. Цей тип батарей забезпечує високу енергетичну щільність, що дозволяє зменшити масу акумулятора та забезпечити більший запас ходу на одному заряді. Li-ion акумулятори мають добру циклічну

стабільність і відносно високу ефективність (до 95% при заряджанні/розряджанні). Водночас вони чутливі до температурних коливань і можуть втрачати продуктивність у сильні морози або перегріватися при інтенсивному використанні. Їх експлуатація потребує точного температурного контролю та якісної системи керування батареєю (BMS). До недоліків також належить складний і дорогий процес утилізації.



Рисунок 1.11. Літій-іонні акумулятори для електромобілів

Літій-залізо-фосфатні акумулятори (LFP) останніми роками набули широкого поширення, особливо серед китайських виробників. Основною перевагою цього типу є висока термічна стабільність і безпечність: LFP акумулятори менш схильні до самозаймання і деградації при перегріві. Їхній життєвий цикл значно довший — до 3000–4000 циклів без помітної втрати ємності. Водночас вони мають нижчу енергетичну щільність, що означає більші розміри і вагу для забезпечення такого ж запасу ходу, як у Li-ion чи NMC. Через це LFP батареї зазвичай використовуються в автомобілях з меншим пробігом або в комерційному транспорті, де важливіша довговічність, ніж компактність.

Літій-нікель-марганець-кобальтові акумулятори (NMC) — це одна з найпопулярніших і найбільш збалансованих форм літій-іонних технологій, яка поєднує високу енергетичну щільність з прийнятною термічною стабільністю. Завдяки співвідношенню елементів (наприклад, NMC 622 або NMC 811) ці акумулятори здатні забезпечити великий запас ходу в поєднанні з відносно компактною масо-габаритною конструкцією. NMC широко використовуються у моделях середнього і преміального класу. Недоліком залишається висока вартість, а також чутливість до глибокого розряду, що потребує ефективної роботи BMS.

Літій-нікель-кобальт-алюмінієві акумулятори (NCA) переважно використовуються компанією Tesla в її електромобілях. Цей тип батарей характеризується дуже високою енергетичною щільністю та здатністю працювати з великим струмом, що робить їх ідеальними для потужних моделей з високими

динамічними характеристиками. Водночас NCA акумулятори є дорожчими у виробництві, менш стабільними за температурою та мають обмежений життєвий цикл без належного температурного контролю. Тому їх застосування потребує високоточних систем керування та активного охолодження.

Твердотільні акумулятори (Solid-State Batteries) поки що не використовуються масово, але є перспективним напрямком розвитку галузі. Вони не містять рідких електролітів, що істотно підвищує безпеку й дозволяє досягти ще більшої енергетичної щільності. Очікується, що твердотільні батареї зможуть забезпечити вдвічі більший пробіг за того ж об'єму та маси у порівнянні з сучасними Li-ion рішеннями. Проте на сьогодні вони залишаються технологією майбутнього через високу вартість виробництва та обмежену стабільність при тривалій експлуатації [8].

Заряджання акумуляторних батарей електромобіля є ключовим процесом, що забезпечує функціонування транспортного засобу на електротязі. Існують два основні режими заряджання, які принципово відрізняються між собою — це заряджання змінним струмом (AC) та постійним струмом (DC). Кожен із них має свою специфіку, швидкість підзарядки, вимоги до обладнання та сферу застосування.

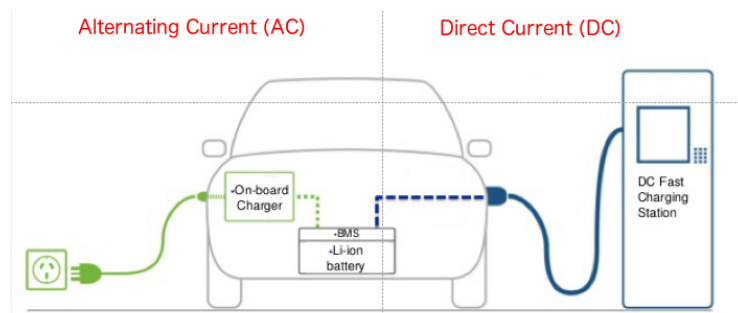


Рисунок 1.12. Типи режимів заряджання тягових акумуляторних батарей електромобілів

У режимі заряджання змінним струмом електроенергія надходить до вбудованого у транспортний засіб зарядного пристрою, який перетворює змінний струм на постійний і подає його до батареї. Такий підхід є найпоширенішим для повсякденного використання, зокрема в домашніх умовах або на робочих парковках. Швидкість зарядки залежить як від потужності зарядного пристрою в самому автомобілі (зазвичай це 3,7, 7,4 або 11–22 кВт), так і від типу електромережі — однофазної чи трифазної. Основними перевагами AC-режиму є відносна доступність і простота реалізації. У більшості випадків водій може скористатися стандартною побутовою розеткою або недорогим зарядним пристроєм. Такий режим ідеально підходить для нічного заряджання, коли автомобіль залишається на стоянці тривалий час. Водночас цей тип заряджання не позбавлений недоліків — насамперед пов'язаний із тривалістю процесу. Повне заряджання батареї може тривати від чотирьох до дванадцяти годин, що робить AC-режим непридатним для екстрених ситуацій або довготривалих подорожей із частими зупинками.

Таблиця 1.2. Порівняльна таблиця режимів заряджання

Характеристика	АС (змінний струм)	ДС (постійний струм)
Тип підключення	Type 1, Type 2	CCS Combo 2, CHAdeMO
Потужність заряджання	2.3–22 кВт	50–350 кВт
Час заряджання (0–80%)	4–12 годин	15–40 хвилин
Джерело струму	Побутова/промислова мережа	Спеціалізовані зарядні станції
Необхідність вбудованого перетворювача	Так	Ні
Вартість обладнання	Низька	Висока
Придатність для домашнього використання	Висока	Низька
Вплив на деградацію батареї	Помірний	Вищий при частому використанні

На противагу цьому, заряджання постійним струмом забезпечує значно вищу швидкість. У цьому режимі електроенергія надходить безпосередньо до акумулятора, оминаючи вбудований зарядний пристрій автомобіля, завдяки чому досягається висока потужність заряджання — від 50 до 350 кВт. Цей тип зарядних станцій дозволяє зарядити батарею електромобіля до 80% усього за 15–40 хвилин, що є надзвичайно зручним для далеких поїздок. Такі станції встановлюються переважно вздовж автомагістралей, на комерційних парковках або в транспортних хабах. До переваг ДС-заряджання відноситься можливість швидко відновити запас ходу, що робить цей режим незамінним для службового та вантажного транспорту, таксі або інтенсивної експлуатації у мегаполісах. Однак слід зважати на те, що обладнання для такого заряджання є значно дорожчим, а не всі електромобілі підтримують надвисоку потужність. Крім того, часте використання швидкісної зарядки може призводити до швидшого зношення акумулятора через нагрівання та підвищене електричне навантаження.

1.4. Постановка задач дослідження

Сучасний розвиток електромобільності є одним із провідних напрямів трансформації транспортної інфраструктури та енергетичної системи як на глобальному рівні, так і в межах України. Зростання частки електричних і гібридних транспортних засобів в експлуатації потребує адекватного розвитку інфраструктури для їх забезпечення, зокрема — мережі швидкісних зарядних станцій. Водночас зростаюча енергетична нестабільність і необхідність скорочення викидів вуглекислого

газу актуалізують завдання пошуку ефективних джерел живлення для зарядної інфраструктури, серед яких особливе місце посідають поновлювані джерела енергії, зокрема сонячні електростанції.

Незважаючи на активне стимулювання ринку електротранспорту законодавчими ініціативами, розвиток мережі швидкісних зарядних станцій в Україні залишається нерівномірним та фрагментарним. Це створює потребу в науково обґрунтованому підході до проектування зарядної інфраструктури з урахуванням сучасних технологій, вимог безпеки, енергоефективності та сумісності з поновлюваними джерелами енергії. Особливої уваги потребує інтеграція сонячних панелей до систем швидкісного заряджання в умовах міського середовища, де важливими є компактність, технологічність і адаптація до особливостей електромережі.

Виходячи з цього, дипломна робота ставить перед собою наступні завдання:

- Проаналізувати сучасний стан електромобільності в Україні та світі, дослідити параметри та типи електричних і гібридних транспортних засобів.
- Розглянути види тягових акумуляторних батарей, їх технічні характеристики та вимоги до процесу заряджання.
- Вивчити режими заряджання батарей електромобілів, типи підключення до мережі, а також технічні та експлуатаційні обмеження.
- Оцінити взаємодію електромобілів з електромережею, розглянути перспективи реалізації технології V2G у контексті локального енергобалансу.
- Провести аналіз сучасних рішень щодо інтеграції сонячних електростанцій у зарядну інфраструктуру.
- Сформулювати науково обґрунтовані технічні завдання для подальшого проектування швидкісної зарядної станції з живленням від сонячних панелей.
- Розробити базову конструктивну схему зарядної станції та визначити критерії оптимального її розміщення в межах міської електричної мережі.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз сучасних технологій швидкісних зарядних станцій

Однією з ключових ознак, за якою класифікують зарядні станції для електромобілів, є рівень потужності та відповідна швидкість заряджання. Від цих параметрів безпосередньо залежать час відновлення енергії, вимоги до електричної інфраструктури, вартість обладнання та його застосування у різних умовах — від побутового до комерційного і муніципального. Сучасна практика поділяє зарядні пристрої на три основні категорії: стандартні зарядні станції змінного струму (AC), швидкісні зарядні станції постійного струму (DC fast) та ультрашвидкісні зарядні комплекси високої потужності (HPC — High Power Charging) [9].

Зарядні пристрої змінного струму найчастіше застосовуються в приватному секторі, на парковках житлових комплексів або на стоянках для тривалого перебування автомобілів. Вони мають порівняно невелику потужність (зазвичай 3,7–22 кВт) і орієнтовані на тривале заряджання — від 4 до 12 годин залежно від ємності батареї та потужності джерела. Такі станції підключаються до одно- або трифазної побутової мережі та не вимагають значних інвестицій в інфраструктуру.

Швидкісні зарядні пристрої постійного струму забезпечують значно вищу потужність — від 50 до 150 кВт. Вони дозволяють зарядити електромобіль до 80% усього за 30–60 хвилин. Такі станції мають вбудовані DC/DC перетворювачі, які безпосередньо подають електроенергію до тягової батареї, оминаючи внутрішній зарядний пристрій авто. Швидкісні зарядні станції зазвичай встановлюються на автомагістралях, у логістичних центрах або на громадських хабах, де важлива оперативність заряджання.

Окрему категорію становлять ультрашвидкісні зарядні пристрої високої потужності (HPC), які працюють на рівні 150–350 кВт і більше. Таке обладнання призначене для заряджання сучасних електромобілів із високовольтною архітектурою (800 В), які можуть отримати запас ходу 200–300 км за 10–15 хвилин підключення. Ультрашвидкісні зарядні станції передбачають окреме живлення від мережі середньої напруги, мають активну систему охолодження кабелів та електроніки, а також потребують спеціального проєктування енергопостачання. Їхнє встановлення доцільне у транзитних коридорах, на зарядних хабах великої пропускної здатності або поблизу аеропортів і торгових центрів.

Таблиця 2.1. Типи зарядних станцій за потужністю

Параметр	Стандартна зарядка (AC)	Швидкісна зарядка (DC fast)	Ультрашвидкісна зарядка (HPC)
Тип струму	Змінний (AC)	Постійний (DC)	Постійний (DC)
Потужність	3,7–22 кВт	50–150 кВт	150–350+ кВт
Час зарядки (до 80%)	4–12 годин	30–60 хв	10–20 хв

Типова сфера застосування	Домашні станції, офіси	Міські хаби, автошляхи	Автомагістралі, хаби великої ємності
Підключення	Побутова або трифазна мережа	Мережа низької або середньої напруги	Мережа середньої напруги
Приклад інтерфейсу	Type 2	CCS Combo 2, CHAdeMO	CCS Combo 2 (HPC), Tesla
Необхідність охолодження кабелю	Немає	Залежить від моделі	Обов'язкова активна система
Середня вартість обладнання	Низька	Середня	Висока
Наявність в Україні	Дуже поширена	Поширена	Обмежено поширена

У процесі розвитку зарядної інфраструктури для електромобілів важливу роль відіграє тип інтерфейсу (фізичний роз'єм і електричний стандарт) та протокол комунікації, який забезпечує зв'язок між електромобілем, зарядною станцією та енергетичною мережею. Сьогодні на ринку поширені кілька основних стандартів інтерфейсів для заряджання електромобілів постійним струмом: CCS Combo 2, CHAdeMO та Tesla Supercharger (NACS).

CCS Combo 2 (Combined Charging System) є домінуючим стандартом у країнах Європи та офіційно затвердженим інтерфейсом для швидкісного заряджання у межах ЄС. Цей роз'єм поєднує можливість зарядки змінним (AC) і постійним (DC) струмом в одному фізичному інтерфейсі. CCS підтримує потужність заряджання до 350 кВт і може використовуватися в зарядних станціях ультрашвидкісного типу. Система забезпечує двосторонню комунікацію між електромобілем і зарядною станцією, дозволяючи динамічно регулювати потужність, а також підтримує цифрові протоколи, зокрема ISO 15118.



Рисунок 2.1. Стандарт CCS Combo 2 (Combined Charging System)

CHAdeMO — це стандарт, розроблений у Японії, який тривалий час був основним у таких країнах, як Японія, Південна Корея та частково — Франція. Хоча CHAdeMO забезпечує стабільну роботу та безпечну зарядку на потужностях до 100–150 кВт, він поступово втрачає ринкову частку в Європі через відсутність уніфікації з AC-роз'ємами. CHAdeMO не поєднує можливість зарядки змінним і постійним

струмом в одному інтерфейсі, що вимагає встановлення окремого порту. У перспективі стандарт може зберегти актуальність лише для нішевих моделей та для реалізації двосторонньої передачі енергії в рамках V2G, де CHAdeMO довгий час був технологічним лідером.



Рисунок 2.2. Стандарт CHAdeMO

Tesla Supercharger — це пропрієтарна система швидкісного заряджання, яка довгий час була доступна лише для автомобілів Tesla. У Північній Америці Tesla використовує власний роз'єм — NACS (North American Charging Standard), який не є сумісним з іншими стандартами без використання адаптера. У Європі Tesla з 2019 року перейшла на роз'єм CCS Combo 2, що забезпечило взаємодію з більшістю стандартних станцій. Суперчарджери Tesla підтримують заряджання з потужністю до 250–300 кВт, мають фірмову систему моніторингу та автоматичної ідентифікації автомобіля, а також відзначаються високим рівнем експлуатаційної надійності.



Рисунок 2.3. Система швидкісного заряджання Tesla Supercharger

Окрім фізичних інтерфейсів, важливою складовою роботи зарядної інфраструктури є протоколи комунікації, які регламентують обмін даними між зарядним пристроєм, транспортним засобом і серверними системами операторів [10].

Найбільш перспективним і технологічно просунутим вважається протокол ISO 15118, який підтримує двосторонній обмін даними між автомобілем та зарядною станцією. Його основна функція — забезпечення технології Plug & Charge, за якої електромобіль автоматично авторизується і розпочинає заряджання без використання

RFID-карт чи мобільних додатків. Також ISO 15118 відкриває можливості для реалізації концепцій V2G (Vehicle-to-Grid), V2H (Vehicle-to-Home) і динамічного керування потужністю в залежності від стану електромережі. Протокол активно впроваджується у CCS-інфраструктурі та підтримується новими моделями електромобілів.

На рівні обміну між зарядною станцією та серверною інфраструктурою операторів найпоширенішим є OCPP (Open Charge Point Protocol). Це відкритий протокол, який дозволяє зарядним станціям обмінюватися інформацією з централізованими платформами — наприклад, щодо статусу підключення, рівня заряджання, оплати, діагностики та обслуговування. Підтримка OCPP дозволяє операторам масштабувати мережу зарядних станцій без залежності від конкретного виробника обладнання.

У межах сучасного етапу розвитку електромобільності стрімко зростає потреба у впровадженні швидкісних зарядних станцій, які можуть забезпечити високу потужність, надійність та гнучкість в експлуатації.

Компанія АВВ є одним із лідерів у галузі енергетичних технологій і вже понад десятиліття активно розвиває напрям зарядних станцій для електромобілів. Її флагманська модель Terra 360 є однією з найпотужніших на ринку — станція здатна забезпечити заряджання потужністю до 360 кВт і підтримує одночасне обслуговування двох транспортних засобів. Terra 360 має інтегровану систему енергоменеджменту, кольоровий дисплей для користувача, підтримку ISO 15118 та Plug & Charge, а також адаптивне охолодження кабелю. Такі зарядні станції вже встановлені в Німеччині, Швеції, Швейцарії, а також на швидкісних автомагістралях у США.

Siemens, як один з технологічних гігантів, представив лінійку зарядних рішень Sichearge D, що підтримують потужність від 160 до 300 кВт. Вони орієнтовані на публічні зарядні хаби та мають модульну конструкцію, яка дозволяє масштабувати систему в залежності від потреб. Станції Siemens активно впроваджуються в інфраструктурних проєктах Нідерландів, Данії та Австрії, а також беруть участь у пілотних програмах інтеграції з Smart Grid у Скандинавії.

Tesla, окрім виробництва електромобілів, створила глобальну мережу швидкісних зарядних станцій Supercharger, які в Європі наразі базуються на інтерфейсі CCS Combo 2. Станції V3 Supercharger мають потужність до 250 кВт і підтримують функцію автоматичної ідентифікації авто, що дозволяє почати заряджання без жодних дій з боку користувача. На початок 2024 року Tesla мала понад 50 000 зарядних портів по всьому світу, зокрема у США, Канаді, Європі, Китаї та Японії.

У Китаї найбільшим оператором зарядної інфраструктури є компанія State Grid, яка встановлює зарядні вузли потужністю до 360 кВт, інтегровані у транспортну систему мегаполісів. Масштабна реалізація НПС-станцій у Китаї стала можливою

завдяки централізованому плануванню, підтримці на державному рівні та інтеграції з відновлюваними джерелами енергії.

В Україні ринок швидкісних зарядних станцій активно розвивається з 2021 року, однак усе ще перебуває на стадії формування. Основні оператори — ТОКА, AutoEnterprise, Iony Ukraine — впроваджують зарядні станції потужністю 50–120 кВт, з окремими проєктами до 160 кВт. На кінець 2024 року в країні було встановлено понад 300 швидкісних точок заряджання, здебільшого в обласних центрах, на трасах міжнародного значення та поблизу логістичних об'єктів. Зважаючи на геополітичну ситуацію та обмеження в енергопостачанні, в Україні зростає інтерес до зарядних комплексів із резервним живленням та гібридною схемою з живленням від сонячних батарей.

2.2 Огляд технологічних рішень малогабаритних сонячних електростанцій

Останніми роками зростання кількості електромобілів у світі та активне розгортання зарядної інфраструктури вимагають пошуку ефективних і сталих джерел живлення, здатних забезпечити автономну або частково незалежну роботу зарядних станцій. У цьому контексті малогабаритні сонячні електростанції (СЕС) стають перспективним рішенням, що поєднує екологічність, відновлювану природу енергії та можливість розміщення у міських умовах або віддалених локаціях. Їх використання як живлення для зарядних станцій дозволяє зменшити навантаження на енергосистему, забезпечити резервне електропостачання в умовах нестабільної мережі, а також підвищити енергонезалежність окремих транспортних вузлів, логістичних центрів і побутових об'єктів [11].

Малогабаритні сонячні електростанції (СЕС) — це компактні фотоелектричні енергосистеми, призначені для виробництва електроенергії у місцях з обмеженим простором або специфічними умовами експлуатації. До цієї категорії, як правило, належать установки потужністю від 1 до 20 кВт, які займають площу до 100 м² і можуть бути змонтовані на дахах приватних будинків, гаражів, навісів, фасадів, транспортних контейнерів, а також як мобільні автономні установки. Їх конфігурація передбачає оптимізацію за вагою, габаритами, енергетичною ефективністю та можливістю легкої інтеграції з іншими системами (наприклад, інверторами, контролерами, акумуляторними модулями).

У міському середовищі або на локаціях з обмеженим простором до малогабаритних СЕС висуваються підвищені вимоги щодо компактності монтажу, архітектурної інтеграції, низького рівня шуму та естетичності. Станції повинні мати модульну конструкцію, бути сумісними з місцевими нормативами безпеки й електротехнічними стандартами, а також забезпечувати стабільну генерацію при змінній інсоляції (тінь, погодні умови, пил).



Рисунок 2.4. Малогабаритні сонячні електростанції

У порівнянні зі стаціонарними та промисловими СЕС, малогабаритні системи мають суттєві відмінності за призначенням, масштабом генерації, підходами до встановлення та технічного обслуговування. Це можна узагальнити в таблиці нижче:

Таблиця 2.1. Порівняльна характеристика типів сонячних електростанцій

Параметр	Малогабаритна СЕС	Стаціонарна дахова СЕС	Промислова наземна СЕС
Типове застосування	Зарядні станції, приватні об'єкти, мобільні комплекси	Домогосподарства, офіси, складські будівлі	Промислові парки, енергетичні підприємства
Потужність	1–20 кВт	10–50 кВт	100 кВт – 10 МВт і більше
Площа	до 100 м ²	50–500 м ²	>1000 м ²
Мобільність	Висока	Середня	Низька
Тип монтажу	Даховий, фасадний, контейнерний, мобільний	Даховий	Наземний (опори, трекери)
Джерело живлення	Місцеве (часто з акумуляторами)	Частково автономне	Переважно підключення до мережі
Капітальні витрати (CAPEX)	Низькі	Середні	Високі
Обслуговування	Мінімальне	Періодичне	Професійне, з використанням спеціалізованої техніки

Центральним елементом будь-якої СЕС виступають фотоелектричні панелі, які перетворюють сонячну енергію в електричну. Залежно від використовуваної технології, найбільш поширеними є монокристалічні, полікристалічні та тонкоплівкові панелі. Монокристалічні модулі, виготовлені з цільного кристалу кремнію, вирізняються найвищим коефіцієнтом корисної дії (до 21–23%) і компактністю, що робить їх найбільш придатними для обмежених площ. Полікристалічні панелі, хоча й

дещо менш ефективні (15–18%), мають нижчу вартість і є хорошим компромісом для бюджетних рішень. Тонкоплівкові модулі, зокрема на основі телуриду кадмію (CdTe) або аморфного кремнію, відзначаються гнучкістю, легкістю та можливістю встановлення на нестандартних поверхнях, проте їхня ефективність значно нижча — на рівні 10–13%.

Іншим важливим елементом системи є інвертор, який перетворює постійний струм (DC), що виробляється сонячними панелями, на змінний (AC), придатний для живлення електроприладів або зарядних станцій. Залежно від конфігурації системи, інвертори можуть бути автономними (off-grid), мережевими (on-grid) або гібридними. Автономні інвертори використовуються в поєднанні з акумуляторами, дозволяючи працювати незалежно від електромережі. Мережеві інвертори, навпаки, потребують підключення до централізованої мережі і працюють на її баланс. Гібридні рішення поєднують обидві функції, дозволяючи автоматично перемикатися між джерелами живлення залежно від умов, що особливо цінно в умовах нестабільного енергопостачання або пікових навантажень.

У разі потреби в накопиченні енергії, система доповнюється акумуляторними модулями. Найчастіше застосовуються літій-залізо-фосфатні (LiFePO_4) або літій-іонні батареї, які вирізняються тривалим терміном служби, високою глибиною розряду і стабільними характеристиками при інтенсивному циклуванні. Вартість таких систем залишається доволі високою, особливо у великій ємності, проте вони значно підвищують енергонезалежність та дозволяють накопичувати надлишки генерації для подальшого використання — наприклад, для заряджання електромобіля у вечірній час.

У сучасній практиці розгортання сонячних енергосистем для заряджання електромобілів важливу роль відіграє тип їх підключення до енергомережі. За цією ознакою малогабаритні сонячні електростанції поділяються на три основні типи: автономні (off-grid), мережеві (on-grid) та гібридні системи. Кожна з цих конфігурацій має свої особливості, технічні вимоги та доцільність використання залежно від сценарію експлуатації.

Автономні СЕС (off-grid) функціонують незалежно від централізованої енергосистеми. Вони передбачають наявність акумуляторних батарей для зберігання виробленої енергії та інвертора, що забезпечує живлення змінного струму. Такі системи часто використовуються у віддалених або сільських районах, де підключення до мережі є неможливим або економічно недоцільним. Для заряджання електромобілів автономні СЕС забезпечують повну незалежність від зовнішнього живлення, проте їх ефективність обмежується потужністю системи, сонячним ресурсом та ємністю акумуляторів. У періоди недостатньої інсоляції або підвищеного енергоспоживання заряджання може потребувати оптимізації графіків або додаткових джерел резервного живлення (наприклад, генератора).

Мережеві СЕС (on-grid) підключаються до централізованої електричної мережі і, як правило, не мають накопичувальних елементів. Вони працюють за принципом пріоритетного використання сонячної енергії, з подальшим балансуванням споживання за рахунок мережі. У разі надлишку виробництва електроенергії система може передавати її назад до мережі за «зеленим тарифом» (якщо це дозволяє законодавство). У контексті заряджання електромобілів така система забезпечує найвищу стабільність та доступність потужності, однак залежить від доступності електромережі та тарифної політики, особливо в умовах пікових навантажень.

Гібридні СЕС поєднують елементи автономної та мережевої системи, забезпечуючи високу гнучкість роботи. Вони можуть працювати з мережею, використовувати акумуляторні батареї для зберігання надлишкової енергії та переходити в автономний режим у разі зникнення зовнішнього живлення. Це дозволяє уникати енергетичних втрат, підвищити рівень незалежності та забезпечити безперебійне заряджання електромобілів навіть під час аварійного відключення електроенергії. У деяких випадках гібридні системи доповнюються джерелами резервного живлення (генераторами) або інтегруються у систему енергоменеджменту з пріоритетним розподілом навантажень.

Нижче наведено порівняльну таблицю, яка узагальнює ключові переваги та недоліки кожного типу СЕС у контексті їх використання для заряджання електромобілів:

Таблиця 2.3. Порівняння типів СЕС за принципом підключення

Критерій	Автономна СЕС (off-grid)	Мережева СЕС (on-grid)	Гібридна СЕС
Підключення до електромережі	Немає	Присутнє	Опціональне
Наявність акумуляторів	Обов'язкова	Відсутня	Обов'язкова/опціональна
Безперервність живлення	Залежить від акумуляторів	Висока (за умови стабільної мережі)	Висока навіть при відключенні мережі
Стабільність потужності	Обмежена	Висока	Гнучка
Складність реалізації	Середня	Низька	Висока
Вартість встановлення	Вища через акумулятори	Найнижча	Найвища через комплексність
Застосування для заряджання ЕМ	Обмежене (для малих потужностей)	Повноцінне	Найефективніше у складних умовах

Енергетичні характеристики малогабаритних сонячних електростанцій є ключовим чинником, що визначає їхню доцільність і ефективність у системах заряджання електромобілів.

Питома продуктивність малогабаритної СЕС вимірюється у Ватах з 1 м² встановленої площі сонячних панелей. Сучасні високоякісні модулі забезпечують продуктивність у межах 180–220 Вт/м² для монокристалічних панелей, що є найефективнішими в умовах обмеженої площі. Полікристалічні панелі мають нижчу продуктивність — на рівні 150–170 Вт/м², а тонкоплівкові — близько 100–130 Вт/м². Таким чином, для досягнення бажаного рівня генерації у малогабаритному форматі пріоритет надається саме монокристалічним модулям.

Кліматичні умови мають істотний вплив на реальну генерацію електроенергії. У південних регіонах України, зокрема в Одеській, Миколаївській чи Херсонській областях, середньорічна інсоляція досягає 1350–1450 кВт·год/м², тоді як у північних регіонах цей показник становить близько 1100–1200 кВт·год/м². Залежно від регіону, одні й ті самі сонячні панелі можуть генерувати на 15–25% різну кількість енергії протягом року, що слід враховувати при проектуванні зарядної станції.

Ще одним важливим фактором є сезонна варіативність генерації. У літній період СЕС може забезпечувати до 60–70% річної продуктивності, тоді як у зимовий період — лише 10–15%. У перехідні сезони (весна, осінь) рівень генерації змінюється залежно від кута падіння променів, хмарності та температури навколишнього середовища. Таким чином, наявність акумуляторних систем або гібридних рішень стає важливою умовою забезпечення стабільного енергопостачання для заряджання електромобілів упродовж року.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) фотоелектричних панелей у малогабаритних СЕС, як правило, становить 18–23% для монокристалічних, 14–18% для полікристалічних і 10–13% для тонкоплівкових рішень. Інвертори, які використовуються у таких системах, зазвичай демонструють ККД на рівні 94–98%, залежно від бренду, режиму роботи і умов встановлення. Високоєфективні інвертори з МРРТ-контролем дозволяють адаптуватися до змінних умов освітлення та зменшувати втрати під час перетворення енергії, що особливо актуально у міських умовах з частковим затіненням.

Для малогабаритних СЕС, інтегрованих у системи заряджання електромобілів, типовими є конфігурації потужністю 3, 5 або 10 кВт. Наприклад, станція потужністю 3 кВт за середньої інсоляції 1200 кВт·год/м²/рік здатна генерувати близько 3600 кВт·год/рік, що дозволяє зарядити приблизно 12–15 тис. км пробігу електромобіля класу Nissan Leaf. Конфігурація на 5 кВт забезпечує до 6000–6500 кВт·год/рік, що вже дозволяє обслуговувати дві точки заряджання середньої потужності. Найпоширенішими для комерційного використання є установки на 10 кВт, які здатні генерувати до 11–13 тис. кВт·год/рік — цього цілком достатньо для повноцінної зарядної інфраструктури у міських або логістичних умовах, особливо за наявності акумуляторного буфера.

2.3 Технічні рішення інтеграції сонячних панелей з зарядними станціями

У сучасних системах заряджання електромобілів одним із найважливіших аспектів інтеграції сонячної енергії є вибір конструктивної моделі розміщення сонячних панелей. Архітектурні рішення значною мірою впливають як на ефективність генерації, так і на економічну та просторову доцільність проєкту. Найпоширенішими підходами є встановлення фотоелектричних модулів у вигляді дахових систем, навісів над паркомісцями або в складі мобільних контейнерних рішень.

Навіси над паркувальними місцями є однією з найбільш популярних форм інтеграції сонячних панелей, особливо в міському середовищі або біля торгових центрів, офісних будівель і громадських об'єктів. Така конструкція поєднує функцію енергогенерації та захисту автомобілів від атмосферних впливів. Крім того, завдяки можливості спрямувати панелі під оптимальним кутом до сонця, навісні СЕС забезпечують високу продуктивність протягом року.

Дахові установки найчастіше використовуються у випадках, коли зарядна станція встановлюється поруч із адміністративною або сервісною будівлею. Вони мають перевагу в економії простору, не потребують окремих фундаментів чи несучих конструкцій, проте часто обмежені за площею і кутом нахилу даху, що знижує потенціал інсоляції. Також у разі існування затінених ділянок (наприклад, вентиляційних шахт, антен, дерев) ефективність системи може знижуватися, що потребує ретельного попереднього моделювання.

Контейнерні та мобільні рішення — це спеціалізовані конструкції, що включають сонячні модулі, інвертори, акумуляторні батареї та зарядні точки всередині або на поверхні стандартного транспортного контейнера. Подібні комплекси часто застосовуються у віддалених районах, тимчасових локаціях або в умовах нестабільного доступу до електромережі. Їх перевагою є швидке розгортання, автономність та можливість перевезення. Конструктивно такі установки можуть забезпечити живлення від 2 до 4 точок заряджання середньої потужності.

Незалежно від обраної архітектурної моделі, ключовими вимогами залишаються: забезпечення максимальної інсоляції (в ідеалі — південна орієнтація), оптимальний кут нахилу панелей відповідно до широти місцевості, а також механічна стійкість до вітрових і снігових навантажень. Додатково варто враховувати естетичний вигляд установки, особливо в міському просторі, де візуальна інтеграція в архітектурне середовище часто є критичним фактором для погодження проєкту [12].

Інтеграція сонячних електростанцій у систему заряджання електромобілів вимагає ретельно продуманої електротехнічної конфігурації, яка дозволяє забезпечити надійне, ефективне та безпечне функціонування всієї установки. Базова схема з'єднання включає в себе такі ключові компоненти: фотоелектричні панелі, контролер заряду, інвертор і зарядний модуль.

На першому етапі фотоелектричні панелі генерують постійний струм (DC), який надходить до контролера заряду. Цей елемент відповідає за оптимізацію процесу заряджання акумуляторів (якщо вони передбачені у схемі) та захист від перевантажень. У системах, орієнтованих виключно на миттєве споживання (on-grid), контролер може бути відсутнім, якщо функції перетворення виконуються виключно інвертором з MPPT (Maximum Power Point Tracking) [13].

Інвертор є центральним компонентом схеми. Його завдання — перетворити постійний струм, вироблений СЕС, у змінний струм (AC) відповідної напруги та частоти, що надходить до зарядного модуля. У разі використання зарядної станції змінного струму (AC charging) інвертор працює як основна ланка між СЕС і зарядним пристроєм. Для швидкісних DC-станцій інвертор може бути частково інтегрований в інфраструктуру зарядного модуля або відповідати лише за підтримку мережевого живлення.

Вибір інвертора визначається передусім параметрами сонячної генерації та типом навантаження. Основні електротехнічні характеристики, які слід враховувати, включають:

1) Номінальна потужність інвертора

$$P_{inv} \geq P_{array} \cdot k_{запас} \quad (2.1)$$

де P_{array} — потужність фотоелектричного поля, а $k_{запас}$ — коефіцієнт запасу, що зазвичай становить 1.1–1.2.

2) Діапазон вхідної напруги (DC)

Інвертор має працювати в межах, які охоплюють робочі значення фотомодуля при змінних погодних умовах.

$$V_{mppt}^{min} \leq V_{mpp} \leq V_{mppt}^{max} \quad (2.2)$$

3) ККД інвертора

Залежить від виробника та умов експлуатації і зазвичай становить:

$$\eta_{inv} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \times 100\% \quad (2.3)$$

4) Тип інвертора

Автономний (off-grid), мережевий (on-grid), або гібридний — вибір залежить від конфігурації зарядної станції та необхідності у буферизації енергії.

Також критично важливим є вибір схеми підключення. Для установок малої потужності (до 5 кВт) зазвичай використовується однофазне підключення, що спрощує монтаж та здешевлює обладнання. Для систем середньої і великої потужності (від 5–10 кВт і вище) доцільним є трифазне підключення, яке забезпечує рівномірне розподілення навантаження та дозволяє жити високопотужні швидкісні зарядні модулі.

У системах інтеграції сонячної генерації з зарядними станціями електромобілів буферне накопичення енергії відіграє критично важливу роль для забезпечення стабільності, ефективності та гнучкості енергопостачання. Наявність акумуляторних систем дозволяє усунути невідповідність між періодами максимальної генерації (наприклад, вдень) та піками попиту на заряджання, які можуть припадати на вечірній або нічний час. Це особливо актуально для швидкісних зарядних станцій, де вимоги до потужності миттєвого живлення значно перевищують поточну генерацію від СЕС.

Доцільність використання акумуляторних батарей визначається не лише потребами в енергозабезпеченні, а й економічними чинниками. Буферизація дозволяє зменшити навантаження на зовнішню мережу, уникнути штрафів за пікове споживання, а також зберігати надлишкову енергію, яка не може бути використана в момент генерації. Крім того, у гібридних системах із можливістю роботи в автономному режимі АКБ є обов'язковим елементом для забезпечення безперервності живлення у випадках аварійного відключення зовнішньої мережі.

Керування потоками енергії в таких системах здійснюється за допомогою алгоритмів пріоритетного живлення. Залежно від конфігурації, система може працювати в одному з таких режимів:

1. СЕС → АКБ → Зарядна станція — у разі автономного живлення, коли заряджання авто відбувається виключно за рахунок енергії, накопиченої від сонця.
2. СЕС → Зарядна станція; надлишок → АКБ — пріоритет віддається прямому живленню з фотоелектричних панелей, а надлишкова енергія зберігається в АКБ.
3. СЕС → Зарядна станція + мережа; АКБ як резерв — комбінований режим, де частина енергії береться з мережі, а буфер виконує роль балансуєчого або аварійного джерела.
4. АКБ → Зарядна станція (ніч/низька генерація) — споживання відбувається з буферного джерела у періоди без генерації.

Для реалізації подібних режимів необхідна наявність інтелектуальної системи моніторингу та керування енергопотоками, яка в реальному часі відстежує рівень заряду АКБ, інтенсивність сонячної генерації, навантаження на зарядну станцію та стан мережі. Такі системи часто включають багатофункціональні контролери з підтримкою віддаленого доступу, автоматичної зміни режимів роботи, ведення історії енергоспоживання та діагностики несправностей.

Важливо, що програмне забезпечення систем моніторингу здатне не лише оптимізувати баланс між джерелами енергії, а й взаємодіяти з протоколами типу OCPP або ISO 15118, що дозволяє інтегрувати зарядну інфраструктуру в єдину мережу керування на рівні міста або регіону.

Ефективність роботи зарядної станції з інтегрованою сонячною електростанцією визначається низкою ключових технічних параметрів, серед яких провідну роль відіграє сумарний коефіцієнт корисної дії (ККД) системи енергоперетворення. Цей показник характеризує співвідношення між кількістю енергії, виробленої фотоелектричними модулями, і тією, що безпосередньо використовується для заряджання електромобіля. В ідеальних умовах ККД сучасних фотоелектричних панелей становить 18–22%, інверторів — 94–98%, а втрати у кабельній мережі та проміжних перетвореннях можуть коливатися в межах 3–7%. У підсумку, повна ефективність інтегрованої системи зазвичай знаходиться в діапазоні 15–18%, що вимагає раціонального проєктування всіх її елементів.

На практиці одним із поширених рішень є використання систем потужністю від 5 до 10 кВт, які встановлюються у вигляді навісів над парковками або дахових конструкцій. За середніх кліматичних умов України (інсоляція близько 1200–1350 кВт·год/м²·рік), сонячна електростанція потужністю 5 кВт може виробляти орієнтовно 5500–6500 кВт·год/рік, а установка на 10 кВт — відповідно 11 000–13 000 кВт·год/рік. Цього ресурсу достатньо для повного забезпечення заряджання одного (у випадку 5 кВт) або двох-трьох (у випадку 10 кВт) електромобілів середнього класу з річним пробігом до 15 000 км кожен. При цьому важливим є правильний вибір режиму заряджання — наприклад, поєднання денного прямого живлення від СЕС з нічною зарядкою від акумуляторного буфера або мережі за нічним тарифом.

Для досягнення максимальної ефективності інтегрованої системи рекомендується дотримуватися таких принципів:

1. Аналіз інсоляційного потенціалу місцевості ще на етапі проєктування, з урахуванням сезонних і погодних коливань.
2. Правильна орієнтація панелей (південь або південний захід), оптимальний кут нахилу, мінімізація затінення.
3. Використання інверторів з високим ККД і підтримкою МРРТ-функцій.
4. Наявність систем енергомоніторингу з можливістю віддаленого контролю та автоматичної адаптації режимів заряджання.
5. Проєктування надлишкової потужності генерації (на 10–15% вище розрахункової потреби) для компенсації втрат і нестабільної інсоляції.

Крім того, важливо враховувати можливість подальшого масштабування системи — як за рахунок збільшення площі СЕС, так і через додавання нових точок заряджання. Забезпечення модульності на етапі проєктування значно спрощує адаптацію інфраструктури до зростаючого попиту без суттєвих додаткових витрат.

2.4 Вибір схемотехнічних рішень для швидкісної зарядної станції з сонячним живленням

Проектування схемотехнічної структури швидкісної зарядної станції з живленням від сонячної електростанції вимагає врахування ряду критичних технічних вимог, що визначають функціональність, надійність і ефективність системи. Одним із ключових параметрів є номінальна потужність зарядної станції, яка безпосередньо впливає на тривалість заряджання електромобіля, кількість одночасно обслуговуваних користувачів і вимоги до енергетичної інфраструктури. У більшості практичних рішень швидкісні зарядні станції розраховані на потужність від 50 до 350 кВт, залежно від типу транспорту (легковий чи комерційний), цільового середовища (місто, магістраль, транспортний вузол) та класу встановленого зарядного обладнання.

Наступним важливим чинником є тип вихідного сигналу. Оскільки йдеться про швидкісне заряджання, мова, як правило, йде про DC-зарядні модулі, які забезпечують безпосереднє подавання постійного струму до тягового акумулятора електромобіля, що суттєво скорочує втрати на перетворення і час зарядки. У схемотехнічному плані це передбачає наявність високовольтної постійної шини та проміжних DC/DC-перетворювачів, що узгоджують напругу з параметрами конкретного ТЗ [13].

Кількість зарядних портів є ще одним проектним параметром. Типова станція може мати один, два або більше незалежних каналів, які дозволяють паралельно заряджати декілька електромобілів. Це безпосередньо впливає на складність схемотехнічного рішення, оскільки кожен порт потребує власного захисту, електричної розв'язки та, в деяких випадках, незалежного контролера.

Системи захисту — обов'язковий компонент високоякісної зарядної станції. До них належать: захист від короткого замикання, перенапруги, зворотної полярності, перегріву, а також аварійне відключення при виявленні несправностей у підключенні або електромережі. Усі ці функції повинні реалізовуватись на апаратному рівні за допомогою високошвидкісних автоматів, варисторів, термореле, а також програмно — через інтегровані системи діагностики та управління.

Особливу увагу у випадку гібридного живлення слід приділити характеру роботи сонячного джерела енергії. Фотоелектрична генерація відрізняється високим рівнем динамічності: рівень виробленої потужності залежить від часу доби, кута падіння сонячного світла, сезонності, погодних умов та наявності забруднень. Це означає, що вхідна потужність є змінною і непередбачуваною в короткостроковій перспективі. Для забезпечення стабільної роботи зарядної станції схемотехніка повинна включати буферні елементи (АКБ, суперконденсатори) або механізми пріоритетного переключення між джерелами (СЕС, мережа, накопичувач), які дозволяють швидко адаптуватися до коливань вхідного живлення без шкоди для споживача.

При проектуванні швидкісної зарядної станції з сонячним живленням важливим етапом є визначення топології електричного з'єднання основних функціональних модулів.

Найпростіша конфігурація — пряма схема живлення, коли фотоелектрична система через інвертор або MPPT-контролер безпосередньо подає енергію на зарядний модуль. Така топологія можлива лише у випадку, коли потужності генерації вистачає для обслуговування запиту на заряджання, а характеристики сонячного потоку залишаються стабільними упродовж тривалого часу. Основною перевагою такої схеми є висока енергоефективність і відсутність втрат на проміжному накопиченні. Водночас вона обмежена часовими рамками — заряджання можливе тільки у світлий період доби та за умови сприятливої погоди.

У паралельній схемі, що застосовується значно частіше, сонячна електростанція подає енергію як на зарядний модуль, так і на акумуляторну систему, яка виконує функцію буфера. В разі недостатньої генерації зарядна станція автоматично добирає енергію з накопичувача, забезпечуючи тим самим безперервність процесу заряджання. При надлишку — енергія накопичується в АКБ. Така архітектура дозволяє гнучко реагувати на зміну зовнішніх умов, знижує навантаження на електромережу та забезпечує часткову автономність роботи.

Найбільш універсальним варіантом є гібридна топологія, яка дозволяє інтегрувати до системи одразу три джерела: СЕС, буферну батарею і зовнішню електромережу. У цьому випадку контролер або енергетичний менеджер виконує автоматичний розподіл потоків: у пріоритеті використовується сонячна генерація, за нестачі — вмикається АКБ, а при повному вичерпанні локальних ресурсів активується живлення з мережі. Така топологія є найбільш стабільною та зручною для комерційного використання, зокрема в умовах високого навантаження та змінного попиту на заряджання.

Інвертор у такій системі виконує функцію основного перетворювача — він перетворює постійний струм, який генерується фотоелектричними модулями, у змінний або у стабілізований постійний струм необхідної величини. У разі, якщо використовується DC-зарядний модуль, ідеальним є підхід, при якому інвертор видає стабілізовану напругу постійного струму (наприклад, 400–800 В), яка безпосередньо подається на вхід зарядного пристрою. Але при змінних умовах сонячного освітлення та навантаження виникає потреба у гнучкому керуванні енергетичними потоками.

Алгоритм керування передбачає постійний моніторинг трьох ключових параметрів: потужності, яка надходить від сонячної станції, стану заряду буферної акумуляторної батареї (якщо вона присутня) та реального споживання електромобілем у момент заряджання. На основі цих даних система приймає рішення щодо маршруту енергопотoku: напряму до ТЗ, через АКБ, або з використанням живлення від зовнішньої мережі. Такий алгоритм може реалізовуватись або на рівні програмного

забезпечення в гібридному інверторі, або через окремий енергетичний контролер-менеджер [12].

Для підвищення ефективності в таких системах широко використовуються DC/DC перетворювачі, які встановлюються на виході інвертора або між джерелами живлення та зарядним модулем. Їх основна перевага — це можливість динамічного узгодження рівнів напруги, що дозволяє уникнути перевантажень, зниження ефективності або аварійного відключення. Вони також відіграють роль стабілізаторів при різкому падінні напруги на виході СЕС або при раптовому зростанні навантаження. Застосування DC/DC перетворювачів є критично важливим при інтеграції з буферними батареями, які можуть мати змінну напругу в залежності від рівня заряду.

Ще одним важливим аспектом є режим роботи інвертора відносно електромережі. У разі автономної системи, інвертор працює незалежно і не синхронізується з зовнішньою мережею — вся енергія генерується, зберігається й використовується локально. Це підвищує енергетичну незалежність, але ускладнює балансування навантаження. Натомість, у grid-tied режимі (інвертор синхронізується з мережею) система отримує можливість передавати надлишкову енергію в мережу або автоматично добирати її звідти в разі нестачі, що підвищує гнучкість і надійність роботи зарядної станції. Проте така схема потребує складніших алгоритмів керування, відповідних дозволів і високої точності синхронізації по фазі, частоті та напрузі.

Проектування зарядної станції починається з визначення необхідної потужності. Наприклад, для швидкісного заряджання одного електромобіля у форматі DC Fast Charging зазвичай необхідно не менше 50–150 кВт. Якщо планується підключення кількох портів, потужність відповідно кратно зростає.

Розрахунок необхідної потужності виконується за формулою:

$$P = \frac{E}{t} \quad (2.4)$$

де: P — необхідна потужність зарядної системи, [Вт]; E — енергія, яку потрібно передати до ТЗ, [Вт·год]; t — бажаний час зарядки, [год].

Наприклад, якщо акумулятор має ємність 60 кВт·год, і планується зарядити його за 30 хвилин (0.5 год), необхідна потужність становить:

$$P = \frac{60\,000}{0.5} = 120\,000 \text{ Вт} = 120 \text{ кВт}$$

Орієнтуючись на цю величину, підбираються інвертори, контролери та зарядні модулі, які здатні працювати в цьому діапазоні потужностей. Наступним кроком є розрахунок сили струму на основі напруги системи:

$$I = \frac{P}{U} \quad (2.5)$$

де: I — сила струму, [А]; P — потужність, [Вт]; U — робоча напруга DC-шини або ланцюга, [В].

При напрузі DC-шини 800 В і необхідній потужності 120 кВт отримаємо:

$$I = \frac{120\,000}{800} = 150\text{ А}$$

Ця величина визначає вибір кабельної продукції, перетин провідників, типи захисної апаратури та потужність силових модулів. Водночас варто враховувати резерв на пікові навантаження (близько 10–15%) та втрати в кабелях.

Щоб система працювала стабільно, вихідна напруга СЕС (після MPPT-контролера або інвертора) має бути узгоджена з вхідною напругою зарядного модуля. Найбільш поширеними є такі напруги шин DC для комерційних зарядних станцій: 400 В, 600 В, 750 В та 800 В.

Робоча напруга визначається як середнє значення в діапазоні напруг заряджання акумуляторів електромобілів. З огляду на високі струми, оптимальним є вибір максимальної напруги, допустимої за технічними характеристиками ТЗ. Це дозволяє знизити струмові навантаження і втрати:

$$P_{\text{loss}} = I^2 \cdot R \quad (2.6)$$

де: P_{loss} — втрати потужності у проводах, [Вт]; I — сила струму, [А]; R — опір ланцюга, [Ом].

При однаковій потужності збільшення напруги дозволяє зменшити силу струму, а отже, і втрати, що критично важливо для ефективної роботи станції в пікових режимах.

Для повного розрахунку енергобалансу системи слід також враховувати ефективність перетворення та запас енергії в буферних батареях:

1. Корисна потужність на виході:

$$P_{\text{out}} = P_{\text{in}} \cdot \eta \quad (2.7)$$

де: η — загальний ККД системи (інвертор + зарядний модуль), зазвичай 0.92–0.97.

2. Необхідний запас енергії в АКБ:

$$E_{\text{АКБ}} = \frac{P \cdot t}{\eta_{\text{АКБ}}} \quad (2.8)$$

де: $\eta_{\text{АКБ}}$ — ККД зарядно-розрядного циклу АКБ (0.85–0.95), t — час заряджання електромобіля з буфера, [год].

3. Перетин провідника (за довжиною і струмом) обчислюється за спрощеною формулою:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\Delta U} \quad (2.9)$$

де: S — необхідний перетин провідника, $[\text{мм}^2]$; ρ — питомий опір провідника (для міді $\rho=0.0175 \text{ }\Omega\cdot\text{мм}^2/\text{м}$); L — довжина лінії, $[\text{м}]$; ΔU — допустиме падіння напруги (не більше 3–5%).

Для демонстрації практичної реалізації схемотехнічного рішення доцільно розглянути приклад конфігурації швидкісної зарядної станції з живленням від сонячної електростанції потужністю 100 кВт. Такий варіант є характерним для міських зарядних хабів або автосервісних комплексів з середньою інтенсивністю використання та одночасним обслуговуванням одного або двох електромобілів у режимі DC Fast Charging. Система побудована на гібридній топології: сонячні панелі підключені до гібридного інвертора з можливістю двонаправленої роботи, а також інтегровані з буферною акумуляторною системою та мережею загального користування. Такий підхід забезпечує гнучке балансування енергопотоків між усіма джерелами живлення та навантаженням. У якості інвертора доцільно застосувати промислову модель на 100 кВт з MPPT-функцією та підтримкою режимів grid-tied і off-grid, наприклад, типу SMA Sunny Tripower CORE2 або Huawei SUN2000-100KTL.

Сонячна генерація здійснюється масивом з монокристалічних панелей загальною потужністю 120 кВт, що дає змогу врахувати пікові втрати генерації, деградацію модулів, а також денну варіативність інсоляції. Зазначений масив забезпечує в середньому 400–500 кВт·год енергії щодня у весняно-літній період в умовах України, що достатньо для повного заряджання 4–6 електромобілів середнього класу (із ємністю батареї 60–80 кВт·год).

Буферна система зберігання реалізована на основі літій-залізо-фосфатних батарей (LiFePO_4) з загальною ємністю 150 кВт·год. Її призначення — забезпечення стабільності подачі енергії до зарядного модуля при хмарності, нестачі сонячної генерації чи в перехідні режими заряджання. Крім того, АКБ дозволяє здійснювати нічне або ранкове заряджання, зменшуючи залежність від графіка роботи СЕС.

Зарядний модуль реалізований у вигляді окремого блока DC Fast Charging потужністю 60–120 кВт з підтримкою стандарту CCS Combo 2, що є універсальним для більшості європейських та азійських електромобілів. Модуль підключено безпосередньо до шини постійного струму, напругою 800 В, узгодженої з виходами інвертора та зарядним профілем більшості електромобілів.

Управління системою здійснюється за допомогою енергетичного контролера з підтримкою OCPP та протоколу ISO 15118, що дозволяє віддалено керувати процесами заряджання, моніторити стан джерел живлення, акумуляторів, а також реєструвати користувачів. Пріоритет у живленні задається згідно з алгоритмом СЕС → АКБ → мережа, забезпечуючи мінімізацію споживання енергії ззовні та максимальне використання локально згенерованої.

У цілому така схемотехнічна конфігурація забезпечує високу ефективність (загальний ККД понад 90%), енергетичну автономність у межах 40–70% в

середньорічному розрізі, а також достатню надійність і масштабованість для інтеграції в мережу комерційних зарядних хабів або муніципальних екосистем. Вона є оптимальною за співвідношенням вартості, гнучкості і експлуатаційних можливостей для впровадження на території України та країн ЄС.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка структурної схеми зарядної станції з живленням від сонячних панелей

Розглядається швидкісна багатопортова зарядна станція потужністю $\sim 100\text{--}150\text{ кВт}$ із гібридною системою живлення на основі відновлюваної енергії. Станція має одержувати енергію від сонячних панелей, буферної акумуляторної батареї (АКБ) та за потреби від зовнішньої електромережі. Така комбінована архітектура покликана забезпечити стабільне живлення кількох зарядних портів для електромобілів, мінімізуючи навантаження на мережу в моменти пікового споживання та максимально використовуючи сонячну енергію. Загальна ідея – створити постійнотокową “мікромережу” зарядної станції: всі джерела і навантаження об’єднуються на спільній шині постійного струму, що дозволяє напряду використовувати енергію сонячних панелей для швидкої зарядки EV без зайвих перетворень [14].

На рис. 3.1 наведено структурну схему зарядної станції, що містить такі основні функціональні блоки: Масив сонячних панелей з контролером MPPT; Буферна акумуляторна батарея з двонаправленим DC/DC перетворювачем; Вузол підключення до електромережі (трьохфазний AC/DC інвертор); Шина постійного струму (DC-шина) для об’єднання джерел; Зарядні модулі та порти для електромобілів; Система керування та захисту. Нижче подано поетапний опис роботи кожного блоку, їх параметри та режими, а також ключові інженерні розрахунки для обґрунтування вибору компонентів.

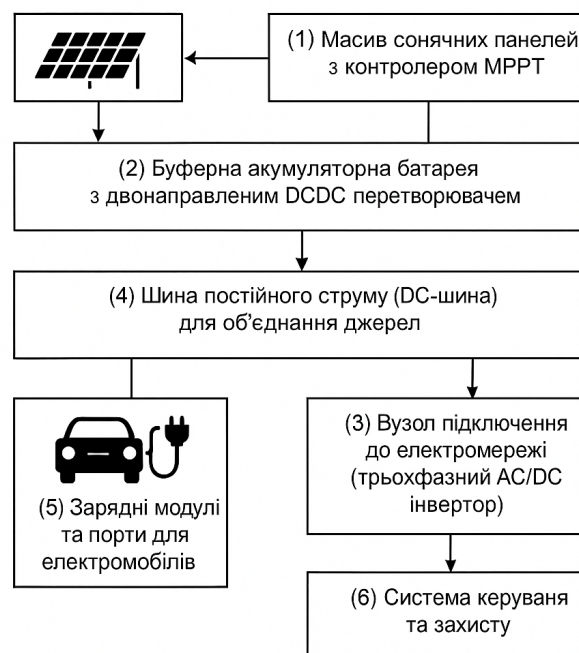


Рисунок 3.1. Принципова схема зарядної станції з живленням від сонячних панелей

Запропонована структурна схема узгоджується з сучасними підходами до архітектури EV-станцій. Зокрема, дослідження відзначають переваги спільної DC-шини перед традиційною AC-зв'язкою: вища ефективність за рахунок уникнення подвійного перетворення (DC-AC-DC) та можливість гнучко розподіляти PV-енергію між кількома зарядними модулями. У типовій реалізації кожне джерело (PV, АКБ, мережа) під'єднане до шини через окремий силовий конвертор – саме таку конфігурацію і взято за основу. Альтернативою є інтегрований багатопортовий перетворювач, що об'єднує всі входи і виходи в одному силовому блоці, проте він складніший у реалізації і масштабуванні. Тому модульний підхід із окремими перетворювачами є обґрунтованим для станції 150 кВт – він забезпечує резервування (відмова одного модуля не виводить всю систему з ладу) та спрощує нарощування потужності.

Запропонована конфігурація (рис. 3.1) підтримує п'ять основних сценаріїв роботи станції:

1. PV → EV:

Денний час, сонячна генерація напряду йде на зарядку автомобілів (надлишок може накопичуватися в батареї). Мережа при цьому мінімально задіяна або в резерві.

2. PV → АКБ

Коли EV не потребують всієї сонячної енергії (або відсутні), надлишок спрямовується на заряд батареї. Це дозволяє зберегти енергію для пікових годин або ночі.

3. АКБ → EV

Увечері або при різкому запиті потужності, батарея віддає накопичену енергію для підтримання швидкого заряджання, зменшуючи відбір з мережі (режим пікового підсилення, або робота при відсутності сонця).

4. Grid → EV

Нічний або хмарний період, батарея розряджена – станція бере енергію з зовнішньої електромережі щоб заряджати EV. Система все ж може обмежувати потужність до наявного ліміту, збільшуючи час зарядки, якщо потрібно уникнути перевантаження лінії.

5. PV → Grid

Автомобілі не заряджаються, а АКБ повністю заряджена – генерована сонячна енергія віддається назад в мережу. Це найменш частий режим, що дозволяє не втрачати вироблену електрику і отримати додатковий дохід або користь для мережі.

Кожен із наведених режимів реалізується автоматично системою керування, яка перемикає стан силових ключів/конверторів відповідно до умов (наявність сонця, рівень заряду АКБ, підключення EV, ліміти мережі). Таким чином, розроблена структурна схема забезпечує надійну та ефективну роботу зарядної станції: максимальне використання відновлюваної енергії, швидке обслуговування кількох

електромобілів одночасно та мінімізацію впливу на електромережу завдяки буферизації енергії.

3.1.1. Сонячні панелі та MPPT-контролер

Станція обладнана масивом фотоелектричних панелей загальною піковою потужністю близько 100–150 кВт (наприклад, ~300–400 сонячних модулів по 330–500 Вт). Панелі з'єднуються в стрінги, щоб отримати потрібну напругу: типово формують серії з ~20–25 модулів, що дає напругу холостого ходу порядку 800–900 В (близько 37–45 В на модуль). Кілька таких стрінгів паралельно забезпечують необхідний струм для сумарної потужності (рис. 3.2). Сонячний масив підключений до DC-шини через DC/DC перетворювач з MPPT (схема підвищувального конвертера). MPPT-контролер відстежує точку максимальної потужності PV-масиву та регулює вихідний струм/напругу, забезпечуючи максимум генерації за різної освітленості.

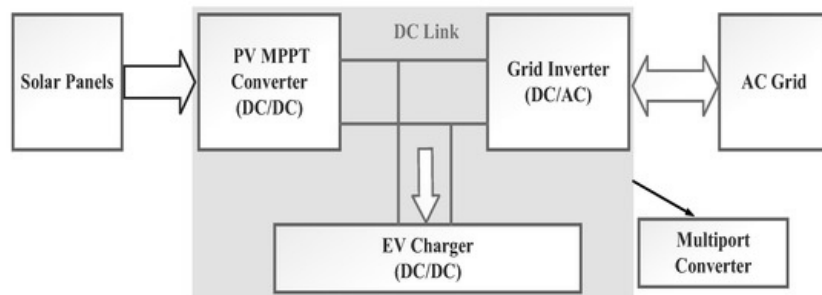


Рисунок 3.2. Структурна схема MPPT-контролера

Технічні параметри PV-блоку: номінальна потужність ~150 кВт (для покриття максимального навантаження вдень), робоча напруга на DC-шині ~800 В, діапазон напруги PV-масиву ~600–900 В (залежно від освітлення). Обрано високий рівень DC-напруги ~800 В для зменшення струмів та втрат при передачі потужності (для 150 кВт при 800 В потрібен струм ~187 А; для порівняння, при 400 В струм становив би ~375 А, що ускладнює комутацію та вимагає товстіших кабелів).

Перетворювач MPPT розрахований на вхідний струм десятків ампер з кожного стрінгу та оснащений захистом від перенапруги і зворотного струму в нічний час. ККД сучасних DC/DC конвертерів високий (~97–99%), тому втрати в цьому блоці не перевищують 1–3%. Типовий режим роботи: вдень перетворювач постійно підтримує роботу панелей у режимі MPP – зайва енергія спрямовується на зарядку АКБ або в мережу, якщо електромобілі не споживають всю генерацію. Вночі або за відсутності сонця PV-блок перебуває в холостому режимі, не впливаючи на систему [15].

3.1.2. Буферна акумуляторна батарея (АКБ) з DC/DC-конвертором

Для балансування вироблення сонячної енергії та нерівномірного навантаження станції використовується високовольтна буферна акумуляторна батарея. АКБ підключена до спільної DC-шини через двонаправлений DC/DC перетворювач, що

дозволяє як заряджати батарею від шини, так і віддавати з неї енергію назад. Номінальна напруга батареї обирається співставною з шиною постійного струму (наприклад, $\sim 600\text{--}700\text{ В}$), щоб зменшити ступінь перетворення. Використовуються літій-іонні акумуляторні модулі, здатні працювати у діапазоні напруг, близькому до напруги DC-шини (наприклад, $500\text{--}800\text{ В}$). Для забезпечення потужності 150 кВт конвертор АКБ розрахований на струми до $\sim 200\text{ А}$. Ємність батареї обґрунтовується режимом роботи станції: щоб надавати повну потужність $\sim 150\text{ кВт}$ протягом, скажімо, 20 хв (одна швидка сесія зарядки $\sim 50\text{ кВт}\cdot\text{год}$), потрібна ємність порядку $50\text{ кВт}\cdot\text{год}$. З урахуванням резерву та можливості кількох сесій підряд, доцільно використати батарею ємністю $100\text{--}300\text{ кВт}\cdot\text{год}$. Реальний приклад – комерційні рішення пропонують інтегровану АКБ $\sim 300\text{ кВт}\cdot\text{год}$ для зарядних станцій 150 кВт , що забезпечує ~ 2 год автономної роботи на повній потужності (рис. 3.3).



Рисунок 3.3. Комерційне рішення зарядної станції з інтегрованою АКБ 300 кВт

Двонаправлений конвертор керується системою енергоменеджменту [16]. Існують два основні режими: заряд батареї (надлишкова PV-енергія або живлення від мережі направляється в АКБ) та розряд батареї (АКБ покриває дефіцит потужності, віддаючи енергію в DC-шину для живлення зарядних портів). У проміжках, коли генерація і споживання збалансовані, АКБ може знаходитися в режимі підтримання заряду (Stand-by) із рівнем заряду, близьким до оптимального. Типовий алгоритм – пріоритетне використання сонячної енергії: вдень АКБ заряджається від PV після забезпечення потреб EV, а ввечері або при пікових навантаженнях АКБ розряджається, зменшуючи відбір з мережі. Важливі технічні параметри: максимально допустимі глибина розряду (DoD) та кількість циклів; система керування батареєю (BMS) відстежує температуру та напругу модулів для безпечної експлуатації. ККД двонаправленого DC/DC перетворювача $\sim 95\text{--}98\%$ в обох напрямках, втрати тепла компенсуються системою охолодження. Для захисту батареї передбачено обмеження

граничних струмів заряд/розряд (наприклад, до 1–2 С номінальної ємності) та ізоляцію батареї при аварійних ситуаціях (автоматичні вимикачі або запобіжники на DC-шині).

3.1.3. Підключення до електромережі (AC/DC інвертор)

Для забезпечення безперервного живлення та резерву потужності станція під'єднана до трифазної електромережі (~380/400 В, 50 Гц) через мережевий двонаправлений перетворювач. Цей вузол функціонує як активний випрямляч (при живленні станції від мережі) або як інвертор (при передачі надлишкової PV-енергії в мережу). Потужність перетворювача відповідає максимальній потужності станції (150 кВт), що в трифазному виконанні відповідає струму близько 216 А на фазу (при 400 В). Для підключення потрібна виділена лінія або трансформатор відповідної потужності (наприклад, 0.4 кВ/0.4 кВ, 200 кВА). Керування перетворювачем здійснюється за алгоритмом підтримання стабільної напруги DC-шини (~800 В) та необхідного балансу потужності P/Q з мережею (рис. 3.4). У режимі випрямлення пристрій тримає коефіцієнт потужності близьким до 1, мінімізуючи вплив на якість мережі, та пригнічує гармоніки струму (PWM-контроль зі швидким регулюванням). У режимі інвертування він синхронізується з мережею і передає надлишок сонячної енергії (якщо АКБ вже заряджена і немає споживання від EV) назад в мережу, дотримуючись вимог стандартів щодо генерації (наприклад, ДСТУ EN 50549 чи IEEE 1547).

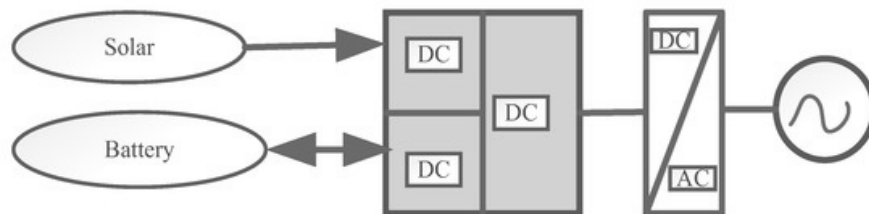


Рисунок 3.4. Система накопичення енергії акумуляторів постійного струму, інтегрована з фотоелектричною та мережевою системами.

Використано силові модулі IGBT або SiC, що забезпечують високий ККД перетворення (~95–97%). Система охолодження (рідинна або повітряна) відводить теплові втрати ~3–5% від 150 кВт (порядку 5 кВт тепла при повному навантаженні). На вході встановлено автоматичні вимикачі та захист від перевантаження по струму і перенапруг. Також передбачено ізоляційний трансформатор або гальванічна розв'язка в схемі перетворювача для безпеки: це запобігає прямому протіканню постійного струму в мережу і вирівнює потенціали.

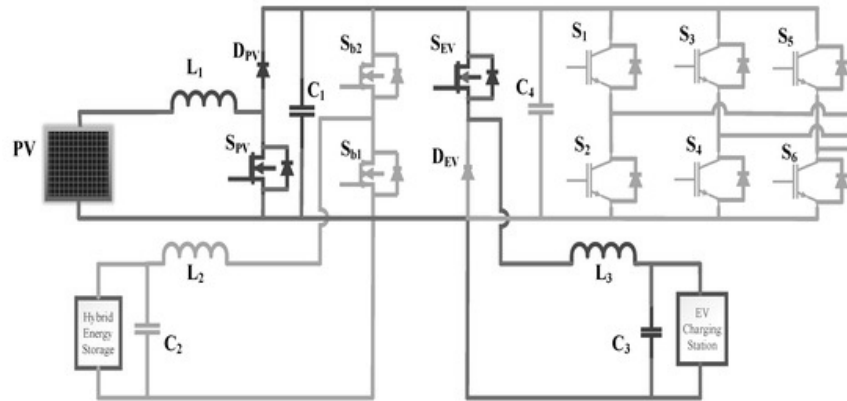


Рисунок 3.5. Схемна реалізація зарядної станції з живленням від СЕС

Режими роботи: в денний час, якщо сонячної генерації недостатньо і АКБ розряджена, мережевий блок забезпечує бракуючу потужність (режим Grid $\rightarrow$ DC). Уночі або при повністю використаній АКБ усе живлення надходить з мережі (мережа покриває 100% навантаження зарядки – цей режим еквівалентний звичайному мережевому терміналу швидкої зарядки). При надлишку PV (без навантаження від EV і повністю зарядженій АКБ) інвертор перейде в режим передачі енергії в мережу (режим DC $\rightarrow$ Grid), продаючи вироблену електроенергію згідно з “зеленим” тарифом або підтримуючи місцеву мережу. У випадку відключення мережі станція може працювати автономно, живлячи EV від PV+АКБ (острівний режим), при цьому мережевий інвертор відключений від лінії за допомогою реле АВР і не подає напругу в зовнішню мережу з міркувань безпеки.

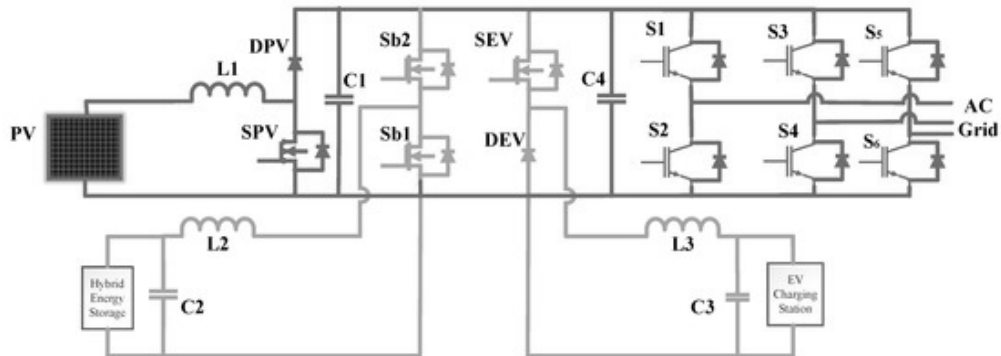


Рисунок 3.5. Схемна реалізація зарядної станції з передачею енергії в зовнішню мережу

3.1.4. Зарядні модулі та вихідні порти для EV

Загальна DC-шина (~ 800 В) розподіляє енергію між кількома вихідними портами швидкої зарядки. Передбачається, що станція має кілька портів постійного струму для швидкісного заряджання (наприклад, 2–4 порти стандарту CCS або CHAdeMO) та, за потреби, додаткові порти змінного струму (Type 2) для повільнішого заряджання. Кожен швидкісний порт оснащено власним DC/DC зарядним модулем – ізольованим перетворювачем постійного струму, який приймає енергію з DC-шини і

регулює її параметри відповідно до потреб акумулятора електромобіля. Перетворювачі виконують функцію кінцевого зарядного пристрою: на їх виході встановлюється потрібна напруга (наприклад, від ~ 200 В до 800 В залежно від рівня заряду та типу батареї EV) і обмежується струм зарядки згідно з запитом автомобіля. Максимальна вихідна потужність одного порту, як правило, 50–150 кВт. Для досягнення 150 кВт на 400 В потрібен струм ~ 375 А, тому кабелі до конектора повинні мати великий переріз (порядку 95–120 мм² мідь) і активне охолодження (спеціальні рідинноохолоджувані зарядні кабелі для струмів >250 А). Якщо ж електромобіль має бортову батарею 800 В, струм при тій самій потужності зменшується до ~ 187 А, що полегшує вимоги до кабелю. Таким чином, для універсальності порт підтримує широкий діапазон напруг (~ 200 –800 В) і може автоматично знижувати максимальну потужність, щоб дотриматися струмових обмежень (наприклад, віддавати 150 кВт лише для батарей >500 В, а для 400 В обмежувати ~ 120 кВт щоб не перевищити ~ 300 А).

Після підключення EV та автентифікації, станція через протокол (CCS Combo/CHAdeMO) узгоджує з автомобілем параметри зарядки. Далі модуль працює у режимі CC-CV (Constant Current – Constant Voltage): спочатку подається постійний струм (наприклад, максимальний до 300–375 А або менше, залежно від запиту), поки напруга батареї EV не досягне граничного значення; потім модуль переходить до режиму постійної напруги, підтримуючи максимальну напругу (наприклад 400 В або 800 В) і поступово знижуючи струм по мірі насичення батареї. Зарядний модуль оснащений гальванічною розв'язкою (високочастотний трансформатор) для безпеки, а також вихідними фільтрами для згладжування пульсацій. ККД перетворення в цих модулях також високий ($\sim 95\%$ і вище). Якщо кілька EV заряджаються одночасно, загальна система керування здійснює балансування навантаження між портами: слідує, щоб сумарний відбір не перевищив можливостей станції. Наприклад, при двох активних портах 150 кВт кожен і недостатній генерації, система може розподілити доступні 150 кВт між ними (по 75 кВт на порт) або пріоритезувати згідно з налаштуваннями оператора. Станція підтримує також режим очікування: при відсутності підключених EV вихідні контактори портів знеструмлені, а модулі перебувають у режимі низького енергоспоживання.

За потреби, порти змінного струму (АС) можуть бути включені в структуру (наприклад, 22 кВт трифазні розетки Type 2 для одночасного повільного заряджання). Такі порти підключаються або напряму до мережевого вузла через окремий розподільний щит, або можуть живитися від DC-шини через окремий DC/АС інвертор. У першому випадку, АС-порти фактично використовують мережу (з можливістю підживлення від PV/АКБ через загальний точковий обмін на мережі). У другому – порт АС стане частиною DC-мікромережі, де DC-шина через окремий інвертор формує локальну 50 Гц напругу спеціально для розетки. Обидва підходи мають забезпечувати

відповідність стандартам EVSE (IEC 61851, IEC 62196 тощо) і наявність захистів (УЗО, контролер ізоляції, тощо). Оскільки основна увага – швидкі DC-порти, AC-портами можна знехтувати у структурній схемі, або відобразити їх як додатковий блок, живлений від мережі.

3.1.5. Розрахунок основних параметрів станції

При проєктуванні станції здійснюється низка розрахунків для оптимізації параметрів. І перший з них – це баланс потужностей. Коли електромобілі одночасно споживають енергію, а сонячна генерація та мережевий ліміт змінюються, кількісний баланс потужності описується рівнянням:

$$P_{EV} = P_{PV} + P_{Bat-розр} + P_{Grid} - P_{Bat-зар}. \quad (3.1)$$

Кожен доданок може бути позитивним або нульовим; термін $P_{Bat-зар}$ з'являється тільки тоді, коли АКБ заряджається. Наприклад, два порти запитують по 75 кВт (разом 150 кВт). У полудень масив виробляє 90 кВт, мережевий контракт дозволяє брати не більш як 40 кВт. Для покриття дефіциту систему переводимо в розряд батареї:

$$150 = 90 + P_{Bat-розр} + 40 \Rightarrow P_{Bat-розр} = 20 \text{ кВт}.$$

Струм розряду при напрузі шини 800 В становитиме лише 25 А – цілком прийнятний режим для великої літєвої батареї.

На наступному кроці виконується обґрунтування робочої напруги DC-шини. Чим вища напруга, тим нижчі струми та втрати на нагрів кабелів. При цільовій потужності 150 кВт обираємо 800 В:

$$I_{DC} = \frac{P}{U} = \frac{150\,000 \text{ Вт}}{800 \text{ В}} \approx 188 \text{ А}.$$

Для порівняння, при 400 В струм зростає би до 375 А, удвічі збільшуючи перетин шин і складність комутації. 800 В також сумісні з сучасними 800-вольтовими платформами (Porsche Taycan, Hyundai E-GMP, Kia EV6), а 400-вольтові авто просто отримують половинний струм через протокол CCS.

Далі виконується вибір і ємність буферної АКБ. Буфер повинен «перехоплювати» пікові 50 кВт протягом однієї 30-хвилинної сесії, не використовуючи мережу. Корисну енергію знаходимо так:

$$E_{кор} = P_{деф} t = 50 \text{ кВт} \cdot 0,5 \text{ год} = 25 \text{ кВт/год} \quad (3.2)$$

З урахуванням циклічного ККД батареї ($\approx 90\%$) отримаємо:

$$E_{мін} = \frac{E_{кор}}{\eta_{cycle}} = \frac{25}{0,90} = 28 \text{ кВт/год} \quad (3.3)$$

Щоб не розряджати батарею глибше ніж на 80 % (DoD = 0,8):

$$E_{nom} = \frac{E_{мін}}{0,8} = 35 \text{ кВт/год} \quad (3.4)$$

Для комерційної надійності закладаємо три таких піки підряд, тому обираємо модуль ≈ 100 кВт·год. У проекті беремо стандартний комплект 150 кВт·год LiFePO_4 – він витримує до 6000 циклів і закриває навіть вечірні піки.

На наступному кроці виконаємо розрахунок перетину кабелів і шин. Падіння напруги на силових лініях обмежуємо 3 % (≈ 24 В для 800 В). Перетин мідного провідника обчислюємо формулою:

$$S = \frac{2\rho LI}{\Delta U}, \quad (3.5)$$

де $\rho_{\text{Cu}} = 0,0175 \Omega \text{ мм}^2/\text{м}$. За 10 м траси та струму 200 А отримаємо

$$S = \frac{2 \times 0,0175 \times 10 \times 200}{24} \approx 29 \text{ мм}^2. \quad (3.6)$$

Найближчий стандартний перетин із запасом – 35 мм^2 . Для портового охолоджуваного кабелю (375 А на 400 В-режимах) обираємо 70–95 мм^2 .

Далі визначаємо втрати потужності та інтегральний ККД системи. Сумарну ефективність визначаємо добутком ККД кожного етапу. Для шляху $PV \rightarrow EV$:

$$\eta_{PV \rightarrow EV} = \eta_{MPPT} \times \eta_{\text{Chg}} \times \eta_{\text{Cable}} \approx 0,98 \times 0,95 \times 0,97 \approx 0,90 \text{ (90\%)}. \quad (3.7)$$

Для шляху $Grid \rightarrow EV$ (без АКБ):

$$\eta_{Grid \rightarrow EV} = \eta_{\text{Grid}} \times \eta_{\text{Chg}} \times \eta_{\text{Cable}} \approx 0,97 \times 0,95 \times 0,97 \approx 0,89. \quad (3.8)$$

Якщо енергія циклічно минає АКБ, додається подвійне перетворення η_{Bat}^2 :

$$\eta_{PV \rightarrow \text{Bat} \rightarrow EV} \approx 0,98 \times 0,96^2 \times 0,95 \times 0,97 \approx 0,82. \quad (3.9)$$

Отже, пріоритет “сонце $\rightarrow$ авто” забезпечує найменші втрати, тоді як робота через батарею з’їдає додатково ≈ 8 відсоткових пунктів, але дає гнучкість і пікове підсилення.

Як результат, розрахована потужність, вибрана висока шина 800 В, буфер 150 кВт·год і ретельно підібрані перетини проводів гарантують, що дво- або трипортова станція віддаватиме 150 кВт з інтегральним ККД ≈ 89 –90 % у сонячні години й ≈ 82 % у нічному режимі через АКБ. Це повністю відповідає експлуатаційним вимогам сучасних НРС-комплексів і забезпечує економічну доцільність установки.

3.2 Розрахунок необхідної потужності зарядних станцій та кількості точок підключення

Виконаємо розрахунок необхідної потужності зарядних станцій та кількості точок підключення, використовуючи наступні вихідні дані:

- середній міський комплекс у місті (~ 300 тис. населення) з запланованою зарядною станцією для електромобілів.
- станція працюватиме активно 12 годин на добу і обслуговуватиме до 50 електромобілів на день.

- середній електромобіль має батарею ємністю 50 кВт·год, час заряджання – 30–60 хвилин (залежно від потужності та рівня заряду).
- обмежень на приєднану електричну потужність немає (можна забезпечити необхідну потужність з мережі).

В результаті розрахунку необхідно визначити потрібну встановлену потужність станції (кВт) та оптимальну кількість зарядних портів (одночасних точок підключення), а також обґрунтувати ці параметри [17].

3.2.1. Розрахунок добової переданої енергії

Першим кроком є оцінка сумарної електроенергії, яку зарядна станція має передати усім електромобілям за добу. Якщо в середньому 50 автомобілів отримують заряд, еквівалентний 50 кВт·год кожен (припускаємо повну зарядку батареї для максимального розрахунку), то загальна добова енергія становитиме:

$$W_{\text{добова}} = N_{\text{авто/доба}} \times E_{\text{бат}} = 50 \times 50 = 2,500 \text{ кВт·год.} \quad (3.10)$$

Це означає, що станція повинна щодня видавати до ~2500 кВт·год енергії для заряджання всіх електромобілів (у випадку, якщо кожен з них потребуватиме повної зарядки батареї). Для порівняння, подібний розрахунок в іншому сценарії показує 2 порти $\times$ 10 авто $\times$ 50 кВт·год $\approx$ 1000 кВт·год на добу. Наш результат у 2500 кВт·год є значно більшим, що відповідає більшому добовому навантаженню (50 авто проти 20 в наведеному прикладі).

На практиці не кожен електромобіль приїздить із повністю розрядженою батареєю. Якщо середній рівень заряду при підключенні – скажімо, 20–30%, а заряджаються вони до ~80%, то реально кожен може отримувати менше ніж 50 кВт·год (наприклад, ~30 кВт·год). У такому випадку фактична добова видача енергії була б меншою (близько 1500 кВт·год для 50 авто). Проте для проектного розрахунку доцільно закладати максимальне або близьке до максимального значення – це створює резерв для пікових ситуацій та зростання попиту.

3.2.2. Розрахунок необхідної добової потужності

Отримавши добову енергію, визначимо середню потужність, потрібну протягом активних годин роботи станції. Якщо 2500 кВт·год енергії потрібно передати за 12 годин, то середня потужність становитиме:

$$P_{\text{середня}} = \frac{W_{\text{добова}}}{T_{\text{актив}}} = \frac{2\,500}{12} \approx 208 \text{ кВт.} \quad (3.11)$$

Це означає, що протягом 12 годин в середньому станція споживатиме ~208 кВт потужності, щоб видати необхідну енергію. Така потужність еквівалентна, наприклад, одночасній роботі кількох десятків побутових електроприладів або невеликого промислового об'єкта (для порівняння: середня потреба звичайної АЗС ~5 кВт).

Однак середня величина не враховує пікових навантажень. Максимальна потужність буде потрібна тоді, коли одночасно заряджається кілька авто, особливо якщо заряджання швидке. Враховуючи час зарядки 30–60 хв, можна оцінити необхідну потужність зарядних модулів:

- для повної зарядки 50 кВт·год батареї за 60 хв потрібен приблизно 50 кВт потужності (50 кВт·год / 1 год).
- для зарядки за 30 хв потрібна удвічі більша потужність – близько 100 кВт на автомобіль (50 кВт·год / 0,5 год).

$$P_{\text{порт}} = \frac{E_{\text{заряду}}}{t_{\text{заряду}}} \quad (3.12)$$

Наприклад, щоб зарядити батарею 50 кВт·год за 15 хв, потрібна ~200 кВт потужність. Відповідно, 30 хв ~100 кВт, 60 хв ~50 кВт – ці цифри узгоджуються з нашим розрахунком діапазону. Отже, кожен порт зарядки має забезпечувати порядку 50–100 кВт потужності, щоб вкластися в середній інтервал 30–60 хвилин на сесію заряджання. Якщо кілька автомобілів заряджаються одночасно, сумарна потужність станції буде складатися з потужностей усіх активних портів. Наприклад, при двох одночасних зарядках по ~100 кВт – це ~200 кВт навантаження, при п'яти одночасних зарядках по ~50 кВт – ~250 кВт, а піково (п'ять по 100 кВт) – до 500 кВт.

Для енергетичного планування необхідно розраховувати як середню потребу (близько 208 кВт), так і передбачити здатність покрити пікове споживання (потенційно кількості кіловат, залежно від кількості одночасних підключень і потужності кожного порту). В умовах відсутності обмежень по приєднанню можна спроектувати систему на повне пікове навантаження, тобто забезпечити кілька сотень кіловат встановленої потужності, аби навіть максимальний одночасний попит був покритий з резервом.

3.2.3. Обґрунтування кількості зарядних портів

Зарядні порти визначають, скільки електромобілів станція може обслуговувати одночасно. Оптимальна кількість портів залежить від загальної кількості клієнтів на добу, тривалості зарядки кожного та розподілу прибуття автомобілів протягом дня (одночасність, пікові години). Розрахуємо необхідну кількість портів на основі навантаження:

- якщо кожен автомобіль заряджається ~1 годину, один порт може обслуговувати ~12 авто за 12 годин (по одній машині щогодини). Для 50 авто знадобилося б приблизно $50/12 \approx 4,2$ порта. Очевидно, потрібно округлити до цілого в більшу сторону – мінімум 5 портів, щоб покрити добовий потік при годинних сесіях.

- якщо час зарядки ~30 хв для окремих авто, то один порт може теоретично зарядити до ~24 авто за 12 годин. У ідеальному випадку 2–3 порти могли б впоратися з 50 авто ($24 \times 2 = 48$, $24 \times 3 = 72$). Але 30 хв – це нижня межа, не всі сеанси будуть такими короткими.

- візьмемо середній час ~ 45 хв (0,75 год) як компроміс. Тоді один порт в середньому обслуговує ≈ 16 авто/доба (12 год / 0,75 год ≈ 16). Загальна потреба в порталах: $50 / 16 \approx 3,1$. Тобто мінімально 4 порти здатні впоратися із 50 машинами за день за середніх умов, працюючи майже безперервно.

$$n_{\text{мін}} = \frac{N_{\text{авто}} \times t_{\text{сер.заряду}}}{T_{\text{актив}}} \quad (3.13)$$

Отриманий мінімум – 4 порти – означає, що четверо електромобілів можуть заряджатися одночасно, і протягом дня ці порти встигнуть пропустити ~ 50 сеансів (в середньому ~ 12 -13 сесій на порт). Проте це розрахунок при рівномірному потоці машин та максимальному завантаженні обладнання. В реальності ж прибуття клієнтів нерівномірне: можуть бути пікові години, коли до станції прибуває набагато більше авто, і періоди затишшя.

Розглянемо можливий розподіл: наприклад, з 50 авто більшість може приїжджати в денний час пік (скажімо, 60% клієнтів за 6 годин, решта 40% за інші 6 годин). Тоді в пікові години навантаження складе ~ 5 –6 авто за годину ($\approx$ один автомобіль кожні 10–12 хвилин). При часі зарядки ~ 30 –45 хв це може призвести до одночасної зарядки ~ 5 –6 машин у найнапруженіші моменти. Щоб уникнути черг, станція повинна мати достатню кількість портів для одночасного обслуговування пікового числа авто.

Таким чином, оптимальну кількість портів визначаємо як компроміс між економічністю та якістю обслуговування: щоб більшу частину дня порти були завантажені, але й у піки не утворювались тривалі черги. Виходячи з наведених оцінок, рекомендується встановити приблизно 5 зарядних портів. Ця кількість покриває середньодобову потребу (при 4 активних портах середнього завантаження) і дає певний резерв: п'ятий порт дозволить обслуговувати додаткових клієнтів у години пік або підстрахувати на випадок технічного обслуговування одного з портів.

Відомо, що на практиці інтенсивні зарядні хаби з великою кількістю портів не завжди використовують усі точки одночасно на 100%. Наприклад, для станції з 12 швидкими зарядками, якщо кожна в середньому обслуговує 5 авто на день (~ 50 кВт·год на авто), це ~ 3000 кВт·год енергії на добу. Тобто 12 портів могли б сумарно пропустити і більше машин, але реальний коефіцієнт одночасності менший за 1 (не всі 12 зайняті постійно). У нашому випадку 5 портів з високою ймовірністю зможуть покрити попит 50 авто/день без значних черг, оскільки не всі порти будуть зайняті весь час безперервно – буде певний розподіл у часі.

Отже, оптимально: 5 портів (мінімум 4, але п'ятий – як резерв для піків і зручності користувачів). За потреби, можна розглянути 6 портів, якщо прогнозується подальше зростання кількості електромобілів або якщо бажано забезпечити взагалі відсутність черг навіть у найвищий попит.

У реальній схемі можливе динамічне розподілення навантаження – не всі порти постійно віддають максимальні 100 кВт кожної секунди, тому середнє споживання буде нижчим за пікове. Але для безпеки енергопостачання закладається резерв по потужності, щоб при збігу декількох швидких зарядок одночасно станція могла це витримати.

Нижче наведено узагальнені розраховані параметри для проектованої зарядної станції:

Таблиця 3.1. Параметри зарядної станції з живленням від сонячних панелей

Параметр	Значення (оцінка)	Примітки
Кількість електромобілів на добу	50 авто	За умовою (середнє денне навантаження)
Середня ємність батареї авто	50 кВт·год	За умовою (типовий легковий EV)
Добова передана енергія	~2500 кВт·год	50×50 кВт·год (макс. сценарій)
Години активної роботи на добу	12 год	За умовою (режим роботи станції)
Середня споживана потужність	~208 кВт	2500 кВт·год / 12 год
Середній час зарядки одного авто	30–60 хв (~45 хв)	За умовою (діапазон, береться ~0,75 год)
Необх. потужність на 1 порт	50–100 кВт	Для зарядки 50 кВт·год за 0,5–1 год
Мінімальна к-сть портів (розрах.)	4 порти	(~3,1 розрахунково, округлено до 4)
Рекомендована к-сть портів	5 портів	Оптимально з урахуванням піків та резерву
Розрахункове навантаження на порт	~16 сеансів/доба	При 45 хв на сесію, 12 год роботи
Встановлена потужність станції	~250–300 кВт (див. поясн)	Наприклад, 5×50 кВт = 250 кВт (середній варіант)
Потенційна пікова потужність	до ~500 кВт	Якщо 5 портів × 100 кВт одночасно (максимум)
Резерв по потужності/портам	~20% (1 дод. порт)	5-й порт як запас при навантаженні на 4 порти

250–300 кВт – це орієнтовна величина підключеної потужності, якщо станція оснащена п'ятьма портами середньої швидкості (~50–60 кВт кожен) і передбачається деякий запас. Значення може змінюватися залежно від вибору обладнання: наприклад, якщо встановити більш потужні зарядні пристрої (100 кВт кожен для швидкого заряджання), слід забезпечити більшу підведену потужність (до 500 кВт). Проте не обов'язково реалізовувати максимальну потужність на всі порти одночасно – можливе використання системи керування навантаженням або буферних накопичувачів енергії, щоб обмежити пікове споживання з мережі.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Основні принципи та функції управління охороною праці на виробництві

Системність, оптимальність, динамічність, наступність і стандартизація є основними принципами теорії управління, на яких базується організація роботи управління охороною праці. Принцип системності передбачає, що процеси безпеки та технології повинні розглядатися одна з одною у взаємозв'язку [18].

Поєднання різноманітних заходів із безпеки праці в єдину систему постійно здійснюваних дій на всіх рівнях і стадіях управління виробництвом забезпечує системність виконання завдань управління охороною праці. Підприємство розробляє систему стандартів.

Управління охороною праці здійснюється шляхом збору та аналізу інформації для виявлення відхилень від встановлених стандартів і впливу на об'єкт управління за допомогою методів організаційно-розпоряджувальних, соціально-розпоряджувальних, соціально-психологічних і економічних.

Організаційно-функціональна схема УОП базується на координаційній ролі відділу охорони праці, який бере участь у всіх функціях управління безпекою праці.

Державні органи управління охороною праці інформують населення України відповідного регіону, працівників галузі та трудові колективи про реалізацію державної політики з охорони праці, виконання національних, територіальних чи галузевих програм із цих питань, рівень і причини аварійності, виробничого травматизму та професійних захворювань, а також про виконання своїх рішень щодо охорони життя та здоров'я працівників.

Єдина державна статистична звітність з питань охорони праці ведеться на державному рівні [19].

У системі управління охороною праці є керуючий орган, об'єкт управління та інформаційно-контрольні зв'язки. Об'єктом УОП є забезпечення найкращих умов праці та безпеки на робочих місцях, дільницях і цехах.

Служба охорони праці та керівники структурних підрозділів усіх рівнів керування галуззю, об'єднанням або підприємством є керівними органами. Управління об'єктом управління здійснюється шляхом збору та аналізу інформації, щоб виявити відхилення від встановлених стандартів і вжити заходів управління. Це досягається за допомогою методів організаційно-розпоряджувальних, економічних і соціально-психологічних.

УОП — це система з багатьох рівнів ієрархії, яка встановлює наступні рівні управління:

- галузь (управління, науково-технічний комітет, відділ охорони праці);

- організація, що складається з керівництва, науково-технічної ради та відділу охорони праці;
- виробничі компанії;
- цехи, частини цехів;
- робочі місця(конкретні виконавці) Начальник відділу охорони праці здійснює наступні завдання:

- прогнозування та планування заходів безпеки праці;
- створити структуру організації;
- кількісна оцінка безпеки працівників;
- збір та обробка первинної інформації про стан умов праці та безпеки;
- розробка та створення списку керуючих впливів;
- стимулювання дотримання правил безпеки праці. Управління охороною праці в галузі та в підрозділах покладається на керівників в межах їх компетенції.

На підприємстві власник може створити службу охорони праці відповідно до статті 23 Закону України «Про охорону праці». Державний комітет України з нагляду за охороною праці затверджує типові положення про цю службу.

На підприємствах виробничої сфери з кількістю працівників менше 50 осіб працівники, які мають відповідну підготовку, можуть співпрацювати з працівниками, які мають відповідну підготовку.

Служба охорони праці прирівнюється до основних виробничо-технічних служб і підпорядковується безпосередньо керівникові підприємства.

Якщо підприємство мало працівників, старший інженер з охорони праці або призначена власником особа виконує організаційно-методичну роботу з усіх функцій і завдань управління охороною праці. Він також відповідає за підготовку управлінських рішень і контроль за їх виконанням.

Одним із основних методів економічного управління є планування заходів з охорони праці. Це включає постановку цілей, розробку програми, спрямованої на досягнення цих цілей, і оцінку того, наскільки це вдалося. Результати прогнозування повинні корелювати з основними методами вирішення проблем безпеки праці [20].

Галузеві плани визначають обсяг наукових досліджень у сфері охорони праці та очікувані результати їх впровадження. Вони також забезпечують впровадження єдиного підходу до вирішення проблем безпеки праці в галузі та визначають основні напрямки розвитку.

У масштабах об'єднань і підприємств планування включає вирішення проблем механізації та автоматизації виробничих процесів, ліквідацію ручної праці, створення інструментів для часткової механізації, покращення вентиляції, впровадження систем контролю техніки безпеки, створення комфортних робочих місць і заходів щодо попередження професійних захворювань і травматизму.

Рішення трудового колективу з питань охорони праці може бути створено на підприємстві з кількістю працівників понад п'ятдесят осіб.

Комісія складається з представників власника, профспілок, уповноважених трудового колективу, спеціалістів із безпеки та гігієни праці та інших відділів компанії.

За погодженням з профспілками Держнаглядохоронпраці затверджує типові положення комісії з питань охорони праці підприємства.

Рішення, прийняті комісією, мають рекомендаційний характер.

Контроль за станом умов і безпекою праці дозволяє виявити порушення законодавства про працю, стандартів безпеки праці та якості виконання службами та підрозділами своїх обов'язків щодо забезпечення відповідних умов і безпеки праці.

Ефективність контролю залежить від якості метрологічного забезпечення вимірювання параметрів небезпечних і шкідливих виробничих факторів; рівень безпеки технологічних процесів і обладнання; і коефіцієнти безпеки працівників.

Одним із найважливіших елементів охорони праці є фінансування та економічне стимулювання. У встановленому Кабінетом Міністрів України порядку створюються фонди охорони праці на підприємствах, в галузях і на державному рівні.

Для потреб регіону органи місцевого самоврядування можуть створювати подібні фонди.

Кошти з цього фонду використовуються на підприємстві лише для підвищення рівня безпеки праці на виробництві або дотримання нормативних вимог щодо безпеки праці.

Галузеві та державні фонди охорони праці фінансують галузеві та національні програми з питань охорони праці, наукові дослідження та проектно-конструкторські роботи, створення та розвиток спеціалізованих підприємств і виробництв, творчі групи, науково-технічні центри та експертні групи, а також заохочення трудових колективів і окремих осіб, які плідно працюють над вирішенням проблем охорони праці.

До галузевих, регіональних і державних фондів охорони праці надсилаються кошти, отримані від відрахувань підприємств і інших джерел, а також кошти, отримані органами державного нагляду за застосування штрафних санкцій до власників згідно зі статтею 31 цього Закону, а також кошти, отримані цими органами від стягнення штрафів з працівників, які порушили правила охорони праці.

Фонд охорони праці не обкладається податками. Державний і місцевий бюджети відокремлені від витрат на охорону праці.

Працівники компанії можуть отримувати будь-які заохочення, щоб брати участь і брати участь у заходах, спрямованих на підвищення безпеки та поліпшення умов праці. Колективний договір, як-от угода чи трудовий договір, визначає види заохочень.

Чинне законодавство про оподаткування визначає, яким чином оподатковуються кошти, спрямовані на заходи щодо охорони праці.

Для підвищення продуктивності виробництва, зниження рівня травматизму та захворювань, поліпшення умов праці та безпеки працівників необхідні моральні та матеріальні стимули для працівників, які докладають зусиль для покращення умов праці та безпеки. Обсяг матеріального заохочення залежить від ролі службової особи та того, наскільки вона впливає на безпеку праці. Підприємство, об'єднання або галузь положення розробляє стимулювання.

4.2 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій

Указ Президента України від 26 березня 1999 року No 284/99 затвердив концепцію захисту населення та території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій.

Концепція описує загальні цілі та завдання захисту громадян, які проживають на території України, земельного, водного та повітряного простору в межах держави, об'єктів виробничого та соціального призначення, а також довкілля від надзвичайних ситуацій [21].

Виникнення надзвичайної ситуації та її класифікація Щодня в світі фіксуються тисячі подій, які порушують нормальне життя та діяльність людей. Ці події можуть призвести до смерті або значних матеріальних втрат. Такі ситуації називають надзвичайними.

Загальні характеристики НС

- наявність або загроза смерті людей або значне погіршення умов життєдіяльності людей
- загострення економічних проблем
- значне погіршення навколишнього середовища.
- аварії, катастрофи, стихійні лиха та інші події, такі як епідемії, терористичні акти, збройні конфлікти тощо, є типовими причинами надзвичайних ситуацій.

Аварії поділяються на дві групи:

1) До I категорії належать аварії, внаслідок яких загинуло 5 або травмовано 10 і більше осіб; відбувся викид отруйних, радіоактивних або біологічно небезпечних речовин у санітарно-захисну зону підприємства; концентрація забруднюючих речовин у навколишньому середовищі зросла більш як у 10 разів; зруйновано будівлі, споруди чи основні конструкції об'єкта, що поставило життя і здоров'я значної кількості працівни

2) До II категорії належать аварії, які призвели до: загибелі або травмування від 5 до 10 осіб; руйнування будівлі, споруди чи основних конструкцій об'єкта, що

поставило життя чи здоров'я працівників цеху, дільниці (враховуються цехи, дільниці з більш ніж 100 працівниками).

До категорії аварій не належать порушення технологічних процесів, робота устаткування, тимчасові зупинки виробництва через спрацювання автоматичних захисних блокувань або інші локальні порушення роботи цехів, дільниць або окремих об'єктів, падіння опор і обрив дротів ліній електропередач.

Як правило, більша площа охоплюється більшою кількістю людей, які тікають від надзвичайної ситуації. І навпаки, більше людей страждають від катастрофи чи стихійного лиха на більшій території. З цієї причини класифікації надзвичайних ситуацій за масштабом зазвичай базуються на територіальному принципі. За цим принципом надзвичайні ситуації поділяються на локальні, об'єктові, місцеві, регіональні, загальнодержавні (національні), континентальні та глобальні.

Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру — це ситуації, пов'язані з діями, які є терористичними або антиконституційними, наприклад, здійснення або реальна загроза терористичного акту (збройний напад, захоплення і затримання важливих об'єктів, ядерних установок і матеріалів, систем зв'язку та телекомунікацій, напад чи замах на екіпаж повітряного чи морського судна), викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден

Надзвичайні ситуації воєнного характеру — це ситуації, у яких застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження призводить до вторинних факторів ураження населення. Ці фактори включають руйнування транспортних і інженерних комунікацій, атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин і відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних речовин, токсичних відход

Захист населення, об'єктів економіки та національного надбання від надзвичайних природних, техногенних або інших надзвичайних ситуацій має бути забезпечено на національному рівні.

Зовнішні та внутрішні загрози для життєво важливих інтересів громадян, держав і суспільств поділяються на зовнішні та внутрішні. Ці загрози виникають під час надзвичайних ситуацій техногенного та природного походження, а також воєнних конфліктів.

Основними завданнями під час надзвичайних ситуацій є захист населення та територій:

- розробка та впровадження законодавства, дотримання державних технічних правил і стандартів щодо захисту населення та територій від надзвичайних ситуацій;
- забезпечити готовність органів управління, сил і засобів реагування на надзвичайні ситуації;

- розробка та забезпечення планів реагування на надзвичайні ситуації;
- збирання та обробка даних про надзвичайні ситуації;
- передбачення та оцінка наслідків надзвичайної ситуації;
- оповіщення людей про загрозу або надзвичайну ситуацію;
- забезпечення персонального захисту та безкоштовної медичної допомоги;
- рятувальні та інші невідкладні операції, щоб зменшити наслідки надзвичайної ситуації та допомогти постраждалим;
- забезпечення соціального захисту населення;
- розробка та підтримка цільових і науково-технічних програм, спрямованих на запобігання надзвичайним ситуаціям і забезпечення сталого функціонування підприємств, установ, організацій незалежно від форм власності та підпорядкування, а також підвідомчих їм об'єктів виробничого та соціального захисту;
- міжнародна співпраця щодо захисту населення від надзвичайних ситуацій.

У разі надзвичайної ситуації необхідно вжити спеціальних заходів, щоб захистити населення та зменшити втрати та шкоду економіці. Він складається з повідомлень і інформування, спостереження та контролю, укриття в захисних спорудах, евакуації та інженерного, медичного, біологічного та радіаційного захисту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було послідовно розглянуто повний спектр питань, пов'язаних із розробленням швидкісної зарядної інфраструктури для електро- та гібридних транспортних засобів у поєднанні з малогабаритними сонячними електростанціями. У теоретичному блоці проаналізовано сучасний стан електромобільності у світі й Україні, чинники, що прискорюють перехід на беземісійний транспорт, а також нормативні ініціативи, котрі стимулюють зростання парку EV та формують попит на якісні послуги заряджання. Здійснено систематизацію типів електричних і гібридних автомобілів (BEV, HEV, PHEV, EREV) з детальним порівнянням їхніх енергетичних характеристик і наслідків для вибору режимів зарядки й експлуатації тягових АКБ. Особливу увагу приділено режимам і стандартам заряджання (Mode 1–4, CCS, CHAdeMO, HPC) та вимогам до акумуляторів — від теплової стабільності до впливу глибини розряду на ресурс.

Здійснено класифікацію зарядних станцій за рівнем потужності, протоколами комунікації та топологіями інтеграції з фотоелектричними джерелами. Проаналізовано сучасні рішення провідних брендів ABB, Siemens, Delta, Alpitronic і Tesla; наведено приклади їхнього впровадження у ЄС, США, Китаї та перші кейси в Україні. Паралельно опрацьовано малогабаритні СЕС — виявлено, що конфігурації потужністю 3–10 кВт з монокристалічними модулями й гібридними інверторами демонструють питому генерацію 1100–1350 кВт·год/кВт рік у помірному кліматі, що робить їх придатними для підживлення невеликих хабів швидкої зарядки за умови застосування буферних накопичувачів і динамічних алгоритмів пріоритету навантажень.

Розроблено структурну схему багатопортової швидкісної станції з гібридною топологією «СЕС + АКБ + мережа» та спільною шинною архітектурою на 800 В DC. Обґрунтовано вибір ключових елементів: PV-масив 150 кВт, буферна літій-залізо-фосфатна батарея 150 кВт·год, двонаправлений мережевий інвертор 150 кВт і п'ять незалежних зарядних модулів по 60–100 кВт із підтримкою CCS2. Проведені електротехнічні розрахунки показали, що при такій конфігурації станція здатна безперервно передавати ~2,5 МВт·год енергії за зміну, працюючи на середній потужності ~208 кВт і покриваючи пікові 300–500 кВт без перевищення допустимих струмів (~188 А на шині 800 В). Ризик-орієнтований розрахунок кількості портів для міста 300 тис. мешканців довів достатність п'яти точок підключення для обслуговування 50 EV за 12 годин із середнім часом сесії 45 хв; закладений один резервний порт гарантує відсутність черг у пікові години. Розраховано перетини кабельних ліній (≥ 35 мм² мідь при 200 А), втрати напруги (<3 %) та інтегральний ККД: 90 % для шляху «PV → EV», 89 % для «Grid → EV» і 82 % при циклічному проходженні через АКБ, що відповідає найкращим промисловим рішенням класу HPC.

Розглянуто принципи та функції системи управління охороною праці: пріоритет життя і здоров'я, превентивність, участь усіх рівнів персоналу, безперервне поліпшення за циклом PDCA. Запропоновано комплекс технічних та організаційних заходів безпеки для швидкісної зарядної інфраструктури: багаторівневий захист від ураження струмом, термоконтроль високовольних кабелів, пожежна сигналізація у відсіку АКБ, а також цифрова система EHS-моніторингу.

Таким чином, поставлена мета — сформулювати технічно й економічно обґрунтовану методикку проєктування швидкісної сонячної зарядної станції — досягнута. Дослідження доводить, що інтегровані рішення «PV + батарея + мережа» зі спільною DC-шиною забезпечують високу енергоефективність ($\approx 90\%$), гнучкість у покритті пікових навантажень і здатність масштабуватися разом із ростом парку електромобілів. Запропоновані розрахунки можуть бути безпосередньо використані для техніко-економічного обґрунтування подібних об'єктів у містах України та адаптовані до умов інших регіонів. Перспективними подальшими напрямками є впровадження алгоритмів V2G/V2B, розширення штучного інтелекту у системах енергоменеджменту та перехід до використання твердотільних акумуляторів як буферів великої енергоемності.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Macharia, V. M., Garg, V. K., & Kumar, D. (2023). A review of electric vehicle technology: Architectures, battery technology and its management system, relevant standards, application of artificial intelligence, cyber security, and interoperability challenges. *IET Electrical Systems in Transportation*, 13(2), e12083. <https://doi.org/10.1049/els2.12083>
2. Pivnyak, G., Olishevskaya, V., Olishevskiy, H., Lutsenko, I., Lysenko, A., & Sala, D. (2024). Comprehensive study on electric vehicles and infrastructure for sustainable development in Ukraine. *E3S Web of Conferences*, 567, 01025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456701025>
3. Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. (2018). Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles (3rd ed.). CRC Press. (*Textbook covering types of electric & hybrid vehicles, battery fundamentals, and EV technology.*)
4. Wang, Y., & Witlox, F. (2025). Global trends in electric vehicle adoption and the impact of environmental awareness, user attributes, and barriers. *Energy Reports*, 13, 1125–1137. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.12.054>
5. Sang, V. T. D., Duong, Q. H., Zhou, L., & Arranz, C. F. A. (2024). Electric vehicle battery technologies and capacity prediction: A comprehensive literature review of trends and influencing factors. *Batteries*, 10(12), 451. <https://doi.org/10.3390/batteries10120451>
6. International Energy Agency. (2025). Global EV Outlook 2025: Moving towards increased affordability. *IEA Reports*. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/>.
7. Інститут досліджень авторинку. (2025, May 9). Ринок електромобілів в Україні: підсумки квітня 2025 року [Electric vehicle market in Ukraine: April 2025 summary]. *Eauto*. Retrieved from <https://eauto.org.ua/news/796-rinok-elektromobiliv-v-ukrajini-pidsumki-kvitnya-2025-roku>.
8. Omazaki Group. (2021, October 2). Electric Car Batteries and Their Characteristics. *Omazaki Articles*. Retrieved from <https://www.omazaki.co.id/en/electric-car-batteries-and-their-characteristics/>.
9. Acharige, S. S. G., Haque, M. E., Arif, M. T., Hosseinzadeh, N., Hasan, K. N., & Than Oo, A. M. (2023). Review of electric vehicle charging technologies, international standards, architectures, and converter configurations. *IEEE Access*, 11, 41218–41255. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3267164>
10. Yap, K. Y., Chin, H. H., & Klemeš, J. J. (2022). Solar energy-powered battery electric vehicle charging stations: Current development and future prospect review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112862. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112862>

11. Memon, M., & Rossi, C. (2025). A review of EV adoption, charging standards, and charging infrastructure growth in Europe and Italy. *Batteries*, 11(6), 229. <https://doi.org/10.3390/batteries11060229>
12. Rana, M. M., Alam, S. M. M., Rafi, F. A., Deb, S. B., Agili, B., Miao, H., & Ali, M. H. (2025). Comprehensive review on the charging technologies of electric vehicles (EV) and their impact on power grid. *IEEE Access*, 13, 35124–35156. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3538663>
13. Al-Sahlawi, A. A. K., Ayob, S. M., Tan, C. W., Ridha, H. M., & Hachim, D. M. (2024). Optimal design of grid-connected hybrid renewable energy system considering electric vehicle station using improved multi-objective optimization: Techno-economic perspectives. *Sustainability*, 16(6), 2491. <https://doi.org/10.3390/su16062491>
14. Singla, P., Boora, S., Singhal, P., Mittal, N., Mittal, V., & Gared, F. (2024). Design and simulation of a 4 kW solar power-based hybrid EV charging station. *Scientific Reports*, 14, Article 7336. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56833-5>
15. Antarasee, P., Premrudeepreechacharn, S., Siritaratiwat, A., & Khunkitti, S. (2023). Optimal design of electric vehicle fast-charging station's structure using metaheuristic algorithms. *Sustainability*, 15(1), 771. <https://doi.org/10.3390/su15010771>
16. Rana, M. M., Alam, S. M. M., Rafi, F. A., Deb, S. B., Agili, B., Miao, H., & Ali, M. H. (2025). Comprehensive review on the charging technologies of electric vehicles (EV) and their impact on power grid. *IEEE Access*, 13, 35124–35156. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3538663>.
17. Al-Sahlawi, A. A. K., Ayob, S. M., Tan, C. W., Ridha, H. M., & Hachim, D. M. (2024). Optimal design of grid-connected hybrid renewable energy system considering electric vehicle station using improved multi-objective optimization: Techno-economic perspectives. *Sustainability*, 16(6), 2491. <https://doi.org/10.3390/su16062491>
18. Техноекоелогія 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.