

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(назва освітнього ступеня)
на тему: Розробка методики реалізації мережі зарядних станцій для транспортних засобів з електричним приводом з використанням методів нечіткої логіки

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

«Автомобільний транспорт»	
(шифр і назва спеціальності)	
	Романюк В.О.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	Міронов Д.В.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	Хорошун Р.В.
(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)

«12» листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

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

1. Тема роботи Розробка методики реалізації мережі зарядних станцій для транспортних засобів з електричним приводом з використанням методів нечіткої логіки

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

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

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

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

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

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

4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

Кількість реєстрацій електромобілів в Україні та технічні характеристики розповсюджених електромобілів – 1А1.

Основні стандарти зарядок АКБ електро- і гібридних автомобілів та параметри режимів заряджання – 1А1.

Параметри основних типів АКБ електро- і гібридних автомобілів – 1А1.

Виконання зарядних пристроїв для АКБ електро- і гібридних автомобілів – 2А1.

Концептуальна методика розміщення зарядних станцій – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі
завдання

12.11.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

(підпис)

Романюк В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Міронов Д.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Розробка методики реалізації мережі зарядних станцій для транспортних засобів з електричним приводом з використанням методів нечіткої логіки».

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка методики реалізації мережі зарядних станцій для транспортних засобів з електричним приводом з використанням методів нечіткої логіки.

Основні завдання, які необхідно вирішити у роботі:

- провести аналіз сучасного стану ринку електро- і гібридних транспортних засобів;
- здійснити огляд основних видів електро- і гібридних транспортних засобів;
- проаналізувати режими заряджання акумуляторних батарей (АКБ) електро- та гібридних автомобілів;
- розробити технічні рішення для реалізації мережі зарядних станцій;
- визначити схемотехнічні рішення для приєднання зарядних станцій до існуючих електромереж населених пунктів;
- створити методику проектування мережі зарядних станцій з використанням методів нечіткої логіки;
- надати рекомендації з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Перший розділ кваліфікаційної роботи магістра «Загально-технічний розділ» включає в себе аналіз сучасного стану ринку електро- і гібридних транспортних засобів, висновки та постановку завдання на магістерську роботу.

Другий розділ кваліфікаційної роботи магістра «Технологічний розділ» містить огляд основних видів електро- і гібридних транспортних засобів та аналіз режимів заряджання акумуляторних батарей (АКБ) електро- і гібридних автомобілів.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи магістра «Конструкторський розділ» розроблено технічні рішення для реалізації мережі зарядних станцій та визначено схемотехнічні рішення для приєднання зарядних станцій до існуючих електромереж населених пунктів.

Четвертий розділ кваліфікаційної роботи магістра «Науково-дослідний розділ» містить розробку методики проектування мережі зарядних станцій для транспортних засобів з електричним приводом з використанням методів нечіткої логіки.

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

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 63 сторінок формату А4 та 6 аркушів формату А1 графічної частини і 6 сторінок додатків.

Ключові слова: електромобіль, гібридний автомобіль, зарядна станція, АКБ, мережа зарядних станцій, нечітка логіка.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Аналіз сучасного стану ринку електро- і гібридних транспортних засобів	9
1.2 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	15
2.1 Огляд основних видів електро- і гібридних транспортних засобів	15
2.2 Аналіз режимів заряджання АКБ електро- та гібридних автомобілів	21
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	30
3.1 Технічні рішення для реалізації мережі зарядних станцій	30
3.2 Схемотехнічні рішення для приєднання зарядних станцій до існуючих електромереж населених пунктів	35
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	41
4.1 Розробка методики проектування мережі зарядних станцій з використанням методів нечіткої логіки	41
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54
5.1 Система управління охороною праці. Принципи та функції	54
5.2 Концепція захисту населення і територій під час надзвичайних ситуацій: принципи та реалізація	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	61
БІБЛІОГРАФІЯ	62
ДОДАТКИ	64

ВСТУП

Бурхливий розвиток електрифікації колісного транспорту зумовлений глобальною необхідністю скорочення викидів парникових газів, зменшення залежності від викопних видів палива та підвищення енергоефективності транспортної галузі. Зростання попиту на екологічні рішення у сфері мобільності сприяє активному впровадженню електромобілів, які, порівняно з традиційними транспортними засобами, мають значно менший негативний вплив на довкілля. Крім того, технічний прогрес у виробництві акумуляторів та зарядної інфраструктури зробив електротранспорт більш доступним та зручним для широкого кола споживачів.

Розробка нових методик проектування і розміщення зарядних станцій є перспективним шляхом підвищення енергоефективності електромобільності, оскільки саме зарядна інфраструктура є ключовим елементом для стимулювання подальшого поширення електромобілів. Оптимізація процесу проектування дозволяє забезпечити ефективне використання ресурсів, зручність для користувачів, інтеграцію в міську інфраструктуру та відповідність сучасним вимогам енергетичних систем.

Виходячи з актуальності даного питання, вибір теми дослідження, присвяченої розробці методики реалізації мережі зарядних станцій для транспортних засобів з електричним приводом, є виправданим. Структура роботи дозволяє послідовно охопити всі аспекти від аналізу ринку та технічних рішень до наукової розробки методики з використанням методів нечіткої логіки. Це забезпечує комплексний підхід до вирішення поставленої проблеми.

Метою роботи є розробка методики проектування мережі зарядних станцій для транспортних засобів з електричним приводом з використанням методів нечіткої логіки, яка сприятиме ефективному впровадженню електромобільної інфраструктури.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз сучасного стану ринку електро- і гібридних транспортних засобів;

- здійснити огляд основних видів електро- і гібридних транспортних засобів;
- проаналізувати режими заряджання акумуляторних батарей електро- і гібридних автомобілів;
- розробити технічні рішення для реалізації мережі зарядних станцій;
- визначити схемотехнічні рішення для приєднання зарядних станцій до існуючих електромереж населених пунктів;
- створити методику проектування мережі зарядних станцій з використанням методів нечіткої логіки;
- розробити рекомендації щодо охорони праці та забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз сучасного стану ринку електро- і гібридних транспортних засобів

Електромобільність стрімко набирає обертів у світі, ставши одним із ключових напрямків у боротьбі з глобальним потеплінням і скороченням залежності від викопних видів палива. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA) [1], у 2023 році кількість електромобілів, що перебувають в експлуатації, перевищила 26 мільйонів одиниць, що становить понад 12% від загального обсягу продажів легкових автомобілів у світі.

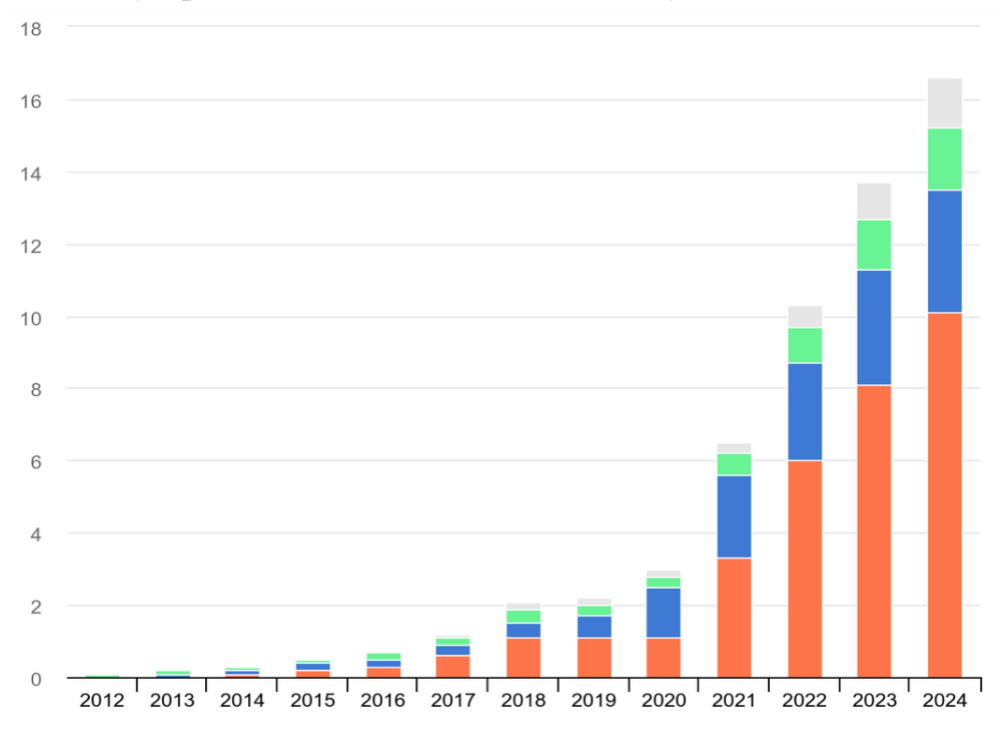


Рисунок 1.1 – Динаміка продажу електромобілів у світі

Однією з основних причин впровадження електромобільності є необхідність скорочення викидів парникових газів. Наприклад, транспортна галузь відповідає приблизно за 24% глобальних викидів CO₂. Перехід на електромобілі дозволяє зменшити ці показники завдяки використанню відновлюваних джерел енергії для їх заряджання. Крім того, електротранспорт сприяє покращенню якості повітря у великих містах, де забруднення від автомобілів з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) є серйозною екологічною проблемою.

Уряди провідних країн світу активно стимулюють перехід на

електротранспорт за допомогою фінансових та регуляторних заходів. Наприклад, у Норвегії, яка є лідером у впровадженні електромобільності, понад 80% нових автомобілів, проданих у 2023 році, були електричними. Це стало можливим завдяки таким ініціативам, як повне звільнення від податку на додану вартість (ПДВ) та реєстраційного збору для електромобілів, а також безкоштовний доступ до платних доріг і паркувальних місць.

У Китаї уряд запровадив політику субсидування купівлі електромобілів, яка включає фінансові заохочення до 15 000 юанів (близько 2 000 доларів США) за кожен придбаний електромобіль. Завдяки цій програмі Китай у 2023 році став найбільшим ринком електромобілів, на який припадає понад 50% світових продажів [2].

США також активно підтримують електромобільність. У рамках законопроекту Inflation Reduction Act покупці електромобілів отримують податковий кредит у розмірі до 7 500 доларів. Окрім цього, уряд інвестує в розширення інфраструктури зарядних станцій, зокрема планується встановити понад 500 000 зарядних пунктів до 2030 року.

У Європейському Союзі прийнято план "Green Deal", який передбачає поступову відмову від продажу автомобілів з ДВЗ до 2035 року. Держави-члени ЄС впроваджують різні національні програми, такі як знижені податки на електромобілі та фінансові гранти на їх придбання. Наприклад, у Німеччині субсидії можуть сягати 9 000 євро на один автомобіль.

Отже, впровадження електромобільності активно стимулюється на державному рівні в багатьох країнах світу. Це відбувається через фінансові заохочення, розширення зарядної інфраструктури та регуляторні обмеження на транспортні засоби з ДВЗ, що сприяє зростанню попиту на електротранспорт і підвищенню екологічної свідомості населення.

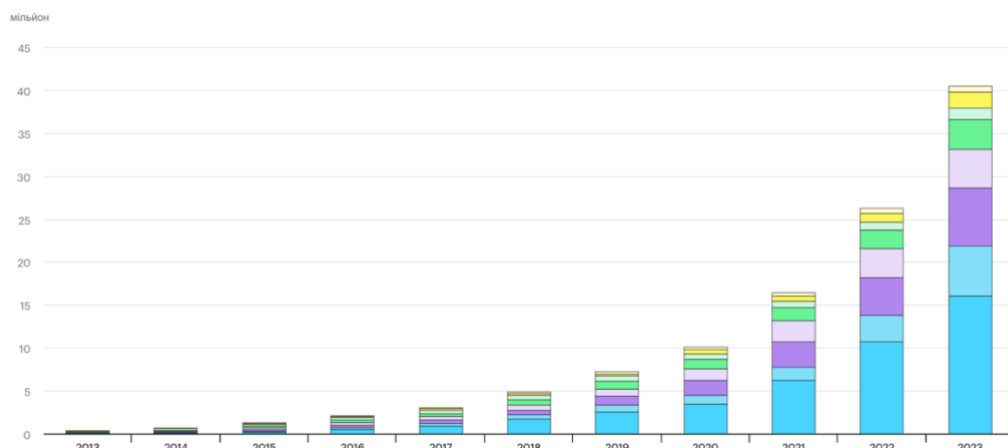


Рисунок 1.2 – Парк електромобілів у світі

В Україні розвиток електромобільності також поступово набирає обертів, хоча темпи цього процесу дещо повільніші порівняно з провідними країнами світу. Основними причинами переходу на електротранспорт в Україні є бажання скоротити залежність від імпортованих нафтопродуктів, зменшити витрати на експлуатацію автомобілів та знизити викиди шкідливих речовин у довкілля.

Уряд України активно підтримує розвиток електромобільності через низку заходів. Зокрема, з 2018 року електромобілі звільнені від сплати податку на додану вартість (ПДВ) та акцизного збору, що значно зменшує їхню вартість для кінцевого споживача. У 2022 році цей пільговий режим було продовжено, що сприяє подальшому стимулюванню попиту на електротранспорт.

Окрім цього, місцева влада у великих містах, таких як Київ, Львів та Одеса, працює над розвитком зарядної інфраструктури. Наприклад, в Києві встановлюються швидкісні зарядні станції, що робить використання електромобілів більш зручним для власників. У Львові розроблено стратегію розвитку сталої мобільності, яка передбачає збільшення кількості електротранспортних засобів та створення спеціальних паркувальних місць для них.

Додатковим стимулом для українців є значно нижча вартість заряджання електромобіля порівняно з заправкою автомобілів на бензині або дизелі. В умовах високих цін на паливо цей фактор стає одним із ключових аргументів на користь переходу на електротранспорт.

Не менш важливою є можливість доступу до ринку вживаних електромобілів, зокрема популярних моделей, таких як Nissan Leaf, які масово імпортуються з США та Європи. Це робить електротранспорт більш доступним для середнього класу українців.

Водночас Україна стикається із низкою викликів у розвитку електромобільності, серед яких недостатній рівень зарядної інфраструктури, особливо у регіонах, та обмежені програми фінансової підтримки для купівлі нових електромобілів. Проте, з огляду на глобальні тренди та національні ініціативи, електромобільність в Україні має значний потенціал для подальшого зростання.

Світовий ринок електромобілів демонструє стійкий тренд до зростання, що зумовлено глобальною боротьбою з кліматичними змінами, підтримкою урядів та технологічним прогресом [3]. У 2023 році частка електромобілів у загальному обсязі продажів нових автомобілів досягла 12%, тоді як у 2020 році вона складала

лише близько 4%. У провідних країнах світу цей показник є ще вищим: наприклад, у Норвегії понад 80% проданих автомобілів були електричними, у Швеції — понад 50%, а в Нідерландах — близько 40%. США та Китай залишаються найбільшими ринками за абсолютним обсягом продажів. У Китаї в 2023 році було продано понад 6 мільйонів електромобілів, що становить половину світового ринку. У США продажі сягнули 1,4 мільйона, демонструючи зростання на 65% порівняно з попереднім роком.

В Україні ринок електромобілів також демонструє динамічне зростання, хоча обсяги продажів значно поступаються розвиненим країнам. У 2023 році було зареєстровано понад 15 тисяч електромобілів, що на 34% більше, ніж у 2022 році. Основну частину ринку становлять вживані автомобілі, зокрема імпортовані з США та країн ЄС. Найпопулярнішою моделлю залишається Nissan Leaf, який займає близько 20% українського ринку електромобілів.

Тренди свідчать про поступове зростання інтересу до нових моделей, особливо серед корпоративного сегменту, де компанії починають включати електромобілі до своїх автопарків. Окрім цього, активний розвиток зарядної інфраструктури в містах сприяє підвищенню довіри споживачів до електротранспорту.

На міжнародному рівні лідерами за обсягами продажів у 2023 році залишаються Китай (6 мільйонів), США (1,4 мільйона), Німеччина (800 тисяч), Норвегія (понад 150 тисяч) та Швеція (близько 100 тисяч). У Великобританії було продано близько 370 тисяч електромобілів, у Франції — 330 тисяч, а в Нідерландах — 300 тисяч. У Південній Кореї, де ринок також стрімко зростає, продажі досягли 250 тисяч, тоді як у Японії — близько 120 тисяч. В Україні продажі електромобілів у 2023 році значно нижчі, але темпи зростання залишаються стабільними, що свідчить про перспективність цього сегмента ринку.

Загалом, хоча Україна відстає від розвинених країн за абсолютними показниками, її ринок електромобілів демонструє позитивну динаміку, що створює сприятливі умови для подальшого розвитку електротранспорту та супутньої інфраструктури.

У розвинених країнах частка електромобілів у загальному обсязі продажів нових автомобілів стрімко зростає, поступово витісняючи автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) [4]. Наприклад, у Норвегії у 2023 році понад 80% нових автомобілів були електричними, що значно переважає частку автомобілів з ДВЗ. У Швеції та Нідерландах електромобілі становили понад 50%

і 40% продажів відповідно. Це свідчить про серйозний зсув у бік електромобільності завдяки сприятливій державній політиці, субсидіям та розвитку зарядної інфраструктури.

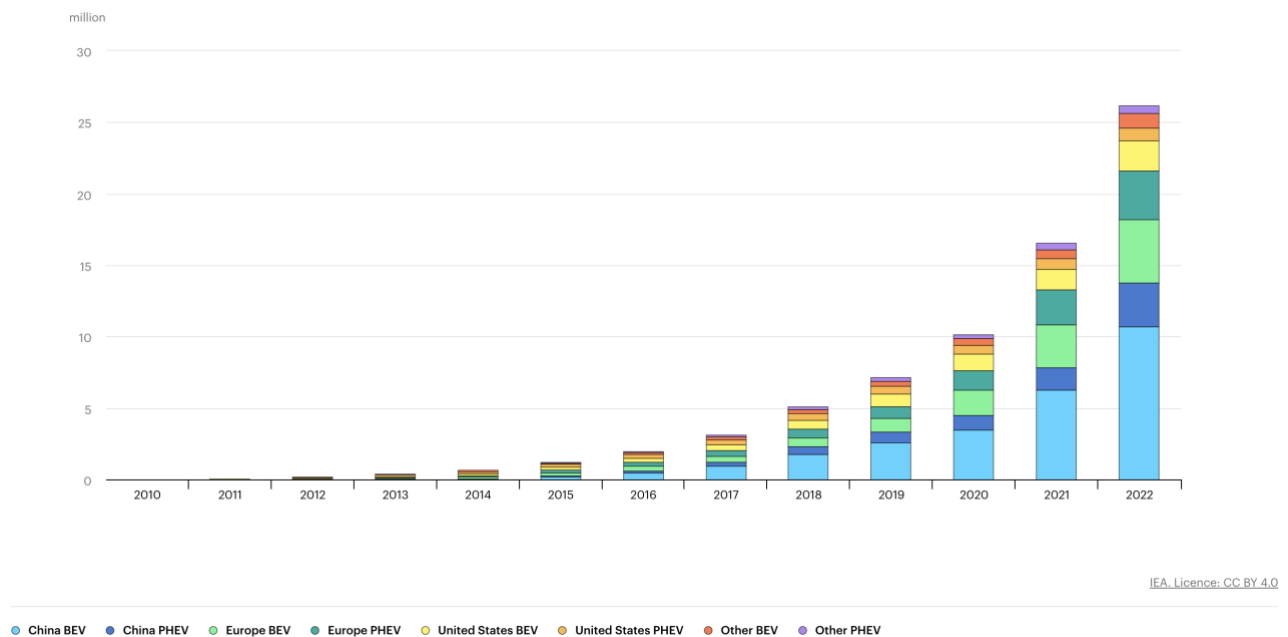


Рисунок 1.3 – Динаміка зміни кількості продажів електромобілів у світі у розрізі окремих країн

В Україні ситуація суттєво відрізняється. У 2023 році електромобілі становили лише близько 3% від загального обсягу продажів автомобілів. Це пояснюється низкою факторів, таких як нижча купівельна спроможність населення, обмежена зарядна інфраструктура та популярність вживаних автомобілів з ДВЗ, які є більш доступними за ціною. У той же час український ринок електромобілів демонструє динамічне зростання, і продажі зросли на 34% у порівнянні з попереднім роком, тоді як продажі автомобілів з ДВЗ зберігають стабільно високий рівень.

Важливим фактором, який впливає на темпи поширення електромобілів у розвинених країнах, є активна державна підтримка, яка включає фінансові стимули, пільгове оподаткування та інвестиції в інфраструктуру. В Україні державна підтримка також наявна, проте масштаби цих заходів значно менші, що стримує перехід від ДВЗ до електротранспорту.

Загалом, у розвинених країнах електромобілі все більше домінують на ринку, тоді як в Україні автомобілі з ДВЗ поки що переважають. Проте позитивна динаміка продажів електромобілів свідчить про те, що електротранспорт має значний потенціал для зростання і в нашій країні.

1.2 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу

Аналіз сучасного стану розвитку електромобільності у світі та в Україні свідчить про значний потенціал для поширення електротранспорту як екологічно чистої та економічно ефективної альтернативи автомобілям з двигунами внутрішнього згоряння. Зростання продажів електромобілів у розвинених країнах зумовлене активною державною підтримкою, розвитком зарядної інфраструктури та екологічною свідомістю населення. В Україні, хоча темпи розвитку електромобільності є нижчими, спостерігається позитивна динаміка, що свідчить про перспективність цього напрямку.

Актуальність теми роботи зумовлена необхідністю розробки ефективних методик проектування мережі зарядних станцій для електромобілів, які б враховували особливості сучасної інфраструктури, енергетичних систем і транспортних потоків. Такий підхід дозволить забезпечити економічну доцільність, енергоефективність і екологічну безпеку в умовах зростання кількості електротранспортних засобів.

Для досягнення мети магістерської роботи необхідно вирішити наступні задачі в рамках наступних розділів:

1. Провести детальний аналіз основних видів електро- і гібридних транспортних засобів, а також режимів заряджання їх акумуляторних батарей.
2. Розробити технічні рішення для реалізації зарядних станцій, які забезпечать надійність і ефективність їхньої роботи.
3. Проаналізувати схемотехнічні варіанти підключення зарядних станцій до існуючих електромереж населених пунктів з урахуванням енергетичних вимог.
4. Створити методику проектування мережі зарядних станцій із застосуванням методів нечіткої логіки, що дозволить оптимізувати їх розташування та конфігурацію.
5. Розробити рекомендації щодо забезпечення охорони праці на об'єктах зарядної інфраструктури та підвищення рівня безпеки у надзвичайних ситуаціях.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Огляд основних видів електро- і гібридних транспортних засобів

Електричні та гібридні транспортні засоби є ключовими елементами сучасної екологічно орієнтованої транспортної системи. Ці автомобілі використовують електричну енергію як основне або допоміжне джерело живлення, що дозволяє знизити викиди шкідливих речовин, зменшити залежність від викопного палива та підвищити енергоефективність.

Електромобілі (BEV — Battery Electric Vehicle) працюють виключно на електроенергії, яка зберігається в акумуляторній батареї. Вони не мають двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), тому не виробляють викидів CO₂ під час експлуатації. Електромобілі заряджаються від зовнішніх джерел електроенергії, таких як зарядні станції. Основними перевагами BEV є висока енергоефективність, низькі експлуатаційні витрати та відсутність викидів, але їхні обмеження включають меншу дальність ходу порівняно з автомобілями з ДВЗ та триваліший час заряджання [5].

Гібридні автомобілі комбінують ДВЗ та електродвигун, працюючи разом або по черзі залежно від умов руху. Акумуляторна батарея HEV заряджається під час роботи ДВЗ або через систему рекуперації енергії під час гальмування. Ці автомобілі не потребують зовнішньої зарядки, що спрощує їх використання. Основними перевагами HEV є зниження споживання пального та зменшення викидів у порівнянні з традиційними автомобілями з ДВЗ.

PHEV мають більшу акумуляторну батарею порівняно з HEV, яка дозволяє автомобілю працювати в електричному режимі на значно більші відстані. Плагін-гібриди заряджаються як від зовнішніх джерел електроенергії, так і через рекуперацію енергії. Вони поєднують переваги електромобілів і гібридів, дозволяючи зменшити споживання пального під час щоденних поїздок, але при цьому забезпечуючи можливість використання ДВЗ для тривалих подорожей.

EREV працюють переважно на електричній енергії, але мають невеликий ДВЗ, який використовується як генератор для заряджання акумулятора, коли рівень заряду батареї знижується до критичного рівня. Ця технологія дозволяє уникнути обмежень, пов'язаних із дальністю ходу, характерних для BEV. Прикладами таких автомобілів є Chevrolet Volt та BMW i3 з Range Extender.

Отже, основні види електро- і гібридних транспортних засобів мають різні конструктивні особливості та призначення. Вибір між ними залежить від потреб

користувача, доступності зарядної інфраструктури та інших умов експлуатації. Розглянемо детальніше основні види транспортних засобів з електричним приводом.

2.1.1. Battery Electric Vehicles (BEV)

Battery Electric Vehicles (BEV) — це автомобілі, які працюють виключно на електроенергії, що зберігається в акумуляторній батареї. Вони не мають двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) або паливної системи. Електродвигуни BEV мають високий коефіцієнт корисної дії (до 90-95%) порівняно з ДВЗ, які зазвичай мають ККД близько 30%. Діапазон пробігу сучасних BEV залежить від ємності акумулятора, яка може варіюватися від 20 кВт·год для компактних моделей до понад 100 кВт·год для автомобілів преміум-класу. Наприклад, Tesla Model S може проїхати до 650 км на одному заряді, а Nissan Leaf — близько 400 км у новіших версіях.

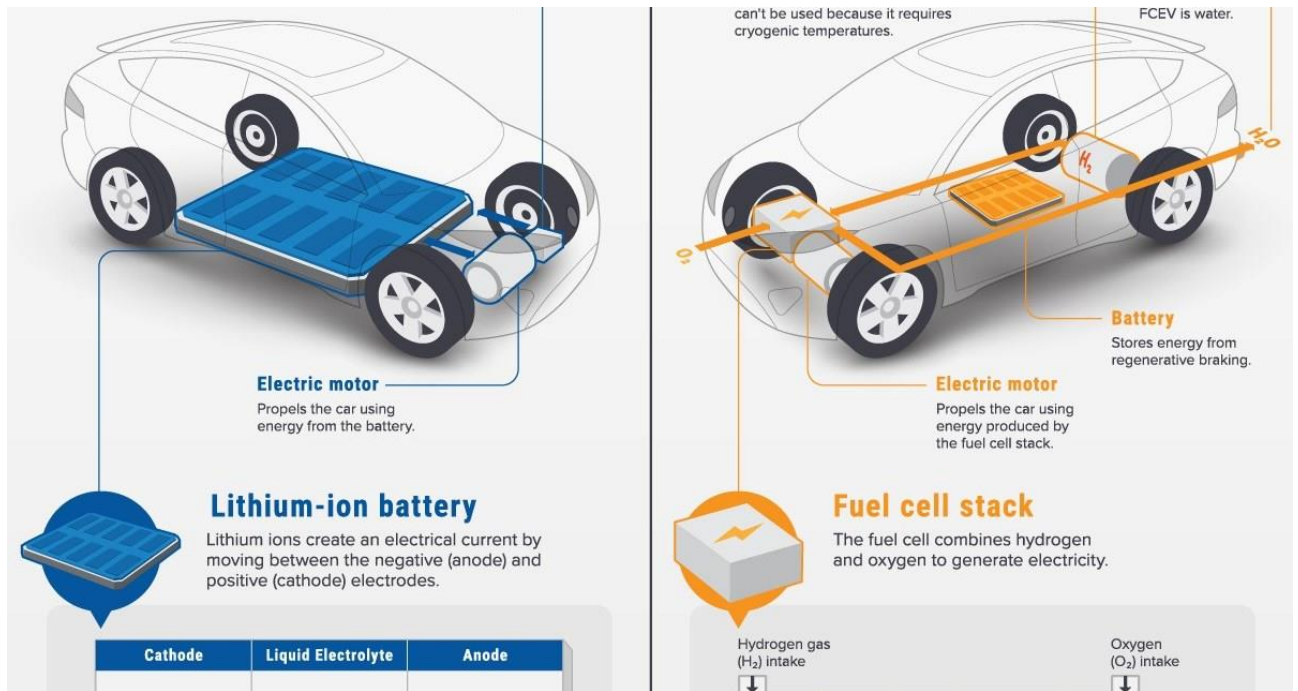


Рисунок 2.1 – Різновиди повністю електричних транспортних засобів

Основним джерелом енергії для BEV є акумуляторна батарея, яка заряджається від зовнішнього джерела електроенергії через стандартні або швидкісні зарядні пристрої. Електроенергія з батареї живить електродвигун, який перетворює її на механічну енергію, що забезпечує рух автомобіля. Система управління двигуном контролює швидкість та крутний момент для оптимальної продуктивності. Додатково BEV використовують технологію рекуперації енергії, яка під час гальмування перетворює кінетичну енергію назад у електричну і заряджає батарею, підвищуючи загальну енергоефективність.

Електромобілі мають нульові викиди під час експлуатації, що робить їх екологічно чистим видом транспорту. Вони характеризуються низькими експлуатаційними витратами, оскільки електроенергія є дешевшою за традиційне пальне, а самі електродвигуни потребують менше обслуговування через відсутність складних механічних вузлів. Додатково, BEV забезпечують миттєвий крутний момент, що сприяє динамічному прискоренню [6].

Одним із найвідоміших представників BEV є Tesla Model S — флагманський електромобіль, який поєднує в собі високу продуктивність, тривалий пробіг та сучасний дизайн. Інші популярні моделі включають Tesla Model 3, яка пропонує доступнішу альтернативу в лінійці Tesla, і Nissan Leaf, що є одним із перших масових електромобілів, який здобув популярність завдяки своїй надійності та відносно низькій ціні. Audi e-tron та BMW iX є прикладами преміум-класу BEV, що поєднують екологічність із розкішшю. У бюджетному сегменті варто згадати Renault Zoe та Chevrolet Bolt, які є популярними компактними міськими електромобілями.

Основними викликами для BEV є обмежена дальність ходу на одному заряді порівняно з автомобілями з ДВЗ, а також залежність від розвитку зарядної інфраструктури. Час заряджання також залишається важливим фактором, хоча технології швидкісного заряджання поступово вирішують цю проблему.

BEV є ключовою складовою майбутнього транспорту завдяки своїй екологічності, високій енергоефективності та інноваційним технологіям. Їхня популярність стрімко зростає, що сприяє переходу до сталого транспортного майбутнього.

2.1.2. Hybrid Electric Vehicles (HEV)

Hybrid Electric Vehicles (HEV) — це автомобілі, які поєднують двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електродвигун для забезпечення руху [7]. Основним джерелом енергії залишається традиційне паливо, таке як бензин або дизель, проте електродвигун використовується для підвищення ефективності та зниження витрат пального. Електродвигун отримує живлення від акумуляторної батареї, яка заряджається під час роботи ДВЗ або за допомогою рекуперації енергії під час гальмування. Потужність електродвигуна в HEV зазвичай менша, ніж у повністю електричних транспортних засобах (BEV), і використовується як допоміжний засіб для оптимізації роботи автомобіля.

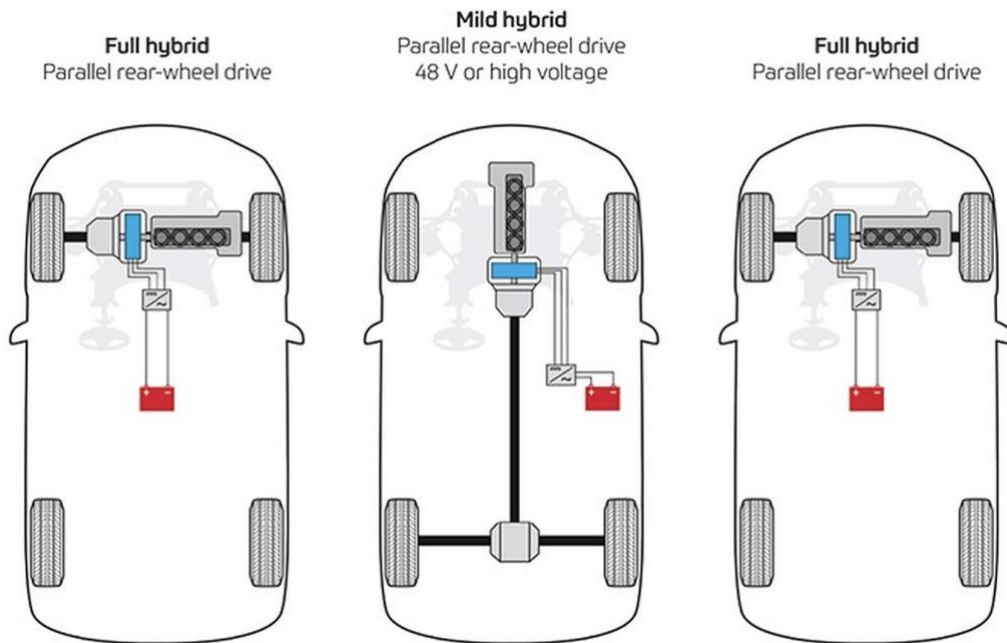


Рисунок 2.2 – Різновиди гібридних транспортних засобів

У HEV двигун внутрішнього згоряння та електродвигун можуть працювати як окремо, так і разом залежно від умов руху:

- Під час старту та низькошвидкісного руху автомобіль може працювати лише на електродвигуні, що забезпечує плавність і низький рівень шуму.
- Під час розгону або руху на високій швидкості ДВЗ бере на себе основне навантаження, а електродвигун забезпечує додатковий крутний момент для покращення динаміки.
- Під час гальмування або спуску система рекуперації енергії заряджає батарею, використовуючи кінетичну енергію.

Цей принцип роботи дозволяє знизити споживання пального та зменшити рівень шкідливих викидів, особливо у міських умовах, де автомобіль часто змінює швидкість і зупиняється.

Гібридні автомобілі є універсальними транспортними засобами, оскільки не потребують зовнішнього заряджання і можуть використовувати звичайну паливну інфраструктуру. Вони забезпечують економію пального, зменшення рівня викидів CO₂ та покращену динаміку завдяки використанню електродвигуна. HEV також характеризуються тривалим ресурсом експлуатації через відсутність необхідності постійного заряджання батареї.

Toyota Prius є найвідомішим представником HEV, який став символом гібридних технологій. Цей автомобіль відзначається високою паливною економічністю та надійністю, завдяки чому здобув популярність у всьому світі. Інші популярні моделі включають Honda Insight, який є одним із піонерів гібридної технології, та Hyundai Ioniq Hybrid, що пропонує сучасний дизайн та вдосконалені характеристики. У преміум-сегменті Lexus RX Hybrid та BMW X5 Hybrid демонструють, як гібридні технології можуть інтегруватися в розкішні автомобілі з високим рівнем комфорту.

Незважаючи на численні переваги, HEV мають обмеження у порівнянні з повністю електричними транспортними засобами. Вони все ще залежать від ископного палива, що знижує їхню екологічну ефективність у довгостроковій перспективі. Крім того, через наявність двох типів двигунів їхня конструкція є складнішою, що може впливати на вартість обслуговування.

Гібридні транспортні засоби є проміжним кроком на шляху до повної електрифікації транспорту, поєднуючи переваги електричних технологій з універсальністю традиційних автомобілів. Вони забезпечують значну економію пального та екологічні переваги, роблячи їх привабливим вибором для споживачів, які не готові повністю перейти на електротранспорт.

2.1.3. Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV)

Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV) — це транспортні засоби, які поєднують двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електродвигун з більшою акумуляторною батареєю, ніж у традиційних гібридів (HEV). Основна особливість PHEV полягає в тому, що вони можуть заряджатися від зовнішніх джерел електроенергії, таких як зарядні станції або домашні розетки. Завдяки більшій батареї PHEV здатні долати значні відстані (зазвичай 30-60 км) виключно на електричній тязі, після чого в роботу автоматично включається ДВЗ.

Ємність батареї у PHEV може варіюватися від 10 до 20 кВт·год, залежно від моделі. Наприклад, Mitsubishi Outlander PHEV має батарею ємністю 13,8 кВт·год, що дозволяє проїхати до 50 км на електротязі, тоді як Toyota RAV4 Prime має батарею на 18,1 кВт·год і забезпечує дальність до 68 км в електричному режимі.

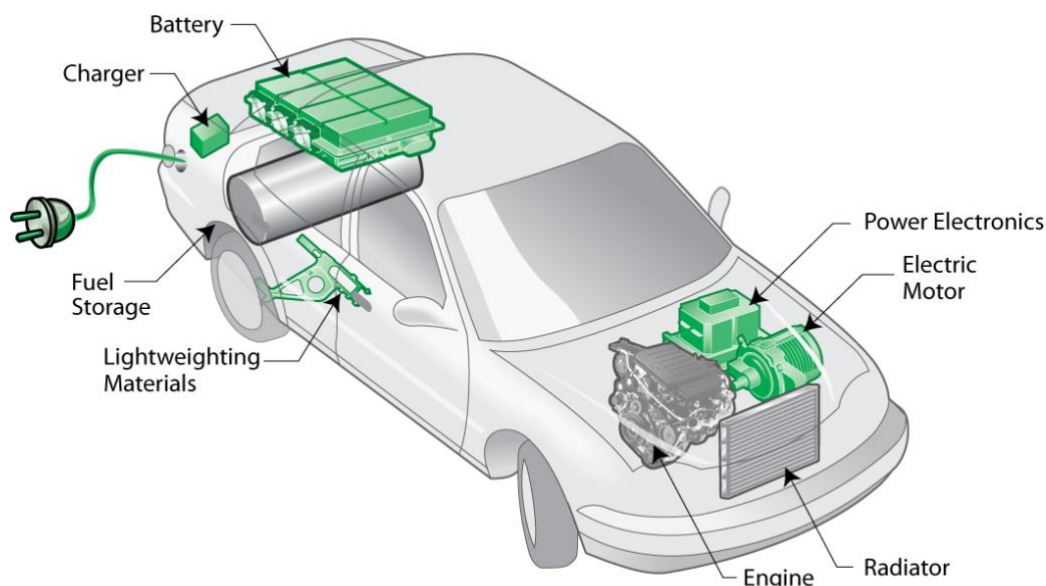


Рисунок 2.3 – Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV)

PHEV працюють у двох основних режимах:

- Електричний режим (EV mode) – автомобіль рухається виключно за допомогою електродвигуна, використовуючи заряд батареї. Цей режим зазвичай використовується для коротких міських поїздок.
- Гібридний режим – коли заряд батареї знижується, ДВЗ автоматично починає працювати як основне джерело енергії або разом з електродвигуном. Це дозволяє збільшити дальність ходу автомобіля до рівня традиційних транспортних засобів з ДВЗ.

PHEV також оснащені системою рекуперації енергії, яка заряджає батарею під час гальмування або уповільнення. Це підвищує загальну енергоефективність автомобіля.

Головною перевагою плагін-гібридів є їхня універсальність. Можливість заряджання від зовнішнього джерела дозволяє використовувати PHEV як повноцінний електромобіль для щоденних поїздок у місті, при цьому зберігається можливість дальніх поїздок завдяки ДВЗ. Це робить їх ідеальним вибором для споживачів, які мають доступ до зарядної інфраструктури, але ще не готові повністю відмовитися від традиційного палива.

Серед найпопулярніших представників PHEV можна виділити Mitsubishi Outlander PHEV — один із перших і найпоширеніших плагін-гібридів у світі. Toyota RAV4 Prime є прикладом потужного і енергоефективного PHEV, який поєднує в собі високу дальність у електричному режимі та відмінну динаміку.

BMW X5 xDrive45e пропонує преміум-рівень з просторим інтер'єром та інноваційними технологіями. У компактному сегменті популярністю користуються Kia Niro PHEV та Hyundai Ioniq PHEV, які орієнтовані на міських споживачів.

Основними викликами для PHEV є вища вартість порівняно з традиційними гібридами та залежність від доступу до зарядної інфраструктури для повного використання їхнього потенціалу. Крім того, більша акумуляторна батарея робить ці автомобілі важчими, що може впливати на динаміку руху в гібридному режимі.

PHEV є важливим перехідним рішенням між автомобілями з ДВЗ і повністю електричними транспортними засобами. Вони пропонують споживачам баланс між енергоефективністю, дальністю ходу та універсальністю, забезпечуючи поступовий перехід до екологічно чистого транспорту.

2.2 Аналіз режимів заряджання АКБ електро- та гібридних автомобілів

Основні вимоги до зарядних пристроїв для електро- та гібридних автомобілів включають безпечність, енергоефективність, універсальність та швидкість заряджання. Зарядні пристрої повинні забезпечувати стабільну передачу електроенергії до акумуляторної батареї, запобігаючи перегріву або пошкодженню батареї внаслідок перевантаження. Крім того, важливою вимогою є наявність відповідних сертифікатів безпеки та відповідність міжнародним стандартам, таким як ІЕС 61851, які регламентують роботу зарядної інфраструктури. Універсальність зарядних пристроїв дозволяє використовувати їх для різних моделей автомобілів, що є особливо важливим для громадських зарядних станцій [8].

Наразі існують кілька видів зарядних пристроїв, які класифікуються за потужністю, швидкістю заряджання та способом підключення. Найпоширенішими є пристрої змінного струму (АС) для повільного заряджання, які зазвичай використовуються вдома або на роботі. Вони забезпечують потужність від 3,6 до 22 кВт, залежно від конфігурації. Для заряджання за допомогою змінного струму використовується вбудований зарядний пристрій автомобіля, який перетворює АС у постійний струм (DC) для батареї.

Зарядні пристрої постійного струму (DC), відомі як швидкі зарядні станції, забезпечують значно вищу потужність, яка може сягати 50–350 кВт і більше. Вони дозволяють зарядити акумулятор до 80% всього за 20-30 хвилин, що є оптимальним для тривалих поїздок. Ці пристрої мають зовнішній перетворювач струму, який подає постійний струм безпосередньо до батареї, що прискорює процес заряджання.

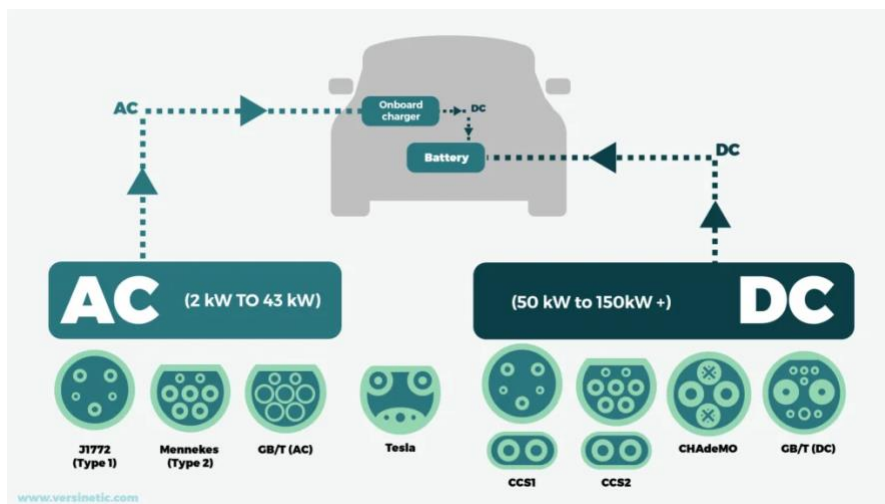


Рисунок 2.4 – Типи зарядних пристроїв для електромобілів

Індуктивні зарядні пристрої або бездротові зарядки стають інноваційним рішенням у цій галузі. Вони дозволяють заряджати автомобіль без підключення кабелів, використовуючи електромагнітне поле для передачі енергії. Хоча їхня ефективність поки що нижча порівняно з традиційними кабельними зарядками, вони є зручними для домашнього використання та заряджання у громадських місцях.

Також варто відзначити портативні зарядні пристрої, які зазвичай мають низьку потужність і призначені для аварійних випадків або заряджання в умовах обмеженого доступу до зарядної інфраструктури.

Стандарти зарядки електро- і гібридних транспортних засобів регламентують технічні характеристики зарядних пристроїв та їхню сумісність із різними моделями автомобілів. Це забезпечує уніфікацію підключень, безпечність заряджання та ефективність передачі електроенергії. Одним із найбільш поширених стандартів є Type 1 (SAE J1772), який використовується в основному у Північній Америці. Цей стандарт призначений для заряджання змінним струмом і підтримує потужність до 7,4 кВт. Він сумісний із більшістю ранніх моделей електромобілів, таких як Nissan Leaf першого покоління.

Європейський стандарт Type 2 (Mennekes) є найбільш поширеним у Європі і вважається універсальним рішенням для заряджання змінним струмом. Він

підтримує потужність до 22 кВт у домашніх умовах та до 43 кВт на громадських станціях. Цей стандарт широко використовується у сучасних моделях, таких як Tesla Model 3 і Volkswagen ID.4. Однією з його переваг є можливість інтеграції у трифазну електричну мережу, що забезпечує швидше заряджання.

Для швидкісного заряджання постійним струмом розроблено стандарт CHAdeMO, який спочатку був популярний у Японії. Він дозволяє заряджати акумулятор із потужністю до 100 кВт, а новіші версії підтримують навіть до 400 кВт. Цей стандарт використовується в таких автомобілях, як Nissan Leaf та Mitsubishi Outlander PHEV, і забезпечує високу стабільність заряджання.

Конкурентом CHAdeMO є стандарт CCS (Combined Charging System), який об'єднує можливості заряджання змінним та постійним струмом через один і той самий роз'єм. CCS підтримує потужність до 350 кВт для швидкісного заряджання, що робить його популярним вибором серед виробників, таких як BMW, Audi та Volkswagen. Цей стандарт активно використовується у Європі, США та багатьох інших регіонах.

Інноваційним стандартом для бездротового заряджання є SAE J2954, який визначає параметри індуктивної передачі енергії для електромобілів. Ця технологія ще перебуває на стадії розвитку, але вже почала застосовуватись у преміум-сегменті.

Tesla, як окремий виробник, використовує власний пропріетарний роз'єм у Північній Америці, який сумісний із їхніми Supercharger-станціями, здатними заряджати автомобіль із потужністю до 250 кВт. У Європі Tesla перейшла на стандарт Type 2 і CCS, що забезпечує більшу універсальність.

Таким чином, стандарти зарядок для електро- і гібридних автомобілів забезпечують інтеграцію транспортних засобів у зарядну інфраструктуру та спрощують використання електротранспорту. Вибір стандарту залежить від регіону, типу автомобіля та доступної зарядної мережі, що дозволяє водіям отримувати оптимальні умови для заряджання своїх транспортних засобів. Розглянемо детальніше основні стандарти зарядок для електро- і гібридних транспортних засобів.

2.2.1. Аналіз стандарту зарядки Type 1 (SAE J1772)

Type 1, також відомий як SAE J1772, є стандартом зарядки змінним струмом (AC), розробленим для ринку Північної Америки. Цей стандарт забезпечує передачу електроенергії між зарядним пристроєм та автомобілем через однофазний роз'єм. Процес заряджання базується на постійному

моніторингу параметрів струму та напруги для забезпечення безпеки. Спеціальний контакт для комунікації між зарядною станцією та автомобілем дозволяє визначати стан зарядки, регулювати потужність і переривати процес у разі виявлення несправності.



Рисунок 2.5 – Конструкція стандарту зарядки Type 1 (SAE J1772)

Type 1 працює при напрузі 120 В у стандартних побутових мережах або 240 В для швидшого заряджання. Потужність 7,4 кВт дозволяє заряджати акумулятори невеликої ємності за 4-8 годин, що є оптимальним для домашнього використання або офісних стоянок.

Основною перевагою є простота використання та сумісність із домашніми електромережами, що робить цей стандарт зручним для користувачів. Завдяки інтеграції функцій безпеки, таких як перевірка заземлення та контроль струму, Type 1 забезпечує надійність процесу заряджання. Його компактний роз'єм є зручним для ручного підключення та підходить для невеликих автомобілів із порівняно невеликою батареєю.

Type 1 має кілька обмежень, серед яких — підтримка лише однофазного струму, що знижує швидкість заряджання порівняно зі стандартами трифазного струму, такими як Type 2. Його максимальна потужність у 7,4 кВт також є недостатньою для великих акумуляторів, які мають ємність понад 50 кВт·год. Крім того, цей стандарт поступово витісняється більш універсальними рішеннями, особливо у регіонах поза Північною Америкою.

Type 1 активно використовується у ранніх моделях електромобілів, таких як Nissan Leaf першого покоління, Chevrolet Volt та Mitsubishi i-MiEV. Він

залишається стандартом для багатьох автомобілів, орієнтованих на ринок Північної Америки, хоча сучасні моделі часто переходять на CCS або Type 2 через їхню більшу універсальність та швидкість заряджання.

2.2.2. Аналіз стандарту зарядки Type 2 (Mennekes)

Type 2, відомий також як Mennekes, є одним із найпоширеніших стандартів зарядки змінним струмом (АС) у Європі. Він був розроблений для підтримки як однофазного, так і трифазного заряджання, що робить його універсальним і ефективним для використання в різних умовах. Зарядний роз'єм Type 2 передає електроенергію від зарядної станції до автомобіля через контакти, що забезпечують живлення, заземлення та комунікацію. Вбудовані в роз'єм механізми блокування забезпечують надійне з'єднання і запобігають випадковому відключенню під час заряджання.



Рисунок 2.6 – Конструкція стандарту зарядки Type 2

Type 2 підтримує однофазне заряджання із потужністю до 7,4 кВт при напрузі 230 В, що підходить для домашніх умов. У трифазному режимі заряджання здійснюється з потужністю до 22 кВт, а на громадських зарядних станціях — до 43 кВт. Стандарт має сім контактів: три для фаз живлення, один для заземлення та два для комунікації, що дозволяє інтегрувати функції безпеки, наприклад, перевірку наявності заземлення та регулювання струму залежно від характеристик автомобіля.

Type 2 вирізняється високою гнучкістю завдяки підтримці трифазного струму, що забезпечує швидке заряджання в громадських умовах. Універсальність стандарту дозволяє використовувати його для різних моделей електромобілів і гібридів, що значно спрощує заряджання. Висока потужність заряджання є суттєвою перевагою для сучасних електромобілів із великими

акумуляторними батареями. Крім того, стандарт Type 2 став обов'язковим для всіх нових зарядних станцій у Європі, що сприяє уніфікації зарядної інфраструктури.

Основним обмеженням Type 2 є його залежність від наявності трифазної електромережі для досягнення максимальної потужності. У багатьох приватних будинках така інфраструктура відсутня, що обмежує можливості заряджання до однофазного режиму. Крім того, Type 2 не підтримує швидке заряджання постійним струмом (DC), що робить його менш ефективним для тривалих подорожей.

Type 2 є основним стандартом для заряджання більшості електромобілів, які продаються в Європі. Він використовується в таких моделях, як Tesla Model 3, Volkswagen ID.4, Audi e-tron, Mercedes-Benz EQC та багатьох інших. Крім того, цей стандарт інтегрований у зарядні станції громадського користування, що робить його найбільш універсальним рішенням для власників електротранспорту в Європі.

2.2.3. Аналіз стандарту зарядки CHAdeMO

CHAdeMO (Charge de Move) — це стандарт швидкого заряджання постійним струмом (DC), розроблений Японією для забезпечення максимально швидкого та безпечного поповнення заряду акумуляторів електромобілів. Принцип його роботи базується на передачі постійного струму безпосередньо до батареї автомобіля, міняючи внутрішній перетворювач електроенергії. Зарядна станція оснащена зовнішнім перетворювачем, який контролює потужність заряджання та забезпечує передачу енергії з максимальною ефективністю. Це дозволяє заряджати акумулятор до 80% ємності за короткий проміжок часу, зазвичай у межах 30 хвилин.

CHAdeMO підтримує потужність заряджання до 100 кВт у стандартній версії, що робить його одним із найшвидших методів заряджання. Новіші модифікації стандарту забезпечують потужність до 400 кВт, що дозволяє значно скоротити час заряджання для сучасних електромобілів із великими батареями. Напруга заряджання може досягати 500 В, а сила струму — до 200 А. Роз'єм CHAdeMO має характерну форму із захистом від зовнішніх впливів, що підвищує його довговічність та безпеку в експлуатації.

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

Рисунок 2.7 – Конструкція стандарту зарядки CHAdeMO

Основною перевагою CHAdeMO є висока швидкість заряджання, що забезпечує зручність для користувачів під час тривалих подорожей або в умовах, коли швидке поповнення заряду є критично важливим. Цей стандарт є одним із найбільш безпечних завдяки вбудованим протоколам комунікації між зарядною станцією та автомобілем, які постійно моніторять стан батареї та параметри струму. CHAdeMO також підтримує функцію Vehicle-to-Grid (V2G), яка дозволяє використовувати акумулятор автомобіля як джерело енергії для живлення інших пристроїв або повернення електроенергії в мережу.

Одним із основних недоліків CHAdeMO є його обмежена географічна поширеність. Стандарт широко використовується в Японії, але його популярність у Європі та США поступово знижується через конкуренцію з іншими стандартами, такими як CCS. Відносно великий розмір роз'єму також може бути незручним для компактних автомобілів. Крім того, відсутність інтеграції змінного струму в роз'єм CHAdeMO означає, що користувачам доводиться використовувати додатковий порт для заряджання AC, що зменшує його універсальність.

Стандарт CHAdeMO використовується в багатьох популярних моделях електромобілів, таких як Nissan Leaf, Mitsubishi Outlander PHEV, Kia Soul EV та Citroën C-Zero. Проте сучасні моделі поступово переходять на CCS через його більшу універсальність та інтеграцію змінного й постійного струму в одному роз'ємі. CHAdeMO залишається важливим вибором для користувачів, які вже

володіють автомобілями, що підтримують цей стандарт, а також у регіонах, де зарядні станції CHAdeMO домінують.

2.2.4. Аналіз стандарту зарядки CCS (Combined Charging System)

CCS, або Combined Charging System, є універсальним стандартом зарядки, який об'єднує можливості заряджання змінним струмом (AC) та постійним струмом (DC) через один роз'єм. Це забезпечує зручність і гнучкість для користувачів електромобілів, оскільки один порт може обслуговувати різні режими заряджання. У режимі змінного струму CCS використовує верхню частину роз'єму, яка є ідентичною стандарту Type 2, а для швидкого заряджання постійним струмом додаються два додаткові контакти в нижній частині роз'єму. Це дозволяє зарядній станції подавати енергію безпосередньо до акумулятора, обминаючи вбудований перетворювач автомобіля, що суттєво скорочує час заряджання.



Рисунок 2.8 – Конструкція стандарту зарядки CCS (Combined Charging System)

CCS підтримує як однофазне, так і трифазне заряджання змінним струмом із потужністю до 22 кВт, що є оптимальним для домашніх умов. У режимі постійного струму потужність заряджання може досягати 350 кВт, залежно від моделі зарядної станції. Напруга заряджання становить до 1000 В, а сила струму — до 500 А, що дозволяє заряджати великі акумулятори (понад 100 кВт·год) за 15-30 хвилин до 80% ємності. Інтегрована система комунікації між автомобілем і зарядною станцією контролює параметри заряджання, забезпечуючи оптимальну продуктивність та безпеку.

Однією з ключових переваг CCS є його універсальність, яка дозволяє користувачам заряджати автомобіль у будь-яких умовах: вдома, на громадських

зарядних станціях чи на швидкісних зарядних пунктах. Підтримка високої потужності заряджання постійним струмом робить цей стандарт ідеальним для сучасних електромобілів із великими батареями, оскільки він суттєво скорочує час заряджання. Інтеграція змінного та постійного струму в одному роз'ємі спрощує конструкцію автомобіля і робить його зручнішим для користувачів. Завдяки поширеності CCS у Європі, США та інших регіонах, цей стандарт став основним вибором для нових зарядних станцій.

Серед недоліків CCS можна відзначити його відносно більшу вартість впровадження порівняно з іншими стандартами, такими як CHAdeMO чи Type 2, через складність інфраструктури для підтримки високої потужності заряджання. Крім того, деякі старі моделі електромобілів не підтримують CCS, що обмежує його використання для частини власників транспортних засобів. У деяких регіонах, таких як Азія, розповсюдженість CCS є нижчою через конкуренцію з іншими стандартами, такими як CHAdeMO.

CCS є стандартом, який підтримується більшістю сучасних електромобілів, особливо тими, що випускаються в Європі та США. Серед популярних моделей, які використовують CCS, варто відзначити Volkswagen ID.4, Audi e-tron, BMW iX, Ford Mustang Mach-E, а також багато інших електромобілів преміум-класу та масового сегменту. Навіть Tesla, яка раніше використовувала власний роз'єм, інтегрувала CCS у свої автомобілі для європейського ринку.

CCS (Combined Charging System) є одним із найперспективніших стандартів зарядки завдяки своїй універсальності, високій потужності та сумісності з багатьма моделями електромобілів. Його переваги роблять його основним вибором для нових зарядних станцій, забезпечуючи ефективність і зручність заряджання в будь-яких умовах.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Технічні рішення для реалізації мережі зарядних станцій

Розвиток мережі зарядних станцій є ключовою умовою для масового впровадження електротранспорту. Ефективна інфраструктура повинна забезпечувати швидке, зручне та безпечне заряджання, відповідати технічним вимогам сучасних електромобілів і інтегруватися в існуючі електромережі без шкоди для їхньої стабільності. У цьому розділі розглядаються основні технічні аспекти створення мережі зарядних станцій, включаючи вибір типів станцій, технічних компонентів, аналіз впливу на енергосистему та впровадження інтелектуальних систем управління. Такий підхід дозволяє комплексно вирішити завдання забезпечення енергоефективності та надійності роботи зарядної інфраструктури [9].

3.1.1. Типи зарядних станцій та їхні технічні характеристики

Зарядні станції для електротранспорту поділяються на кілька типів залежно від технічних характеристик, способу передачі енергії та швидкості заряджання. Основними є зарядні станції змінного струму (AC), постійного струму (DC) та бездротові зарядні системи. Кожен із цих типів має свої особливості, переваги та обмеження, які визначають їхню відповідність потребам різних видів електротранспорту [10].

Зарядні станції AC забезпечують передачу електроенергії до автомобіля у вигляді змінного струму. Вбудований у транспортний засіб інвертор перетворює змінний струм на постійний, який використовується для заряджання акумулятора. AC-станції характеризуються потужністю від 3,6 до 22 кВт залежно від конфігурації, що робить їх оптимальними для домашнього використання та заряджання в офісах. Основною перевагою є доступність таких станцій, оскільки вони можуть підключатися до стандартних електромереж. Водночас швидкість заряджання обмежена потужністю інвертора автомобіля, що може бути недостатньо для великих батарей.

DC-станції подають постійний струм безпосередньо до акумулятора, минаючи вбудований інвертор автомобіля. Це забезпечує високу швидкість заряджання, оскільки вся енергія надходить напряду. Потужність таких станцій варіюється від 50 до 350 кВт, дозволяючи заряджати акумулятор до 80% ємності за 15-30 хвилин. Цей тип зарядок ідеально підходить для громадських станцій уздовж автомагістралей або в міських умовах, де важлива швидкість заряджання.

Основним недоліком є висока вартість установки та залежність від потужної електромережі, що обмежує їхню доступність у деяких регіонах.

Бездротові зарядні системи використовують індуктивну передачу енергії між зарядною платформою та автомобілем. Цей процес заснований на створенні магнітного поля, яке забезпечує передачу енергії без фізичного контакту. Такий спосіб заряджання є зручним, оскільки не вимагає підключення кабелів, ідеально підходить для домашнього використання або міських паркувань. Потужність бездротових систем зазвичай обмежується 3-11 кВт, що робить їх придатними для повільного заряджання. Головними недоліками є низька енергоефективність через втрати під час передачі енергії, а також висока вартість обладнання.

АС-станції є найбільш доступними та економічно вигідними для індивідуального використання, але вони обмежені швидкістю заряджання. DC-станції, навпаки, забезпечують високу швидкість і є критично важливими для громадських місць, однак їхня висока вартість може стримувати поширення. Бездротові системи пропонують унікальні переваги зручності, але їхня низька ефективність та висока вартість обмежують використання в умовах, де потрібна швидкість. З огляду на сучасні потреби електротранспорту, найбільш перспективними є DC-станції завдяки їхній здатності швидко заряджати батареї великих ємностей, що відповідає тренду зростання дальності пробігу електромобілів. У поєднанні з інноваційними технологіями, такими як інтеграція з інтелектуальними енергетичними мережами (Smart Grid), DC-станції мають потенціал стати основою зарядної інфраструктури у найближчому майбутньому.

3.1.2. Вибір обладнання для зарядних станцій

Проектування зарядної інфраструктури для електромобілів передбачає ретельний вибір обладнання, яке забезпечує ефективність, безпеку та економічну доцільність. Ключовими компонентами зарядної станції є роз'єми, трансформатори, кабелі, інвертори, а також системи управління і захисту. Кожен із цих елементів виконує важливу функцію в забезпеченні стабільного процесу заряджання.

Роз'єми є основним інтерфейсом між зарядною станцією та автомобілем. Вибір типу роз'єму залежить від стандарту зарядки, підтримуваного автомобілем, та потужності станції. Наприклад, роз'єми Type 1 і Type 2 підходять для змінного струму (AC), тоді як CHAdeMO та CCS забезпечують заряджання постійним струмом (DC). Важливими технічними характеристиками роз'ємів є їх максимальна сила струму, напруга та довговічність. Універсальні роз'єми, такі як CCS, пропонують більшу гнучкість для роботи з різними транспортними

засобами, тоді як специфічні стандарти, наприклад CHAdeMO, орієнтовані на конкретні моделі.

Трансформатори забезпечують адаптацію напруги мережі до вимог зарядної станції. Вони перетворюють високовольтний струм, який надходить із магістральних ліній електропередачі, у напругу, придатну для заряджання електромобілів. Ефективність трансформаторів є критичним фактором, оскільки втрати під час передачі енергії впливають на загальну енергоефективність станції. Трансформатори для зарядних станцій зазвичай мають потужність від 50 до 500 кВА залежно від їхнього призначення.

Кабелі відіграють важливу роль у передачі енергії між зарядною станцією та автомобілем. Вони повинні відповідати вимогам безпеки, мати високу термостійкість та захист від механічних пошкоджень. Кабелі для постійного струму повинні мати більший діаметр через високу силу струму, яка використовується для швидкого заряджання. Також важливою є довжина кабелю, яка повинна бути достатньою для зручності підключення, але не надмірною, щоб уникнути втрат енергії.

Інвертори використовуються у зарядних станціях змінного струму для перетворення електроенергії відповідно до вимог акумулятора. Вони відповідають за стабілізацію струму і запобігання перевантаженням. Інвертори для зарядних станцій повинні мати високий коефіцієнт корисної дії (ККД), зазвичай понад 90%, щоб забезпечити мінімальні втрати енергії під час процесу заряджання. Сучасні інвертори оснащуються системами моніторингу, які дозволяють відстежувати стан процесу заряджання в реальному часі.

Системи управління і захисту є невід'ємною частиною зарядних станцій. Вони забезпечують контроль за параметрами заряджання, виявлення несправностей та запобігання аварійним ситуаціям. Багато сучасних зарядних станцій мають інтелектуальні системи управління, які дозволяють інтегрувати їх у розумні енергетичні мережі (Smart Grid). Це дозволяє регулювати потужність заряджання залежно від навантаження на мережу та забезпечувати оптимальне споживання електроенергії.

Таким чином, вибір обладнання для зарядних станцій залежить від технічних вимог, умов експлуатації та економічної доцільності. Ретельний підхід до цього питання дозволяє створити інфраструктуру, яка відповідає сучасним вимогам електромобільності та забезпечує стабільну й безпечну роботу зарядних станцій.

3.1.3. Вплив на електромережу

Підключення зарядних станцій до існуючих електромереж є складним технічним завданням, яке вимагає врахування кількох ключових аспектів, таких як навантаження на мережу, стабільність напруги та управління піковими навантаженнями. Розвиток інфраструктури для заряджання електромобілів спричиняє зростання споживання електроенергії, що може мати суттєвий вплив на роботу електромереж, особливо у міських районах із високою щільністю населення.

Навантаження на електромережу значно зростає через підключення зарядних станцій, особливо високопотужних пристроїв постійного струму. У густонаселених районах одночасне використання великої кількості зарядних станцій може призводити до перевантаження мережі, що створює ризики відключення електропостачання. Щоб запобігти цьому, необхідно проводити оцінку потужностей мережі в регіоні, де планується встановлення зарядної інфраструктури, та, за потреби, модернізувати її за рахунок встановлення додаткових трансформаторів і підстанцій.

Стабільність напруги є ще одним важливим фактором, який може бути порушений через нерівномірне або раптове збільшення навантаження. Коливання напруги впливають на ефективність заряджання та можуть спричинити пошкодження обладнання як на стороні зарядної станції, так і в електромережі. Для забезпечення стабільності необхідно використовувати сучасні системи автоматичного регулювання напруги, які дозволяють підтримувати оптимальні параметри електроенергії незалежно від змін у навантаженні.

Управління піковими навантаженнями є ключовим завданням для інтеграції зарядних станцій в існуючу електромережу. Найбільші пікові навантаження виникають у години масового використання зарядних станцій, наприклад, ввечері, коли люди повертаються додому з роботи. Це може створювати значний дисбаланс у роботі мережі. Для вирішення цієї проблеми застосовуються інтелектуальні системи управління енергоспоживанням, які дозволяють розподіляти навантаження рівномірно впродовж дня. Наприклад, технології Smart Charging дають змогу налаштовувати час заряджання відповідно до доступної потужності мережі, автоматично знижуючи інтенсивність заряджання під час пікових періодів.

Важливу роль також відіграє інтеграція зарядних станцій у розумні енергетичні мережі (Smart Grid). Це дозволяє використовувати дані про

навантаження в реальному часі для адаптації роботи зарядних станцій, забезпечуючи стабільність мережі та підвищуючи ефективність енергоспоживання. Наприклад, зарядні станції можуть автоматично знижувати потужність або відкладати заряджання, коли мережа знаходиться під великим навантаженням.

Загалом, підключення зарядних станцій до існуючих електромереж вимагає комплексного підходу, який включає аналіз потужностей мережі, використання систем стабілізації напруги, впровадження технологій управління піковими навантаженнями та інтеграцію із сучасними розумними мережами. Такий підхід дозволить уникнути проблем перевантаження, забезпечуючи стабільність і надійність роботи електроенергетичної системи в умовах зростаючого попиту на зарядну інфраструктуру.

3.1.4. Інтеграція систем управління та моніторингу

Інтеграція систем управління та моніторингу є критичним аспектом сучасної зарядної інфраструктури, оскільки вона забезпечує ефективну взаємодію між зарядними станціями, користувачами та електроенергетичною системою. Технічні рішення в цій сфері спрямовані на створення централізованих систем, які дозволяють здійснювати дистанційне управління зарядними станціями, моніторити параметри споживання електроенергії та інтегрувати їх у інтелектуальні мережі (Smart Grid) [11].

Дистанційне управління зарядними станціями стало можливим завдяки впровадженню IoT-технологій. Зарядні станції оснащуються вбудованими модулями зв'язку, які дозволяють передавати дані до центральної системи управління через мережі Wi-Fi, мобільного зв'язку або Ethernet. Це дозволяє операторам зарядних мереж віддалено контролювати стан обладнання, запускати чи зупиняти процес заряджання, регулювати потужність та налаштовувати роботу станцій у реальному часі. Крім того, такі системи забезпечують автоматичне виявлення несправностей і оперативне реагування на проблеми, що підвищує надійність та безпеку роботи зарядної інфраструктури.

Моніторинг споживання електроенергії є важливим завданням для оптимізації роботи зарядних станцій та управління енергоресурсами. Сучасні системи моніторингу використовують датчики та програмне забезпечення для збору даних про обсяги енергії, спожитої кожною станцією, а також аналізу пікових періодів споживання. Це дозволяє операторам отримувати повну картину роботи мережі, планувати навантаження на електромережу та впроваджувати енергозберігаючі заходи. Для кінцевих користувачів моніторинг

споживання забезпечує доступ до інформації про вартість заряджання, обсяг використаної енергії та тривалість процесу заряджання через мобільні додатки або веб-портали.

Інтеграція зарядних станцій з інтелектуальними мережами (Smart Grid) відкриває нові можливості для управління енергоспоживанням. Smart Grid дозволяє зарядним станціям адаптувати свою роботу до поточного стану мережі, автоматично знижуючи або збільшуючи потужність заряджання залежно від навантаження на енергосистему. Крім того, зарядні станції можуть використовувати алгоритми прогнозування для розподілу навантаження на основі історичних даних і поточних умов. Інтеграція з Smart Grid також забезпечує можливість реалізації функцій Vehicle-to-Grid (V2G), за допомогою яких акумулятори електромобілів можуть використовуватися для зберігання та повернення енергії до мережі в періоди пікового навантаження.

Важливою складовою інтеграції є впровадження стандартів зв'язку, таких як OCPP (Open Charge Point Protocol), які забезпечують сумісність між різними зарядними станціями та системами управління. Це спрощує обмін даними, знижує витрати на впровадження інфраструктури та розширює можливості для операторів.

Таким чином, інтеграція систем управління та моніторингу зарядних станцій є важливим кроком у створенні ефективної та надійної зарядної інфраструктури. Вона дозволяє оптимізувати використання енергії, підвищувати зручність для користувачів і забезпечувати стабільність роботи електромережі в умовах зростаючого попиту на зарядний сервіс. У майбутньому такі рішення стануть невід'ємною частиною сталого розвитку електротранспорту та енергетичних систем.

3.2 Схемотехнічні рішення для приєднання зарядних станцій до існуючих електромереж населених пунктів

Ефективне підключення зарядних станцій до існуючих електромереж є ключовим завданням у процесі створення інфраструктури для електротранспорту. Населені пункти характеризуються різними рівнями розвитку енергетичних мереж, які повинні забезпечити стабільне та безпечне функціонування зарядної інфраструктури. Врахування технічних характеристик мереж, правильний вибір топології підключення та мінімізація впливу на енергосистему є критично важливими для успішної інтеграції зарядних станцій.

Розробка схемотехнічних рішень передбачає аналіз існуючих умов електромереж, вибір відповідних методів підключення та інтеграцію зарядних станцій із системами регулювання навантажень. Додатково, сучасні підходи включають використання відновлюваних джерел енергії та накопичувачів, які забезпечують баланс між попитом і пропозицією енергії, знижуючи залежність від магістральних мереж [12].

3.2.1. Аналіз вимог до підключення зарядних станцій до електромереж

Інтеграція зарядних станцій у електромережі населених пунктів вимагає детального аналізу технічних характеристик мережі, щоб забезпечити стабільну та безперебійну роботу зарядної інфраструктури. Ключовими аспектами є оцінка рівнів напруги, пропускної здатності мережі та її можливостей для підтримки нових навантажень.

Електромережі населених пунктів поділяються на магістральні, розподільчі та локальні мережі. Магістральні мережі забезпечують транспортування електроенергії високої напруги (110-750 кВ) між великими підстанціями. Розподільчі мережі працюють на середній напрузі (6-35 кВ), постачаючи електроенергію до локальних підстанцій, які забезпечують живлення житлових будинків, підприємств та об'єктів інфраструктури. Локальні мережі знижують напругу до низьковольтного рівня (0,4 кВ) для кінцевих споживачів.

Для інтеграції зарядних станцій найчастіше використовується розподільна мережа середньої або низької напруги. Її вибір залежить від потужності станцій. Зарядні станції змінного струму (АС) потужністю до 22 кВт можуть підключатися до низьковольтної мережі, тоді як станції постійного струму (DC) з потужністю від 50 до 350 кВт потребують підключення до мереж середньої напруги через трансформаторні підстанції.

Стабільність напруги у мережі є критичною для зарядних станцій, оскільки її коливання можуть впливати на ефективність заряджання. Для уникнення таких проблем необхідно забезпечувати відповідність потужності зарядної станції до можливостей локальної мережі. Наприклад, у житлових районах, де мережа вже навантажена побутовими споживачами, додаткові станції можуть потребувати модернізації мережі або встановлення трансформаторів.

Для забезпечення стабільного підключення зарядних станцій важливо враховувати рівні напруги, характерні для конкретної електромережі, а також її пропускну здатність. Таблиця нижче ілюструє типові параметри різних рівнів напруги в електромережах.

Таблиця 3.1 – Характеристики електричних мереж та можливість підключень зарядних станцій

Рівень напруги	Тип мережі	Призначення	Потужність зарядних станцій
Висока (110-750 кВ)	Магістральні мережі	Транспортування електроенергії між регіонами	Великі зарядні хаби (>350 кВт)
Середня (6-35 кВ)	Розподільчі мережі	Постачання енергії до локальних підстанцій	DC-станції (50-350 кВт)
Низька (0,4 кВ)	Локальні мережі	Живлення кінцевих споживачів	AC-станції (до 22 кВт)

Окрім цього, аналіз мережі повинен враховувати резерв потужності для майбутнього зростання попиту на зарядні послуги. Наприклад, якщо планується встановлення додаткових станцій у густонаселених районах, необхідно оцінити довгострокову перспективу навантаження та вжити заходів для забезпечення стабільності.

Таким чином, підключення зарядних станцій до електромереж потребує детального аналізу технічних характеристик мережі, коректного вибору рівня напруги та врахування пропускної здатності. Це дозволяє забезпечити ефективність роботи зарядної інфраструктури та уникнути перевантаження електромереж у населених пунктах.

3.2.2. Вибір топології підключення зарядних станцій

Топологія підключення зарядних станцій до електромереж визначає їхню ефективність, стабільність роботи та здатність задовольняти потреби користувачів. Для реалізації зарядної інфраструктури використовуються три основні підходи: пряме підключення до розподільних мереж, використання локальних трансформаторних підстанцій та розподілені системи підключення для великих зарядних хабів. Кожен із цих підходів має свої особливості, які залежать від характеристик мережі, типу станцій та обсягів навантаження.

Пряме підключення до розподільних мереж

Пряме підключення зарядних станцій до розподільних мереж є найбільш простим і поширеним рішенням, особливо для зарядних станцій змінного струму (АС) із потужністю до 22 кВт. У цьому випадку станція підключається безпосередньо до низьковольтної електромережі через стандартний електричний щиток. Такий підхід ідеально підходить для житлових районів, офісних

паркувань і невеликих комерційних об'єктів. Основною перевагою є низька вартість установки та простота підключення. Однак пряме підключення обмежується можливостями локальної мережі і не підходить для потужних станцій постійного струму (DC), які створюють значне навантаження.

Використання локальних трансформаторних підстанцій

Для зарядних станцій із потужністю понад 50 кВт, які працюють на постійному струмі, використовується підключення через локальні трансформаторні підстанції. Трансформаторна підстанція знижує напругу з рівня середньої (6-35 кВ) до низької (0,4 кВ), що дозволяє жити зарядні станції з великим споживанням енергії. Цей підхід є оптимальним для громадських станцій високої потужності, таких як зарядні пункти вздовж автомагістралей або на території великих торгових центрів. Локальні трансформатори забезпечують стабільність напруги і мінімізують вплив на розподільну мережу, але вимагають значних початкових інвестицій та площі для установки обладнання.

Розподілені системи підключення для великих зарядних хабів

Для великих зарядних хабів, які обслуговують десятки станцій із сумарною потужністю у сотні кіловат, використовується розподілена система підключення. У цьому випадку встановлюються кілька локальних трансформаторних підстанцій, які обслуговують різні групи станцій. Такий підхід дозволяє рівномірно розподіляти навантаження між різними ділянками мережі, зменшуючи ризик перевантаження. Для наочності особливості кожної топології можна представити у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняння топологій підключення

Топологія	Сфери застосування	Переваги	Недоліки
Пряме підключення до розподільних мереж	Зарядки АС у житлових і офісних зонах	Низька вартість, простота підключення	Обмеження за потужністю
Використання локальних трансформаторів	Зарядки DC для громадських станцій	Стабільність, підтримка високої потужності	Висока вартість, потреба в площі
Розподілені системи	Великі зарядні хаби	Рівномірний розподіл навантаження, інтеграція ESS	Складність інфраструктури, висока вартість

Крім того, розподілені системи часто інтегруються з накопичувальними системами енергії (ESS), які дозволяють згладжувати пікові навантаження та знижувати споживання енергії з магістральної мережі.

Вибір топології підключення залежить від специфіки зарядної інфраструктури, потреб користувачів та особливостей електромережі. Для невеликих станцій найдоцільніше використовувати пряме підключення, тоді як для потужних громадських станцій і великих хабів — локальні трансформатори та розподілені системи із сучасними рішеннями для управління енергоспоживанням.

3.2.3. Методи зменшення впливу зарядних станцій на електромережу

Зростання кількості зарядних станцій створює значні виклики для електромереж, пов'язані з піковими навантаженнями, нестабільністю напруги та зниженням загальної ефективності мережі. Для мінімізації цих впливів застосовуються різні технології, серед яких найважливішими є використання накопичувальних систем енергії (ESS) та інтеграція зарядних станцій із системами регулювання напруги. Ці підходи дозволяють забезпечити стабільну роботу мережі та підвищити її адаптивність до зростаючого попиту на електроенергію.

Використання накопичувальних систем енергії (ESS)

Накопичувальні системи енергії (ESS) — це акумуляторні установки, які зберігають надлишкову електроенергію під час низького навантаження на мережу і віддають її під час пікових періодів. У контексті зарядних станцій ESS відіграють роль буфера, що дозволяє знижувати навантаження на електромережу, зменшуючи необхідність у підключенні станцій безпосередньо до магістральних ліній високої потужності. Наприклад, зарядна станція, оснащена ESS, може накопичувати енергію вночі, коли споживання в мережі мінімальне, а потім використовувати цю енергію для заряджання автомобілів у години пік.

Технічні характеристики ESS залежать від ємності та потужності акумуляторів, які використовуються. Сучасні системи можуть мати ємність від кількох сотень кВт·год до декількох МВт·год, що дозволяє ефективно згладжувати навантаження навіть у великих зарядних хабах. Окрім цього, ESS можуть бути інтегровані з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі, забезпечуючи автономність роботи зарядних станцій та зниження викидів CO₂.

Переваги ESS включають можливість зменшення витрат на модернізацію мережі, підвищення енергоефективності та зниження ризику перевантаження мережі. Основним обмеженням є висока вартість впровадження та необхідність регулярного обслуговування акумуляторів.

Інтеграція зарядних станцій із системами регулювання напруги

Системи регулювання напруги забезпечують стабільність електромережі, компенсуючи коливання напруги, які виникають у результаті нерівномірного або раптового навантаження, що створюється зарядними станціями. Для цього використовуються технології автоматичного регулювання напруги, які включають використання статичних компенсаторів, автоматичних регуляторів напруги та інтелектуальних перетворювачів.

Зарядні станції, інтегровані із системами регулювання напруги, можуть автоматично адаптувати потужність заряджання залежно від стану мережі. Наприклад, під час зростання навантаження станції можуть зменшувати силу струму, щоб уникнути перевантаження, або тимчасово припиняти заряджання, якщо напруга досягає критично низького рівня.

Крім того, інтеграція зарядних станцій із Smart Grid дозволяє забезпечити двосторонній зв'язок між станціями та електромережею, що дозволяє мережі реагувати на зміну умов у реальному часі. Наприклад, функція Vehicle-to-Grid (V2G) дозволяє використовувати акумулятори електромобілів як джерело енергії для стабілізації мережі в періоди пікових навантажень. Це особливо корисно у густонаселених районах, де навантаження на мережу є максимальним.

Застосування систем регулювання напруги сприяє підвищенню надійності роботи електромережі, забезпечуючи її адаптивність до нових викликів, пов'язаних із розширенням зарядної інфраструктури. Основними перевагами є стабільність напруги, зниження втрат енергії та підвищення загальної ефективності роботи мережі. Недоліками можуть бути значні витрати на впровадження та необхідність інтеграції із сучасними технологіями управління.

Використання накопичувальних систем енергії та систем регулювання напруги є ключовими методами зменшення негативного впливу зарядних станцій на електромережу. Вони дозволяють уникнути перевантаження мережі, підвищують її стабільність та забезпечують ефективність використання енергоресурсів. Комбінація цих підходів із сучасними технологіями, такими як Smart Grid та V2G, створює умови для сталого розвитку електромобільної інфраструктури.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Розробка методики проектування мережі зарядних станцій з використанням методів нечіткої логіки

Створення ефективної мережі зарядних станцій для електротранспорту є складним завданням, яке вимагає врахування багатьох взаємопов'язаних факторів, таких як транспортні потоки, густота населення, потужності електромережі, прогнозоване зростання попиту та економічна доцільність. Традиційні математичні моделі проектування часто стикаються з труднощами в умовах нечітко визначених даних або багатофакторної взаємодії, що ускладнює прийняття оптимальних рішень. Наприклад, реальні транспортні потоки та рівень використання зарядних станцій значною мірою залежать від поведінкових характеристик користувачів, які складно точно оцінити [13].

Методи нечіткої логіки є перспективним інструментом для вирішення таких задач, оскільки вони дозволяють працювати з неповними, неточними або розмитими даними, забезпечуючи при цьому прийняття раціональних рішень. Нечітка логіка дозволяє моделювати процеси на основі правил "якщо-то", які відображають реальні сценарії прийняття рішень за умов невизначеності. Наприклад, замість жорстких меж, таких як "густина населення більше 5000 осіб/км²", використовуються функції належності, які дозволяють визначати рівень придатності території для розміщення зарядної станції з урахуванням плавного переходу між значеннями.

Основними перевагами нечіткої логіки у вирішенні багатофакторних задач є її здатність моделювати складні системи без необхідності детального математичного опису. Цей підхід дозволяє враховувати багатовимірні параметри, які можуть впливати на вибір розташування зарядних станцій, наприклад, транспортну доступність, середній час заряджання, вплив на електромережу та екологічні фактори. Крім того, нечітка логіка забезпечує адаптивність системи, дозволяючи змінювати параметри моделі у відповідь на зміну зовнішніх умов [14].

Таким чином, використання методів нечіткої логіки для проектування мережі зарядних станцій є доцільним через їхню здатність працювати з багатофакторними задачами, неповними даними та змінними умовами, забезпечуючи при цьому прийняття ефективних рішень. Це дозволяє створити

гнучку та адаптивну інфраструктуру, яка відповідає сучасним потребам електромобільності.

4.1.1. Опис вхідних параметрів моделі для проектування мережі зарядних станцій

Проектування мережі зарядних станцій із використанням методів нечіткої логіки базується на врахуванні кількох основних вхідних параметрів, які суттєво впливають на розташування та потужність станцій. Ці параметри включають транспортні потоки, рівень населеності та енергетичні можливості електромережі. Кожен із них є нечітким, оскільки не завжди може бути визначений точно, але має суттєве значення для формування оптимальної моделі.

Транспортні потоки

Транспортний потік є одним із ключових параметрів, який визначає необхідність розміщення зарядних станцій у певній зоні. Він характеризується інтенсивністю руху транспортних засобів у межах визначеної території протягом заданого часу. Для оцінки цього параметра використовуються дані з дорожніх датчиків, GPS-трекерів, мобільних додатків і транспортних моделей. У рамках нечіткої моделі транспортний потік визначається через функцію належності, яка оцінює ймовірність високої, середньої або низької інтенсивності руху [15].

Математично функція належності транспортного потоку може бути задана як:

$$\mu_T(x) = \begin{cases} 0, & x \leq T_{\min}, \\ \frac{x - T_{\min}}{T_{\text{opt}} - T_{\min}}, & T_{\min} < x < T_{\text{opt}}, \\ 1, & x \geq T_{\text{opt}}, \end{cases} \quad (4.1)$$

де x — інтенсивність руху, $T_{\min}$ — мінімальний поріг потоку, T_{opt} — оптимальна інтенсивність.

Рівень населеності

Густота населення є важливим критерієм для розміщення зарядних станцій у міських районах. Цей параметр визначає кількість потенційних користувачів зарядних станцій у певній зоні. У рамках моделі густота населення оцінюється через демографічні дані, включаючи розподіл населення за житловими зонами та рівень автомобілізації. Для нечіткої моделі рівень населеності подається як розмитий параметр із градаціями, наприклад, "низький", "середній" і "високий", кожна з яких має відповідну функцію належності.

Функція належності рівня населеності може бути описана трикутною функцією:

$$\mu_H(y) = \max\left(0, \min\left(\frac{y-H_{\min}}{H_{\text{med}}-H_{\min}}, \frac{H_{\max}-y}{H_{\max}-H_{\text{med}}}\right)\right), \quad (4.2)$$

де y — густота населення, $H_{\min}$, H_{med} , $H_{\max}$ — мінімальна, середня та максимальна густота відповідно.

Енергетичні можливості мережі

Цей параметр визначає здатність існуючої електромережі забезпечувати необхідну потужність для роботи зарядних станцій. Враховуються такі характеристики, як доступна потужність, стабільність напруги та рівень резервів. Енергетичні можливості мережі є критичними, оскільки перевантаження може призводити до збоїв у роботі інфраструктури. У нечіткій моделі можливості мережі класифікуються за рівнями: "обмежені", "середні" та "високі". Кожен із цих рівнів описується функцією належності, яка враховує обсяг доступної потужності та технічні характеристики мережі.

Залежність функції належності для енергетичних можливостей може бути виражена як:

$$\mu_E(z) = e^{-\left(\frac{z-E_{\text{opt}}}{\sigma}\right)^2}, \quad (4.3)$$

де z — доступна потужність мережі, E_{opt} — оптимальна потужність, σ — параметр ширини функції.

Таким чином, вхідні параметри транспортних потоків, рівня населеності та енергетичних можливостей мережі формують базу для побудови нечіткої моделі проектування мережі зарядних станцій. Вони забезпечують гнучкість і адаптивність моделі до реальних умов, дозволяючи враховувати складність і взаємозв'язки між різними аспектами інфраструктури.

4.1.2. Визначення функцій належності для нечітких параметрів

У рамках методів нечіткої логіки основою для моделювання є визначення функцій належності, які відображають ступінь належності вхідних параметрів до визначених лінгвістичних термів, таких як "низький", "середній" або "високий". Ці функції дозволяють обробляти нечітко визначені або розмиті дані, що характерно для складних задач, таких як проектування мережі зарядних станцій. Для кожного з вхідних параметрів — транспортних потоків, рівня населеності та енергетичних можливостей мережі — формуються свої функції належності [16].

Функція належності для транспортних потоків

Транспортний потік є одним із ключових параметрів, який характеризує інтенсивність руху в зоні потенційного розташування зарядної станції. Для цього параметра використовуються три лінгвістичні терми: "низький", "середній" і "високий". Вибір типу функції належності залежить від особливостей

транспортної мережі, але часто застосовуються трикутні або трапецієподібні функції, які забезпечують плавні переходи між термами.

Наприклад, трикутна функція належності для терма "низький" може бути задана як:

$$\mu_{\text{низький}}(x) = \max\left(0, \min\left(\frac{x-T_{\min}}{T_{\text{opt}}-T_{\min}}, \frac{T_{\text{opt}}-x}{T_{\text{opt}}-T_{\min}}\right)\right), \quad (4.4)$$

де x — інтенсивність потоку, $T_{\min}$ і T_{opt} — нижня і верхня межі транспортного потоку, які відповідають оптимальному діапазону.

Функція належності для рівня населеності

Густота населення впливає на кількість потенційних користувачів зарядних станцій. Для цього параметра також використовуються терми "низький", "середній" і "високий". У цьому випадку функції належності можуть бути трикутними або гаусівськими, що забезпечує плавне представлення демографічних даних.

Гаусівська функція належності для терма "високий" може бути задана як:

$$\mu_{\text{високий}}(y) = e^{-\left(\frac{y-H_{\text{опт}}}{\sigma}\right)^2}, \quad (4.5)$$

де y — густота населення, $H_{\text{опт}}$ — оптимальний рівень густоти населення, σ — параметр ширини функції, який регулює розмитість меж терма.

Функція належності для енергетичних можливостей мережі

Енергетичні можливості мережі є критичним параметром, який визначає здатність мережі забезпечити роботу зарядних станцій без перевантаження. Для цього параметра використовуються терми "обмежені", "середні" і "високі". Тут також доцільно застосовувати трапецієподібні або трикутні функції належності.

Трапецієподібна функція для терма "обмежені" може бути задана як:

$$\mu_{\text{обмежені}}(z) = \begin{cases} 1, & z \leq E_{\min}, \\ \frac{E_{\text{opt}}-z}{E_{\text{opt}}-E_{\min}}, & E_{\min} < z < E_{\text{opt}}, \\ 0, & z \geq E_{\text{opt}}, \end{cases} \quad (4.6)$$

де z — доступна потужність мережі, $E_{\min}$ і E_{opt} — межі діапазону, в якому мережа працює в умовах обмежених можливостей.

Функції належності дозволяють формалізувати нечіткі поняття та використовувати їх для моделювання процесу прийняття рішень. Параметри цих функцій можуть бути налаштовані на основі експертних оцінок або статистичних даних, що забезпечує адаптивність моделі до конкретних умов проектування мережі зарядних станцій. Це забезпечує гнучкість і точність в оцінці реальних

умов, дозволяючи оптимально враховувати складність і варіативність вхідних даних.

4.1.3. Формалізація мети проектування як оптимізаційної задачі

Проектування мережі зарядних станцій для населених пунктів із використанням методів нечіткої логіки формалізується як оптимізаційна задача, що має на меті знайти найкраще розташування, кількість і потужність зарядних станцій. Оптимізація базується на множині критеріїв, таких як мінімізація витрат, максимізація доступності станцій для користувачів, забезпечення стабільності роботи електромережі та врахування екологічних факторів.

Для формалізації задачі вводяться основні компоненти: вхідні параметри, цільова функція, обмеження та метод вирішення.

Вхідними параметрами задачі є:

- $T(x)$: інтенсивність транспортного потоку в зоні xxx;
- $N(y)$: густота населення в зоні ууу;
- $E(z)$: доступна потужність мережі в зоні zzz;
- $C(x,y,z)$: вартість будівництва та експлуатації зарядної станції;
- $D(x,y)$: відстань між зарядною станцією та користувачами.

Цільова функція формалізує мету проектування як багатокритерійну оптимізацію. Для спрощення формується єдина агрегована функція:

$$F(x, y, z) = \alpha_1 \cdot \min C(x, y, z) + \alpha_2 \cdot \max A(x, y) + \alpha_3 \cdot \min D(x, y) + \alpha_4 \cdot \max S(z), \quad (4.7)$$

де:

- $A(x,y)$ — доступність зарядних станцій для користувачів;
- $S(z)$ — стабільність роботи мережі;
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ — вагові коефіцієнти, що визначають пріоритети кожного критерію.

Задача має відповідати технічним і соціально-економічним обмеженням, які формалізуються у вигляді системи нерівностей:

1. $E(z) \geq P_{\min}$, де $P_{\min}$ — мінімальна потужність, необхідна для роботи станції.
2. $D(x,y) \leq D_{\max}$, де $D_{\max}$ — максимальна відстань, яку користувач готовий подолати для доступу до станції.
3. $C(x,y,z) \leq B$, де B — доступний бюджет для проекту.
4. $N(y) \geq N_{\text{threshold}}$, де $N_{\text{threshold}}$ — мінімальна густота населення для доцільності встановлення станції.

Для розв'язання оптимізаційної задачі використовується алгоритм на основі нечіткої логіки, який генерує рішення за допомогою правил "якщо-то".

Нечіткі вхідні параметри $T(x)$, $N(y)$ та $E(z)$ переводяться у вихідні оцінки через базу правил, наприклад: якщо $T(x)$ високий, $N(y)$ середній, а $E(z)$ високий, то станція повинна бути розміщена з високим пріоритетом.

Процес оптимізації включає фазифікацію (переведення чітких даних у нечіткі), обробку через базу правил, дефазифікацію (переведення нечітких результатів у чіткі значення) та оцінку цільової функції.

Таким чином, формалізація мети проектування як оптимізаційної задачі дозволяє врахувати всі необхідні аспекти проектування та забезпечує створення ефективної, економічно доцільної і стабільної мережі зарядних станцій.

4.1.4. Опис етапів побудови моделі проектування мережі зарядних станцій із використанням методів нечіткої логіки

Проектування мережі зарядних станцій з використанням методів нечіткої логіки включає кілька послідовних етапів. Кожен етап забезпечує формування і оптимізацію моделі, враховуючи багатофакторний характер задачі, невизначеність і розмитість вхідних даних.

Етап 1: Збір та обробка вхідних даних

На цьому етапі збираються дані про транспортні потоки, густоту населення, доступні енергетичні ресурси та інші релевантні параметри. Використовуються геоінформаційні системи (GIS), демографічні дослідження, дані моніторингу трафіку та технічні характеристики електромереж. Отримані дані нормалізуються та перетворюються у формат, придатний для обробки методом нечіткої логіки.

Етап 2: Фазифікація вхідних параметрів

Фазифікація полягає в переведенні чітких значень вхідних параметрів у нечіткі множини за допомогою функцій належності. Для кожного параметра — транспортного потоку, густоти населення та енергетичних можливостей — визначаються відповідні лінгвістичні терми, наприклад, "низький", "середній", "високий". Для кожного терма будується функція належності, яка задає ступінь належності конкретного значення до терма. Цей етап дозволяє враховувати розмитість і неповноту вхідних даних.

Етап 3: Формування бази нечітких правил

На основі вхідних параметрів та їхніх лінгвістичних термів створюється база правил типу "якщо-то". Наприклад, правило може мати вигляд: "Якщо транспортний потік високий і густота населення висока, а енергетичні можливості середні, то встановити зарядну станцію з високим пріоритетом". Ці

правила формуються за допомогою експертного аналізу або статистичних даних і описують процес прийняття рішень у нечіткій системі.

Етап 4: Нечіткий висновок

На цьому етапі здійснюється обробка вхідних даних через базу правил. Для кожного правила визначається ступінь виконання, після чого обчислюється вихідна оцінка шляхом агрегування результатів усіх правил. Для цього використовуються методи нечіткого висновку, такі як Мамдані або Сугено.

Етап 5: Дефазифікація

Дефазифікація полягає у переведенні нечітких вихідних оцінок у чіткі значення, які можуть бути використані для прийняття рішень. Наприклад, на основі отриманих значень визначається точне місце розташування зарядної станції, її потужність або інші параметри. Серед методів дефазифікації найчастіше використовується метод центру ваги.

$$y_{\text{чітке}} = \frac{\int y \mu(y) \cdot y \, dy}{\int y \mu(y) \, dy}, \quad (4.8)$$

де y — чітке значення вихідного параметра, $\mu(y)$ — функція належності вихідного параметра.

Етап 6: Оцінка та валідація моделі

Останнім етапом є перевірка точності та адекватності моделі. Порівнюються результати, отримані моделлю, з реальними даними або рішеннями, прийнятими експертами. У разі виявлення розбіжностей параметри моделі та бази правил коригуються для досягнення більшої точності.

Таким чином, етапи побудови моделі проектування мережі зарядних станцій із використанням методів нечіткої логіки забезпечують комплексний підхід до вирішення задачі, дозволяючи враховувати багатфакторність і невизначеність реальних умов.

4.1.5. Використання нечітких правил для прийняття рішень

Нечіткі правила є ключовим елементом методу нечіткої логіки, який дозволяє здійснювати прийняття рішень на основі розмитих вхідних параметрів. Правила базуються на формулі "якщо-то" і створюють зв'язок між вхідними параметрами моделі та очікуваними результатами. У контексті проектування мережі зарядних станцій ці правила допомагають визначити, де розміщувати станції, яку потужність обирати та які зони мають пріоритет для розвитку інфраструктури.

Нечітке правило складається з двох частин: умовної частини (якщо) і дії (то). Наприклад, правило може виглядати так: "Якщо транспортний потік

високий, густота населення середня, а енергетичні можливості високі, то розташування зарядної станції є пріоритетним."

Кожен вхідний параметр має свої лінгвістичні терми, які описують його розмитий стан. Наприклад, для транспортного потоку терми можуть бути "низький", "середній" і "високий". Для енергетичних можливостей — "обмежені", "середні" і "високі".

Кожне правило обробляється в кілька етапів:

1. Оцінка ступеня виконання умов

Визначається, наскільки кожен вхідний параметр задовольняє умову правила. Для цього використовуються функції належності, які визначають ступінь відповідності значення параметра його лінгвістичному терму. Наприклад, якщо транспортний потік становить $x=700$ машин/год, а функція належності для "високий" транспортний потік визначена як:

$$\mu_{\text{високий}}(x) = \frac{x - T_{\text{серед}}}{T_{\text{макс}} - T_{\text{серед}}}, \quad (4.9)$$

то ступінь виконання умови може бути обчислена.

2. Агрегація умов

Якщо правило має кілька умов, їх виконання об'єднується за допомогою логічних операцій. Для нечіткої логіки найчастіше використовуються операції "AND" (перетин) та "OR" (об'єднання). Наприклад, для операції "AND" обирається мінімальне значення ступенів виконання умов.

3. Визначення вихідного значення

На основі ступеня виконання умов обчислюється вихідна функція належності для результату. Якщо результатом є "високий пріоритет", то ця функція належності описує, наскільки значення відповідає цьому терму. Розглянемо правило "Якщо транспортний потік високий, а густота населення низька, то встановлення зарядної станції має середній пріоритет." Для конкретних значень транспортного потоку $x=700$ і густоти населення $y=50$, функції належності можуть бути визначені як:

$$\mu_{\text{високий}}(x) = 0.8, \quad \mu_{\text{низький}}(y) = 0.6.$$

Оскільки умови з'єднані логічним "AND", ступінь виконання правила становить:

$$\mu_{\text{правило}} = \min(0.8, 0.6) = 0.6.$$

Це значення використовується для визначення ступеня належності результату "середній пріоритет".

Якщо в моделі використовується кілька правил, їх результати агрегуються, щоб визначити загальний вихід системи. Для цього застосовується операція об'єднання функцій належності для кожного результату. Наприклад, якщо два правила дають результати з різними ступенями належності для "середнього пріоритету", функція належності об'єднується, щоб врахувати обидва впливи.

Використання нечітких правил забезпечує адаптивність моделі проектування мережі зарядних станцій до складних і невизначених умов. Вони дозволяють враховувати взаємозв'язки між різними параметрами і приймати раціональні рішення, навіть коли дані є нечіткими або неповними. Цей підхід є важливою складовою системи проектування, що базується на нечіткій логіці.

4.1.6. Програмна реалізація алгоритму проектування мережі зарядних станцій із використанням методів нечіткої логіки

Програмна реалізація алгоритму проектування базується на побудові системи, яка автоматизує етапи обробки вхідних даних, застосування нечітких правил і прийняття рішень. Алгоритм, представлений у роботі, реалізований за допомогою мови програмування Python, яка має бібліотеки для роботи з нечіткими системами. Розглянемо основні етапи програмної реалізації.

1. Ініціалізація даних

На цьому етапі задаються вхідні параметри, зібрані із зовнішніх джерел, таких як транспортні моделі, демографічні дані та технічні характеристики мережі. Дані зберігаються у форматах, зручних для обробки, таких як JSON або CSV. Фрагмент коду для ініціалізації даних наступний:

```
python
input_data = {
    "transport_flow": 700, # машин/год
    "population_density": 1500, # осіб/км²
    "energy_capacity": 50 # кВт
}
```

 Копіювати код

2. Фазифікація вхідних параметрів

Фазифікація передбачає перетворення чітких значень вхідних параметрів у нечіткі множини через функції належності. Наприклад, для параметра "густота населення" можуть використовуватися три терми: "низький", "середній" і "високий". Фрагмент коду для реалізації функції належності в Python:

python

 Копіювати код

```
def triangular_membership(value, a, b, c):
    if value <= a or value >= c:
        return 0
    elif a <= value <= b:
        return (value - a) / (b - a)
    elif b <= value <= c:
        return (c - value) / (c - b)
```

3. Формування нечіткої бази правил

База правил задається у вигляді набору умов "якщо-то", які визначають взаємозв'язки між вхідними параметрами та вихідними рішеннями. Фрагмент коду для формування нечіткої бази правил:

python

 Копіювати код

```
rules = [
    {"conditions": {"transport_flow": "high", "population_density": "medium"},
     "output": "medium_priority"},
    {"conditions": {"transport_flow": "low", "energy_capacity": "high"},
     "output": "low_priority"}
]
```

4. Обробка нечітких правил

Обробка правил передбачає обчислення ступеня виконання кожного правила, використовуючи значення функцій належності. Логічні операції "AND" і "OR" реалізуються через мінімальні та максимальні значення. Фрагмент коду для обчислення виконання правила:

python

 Копіювати код

```
def apply_rule(rule, fuzzified_inputs):
    conditions = rule["conditions"]
    degrees = [fuzzified_inputs[param][term] for param, term in conditions.items()]
    return min(degrees) # AND operation
```

5. Дефазифікація

На основі результатів правил обчислюється чітке значення вихідного параметра. Для цього використовується метод центру ваги. Фрагмент коду для реалізації дефазифікації:

python

 Копіювати код

```
def defuzzify(output_values, memberships):
    numerator = sum(value * memberships[value] for value in output_values)
    denominator = sum(memberships.values())
    return numerator / denominator
```

6. Візуалізація результатів

Результати моделі виводяться у вигляді таблиць, графіків або інтерактивних карт. Для цього можуть використовуватися бібліотеки візуалізації, такі як Matplotlib або Plotly. Фрагмент коду для візуалізації результатів з використанням бібліотеки Matplotlib:

python

 Копіювати код

```
import matplotlib.pyplot as plt

# Приклад вихідних значень
results = {"low_priority": 0.2, "medium_priority": 0.5, "high_priority": 0.3}
plt.bar(results.keys(), results.values())
plt.xlabel("Пріоритети")
plt.ylabel("Ступінь виконання")
plt.title("Результати дефазифікації")
plt.show()
```

Програмна реалізація забезпечує автоматизацію всіх етапів моделювання: від обробки вхідних даних до візуалізації результатів. Такий підхід дозволяє ефективно використовувати методи нечіткої логіки для проектування мережі зарядних станцій, враховуючи всі особливості завдання. Це забезпечує адаптивність системи до змін у вхідних даних і високу точність прийняття рішень.

4.1.7. Переваги розробленої методики порівняно з традиційними підходами та перспективи її подальшого вдосконалення

Розроблена методика проектування мережі зарядних станцій із використанням методів нечіткої логіки має низку переваг, які вигідно відрізняють її від традиційних підходів. Основною перевагою є здатність працювати з розмитими, неповними або неточними даними. Це забезпечує більш реалістичне моделювання умов, у яких розташовуються зарядні станції, враховуючи багатофакторний характер задачі. На відміну від класичних методів,

які вимагають чітких значень параметрів і використовують жорсткі критерії, нечітка логіка дозволяє будувати моделі, які адаптуються до реальних умов.

Методика враховує взаємозв'язки між ключовими параметрами, такими як транспортні потоки, густота населення та енергетичні можливості мережі. Завдяки цьому можна забезпечити оптимальне розташування зарядних станцій, зменшуючи витрати на будівництво і експлуатацію, водночас підвищуючи їх доступність для користувачів. Крім того, використання нечітких правил для прийняття рішень дозволяє моделі бути більш гнучкою, що особливо важливо в умовах швидких змін, таких як зростання кількості електромобілів або зміна енергетичних політик.

Ще однією значною перевагою є можливість інтеграції з сучасними інструментами управління, такими як інтелектуальні енергетичні мережі (Smart Grid) та геоінформаційні системи (GIS). Це дозволяє підвищити точність моделювання, враховувати локальні умови та забезпечувати оптимальну інтеграцію зарядної інфраструктури з існуючою електромережею.

Подальше вдосконалення методики передбачає кілька перспективних напрямків. Один із ключових шляхів — інтеграція методів машинного навчання для автоматичного налаштування функцій належності та оптимізації бази нечітких правил. Це дозволить зменшити залежність від експертних оцінок і підвищити точність моделювання завдяки аналізу великих обсягів даних.

Ще одним важливим напрямком є розширення моделі за рахунок додаткових параметрів, таких як екологічні показники, прогнозоване зростання попиту на електромобілі та економічні фактори. Це зробить модель більш комплексною і дозволить забезпечити довгострокову ефективність мережі.

Інтеграція з розумними енергетичними мережами (Smart Grid) і розвиток функцій Vehicle-to-Grid (V2G) також є перспективним напрямком. Це дозволить зарядним станціям не лише споживати енергію, але й підтримувати електромережу в умовах пікових навантажень, що підвищить їхню економічну ефективність і надійність.

Розробка програмного забезпечення для автоматизації процесу проектування і візуалізації результатів є ще одним перспективним кроком. Створення інтерактивних інструментів для моделювання дозволить швидко адаптувати модель до різних сценаріїв, що стане корисним для інженерів і планувальників.

Таким чином, запропонована методика має значний потенціал для подальшого вдосконалення, що дозволить ще більше підвищити її ефективність

та адаптивність до умов сучасної інфраструктури електромобільності. Це сприятиме сталому розвитку транспортної системи та енергетичних мереж у майбутньому.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Система управління охороною праці. Принципи та функції

Управління охороною праці є невід'ємною частиною сучасного виробництва, яка забезпечує безпеку працівників, мінімізує виробничий травматизм і підвищує ефективність робочих процесів. Основні принципи управління охороною праці базуються на системності, оптимальності, динамічності, наступності та стандартизації. Ці принципи формують основу для створення інтегрованої системи, яка дозволяє ефективно координувати дії всіх учасників виробничого процесу. Принцип системності передбачає, що всі процеси безпеки розглядаються у взаємозв'язку з технологіями виробництва, що забезпечує їхню взаємну інтеграцію [17].

На виробництві управління охороною праці включає створення єдиної системи стандартів, яка охоплює всі рівні управління — від стратегічного до локального. Організаційно-функціональна схема управління базується на координаційній ролі відділу охорони праці, який здійснює контроль та аналіз відповідності процесів встановленим стандартам. Основні функції цього відділу включають прогнозування, планування, збір інформації про стан умов праці, розробку заходів безпеки та моніторинг їх виконання. Державні органи також відіграють ключову роль у забезпеченні охорони праці, впроваджуючи національні та галузеві програми, які спрямовані на зниження рівня аварійності, професійних захворювань та травматизму.

Одним із важливих елементів системи управління є багаторівнева ієрархія, яка включає галузеві, корпоративні, виробничі та локальні рівні. На рівні підприємства керівники структурних підрозділів спільно із службою охорони праці забезпечують виконання заходів безпеки. Для цього використовується комплекс методів: організаційно-розпорядчі, соціально-психологічні та економічні. Важливим є підхід до інтеграції охорони праці в управлінську діяльність компанії, що дозволяє підвищити її ефективність. Наприклад, впровадження сучасних систем автоматизації процесів контролю умов праці дозволяє знизити вплив людського фактора та прискорити ідентифікацію проблем [18].

На практиці охорона праці охоплює розробку планів із забезпечення безпеки, які враховують специфіку виробничого середовища. Це можуть бути заходи з механізації та автоматизації процесів, ліквідації ручної праці,

покращення вентиляції, впровадження інструментів для зменшення фізичного навантаження на працівників. Важливим аспектом є створення комфортних робочих місць, що включає забезпечення оптимальної освітленості, шумоізоляції та мікроклімату.

Ефективність системи управління охороною праці значною мірою залежить від фінансування та економічного стимулювання. На рівні підприємств створюються фонди охорони праці, які фінансують реалізацію заходів із забезпечення безпеки. У державному масштабі такі фонди спрямовуються на наукові дослідження, впровадження нових технологій та заохочення трудових колективів, які досягають значних успіхів у підвищенні рівня безпеки. Окрім цього, система включає матеріальне та моральне стимулювання працівників, які активно беруть участь у поліпшенні умов праці.

Таким чином, система управління охороною праці є багаторівневим механізмом, що забезпечує безпеку та комфорт працівників на всіх етапах виробництва. Її основні принципи та функції спрямовані на створення умов для стабільної роботи підприємств із мінімальними ризиками для здоров'я працівників. Це досягається завдяки взаємодії організаційних, технічних та економічних заходів, що інтегровані в загальну стратегію управління підприємством.

Для забезпечення високої ефективності системи охорони праці важливим є застосування сучасних підходів до управління, які включають використання інформаційно-аналітичних інструментів. Одним із таких інструментів є цифрові платформи для моніторингу стану умов праці, які дозволяють у режимі реального часу аналізувати параметри робочого середовища, такі як температура, вологість, рівень шуму, концентрація шкідливих речовин у повітрі. Дані, зібрані цими платформами, дозволяють оперативно реагувати на зміни умов праці та запобігати виникненню небезпечних ситуацій.

Особливу увагу приділяють плануванню заходів із попередження професійних ризиків. Це включає аналіз потенційних загроз, ідентифікацію небезпечних факторів та розробку заходів для їхньої мінімізації. Наприклад, впровадження систем раннього попередження може допомогти уникнути аварій або значно зменшити їхній вплив. Такі системи базуються на прогностичних моделях, які враховують специфіку виробничих процесів і можливі ризики.

Одним із ключових завдань служби охорони праці є навчання працівників і формування у них відповідального ставлення до дотримання правил безпеки. Навчальні програми включають проведення інструктажів, тренінгів та перевірки

знань з охорони праці. Використання віртуальної реальності (VR) для моделювання небезпечних ситуацій дозволяє працівникам практикувати свої навички у безпечному середовищі, що підвищує ефективність навчання.

Контроль за виконанням вимог охорони праці є ще одним важливим аспектом. На підприємствах впроваджуються регулярні аудити, під час яких перевіряється відповідність робочих місць встановленим стандартам безпеки. Особливу увагу приділяють аналізу причин виробничого травматизму, що дозволяє ідентифікувати слабкі місця системи безпеки і вживати необхідних заходів для їхнього усунення.

Важливим елементом є стимулювання працівників за активну участь у заходах із покращення умов праці. Це можуть бути як матеріальні заохочення, так і моральне визнання, наприклад, відзначення найкращих працівників у сфері безпеки праці на корпоративному рівні. Такий підхід сприяє формуванню культури безпеки, де кожен працівник усвідомлює важливість своєї ролі у забезпеченні безпечного середовища.

Таким чином, сучасна система управління охороною праці — це не лише дотримання встановлених стандартів, але й активне впровадження інновацій, які підвищують ефективність управлінських рішень. Це дозволяє не тільки знизити рівень травматизму, але й створити сприятливі умови для продуктивної праці. Інтеграція сучасних підходів і технологій є запорукою сталого розвитку підприємств та збереження здоров'я працівників.

Ще одним важливим аспектом системи управління охороною праці є її інтеграція з корпоративною культурою підприємства. Формування культури безпеки вимагає, щоб охорона праці стала частиною загальної стратегії компанії, а її цінності були поділені всіма працівниками — від керівництва до робітників. Це досягається завдяки відкритій комунікації, навчальним кампаніям і постійному наголошенню на важливості дотримання правил безпеки. Впровадження принципу "нульового травматизму" стає не лише завданням керівництва, але й особистою відповідальністю кожного співробітника.

Система управління охороною праці повинна передбачати гнучкість і адаптивність до змін. Наприклад, зміни у виробничих процесах, впровадження нових технологій або розширення підприємства можуть створювати нові ризики. Для їхньої ідентифікації та оцінки доцільно використовувати інструменти оцінки ризиків (Risk Assessment), які дозволяють прогнозувати потенційні небезпеки та розробляти відповідні заходи для їхньої мінімізації.

Управління охороною праці також потребує інтеграції з міжнародними стандартами, такими як ISO 45001, які встановлюють вимоги до систем управління здоров'ям і безпекою на робочих місцях. Використання цих стандартів дозволяє підприємству діяти відповідно до найкращих світових практик, що особливо важливо для компаній, які працюють на міжнародних ринках. Сертифікація за цими стандартами не лише підвищує рівень безпеки, але й сприяє зміцненню репутації компанії серед партнерів і клієнтів.

Ефективна система управління охороною праці повинна також враховувати аспекти психологічного благополуччя працівників. Напружені робочі умови, стрес та висока відповідальність можуть негативно впливати на здоров'я співробітників і знижувати їхню продуктивність. Тому доцільно впроваджувати програми зниження стресу, створювати комфортне робоче середовище та забезпечувати підтримку у складних ситуаціях. Важливим елементом є доступ до консультацій із психологами та регулярні опитування працівників для оцінки їхнього психоемоційного стану.

Окрім цього, система управління охороною праці повинна враховувати перспективні напрямки розвитку, такі як використання технологій інтернету речей (IoT) для моніторингу стану умов праці в реальному часі. Датчики, інтегровані у виробниче обладнання, можуть передавати дані про можливі ризики, такі як перевищення рівня шуму, підвищення температури чи наявність шкідливих речовин у повітрі. Це дозволяє миттєво реагувати на відхилення від нормативів і запобігати аваріям або травмам.

Таким чином, подальший розвиток системи управління охороною праці повинен бути спрямований на впровадження сучасних технологій, формування культури безпеки та інтеграцію з міжнародними стандартами. Це забезпечить не лише зниження рівня травматизму, але й створить умови для ефективної, комфортної та безпечної роботи кожного співробітника.

5.2 Концепція захисту населення і територій під час надзвичайних ситуацій: принципи та реалізація

Захист населення і територій під час надзвичайних ситуацій є одним із ключових завдань державної політики та органів управління різного рівня. Це питання набуває особливої актуальності в умовах зростання кількості надзвичайних ситуацій природного, техногенного, соціально-політичного та воєнного характеру. Концепція захисту населення базується на системному

підході, який враховує всі можливі загрози, масштаби впливу, а також ресурси, необхідні для їх мінімізації та ліквідації наслідків [19].

Основою концепції є національна стратегія, яка передбачає комплекс заходів із попередження надзвичайних ситуацій, захисту людей і територій, забезпечення стійкості функціонування об'єктів критичної інфраструктури та оперативного реагування на надзвичайні події. Принципи концепції включають законодавче забезпечення, систематичний моніторинг, прогнозування можливих загроз, навчання населення та координацію дій органів управління і рятувальних служб.

Одним із ключових елементів системи є класифікація надзвичайних ситуацій за їхнім походженням та масштабами. До техногенних ситуацій належать аварії на промислових об'єктах, транспорті, інженерних мережах, викиди небезпечних речовин, руйнування будівель тощо. Природні надзвичайні ситуації включають стихійні лиха, небезпечні гідрометеорологічні явища, пожежі, епідемії та деградацію екосистем. Соціально-політичні та воєнні надзвичайні ситуації виникають внаслідок терористичних актів, збройних конфліктів, порушень громадського порядку чи загрози застосування зброї масового ураження. Такий підхід до класифікації дозволяє чітко визначити обсяг необхідних заходів залежно від типу надзвичайної ситуації.

Захист населення передбачає кілька основних компонентів: організацію оповіщення, забезпечення інженерного захисту, планування евакуаційних заходів, проведення рятувальних і невідкладних відновлювальних робіт, надання медичної допомоги та соціального захисту постраждалим. Особлива увага приділяється системам раннього оповіщення, які дозволяють інформувати населення про загрозу за допомогою сучасних технологій, таких як мобільні додатки, SMS-розсилки, гучномовці та радіомовлення. Це дозволяє швидко реагувати на можливу небезпеку та зменшувати її наслідки [20].

Інженерний захист включає будівництво та підтримку в готовності захисних споруд, таких як бомбосховища, укриття, захищені приміщення для евакуації. Крім того, особливу увагу приділяють створенню бар'єрів для запобігання стихійним лихам, таким як греблі для захисту від повеней чи протипожежні смуги. Ефективне функціонування цих систем вимагає регулярного моніторингу їхнього стану та проведення профілактичних робіт.

Евакуація є важливим елементом концепції захисту населення. Вона передбачає організацію переміщення людей із зон підвищеної небезпеки до безпечних місць, забезпечення їх харчуванням, медичною допомогою та

тимчасовим проживанням. Планування евакуаційних заходів включає визначення маршрутів, транспортних засобів, місць розміщення евакуйованих, а також забезпечення їхніх базових потреб на час кризи.

Медична допомога під час надзвичайних ситуацій охоплює надання екстреної медичної допомоги, організацію польових госпіталів, транспортування постраждалих і надання психологічної підтримки. У таких умовах важливо забезпечити не лише швидке реагування, але й готовність медичних установ працювати у складних обставинах.

Соціальний захист населення передбачає надання постраждалим матеріальної допомоги, компенсацій за втрачене майно, тимчасове житло, а також заходи реабілітації після кризових ситуацій. Цей компонент є важливим для відновлення нормального рівня життя населення та підтримки соціальної стабільності.

Ключовим елементом концепції є координація дій органів влади, рятувальних служб, громадських організацій і міжнародних партнерів. Органи місцевого самоврядування відіграють важливу роль у реалізації заходів захисту, оскільки вони найбільш наближені до населення і можуть оперативно реагувати на виклики. Рятувальні служби відповідають за виконання оперативних дій, таких як ліквідація наслідків аварій, евакуація та надання допомоги постраждалим.

Міжнародна співпраця є важливим компонентом системи захисту населення, оскільки надзвичайні ситуації часто мають транскордонний характер. Участь у глобальних ініціативах, таких як програми ООН, Міжнародного Червоного Хреста, дозволяє обмінюватися досвідом, отримувати технічну та фінансову підтримку для вирішення надзвичайних ситуацій.

Підготовка населення до дій у надзвичайних ситуаціях є невід'ємною частиною концепції. Навчання включає проведення інструктажів, тренувань, розробку рекомендацій і поширення інформаційних матеріалів. Це дозволяє підвищити обізнаність людей про потенційні загрози та сформувати алгоритм їхньої поведінки в екстрених умовах.

Таким чином, концепція захисту населення і територій під час надзвичайних ситуацій є багатокомпонентною системою, яка базується на взаємодії державних органів, рятувальних служб і населення. Вона охоплює комплекс заходів із попередження, мінімізації наслідків і відновлення після кризових подій. Інтеграція сучасних технологій, міжнародного досвіду та

активної участі громадян є запорукою ефективної реалізації цієї концепції, що забезпечує безпеку людей і стійкість суспільства до викликів сучасності.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У рамках виконаної роботи було розглянуто комплексний підхід до проектування мережі зарядних станцій для електричного транспорту із використанням сучасних методів аналізу та моделювання, зокрема методів нечіткої логіки. У першому розділі проаналізовано сучасний стан ринку електро- і гібридних транспортних засобів як у світі, так і в Україні. Було визначено основні тенденції зростання попиту на електромобілі, а також окреслено ключові виклики, пов'язані з розвитком інфраструктури заряджання. Цей аналіз показав, що створення ефективної зарядної мережі є невід'ємною частиною сталого розвитку електротранспорту.

2. У другому розділі детально розглянуто технічні аспекти електричних і гібридних транспортних засобів, а також режими заряджання їхніх акумуляторних батарей. Було класифіковано основні типи транспортних засобів (BEV, PHEV, HEV, EREV) та стандарти зарядних пристроїв (Type 1, Type 2, CHAdeMO, CCS). Це дозволило сформулювати технічну базу для розробки мережі зарядних станцій, враховуючи різноманітність потреб користувачів та технологічні можливості.

3. Третій розділ зосереджено на технічних рішеннях для реалізації зарядної інфраструктури. Проведено аналіз схемотехнічних підходів до підключення зарядних станцій до електромереж, враховуючи їх вплив на енергосистему, можливості використання накопичувальних систем енергії (ESS) та інтеграцію з інтелектуальними енергетичними мережами. Було визначено найефективніші топології підключення залежно від типу станції, її потужності та розташування.

4. У науково-дослідному розділі запропоновано методику проектування мережі зарядних станцій з використанням методів нечіткої логіки. В рамках розробленої методики були описані вхідні параметри, функції належності та сформульовано цільову функцію як оптимізаційну задачу. Розроблено алгоритм проектування, який включає фазифікацію, обробку нечітких правил, дефазифікацію та валідацію моделі. Програмна реалізація дозволила перевірити працездатність методики та підтвердити її ефективність.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. IEA. Global EV Outlook 2023: Trends and Developments in Electric Mobility. International Energy Agency, 2023. – Режим доступу: <https://www.iea.org>.
2. Electric Vehicle Outlook 2023. Bloomberg New Energy Finance, 2023. – Режим доступу: <https://about.bnef.com>.
3. McKinsey & Company. The Future of Mobility: Electric Vehicles and New Charging Infrastructure. McKinsey Insights, 2023. – Режим доступу: <https://www.mckinsey.com>.
4. Міронов Д.В. Конспект лекцій з дисципліни «Електричні та гібридні транспортні засоби» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» денної та заочної форми навчання / Укл.: Д.В. Міронов – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 154 с.
5. Міністерство енергетики України. Розвиток інфраструктури для електромобілів в Україні. Офіційний сайт Міненерго, 2023.
6. Husain, I. Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals. – CRC Press, 2021.
7. Larminie, J., Lowry, J. Electric Vehicle Technology Explained. – John Wiley & Sons, 2020.
8. Міронов Д.В. Електричні та гібридні транспортні засоби. Методичні вказівки до виконання практичних робіт / Д.В. Міронов, Тесля В.О. – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 65 с.
9. Технічний стандарт CHAdeMO: Офіційний сайт. – Режим доступу: <https://www.chademo.com>.
10. Combined Charging System (CCS): Technical Overview. European Alternative Fuels Observatory, 2023.
11. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Titova, L., Hrynkiv, A., Mironov, D., Volianskyi, M., Rogatynskyi, R., Solomka, O., Lysenko, S. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (3 (127)), 37–46.
12. Міронов Д.В. Електронне та мікропроцесорне обладнання автомобілів: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / Д.В. Міронов – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 62 с.
13. Zadeh, L. A. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. – Prentice Hall, 1996.

14. Klir, G. J., Yuan, B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Applications in Engineering. – Springer, 2020.
15. Jang, J.-S. R., Sun, C.-T., Mizutani, E. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. – Prentice Hall, 1997.
16. Камінський, А. І., Руденко, О. А. Використання нечіткої логіки для управління електромережами. – Енергетика України, 2022.
17. Техноекоелогія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»: навч. посібник / В.С. Стручок – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.
18. 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.
19. 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.
20. 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.