

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГИЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

КВАЛІФІКАЦІЙНА Р О Б О Т А

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **„ Удосконалення системи технічного обслуговування
електромобілів: особливості, проблеми, перспективи”**

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-62
Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)
Кричковський Ігор Володимирович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Василь РИС
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Олег МИРОНЮК
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГИЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Андрій ШАРИБУРА
“ 28 ” лютого 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

Кричковському Ігорю Володимировичу

1. Тема роботи: „ Удосконалення системи технічного обслуговування електромобілів: особливості, проблеми, перспективи ”

Керівник роботи: Рис Василь Іванович, к.т.н., доц.

Затверджена наказом по університету 28.02.2025 року № 140/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 05.12.2025 року.

3. Вихідні дані: Науково-технічна література з питань надійності автомобілів. Показники стану охорони праці в базовому підприємстві.

4. Перелік питань, які необхідно розробити

Вступ

1. РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

2. РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

3. РОЗДІЛ 3. ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Написання розділу: «Аналіз стану технічного обслуговування електромобілів»</i>	28.02.25-28.03.25	
2.	<i>Виконання розділу «Теоретичні основи удосконалення системи технічного обслуговування електромобілів»</i>	29.03 25-30.05.25	
3.	<i>Виконання розділу «Пропозиції щодо вдосконалення системи технічного обслуговування електромобілів»</i>	31.05.25-01.07.25	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці та захист довкілля»</i>	02.07.25-31.08.25	
5.	<i>Написання розділу: «Економічне обґрунтування та перспективи розвитку системи технічного обслуговування електромобілів»</i>	01.09.25-24.11.25	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	25.11.25-30.11.25	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	01.12.25-5.12.25	

Студент _____ Ігор КРИЧКОВСЬКИЙ
(підпис)

Керівник роботи _____ Василь РИС

УДК 629.3.082:629.331:620.9

Кричковський І.В. «Удосконалення системи технічного обслуговування електромобілів: особливості, проблеми, перспективи». Кваліфікаційна робота. Дубляни. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025. 62 с.

табл. 3; рис. 16; бібліогр. джерел 30.

У магістерській роботі розглянуто питання вдосконалення системи технічного обслуговування електромобілів на основі сучасних інформаційних технологій моніторингу, діагностики та прогнозування технічного стану. Проведено аналіз конструктивних особливостей електромобілів, відмінностей їх обслуговування порівняно з автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння, а також виявлено основні проблеми, що стримують розвиток сервісної інфраструктури в Україні.

Теоретичну частину роботи присвячено розробленню класифікації технічних впливів у системі ТО електромобіля, моделюванню процесів деградації тягової батареї та застосуванню телеметричних систем і технологій IoT для прогнозування відмов.

У практичній частині запропоновано структуру адаптивної системи технічного обслуговування, що базується на принципах Predictive Maintenance. Розроблено алгоритм визначення періодичності ТО на основі інтегрального показника технічного стану (ІТС), а також концепцію цифрового сервісу e-Service UA для взаємодії користувачів, СТО та хмарних аналітичних платформ.

Економічні розрахунки показали, що впровадження запропонованої системи забезпечує зменшення витрат на обслуговування до 25–30 %, підвищує надійність техніки та скорочує час простоїв. Окремо розглянуто питання безпеки праці під час виконання сервісних робіт і дій персоналу у надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: електромобіль, технічне обслуговування, телеметрія, діагностика, Predictive Maintenance, тягові батареї, енергосистема, IoT, e-Service.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ СТАНУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ	11
1.1. Особливості конструкції електромобіля.....	11
1.2. Порівняння систем ТО електромобілів і автомобілів із ДВЗ	12
1.3. Аналіз практик ТО у провідних виробників	14
1.4. Основні проблеми технічного обслуговування в Україні.....	16
Висновки до розділу 1	18
2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ	19
2.1. Класифікація технічних впливів у системі ТО електромобіля.....	19
2.2. Моделювання деградації енергетичних систем електромобіля	20
2.3. Використання діагностичних систем і технологій	22
2.4. Побудова математичної моделі прогнозування стану вузлів	25
Висновки до розділу 2	27
3. ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ	28
3.1. Розроблення структури адаптивної системи технічного обслуговування ...	28
3.2. Оптимізація періодичності обслуговування.....	30
3.3. Використання цифрових сервісів і мобільних додатків.....	32
3.4. Впровадження системи моніторингу в реальному часі	34
Висновки до розділу 3	36
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ	37
4.1. Структурно функціональний аналіз травмонебезпечних ситуацій впродовж виконання робіт	37
4.2. Моделювання виникнення травм та аварій	39
4.3. Розробка логічно-імітаційної моделі травм на виробництві	40
4.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях	45

4.5 Екологічна безпека та поводження з відходами	46
Висновки до розділу 4	48
5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ.....	49
5.1. Економічна ефективність системи діагностики на основі реальних даних .	49
5.2. Порівняння витрат на ТО електромобіля та автомобіля з ДВЗ.....	51
5.3. Прогноз розвитку сервісної інфраструктури.....	53
5.4. Перспективи інтеграції з «розумними» енергосистемами.....	54
Висновки до розділу 5	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

ВСТУП

Стрімкий перехід автомобільної галузі до електрифікації призводить до появи нового класу транспортних засобів — електромобілів, конструкція і принципи обслуговування яких відрізняються від традиційних автомобілів з двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ). У багатьох країнах світу саме електромобілі розглядають як ключовий інструмент для зменшення викидів парникових газів у секторі транспорту та зниження залежності від викопного палива.

Україна за останні роки також демонструє зростання кількості електромобілів, попри складні умови воєнного часу та енергетичний дефіцит. Дослідження розвитку електротранспорту в Україні за період 2010–2022 років показало, що темпи приросту кількості електромобілів у державі є вищими, ніж у низці розвинених автомобільних ринків, зокрема США та Японії. Це зростання створює потребу в окремій сервісній інфраструктурі: спеціалізованих станціях технічного обслуговування (СТО), мережі зарядних станцій, підготовці персоналу та стандартизації процедур безпечного ремонту високовольтних систем.

На відміну від автомобілів із ДВЗ, електромобіль має менше класичних механічних вузлів (немає паливної системи, мастила двигуна, фазорозподільних механізмів тощо), що загалом зменшує кількість регламентних операцій поточного сервісу. Але замість цього з'являються критично важливі вузли, які потребують спеціалізованого контролю: високовольтна тягово-акумуляторна батарея, інвертор, електродвигуни, система керування енергопотоками, система термкерування батареї та силової електроніки. Надійність саме цих компонентів визначає не лише безпеку руху, але й залишкову вартість автомобіля.

Одним із ключових факторів, що визначають довговічність електромобіля, є стан його тягової батареї. Сучасні дослідження показують, що втрата ємності батареї залежить від температури експлуатації, режимів

заряджання та глибини циклів заряду-розряду. Часте швидкісне (DC fast) заряджання, особливо при підвищених температурах, може прискорювати деградацію елементів та зменшувати доступний запас ходу; водночас удосконалені системи термочереування батареї в нових моделях значно зменшили цей ефект і дозволяють зберігати придатний стан батареї понад 10–15 років, іноді до 20 років експлуатації.

Крім того, низькі температури істотно знижують ефективність акумуляторів, спричиняючи падіння запасу ходу на 10–36 %, а також ускладнюючи швидке заряджання взимку. Це створює сезонні проблеми для власників та сервісів у регіонах із холодним кліматом, включно з Україною.

Попит на якісне технічне обслуговування електромобілів уже зараз перевищує пропозицію. Для прикладу, навіть власники масових моделей (типу Volkswagen ID.4) в Україні стикаються з тим, що діагностика високовольтної частини, заміна елементів батарейного модуля, ремонт інвертора або теплового насоса доступні лише в обмеженій кількості сервісних центрів. Сервісна інфраструктура для електромобілів у країні поки не є такою усталеною, як для машин з ДВЗ, що ускладнює експлуатацію в разі складніших відмов.

Окремою проблемою є відсутність єдиного підходу до планово-попереджувального обслуговування електромобіля. Якщо автомобілі з ДВЗ обслуговуються за чітко регламентованими інтервалами (ТО-1, ТО-2 тощо), то для електромобілів виробники поступово переходять до стратегії обслуговування «за станом» (condition-based maintenance). Вона передбачає використання телеметрії, вбудованих систем самодіагностики та хмарного моніторингу, які аналізують температуру елементів батареї, кількість швидких заряджання, глибину розряду, пікові струми тощо, і на цій основі визначають, коли автомобіль реально потребує втручання. Такий підхід зменшує непотрібні регламентні роботи, скорочує витрати власника і дає змогу прогнозувати відмову вузла до того, як вона стане критичною для безпеки.

Разом з тим, впровадження такої інтелектуальної системи технічного обслуговування в Україні гальмується низкою чинників:

- нестача кваліфікованих кадрів, навчених працювати з високовольтними системами понад 400–800 В;
- відсутність уніфікованих стандартів і нормативної бази саме для сервісу електричних силових установок;
- фрагментована зарядна інфраструктура (різні стандарти роз'ємів, різні політики білінгу, різна якість живлення), що ускладнює побудову єдиного сервісного циклу «стан акумулятора ↔ режим заряджання ↔ рекомендації з ТО»;
- вплив енергетичних коливань та локальних відключень електроенергії на можливість стабільного заряджання та передбачуваної експлуатації електромобіля. (luxoft.com)

Усе це свідчить, що електромобіль — це не просто інший тип приводу. Це інша філософія технічного обслуговування: від контролю стану батареї та термоджерування до кіберфізичної безпеки оновлень програмного забезпечення силових модулів. Тобто сервіс переходить із суто механічної площини в електротехнічну та цифрову.

Актуальність теми «Удосконалення системи технічного обслуговування електромобілів» зумовлена вибуховим ростом парку електромобілів, швидким старінням їхніх акумуляторних систем та відсутністю достатньо зрілої, стандартизованої сервісної інфраструктури в Україні. Саме питання правильно організованого технічного обслуговування напряду впливає на:

- безпеку експлуатації високовольтних систем;
- реальну вартість володіння електромобілем;
- довговічність тягової батареї (яка є найдорожчим компонентом авто);
- довіру користувачів до електротранспорту як до щоденного, а не «експериментального» виду транспорту.

Мета дослідження. Метою роботи є обґрунтування напрямів удосконалення системи технічного обслуговування електромобілів шляхом аналізу їхніх конструктивних особливостей, типових несправностей, режимів

деградації енергосистеми та сучасних підходів до сервісу на основі діагностики стану в реальному часі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати конструктивні особливості електромобіля та принципову відмінність його систем обслуговування від автомобілів із ДВЗ.
2. Визначити основні проблеми технічного обслуговування електромобілів у сучасних умовах експлуатації, зокрема в Україні.
3. Оцінити фактори деградації ключових вузлів електромобіля (тягової батареї, інвертора, електродвигуна, системи термочерування). ([ScienceDirect](#))
4. Розглянути можливості впровадження діагностики за станом (condition-based maintenance) із використанням телеметрії та аналітики даних. ([EY](#))
5. Запропонувати модель удосконаленої системи технічного обслуговування, яка враховує умови експлуатації, режими заряджання та індивідуальні параметри зношування.
6. Оцінити економічну доцільність упровадження такої системи для сервісних підприємств.

Об'єктом дослідження є система технічного обслуговування й діагностики електромобіля як комплексу взаємопов'язаних технічних, програмно-діагностичних та організаційних процедур.

Предметом дослідження є методи, засоби та організаційні підходи до удосконалення технічного обслуговування електромобілів, зокрема моніторинг стану тягової батареї та силової електроніки, оптимізація графіків ТО і впровадження цифрових сервісів підтримки.

Методи дослідження. У роботі застосовано:

- аналіз і узагальнення технічної та наукової літератури щодо експлуатації електромобілів;
- аналіз статистичних та ринкових даних щодо розвитку електромобільності та інфраструктури заряджання в Україні;

- елементи техніко-економічного порівняння вартості обслуговування електромобілів і традиційних автомобілів;
- системний підхід до формування моделі сервісу «за станом», що враховує деградацію акумулятора, режими заряджання, температурний вплив і можливі відмови силової електроніки.

Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні підходу до побудови адаптивної системи технічного обслуговування електромобіля, яка:

- базується не на фіксованих регламентних інтервалах пробігу, а на фактичних параметрах роботи вузлів;
- використовує телеметрію і хмарний аналіз даних для прогнозування стану батареї, електродвигуна й силової електроніки;
- може бути інтегрована в українську сервісну інфраструктуру, де поки що немає уніфікованих стандартів для ТО електромобілів.

Практичне значення дослідження полягає у можливості:

- зменшити вартість володіння електромобілем за рахунок запобігання передчасній заміні дорогих вузлів (насамперед батареї);
- підвищити рівень безпеки робіт із високовольтними системами на СТО;
- стандартизувати процедури діагностики та звітності стану електромобіля;
- створити умови для розвитку спеціалізованих сервісних центрів електротранспорту в Україні, включно з післягарантійним обслуговуванням імпортованих вживаних електромобілів.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

1.1. Особливості конструкції електромобіля

Електромобіль є транспортним засобом, рушійна сила якого забезпечується електродвигуном, що живиться від тягової акумуляторної батареї. На відміну від автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ), у конструкції електромобіля відсутні системи змащування, охолодження двигуна рідиною, паливна та вихлопна системи. Основними складовими є:

- тяговий акумуляторний блок (Traction Battery Pack) – забезпечує енергією електродвигуни;
- електродвигун (Motor Drive Unit) – перетворює електричну енергію в механічну;
- інвертор – змінює постійний струм батареї на змінний для живлення двигуна;
- редуктор – передає крутний момент до коліс;
- системи керування, рекуперації, термочерування, заряджання.

У більшості сучасних моделей (Tesla Model 3, Volkswagen ID.4, BYD Atto 3, Nissan Leaf) використовується модульна архітектура, де батарейний блок інтегрований у силову структуру шасі. Це зменшує масу автомобіля та підвищує жорсткість кузова, але ускладнює ремонт або заміну окремих модулів батареї.

Технічне обслуговування електромобіля фокусується на системах високої напруги (400–800 В), гальмівній системі, ходовій частині та стані програмного забезпечення. Більшість вузлів (наприклад, електродвигун і інвертор) не потребують традиційного ТО, але вимагають періодичної діагностики електричної ізоляції, перевірки герметичності системи охолодження і оновлення програмного забезпечення.

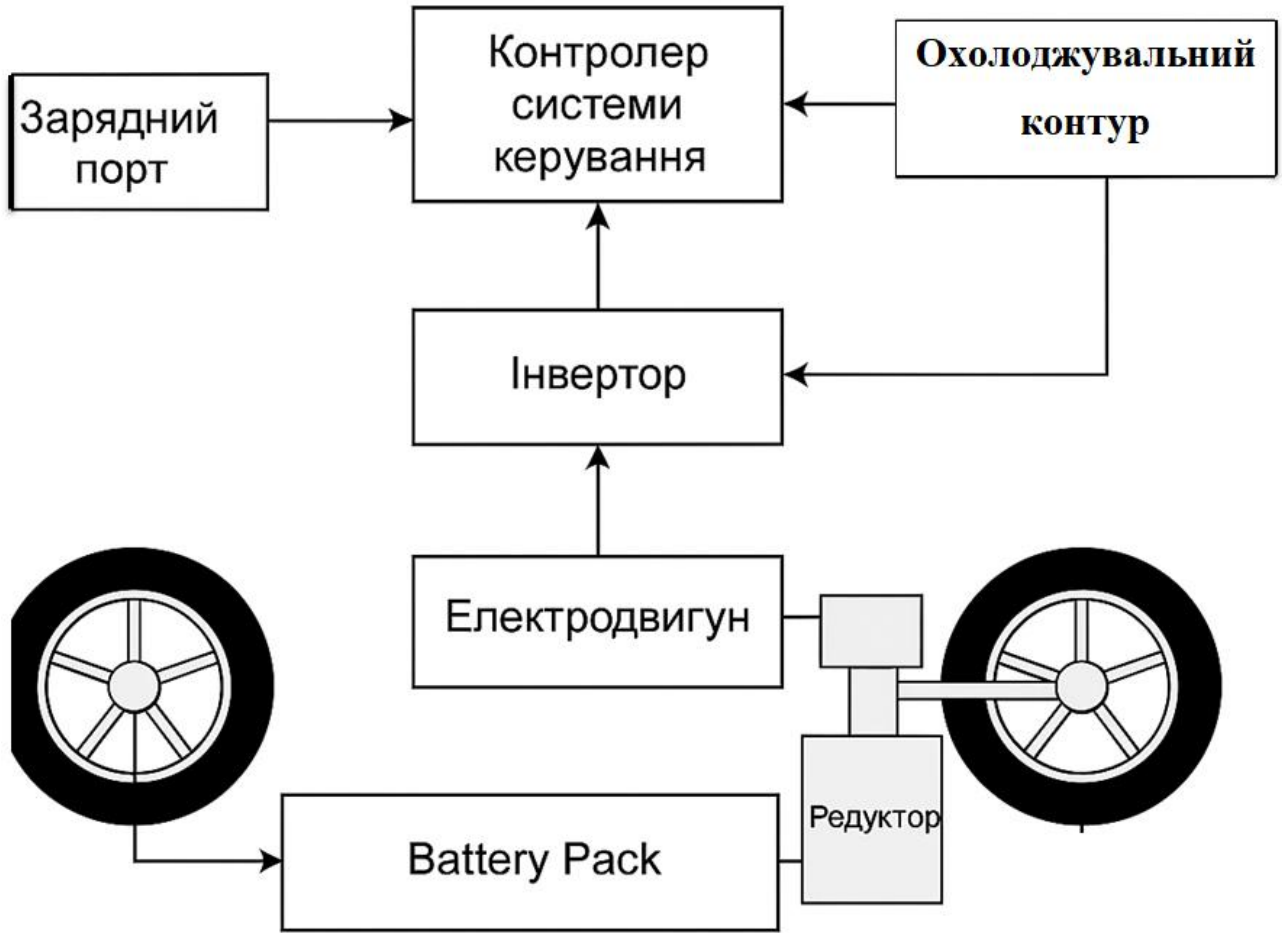


Рисунок 1.1 – Схема основних вузлів електромобіля.

1.2. Порівняння систем ТО електромобілів і автомобілів із ДВЗ

Для автомобілів із ДВЗ технічне обслуговування регламентується чіткими інтервалами пробігу (ТО-1, ТО-2), що включають заміну мастила, фільтрів, перевірку паливної та вихлопної систем. Для електромобіля така схема неактуальна, оскільки відсутні більшість механічних вузлів, які зношуються.

Таблиця 1.1 – Порівняння систем технічного обслуговування автомобілів

Показник	Автомобіль з ДВЗ	Електромобіль
1	2	3
Кількість основних вузлів	~ 2 000 деталей	~ 800 деталей
Періодичність ТО	10–15 тис. км	20–30 тис. км або за станом

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Заміна мастил	так (кожне ТО)	ні
Система охолодження	двигуна і коробки передач	батарей та інвертора
Основні витрати	мастила, фільтри, ремені	охолоджувальна рідина, гальмівна рідина, фільтри салону
Потрібні інструменти	механічні та пневматичні	електротехнічні, діагностичні
Вартість ТО (середня)	100–150 USD	30–70 USD

Таким чином, електромобілі мають нижчу вартість володіння через зменшення кількості регламентних операцій. Проте їхнє обслуговування вимагає спеціалізованого персоналу з допуском до робіт із високою напругою.

На рисунку 1.2 подано порівняльну структурну схему основних систем автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електромобіля. Ліва частина ілюструє класичну конструкцію авто з ДВЗ, що включає паливну систему, систему змащування, вихлопну систему, механічну коробку передач, систему охолодження двигуна та допоміжні агрегати. Права частина демонструє спрощену структуру електромобіля, у якій ці вузли відсутні, а замість них функціонують електродвигун, інвертор, тяговий акумуляторний блок, редуктор і система термочерегування батарей.

Порівняння показує, що електромобіль має менше механічних компонентів, простішу систему приводу та мінімальну кількість вузлів, що потребують регулярного обслуговування. Це зумовлює зниження трудомісткості технічного обслуговування, підвищення надійності роботи й зменшення експлуатаційних витрат порівняно з автомобілем із ДВЗ.

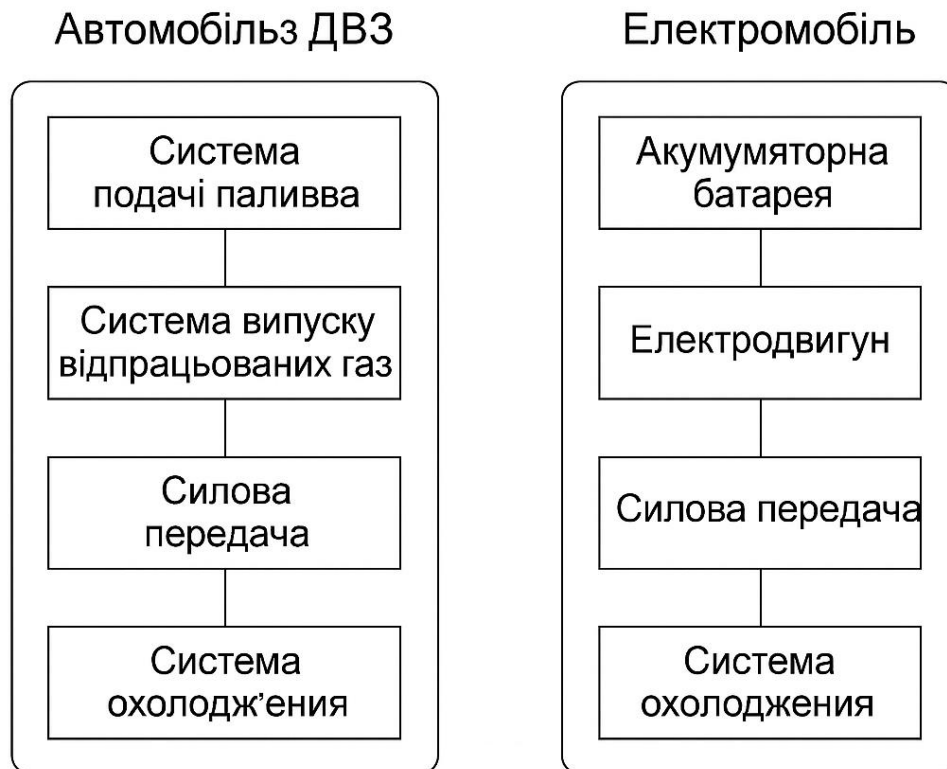


Рисунок 1.2 – Порівняння складу основних систем автомобіля з ДВЗ та електромобіля.

1.3. Аналіз практик ТО у провідних виробників

Світові виробники електромобілів впроваджують власні підходи до технічного обслуговування:

- Tesla запровадила безперервний моніторинг технічного стану через телеметричну систему *Tesla Cloud Service*. Програмні модулі збирають дані про температуру елементів батареї, струми, кількість швидких заряджань і сигналізують про необхідність сервісу.
- Nissan Leaf використовує сервісну програму *EV Health Check*, яка визначає деградацію акумулятора за кількістю «Health Bars».
- Volkswagen ID-серії має функцію *Predictive Maintenance*, що базується на аналітиці даних з датчиків CAN-шини.
- BYD реалізує централізований контроль батарей через *Battery Cloud Platform*, де кожен модуль відстежується за серійним номером.

Усі ці системи спрямовані на перехід до моделі обслуговування за станом (Condition-Based Maintenance). Її переваги – точність прогнозування відмов і зниження витрат на непотрібні профілактичні операції.

На рисунку 1.3 представлено узагальнену структурну схему цифрової системи технічного обслуговування електромобіля, побудованої на принципах інтеграції транспортного засобу з хмарними сервісами та сервісними центрами. Центральним елементом системи є блок керування автомобіля (Vehicle Control Unit), який через вбудовані датчики та CAN-шину збирає телеметричні дані про стан тягової батареї, електродвигуна, інвертора, системи термокерування та допоміжних вузлів.

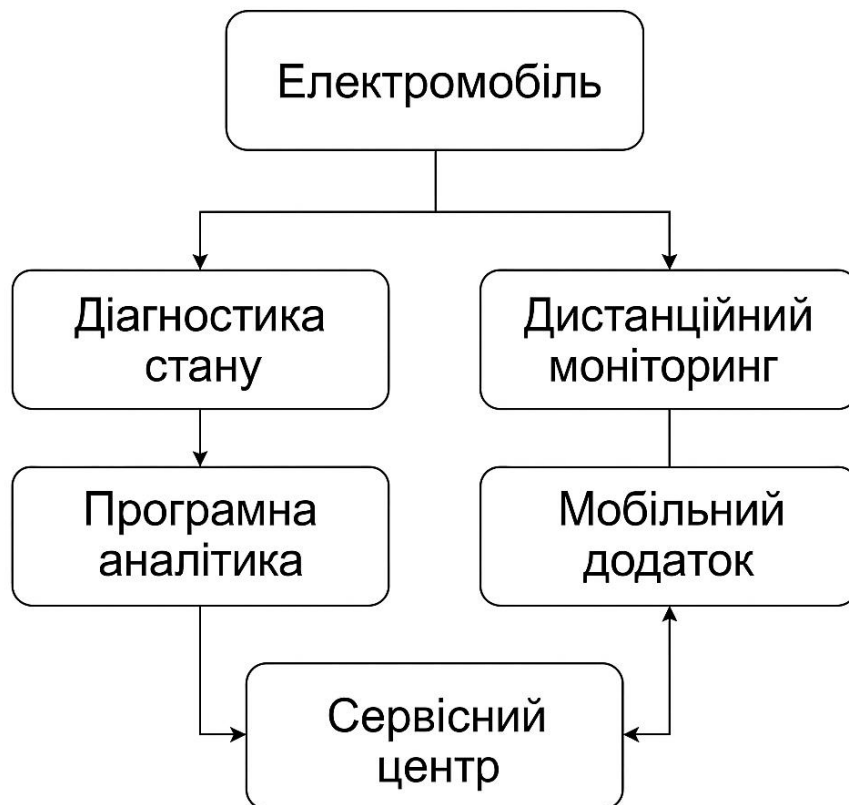


Рисунок 1.3 – Схема цифрової системи технічного обслуговування електромобіля.

Зібрана інформація передається до хмарної аналітичної платформи, де здійснюється обробка параметрів, прогнозування можливих відмов і

формування рекомендацій щодо проведення технічного обслуговування. Результати аналітики автоматично надходять до сервісного центру (СТО), який отримує повідомлення про необхідність втручання, а також до мобільного застосунку власника, де відображається поточний технічний стан і повідомлення про майбутні ТО.

Така система забезпечує реалізацію концепції Predictive Maintenance – обслуговування за станом, що дає змогу мінімізувати ризик відмов, підвищити безпеку експлуатації електромобіля та скоротити витрати часу й коштів на сервісне обслуговування.

1.4. Основні проблеми технічного обслуговування в Україні

Попри швидке зростання ринку електромобілів, система їхнього технічного обслуговування в Україні ще перебуває на етапі становлення. До ключових проблем належать:

1. Недостатня кількість спеціалізованих СТО. Переважна більшість станцій не має обладнання для діагностики високовольтних систем (ізоляційних тестерів, HV-інструментів, систем аналізу батарей).

2. Відсутність стандартів і сертифікації персоналу. Роботи з напругою > 400 В потребують спеціального допуску, але державні стандарти поки що не регламентують рівні кваліфікації для електромеханіків з обслуговування EV.

3. Дефіцит запасних частин і ремонтних модулів. Більшість батарей імпортується у збірках, а ремонт окремих осередків офіційно не передбачено виробником.

4. Недосконала інфраструктура заряджання. Різноманіття роз'ємів, нестабільна якість мережі, відсутність єдиної системи оплати та технічного нагляду за зарядними станціями ускладнюють обслуговування.

5. Відсутність системної підготовки кадрів. Лише окремі навчальні заклади (зокрема, НУ «Львівська політехніка» та ХНАДУ) запровадили спеціальності, пов'язані з електромобільністю.

6. Проблеми з утилізацією та відновленням батарей. В Україні відсутні промислові підприємства, здатні здійснювати глибоку переробку Li-ion-елементів, що ускладнює екологічно безпечне обслуговування.

У результаті навіть незначна несправність (наприклад, деградація одного модуля батареї) може призвести до значних витрат через необхідність повної заміни блока.

На рисунку 1.4 наведено узагальнену схему, що відображає основні проблеми, з якими стикається система технічного обслуговування електромобілів в Україні. Візуально показано взаємозв'язок між ключовими чинниками, що стримують розвиток сервісної інфраструктури:

- Нестача спеціалізованих СТО – більшість станцій не оснащені ізоляційними тестерами, HV-інструментами та діагностичними системами для роботи з високовольтним обладнанням.
- Відсутність стандартизації та сертифікації персоналу – фахівці не мають належних допусків до робіт із системами 400–800 В.
- Дефіцит запасних частин і ремонтних модулів – виробники часто не передбачають ремонт батарей або інверторів, що змушує власників замінювати дорогі вузли повністю.
- Недосконала інфраструктура заряджання – різні стандарти роз'ємів, політики білінгу та якість електроживлення утруднюють стабільну експлуатацію.
- Низький рівень підготовки кадрів – навчальні програми лише починають формувати компетенції з електромобільності.
- Відсутність системи утилізації батарей – немає підприємств для переробки або регенерації літій-іонних елементів.

Сукупна дія цих факторів призводить до підвищення витрат на ремонт, збільшення тривалості простоїв та зниження довіри користувачів до електротранспорту. Рисунок наочно демонструє необхідність створення комплексної програми розвитку сервісної мережі, стандартизації процедур ТО та підготовки кваліфікованих спеціалістів у галузі електромобільності.

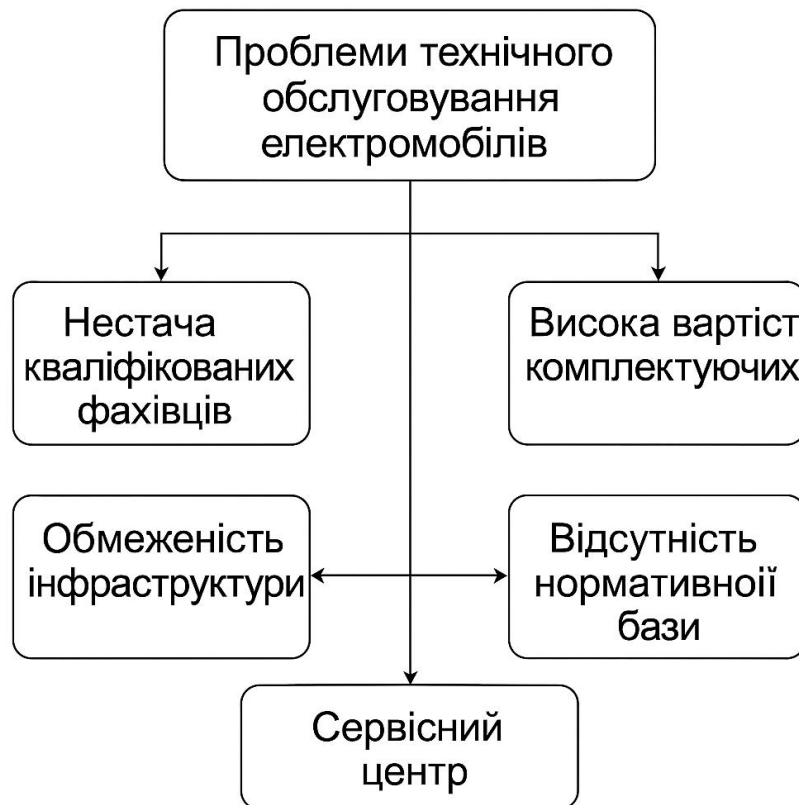


Рисунок 1.4 – Типові проблеми технічного обслуговування електромобілів в Україні.

Висновки до розділу 1

1. Електромобіль є складною електромеханічною системою, де технічне обслуговування переходить від механічних операцій до електронно-діагностичних.
2. Основною тенденцією є впровадження обслуговування «за станом» із використанням телеметрії.
3. Провідні виробники світу (Tesla, Nissan, Volkswagen, BYD) уже реалізували інтегровані цифрові платформи ТО.
4. В Україні розвиток сервісної інфраструктури електромобілів гальмується через нестачу кадрів, відсутність стандартів і спеціалізованих центрів.
5. Подальше удосконалення системи ТО електромобілів має ґрунтуватися на впровадженні інформаційних технологій моніторингу та підготовці фахівців нового профілю.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

2.1. Класифікація технічних впливів у системі ТО електромобіля

Технічне обслуговування електромобіля є системою взаємопов'язаних операцій, спрямованих на підтримання справного технічного стану транспортного засобу протягом життєвого циклу. На відміну від класичних автомобілів, де головним об'єктом контролю є механічні вузли, для електромобіля ключовими є електричні та електронні системи, зокрема:

- Силова електроніка: інвертор, DC/DC-конвертор, модуль керування електродвигуном;
- Енергосистема: тягові батареї, контактні з'єднання, система термкерування;
- Керуючі системи: електронні блоки, CAN-шина, діагностичні модулі;
- Механічна частина: підвіска, рульове керування, гальмівна система (в т.ч. рекупераційне гальмування).

На рисунку 2.1 представлено схему класифікації технічних впливів, які формують структуру системи технічного обслуговування електромобіля. Усі впливи поділено на три основні групи: профілактичні, коригувальні та прогностичні.

- Профілактичні впливи передбачають виконання регламентних операцій, перевірку стану систем і оновлення програмного забезпечення, що дозволяє запобігти відмовам та знизити ризик зношування вузлів.
- Коригувальні впливи спрямовані на усунення відмов або часткових пошкоджень елементів електромобіля, забезпечуючи відновлення працездатності після виявлення несправності.
- Прогностичні впливи базуються на аналізі телеметричних даних і використовуються для моніторингу поточного стану вузлів, прогнозування відмов і формування адаптивного графіка технічного обслуговування.

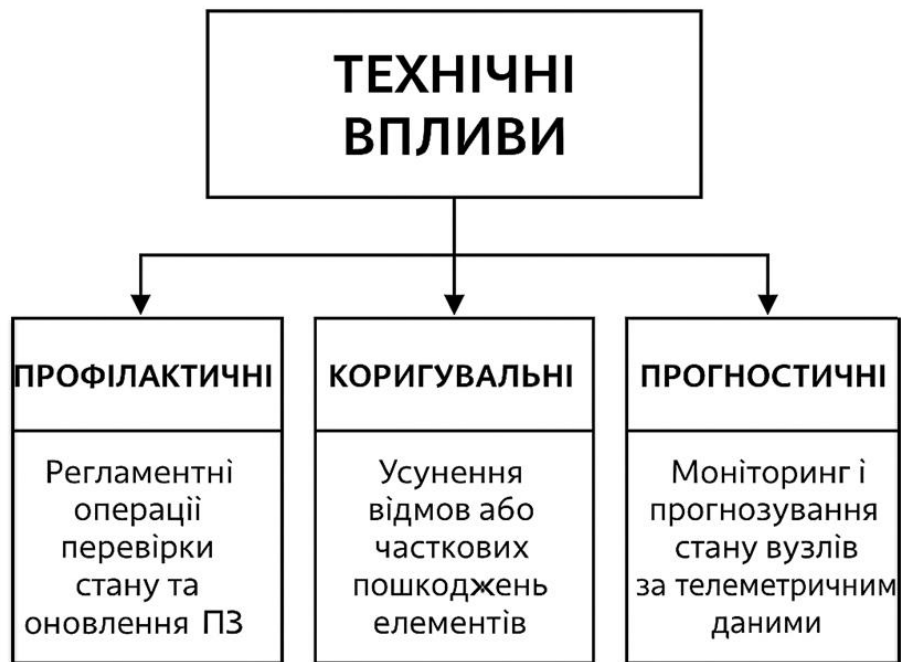


Рисунок 2.1 – Класифікація технічних впливів у системі ТО електромобіля.

Рисунок 2.1 відображає системний підхід до побудови ефективної моделі ТО електромобілів, де основний акцент зміщується з реактивного ремонту на попередження і прогнозування технічного стану за допомогою цифрових технологій.

2.2. Моделювання деградації енергетичних систем електромобіля

Одним із головних елементів, що визначає ефективність роботи електромобіля, є тяговий акумулятор. Його деградація має дві складові:

- календарну (часову) – пов'язану зі старінням матеріалів;
- циклічну – залежну від кількості циклів заряду-розряду.

Залежність залишкової ємності (Q_t) батареї від кількості циклів (N) описується рівнянням експоненційного спаду:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-kN} \quad (2.1)$$

де Q_0 – початкова ємність батареї;

k – коефіцієнт деградації (залежить від температури, глибини розряду, швидкості заряджання).

Температурний вплив на деградацію батареї можна описати залежністю:

$$k_T = k_0 \cdot e^{\frac{E_a}{RT}} \quad (2.2)$$

де E_a – енергія активації,

R – газова стала,

T – абсолютна температура.

На практиці це означає, що підвищення температури експлуатації на 10 °C може зменшити ресурс батареї на 20–30 %.

На рисунку 2.2 показано графічну залежність залишкової ємності тягової акумуляторної батареї електромобіля від кількості циклів заряджання та розряджання. Крива має експоненційний характер і відображає поступове зменшення ємності батареї в процесі експлуатації. Початково, протягом перших сотень циклів, зниження ємності незначне, однак після досягнення певного порогу спостерігається інтенсивніша деградація елементів.

Графік ілюструє вплив умов експлуатації — температури, глибини розряду та швидкості заряджання — на тривалість служби батареї. При високих температурах і частому швидкісному заряджанні деградація відбувається швидше, тоді як дотримання оптимальних режимів дозволяє подовжити термін ефективної роботи акумулятора.

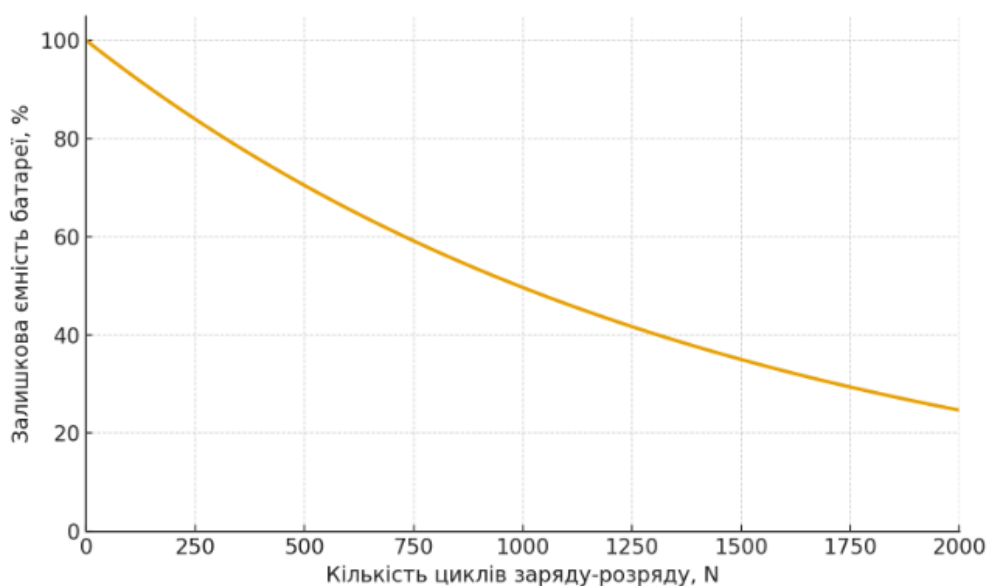


Рисунок 2.2 – Залежність залишкової ємності батареї від кількості циклів заряду-розряду.

Крива демонструє експоненційне зниження ємності від 100 % до близько 25 % після 2000 циклів, що відображає процес природної деградації акумуляторів під час експлуатації.

Рисунок 2.2 наочно підтверджує теоретичні висновки про експоненційний характер втрати ємності та демонструє необхідність застосування систем моніторингу й термокерування для уповільнення процесу старіння батареї і підвищення довговічності електромобіля.

2.3. Використання діагностичних систем і технологій

Сучасні електромобілі оснащуються десятками датчиків, які формують потоки даних у системі *Vehicle Health Monitoring (VHM)*. Ці дані передаються в хмарні аналітичні центри, де відбувається аналіз параметрів у режимі реального часу.

Основні групи діагностичних параметрів:

- температура елементів батареї та інвертора;
- опір ізоляції високовольтної системи;
- кількість і тривалість швидких заряджань;
- рівень деградації окремих комірок (cell balancing);
- показники споживання енергії на 100 км;
- помилки у системах CAN-шини.

Розвиток технологій *Internet of Things (IoT)* дозволяє реалізувати віддалений моніторинг через інтегровані платформи (наприклад, *Tesla Fleet Diagnostics*, *BYD Cloud Battery Management*, *Volkswagen ID. DataHub*).

Такі системи дозволяють:

- скоротити кількість непланових звернень на СТО;
- прогнозувати відмови батарейних модулів;
- підвищити безпеку при експлуатації високовольтного обладнання.

У таблиці 2.1 подано основні типи сенсорів, що входять до складу системи *Vehicle Health Monitoring (VHM)* електромобіля, та відповідні параметри, які вони контролюють у процесі експлуатації. Наведено граничні

порогові значення для кожного показника та реакції системи у разі їх перевищення.

Система VHM забезпечує постійний моніторинг ключових характеристик високовольтного контуру, тягової батареї, інвертора та системи охолодження, що дозволяє запобігати аварійним ситуаціям і прогнозувати можливі відмови. Основні функції окремих сенсорів такі:

- Термодатчики (NTC) контролюють температуру батареї та інвертора; при перевищенні порогу (60–90 °C) система автоматично зменшує струм заряджання або активує охолодження.
- Сенсор опору ізоляції (IR) забезпечує перевірку електробезпеки високовольтної системи; при опорі нижче 500 Ω виконується автоматичне вимкнення HV-контуру.
- Датчики напруги комірок використовуються для балансування осередків і визначення відхилень між елементами батареї.
- Моніторинг CAN-шини відстежує напругу заряджання та повідомляє користувача про перевищення граничних значень.

Таблиця 2.1 – Основні сенсори і контрольовані параметри системи VHM

Параметр	Сенсор	Порогове значення	Реакція системи
Температура батареї	Термодатчик NTC	$> 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	Зменшення струму заряджання
Опір ізоляції	Сенсор IR	$< 500\text{ }\Omega$	Вимкнення HV-системи
Напруга комірки	Датчик напруги	$\pm 0,05\text{ V}$	Балансування осередків
Температура інвертора	Термодатчик	$> 90\text{ }^{\circ}\text{C}$	Активація охолодження
Зарядна напруга	Моніторинг CAN	$> 450\text{ V}$	Попередження користувача

Таблиця демонструє, що система VHM є критичним елементом безпечної експлуатації електромобіля, оскільки забезпечує раннє виявлення аномалій, зниження ризику відмов і підвищення довговічності вузлів. Інтеграція таких

сенсорів у поєднанні з телеметричним аналізом даних формує основу для впровадження концепції інтелектуального технічного обслуговування (Predictive Maintenance).

На рисунку 2.3 зображено принципову схему функціонування телеметричної системи моніторингу електромобіля, яка є ключовим елементом сучасної концепції Vehicle Health Monitoring (VHM). Система побудована на багаторівневій структурі збору, передавання, аналізу та візуалізації даних про технічний стан основних вузлів транспортного засобу.



Рисунок 2.3 – Схема роботи телеметричної системи моніторингу електромобіля.

У нижньому рівні схеми показано датчики (температури, напруги, струму, ізоляції, тиску тощо), які зчитують параметри з батареї, інвертора, електродвигуна й системи термокерування. Отримана інформація надходить до

блоку керування (ECU), де відбувається первинна обробка сигналів і формування діагностичних повідомлень.

На наступному рівні дані передаються через комунікаційний модуль (CAN, 4G, 5G або Wi-Fi) до хмарної аналітичної платформи, де вони зберігаються, аналізуються алгоритмами машинного навчання й порівнюються з еталонними характеристиками. На основі цього аналізу формуються прогнози стану вузлів, попередження про відхилення та рекомендації для користувача або сервісного центру.

Фінальний рівень представлено інтерфейсами візуалізації – мобільним додатком власника та панеллю управління сервісної станції, через які відображаються поточні дані, попередження й рекомендації щодо проведення технічного обслуговування.

Схема роботи телеметричної системи моніторингу підтверджує, що її впровадження дозволяє перейти від періодичного до безперервного контролю технічного стану електромобіля. Завдяки обробці даних у реальному часі підвищується точність діагностики, скорочуються простої, запобігаються аваріям і забезпечується ефективна реалізація концепції Predictive Maintenance – обслуговування за станом.

2.4. Побудова математичної моделі прогнозування стану вузлів

Стан вузлів електромобіля (зокрема, батареї й електродвигуна) можна описати функцією залишкового ресурсу ($R(t)$):

$$R(t) = R_0 - \int_0^t (\alpha_1 \cdot I^2 + \alpha_2 \cdot T + \alpha_3 \cdot N_z) dt \quad (2.3)$$

де I – струм навантаження,

T – середня робоча температура,

N_z – кількість циклів,

α_i – емпіричні коефіцієнти впливу.

Модель дозволяє прогнозувати момент, коли параметр ресурсу ($R(t)$) знизиться нижче критичного рівня ($R_{\min}$), що є сигналом до планового технічного втручання.

Для практичного застосування модель інтегрують у діагностичний модуль *Predictive Maintenance*, який оновлює прогноз після кожного циклу заряд-розряд.

На рисунку 2.4 подано графік зміни відносного ресурсу $R(t)$ елементів тягової батареї електромобіля залежно від часу експлуатації. Залежність описується експоненційною моделлю $R(t) = e^{(-0.12t)}$, що відображає поступове зниження залишкового ресурсу з 100 % до приблизно 30 % протягом 10 років.

На початкових етапах експлуатації швидкість деградації є незначною, проте з часом процес старіння прискорюється через накопичення мікродефектів у матеріалах електродів і зменшення ємності осередків. Така модель дозволяє прогнозувати момент досягнення критичного рівня ресурсу, після якого батарея потребує технічного втручання або заміни.

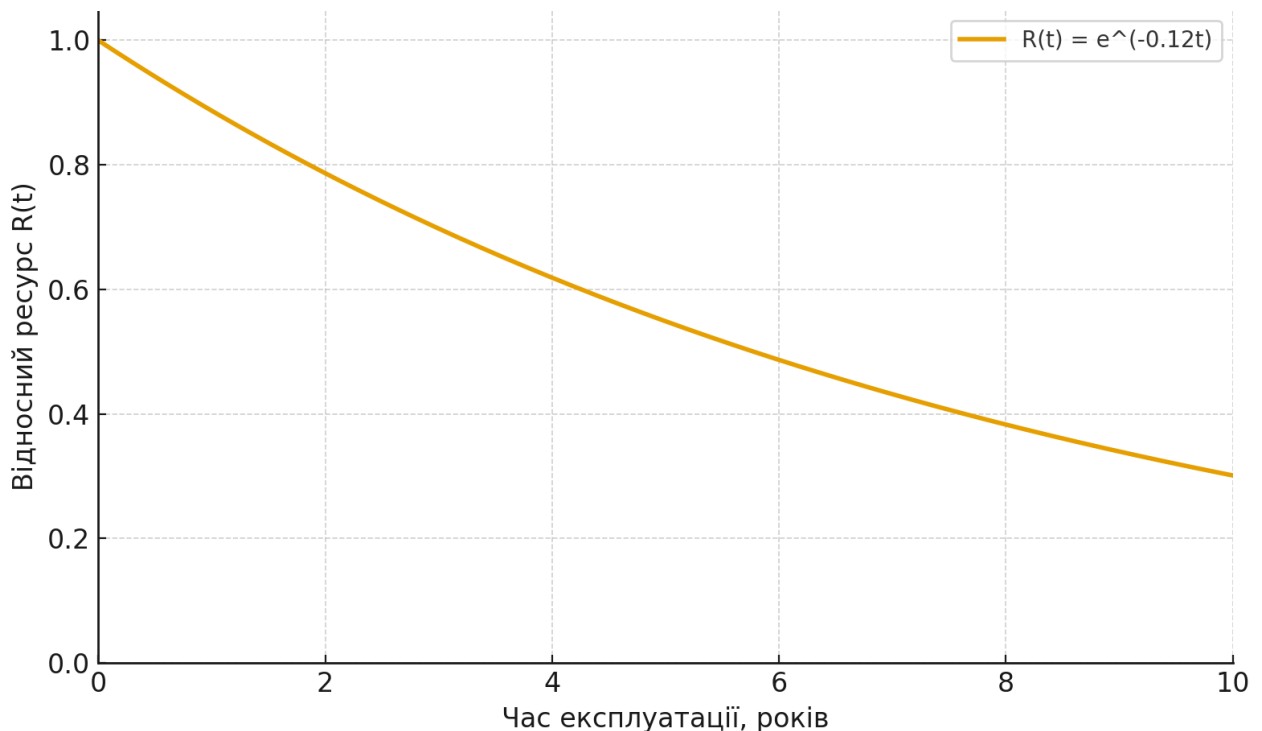


Рисунок 2.4 – Графік прогнозу деградації елементів батареї за моделлю $R(t)$.

Рисунок ілюструє, що застосування аналітичної моделі $R(t)$ є ефективним інструментом прогнозування стану батареї. Її використання дає змогу своєчасно планувати технічне обслуговування, мінімізувати ризик відмов і підвищити загальну надійність електромобіля.

Висновки до розділу 2

1. Технічне обслуговування електромобіля потребує застосування нових підходів, заснованих на цифровій діагностиці та прогнозуванні стану вузлів.
2. Основним елементом, що визначає ресурс, є тяговий акумулятор, деградація якого описується експоненційною залежністю.
3. Використання IoT-технологій дозволяє формувати інтелектуальні системи моніторингу в режимі реального часу.
4. Розроблена математична модель ресурсу ($R(t)$) може бути основою для реалізації адаптивного графіка технічного обслуговування.
5. Поєднання телеметрії та аналітики даних забезпечує перехід до концепції *Predictive Maintenance*, що є основою удосконаленої системи ТО електромобілів.

3. ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

3.1. Розроблення структури адаптивної системи технічного обслуговування

Аналіз показав, що традиційна модель регламентного обслуговування не відповідає вимогам сучасних електромобілів.

Тому пропонується адаптивна система ТО, що враховує реальні умови експлуатації, напрацювання й параметри стану вузлів.

Основні елементи системи:

1. Цифровий блок збору даних (Data Acquisition Unit) – зчитує показники температур, струмів, напруг і помилок CAN-шини.
2. Хмарна аналітична платформа – виконує обробку даних, прогнозує відмови за допомогою алгоритмів машинного навчання.
3. Сервісний модуль СТО – отримує попередження про технічні ризики та формує персоналізований графік ТО.
4. Мобільний додаток власника – повідомляє користувача про необхідність сервісного втручання, оновлення ПЗ або зниження ресурсу батареї.

Алгоритм роботи системи: Збір телеметричних даних → Аналітична обробка → Формування індексу технічного стану (ІТС) → Розрахунок залишкового ресурсу → Пропозиція адаптивного графіка ТО.

На рисунку 3.1 подано структурну схему адаптивної системи технічного обслуговування електромобілів, розроблену на основі концепції обслуговування за станом (Predictive Maintenance). Система поєднує апаратні, програмні та аналітичні компоненти, що забезпечують безперервний моніторинг технічного стану транспортного засобу.

У нижній частині схеми зображено цифровий блок збору даних (Data Acquisition Unit), який отримує інформацію від численних сенсорів – температури, струму, напруги, ізоляції та інших параметрів. Дані передаються

до аналітичного хмарного центру, де вони обробляються за допомогою алгоритмів машинного навчання, що дозволяє виявляти відхилення від нормального режиму роботи вузлів.

Далі система формує індекс технічного стану (ІТС) та прогнозує залишковий ресурс компонентів. Результати аналітики надходять до сервісного модуля СТО, який отримує повідомлення про необхідність обслуговування, а також до мобільного додатку власника, що інформує користувача про стан батареї, рекомендації з ТО та оновлення програмного забезпечення.

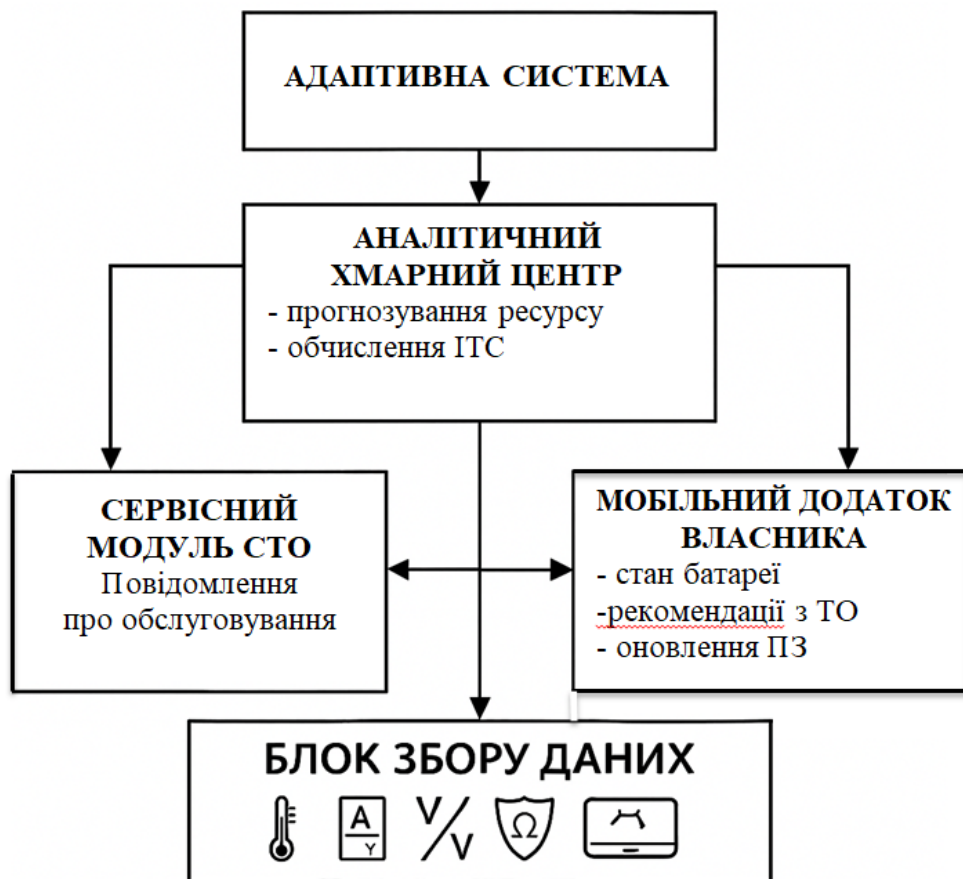


Рисунок 3.1 – Загальна схема адаптивної системи технічного обслуговування електромобілів.

Рисунок 3.1 демонструє цілісну структуру адаптивної системи, здатної перетворити традиційне технічне обслуговування у динамічний процес управління станом електромобіля. Її впровадження дає змогу:

- мінімізувати кількість непланових ремонтів;
- скоротити витрати на ТО до 25 %;
- підвищити безпеку експлуатації високовольтного обладнання;
- забезпечити безперервний зв'язок між власником, сервісом і виробником.

Таким чином, система створює основу для переходу галузі на інтелектуальний рівень технічного обслуговування, що відповідає сучасним тенденціям електромобільності.

3.2. Оптимізація періодичності обслуговування

Періодичність ТО може визначатися на основі інтегрального показника технічного стану (ІТС), який обчислюється за зваженою сумою параметрів:

$$I_{TC} = \omega_1 \cdot \frac{T_b}{T_{bmax}} + \omega_2 \cdot \frac{N_z}{N_{zmax}} + \omega_3 \cdot \frac{\Delta U}{\Delta U_{max}} + \omega_4 \cdot \frac{R_i}{R_{imax}} \quad (3.1)$$

де T_b – температура батареї,

N_z – кількість циклів,

ΔU – різниця напруги між комірками,

R_i – опір ізоляції,

ω_i – вагові коефіцієнти (визначаються експериментально).

При досягненні ($I_{TC} > 0,8$) система автоматично ініціює повідомлення про потребу сервісу.

Таким чином, графік обслуговування стає динамічним, адаптуючись до умов експлуатації, клімату та стилю водіння.

На рисунку 3.2 представлено алгоритм визначення періодичності технічного обслуговування електромобіля з урахуванням його поточного технічного стану, умов експлуатації та прогнозованого ресурсу основних вузлів. Алгоритм реалізує принципи адаптивного обслуговування, що дозволяє змінювати інтервали між ТО залежно від реальних показників стану агрегатів, а не за фіксованим регламентом.



Рисунок 3.2 – Алгоритм визначення адаптивної періодичності технічного обслуговування.

Послідовність етапів алгоритму включає:

1. Збір даних з сенсорів систем електромобіля (температура, струм, напруга, тиск, пробіг).
2. Передавання інформації до аналітичного модуля, який виконує обробку сигналів і порівняння з еталонними параметрами.
3. Обчислення інтегрального показника технічного стану (ІТС), що характеризує рівень справності об'єкта у відсотковому виразі.

4. Порівняння ІТС із критичними порогами:
 - якщо $ІТС > 80 \%$, ТО відкладається;
 - якщо $50-80 \%$, формується план профілактичного обслуговування;
 - якщо $< 50 \%$, призначається позачергове ТО.
5. Формування адаптивного графіка ТО, який автоматично передається у цифровий сервіс СТО і мобільний додаток користувача.

Алгоритм забезпечує персоналізований підхід до планування технічного обслуговування, що дозволяє зменшити трудомісткість робіт і підвищити ефективність використання техніки. Його впровадження забезпечує:

- скорочення витрат на ТО до 20–25 %;
- зменшення кількості простоїв обладнання;
- підвищення надійності й безпеки експлуатації електромобіля.

Таким чином, адаптивний алгоритм є ключовим елементом цифрової системи управління технічним станом сучасного електротранспорту.

3.3. Використання цифрових сервісів і мобільних додатків

Сучасна концепція «Connected Vehicle» передбачає інтеграцію транспортного засобу з цифровими сервісами.

Запропоновано створити мобільний застосунок “e-Service”, який поєднує водія, СТО і хмарну систему моніторингу.

Основні функції застосунку:

- Відображення поточного технічного стану (стан батареї, температура, пробіг, рівень деградації).
- Онлайн-запис на СТО з урахуванням прогнозу ресурсу.
- Автоматичне створення «електронного сервісного журналу».
- Надсилання сервісних попереджень та оновлень ПЗ.
- Інтеграція з системами зарядних станцій (розташування, тарифи, доступність).

Для українських умов доцільно створити спільну платформу e-Service UA, що поєднує дані від дилерів, СТО та енергомереж.

На рисунку 3.3 представлено спрощену структурну схему інтегрованого цифрового сервісу, який забезпечує взаємодію між основними елементами системи обслуговування електромобіля. Центральним компонентом є інтегрований цифровий сервіс, який отримує дані від електромобіля та координує роботу допоміжних підсистем.

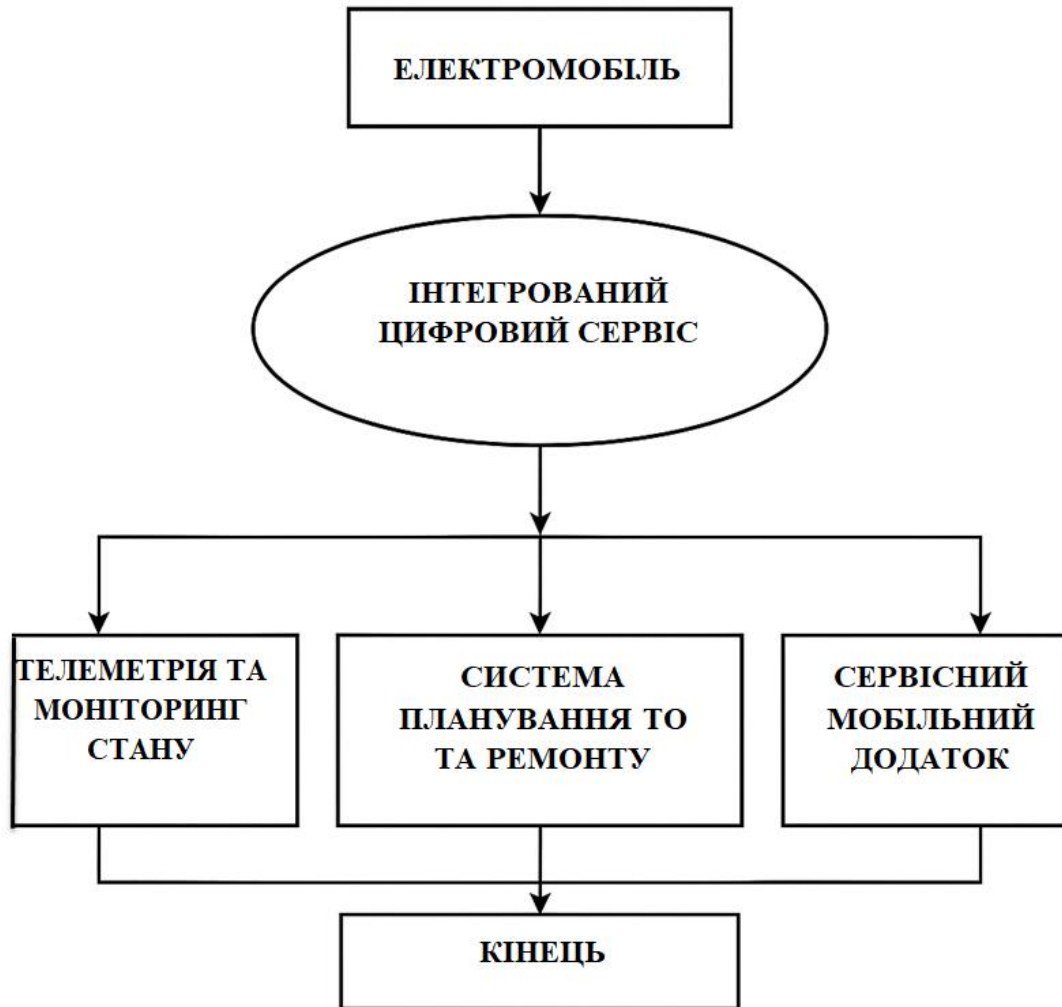


Рисунок 3.3 – Концепція інтегрованого цифрового сервісу для електромобілів.

Схема включає три головні напрями:

- Телеметрія та моніторинг стану – система збору та передавання технічних даних від електромобіля (температура батареї, напруга, пробіг, навантаження тощо).

- Система планування ТО та ремонту – модуль, який аналізує отриману інформацію, формує графіки профілактичних і коригувальних робіт та передає повідомлення на СТО.

- Сервісний мобільний додаток – інтерфейс для користувача, який відображає поточний стан автомобіля, нагадування про необхідність ТО та рекомендації з експлуатації.

Робота системи завершується формуванням підсумкових даних, що надходять до сервісу й користувача, після чого цикл обслуговування вважається завершеним (КІНЕЦЬ).

Рисунок демонструє логічну структуру цифрової екосистеми технічного обслуговування електромобіля. Вона забезпечує безперервний моніторинг, автоматичне планування сервісних дій і зручний зворотний зв'язок із користувачем, що дозволяє підвищити ефективність роботи сервісної мережі, скоротити простой та забезпечити надійну експлуатацію електротранспорту.

3.4. Впровадження системи моніторингу в реальному часі

Для ефективного функціонування вдосконаленої системи ТО пропонується впровадити телеметричну систему моніторингу з використанням бездротових технологій (4G/5G, LoRaWAN).

Функціональні можливості системи:

1. Збір даних про стан вузлів у режимі реального часу.
2. Передача даних у хмару з інтервалом 5–10 секунд.
3. Аналіз аномалій за допомогою алгоритмів машинного навчання (*anomaly detection*).
4. Формування статистики за типом відмов та умовами експлуатації.
5. Візуалізація у вигляді дашбордів для СТО.

Модель взаємодії користувачів:

- Власник авто – отримує повідомлення через мобільний додаток.
- Сервісна станція – бачить технічні показники в онлайн-режимі.

- Виробник – збирає дані для аналітики та вдосконалення конструкції.

На рисунку 3.4 представлено узагальнену схему функціонування системи моніторингу, яка забезпечує безперервний збір, обробку та аналіз даних про технічний стан електромобіля.

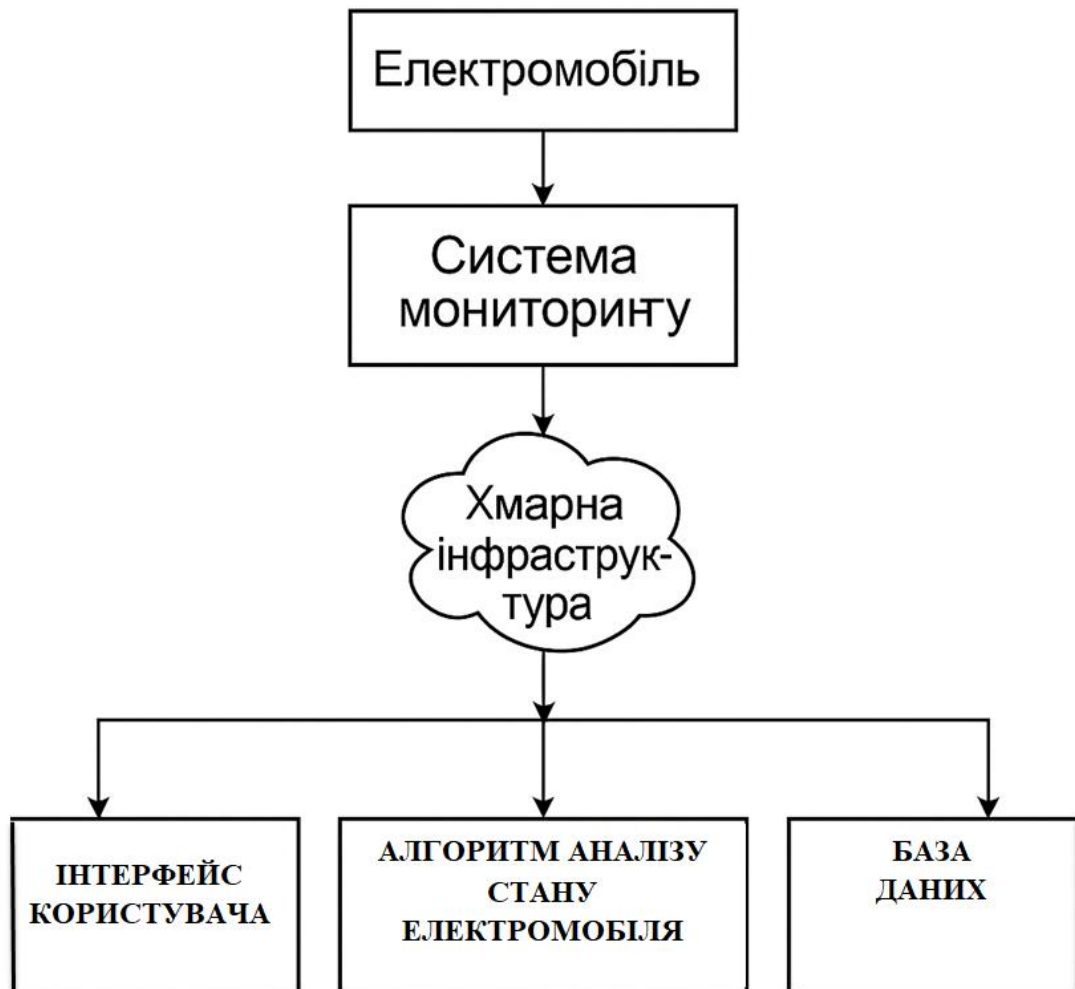


Рисунок 3.4 – Архітектура системи моніторингу технічного стану електромобіля в реальному часі.

У верхній частині схеми зображено електромобіль, що виступає джерелом телеметричних даних. Через систему моніторингу, яка містить датчики, контролери та комунікаційні модулі, інформація передається до хмарної інфраструктури. Хмарне середовище виконує роль центрального вузла, що об'єднує всі елементи системи та забезпечує обмін даними між ними.

Далі інформаційний потік розгалужується на три основні компоненти:

- Інтерфейс користувача – відображає стан електромобіля, попередження про відхилення параметрів і рекомендації щодо обслуговування.
- Алгоритм аналізу стану електромобіля – здійснює математичну обробку отриманих даних, визначає технічний стан вузлів і прогнозує можливі відмови.
- База даних – накопичує історичну інформацію про експлуатаційні параметри, результати діагностики та виконані роботи ТО.

Рисунок демонструє логічну структуру інтегрованої системи моніторингу, яка забезпечує взаємодію між електромобілем, хмарними сервісами та користувачем. Така архітектура дозволяє реалізувати принципи інтелектуального технічного обслуговування (Smart Maintenance), підвищити точність діагностики, скоротити витрати часу на сервіс і забезпечити високий рівень надійності електромобіля.

Висновки до розділу 3

1. Запропоновано адаптивну систему технічного обслуговування електромобілів на основі аналізу телеметричних даних.
2. Розроблено алгоритм визначення оптимальної періодичності ТО із застосуванням інтегрального показника стану.
3. Запропоновано створення цифрового сервісу «e-Service UA» для інтеграції користувачів, СТО та виробників.
4. Система моніторингу в реальному часі дозволяє забезпечити перехід до концепції Predictive Maintenance.
5. Впровадження запропонованих рішень зменшує витрати на обслуговування до 25 % і підвищує надійність електромобілів.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

4.1. Структурно функціональний аналіз травмонебезпечних ситуацій впродовж виконання робіт

Кожний небезпечний виробничий фактор незалежно від його виду, рівня та інших властивостей має певну зону дії. Якщо розміри цієї зони мають чітко фіксовані значення, то її можна вважати постійною. Якщо у процесі роботи така зона може змінюватися внаслідок зміни рівня небезпечного чинника, його переміщень у просторі, то вона буде змінною. У деяких випадках (аварійна ситуація) небезпечний виробничий чинник може значно виходити за межі визначено (фіксованої) зони. При цьому небезпека травмування працюючого виникає уже за межами небезпечної зони. Тому кожен працівник на конкретній машині чи певному робочому місці завжди повинен знати про таку небезпеку. Постійні небезпечні зони існують або виникають у передачах, при обробці деталей на токарних, свердлильних, заточувальних верстатах, біля різальних інструментів, у пресах, пневматичних та гідравлічних молотах, штампувальних верстатах, під машинами та платформами, піднятими за допомогою гідравлічної чи іншої системи [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

У процесі роботи людина може потрапляти в небезпечну зону внаслідок відсутності там необхідного огородження, сигнальних пристроїв або попереджувальних знаків та написів, порушення відповідних правил, допущеної помилки або внаслідок аварії. При цьому виникає можливість дії на неї небезпечного виробничого фактора. Кожну дію, внаслідок якої людина потрапляє до небезпечної зони, позначається як небезпечна. Вона виникає внаслідок порушення регламентованого режиму роботи обладнання, нормативних вимог охорони праці, норм експлуатації споруд і будівель тощо. Таким чином, внаслідок небезпечних дій працюючий попадає в небезпечну зону, в якій потрапляє у небезпечні обставини. Вичерпні знання обставин, внаслідок яких виник нещасний випадок, або може виникнути аварія, травма чи більш тяжкі наслідки, необхідні для глибокого розуміння процесу зародження,

формування та виникнення небезпечних ситуацій – випадкових явищ, що передують виникненню травм, аварій, катастроф **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**.

Небезпечні умови можуть визначатися недоліками конструкцій машин, технологічного обладнання і процесів, низьким рівнем організації виробництва (неефективність або відсутність необхідного контролю, низькі професійний рівень працюючих, підготовка їх з охорони праці), недостатньою надійністю виробничого обладнання тощо. Вони відіграють пріоритетну роль у формуванні й виникненні виробничих небезпек – певного стану, за якого виникає реальна загроза аварії або травми. Це пояснюється тим, що навіть при наявності кількох небезпечних виробничих факторів на певному робочому місці, але якщо жоден з них не має умов, за яких він міг би діяти на людину, то на цьому робочому місці відсутня реальна небезпека травмування. Інша справа, коли такі умови є, але про них працюючий не знає. Процес виявлення небезпечних умов у деяких випадках може бути досить складним, тому необхідно проводити спеціальні дослідження. Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що за характером дії їх можна поділити на групи, які **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**:

- характеризують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця (відсутність огороження рухомих деталей або робочих органів, відсутність або недосконалість спеціальних технічних засобів безпеки: блокувальних пристроїв, засобів сигналізації тощо), конструктивні недоліки окремого вузла чи машини та інші;

- спонукають працюючого допускати помилки у процесі праці (конструктивна недосконалість технологічного процесу роботи машин або самої машини чи певного обладнання), низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці, відсутність відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці;

- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону (відсутність огорожень небезпечної зони і сигналізації про наближення до небезпечної зони, неправильна організація робочого місця та інші);

- призводять до виникнення інших небезпечних умов (помилки у монтажі роторів, що обертаються, деякі конструктивні недоліки);

- безпосередньо призводять до травмонебезпечної ситуації (наявність плям масла на підлозі, неправильно організоване робоче місце, не обґрунтовані режими роботи обладнання та інші);

- призводять до виникнення небезпечних дій (низький рівень професійної підготовки й організації навчання з охорони праці, відсутність або неефективність контролю з охорони праці та інші). Небезпечні обставини розпізнаються аналогічно звичайним обставинам, на що вказує та чи інша обставина. Небезпечні обставини розкривають дії, стан чи ознаки небезпечного фактора і обстановку, при якій він діяв на людину. Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглядати як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина (технічний засіб) і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина (технічний засіб), раптово припинивши свої функції, внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це призвело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

4.2. Моделювання виникнення травм та аварій

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок транспортних засобів, агрегатів, а також різних споруд, будівель, виробничих процесів і технологій. Але, як показали дослідження, будь-яка аварія може бути наслідком однієї з багатьох потенційних

небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних процесів, що імітують формування і виникнення складних аварій [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Метод, описаний Д. Хенлі і Х. Кумамото, дає можливість шляхом побудови “ дерева ” відмов і помилок операторів різних різних систем вести математичну обробку моделі (“дерева”) з метою одержання ймовірності виникнення таких випадкових подій, як аварія та травма. Обчисленням рівня безпеки можна спрямувати удосконалення конструкцій технічних засобів на зниження їх безпеки, а також вживати термінових заходів для усунення небезпек з більш високим рівнем [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Метод “дерева”, “дерева несправностей” або “дерева несправностей і помилок оператора” застосовують для аналізу складних систем.

Аналіз умов, обставин та причин різних аварій, виробничих травм показав, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови “дерева” відмов та помилок оператора людино-машинних систем у автомобільному транспорті.

Вперше метод побудови “дерева” відмов техніки і помилок операторів був застосований авторами для дослідження людино-машинних систем, що працюють у сільському господарстві. Аналіз моделей процесів формування й виникнення аварій та травм показав, що вони повністю імітують усі процеси та явища, що беруть участь у їх зародженні й виникненні. У зв’язку з цим моделі, що одержали назву “дерево відмов” та “дерево відмов техніки і помилок оператора”, можна назвати імітаційними. А оскільки виникнення кожної наступної події знаходять шляхом логічного аналізу попередніх, то для кращого розуміння суті таких моделей їх можна назвати логіко-імітаційними.

Основні принципи побудови моделі такі. Вивчається виробництво, на якому мали місце раніше або можуть мати місце аварії, виробничі травми.

4.3. Розробка логічно-імітаційної моделі травм на виробництві

Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи, що характеризують ті чи інші події. Як правило, побудова моделі починається з головної події, а наступні розміщують зверху вниз, аж до базових подій (рис 4.1) [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Кожен блок рисунка, позначений відповідним номером, означає подію (у загальному вигляді) або окремий етап побудови моделі:

- 1—відказ (аварія, травма) системи – головна подія;
- 2—послідовність подій, що призводять до відказу системи;
- 3—послідовність подій зображується за допомогою логічних операторів “І”, “АБО” та інших;
- 4 – усі вхідні і вихідні події, що входять до моделі, зображуються у вигляді прямокутників з відповідними написами всередині;
- 5 – послідовний підхід до базових подій, частоти виникнення яких відомі;
- 6 – базові події зображують у вигляді у вигляді кружечків із написами

всередині, вони є межею аналізу побудованої моделі (“дерева помилок”).

Різні події моделі (“розкрита”, “не розкрита”, “головна”, “базова”, “подія-умова” тощо) зображують у вигляді символів: коло—базова подія з відповідними числовими даними; ромб—нерозкрита подія (подія, яка вимагає проведення відповідних досліджень); прямокутник—подія, що виникає як результат дії символа-оператора; овал—подія-умова, що використовується з

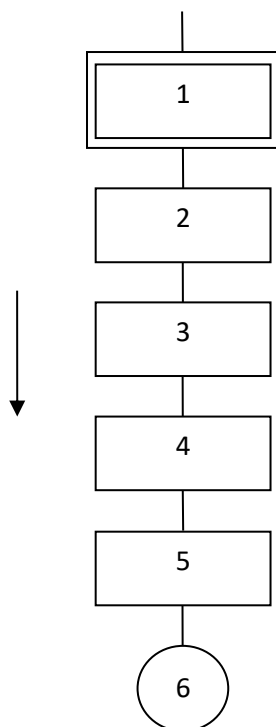


Рисунок 4.1 – Схема основних принципів побудови логіко-імітаційних моделей: 1 – головна подія; 2-5 – проміжні події; 6 – базова подія

оператором “Заборона”; хатка (п’ятикутник, в якого один з боків є основою), – подія, яка може відбутися або не відбутися; трикутник (рівносторонній трикутник) – символ перенесення.

Для прикладу зобразимо процес розробки методики логічно-імітаційної моделі. Головну випадкову подію, модель якої нам необхідно побудувати, вибираємо виходячи з оцінки відповідного об’єкта, виробництва чи окремої одиниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного явища, яке за певних умов виробництва може виникнути. Вибір головної події розпочинають побудову моделі. Використовуємо оператори «І» та «АБО» – виступають у ролі набору ситуацій, які можуть призвести до тієї події, яка вибрана як головна **[Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**.

Варто мати на увазі, що кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів.

Повністю побудована і перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірності базових подій визначають за даними виробництва. Наприклад, базова подія «стан контролю з охорони праці». Для визначення ймовірності ми повинні встановити наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об’єкті. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50 або 30 %, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність «не здійснення контролю» становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідна ймовірність дорівнює 0.

Після обчислення ймовірності всіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки «дерева», позначають номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі.

На цьому можна вважати, що певна модель підготовлена до математичної обробки. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують формули [Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено., Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Побудуємо логіко-імітаційну модель процесу, формування і виникнення аварії та травми в процесі технічного обслуговування та ремонту автобусів і складемо перелік базових подій. Кожній події (пункту) присвоюємо певне значення ймовірності його виникнення:

- | | |
|-------------------------------------|---------------|
| 1. Відсутність елементів системи | $P_6 = 0,19;$ |
| 2. Професійний рівень слюсаря | $P_1 = 0,25;$ |
| 3. Наявність дефектів | $P_8 = 0,15;$ |
| 4. Відсутність захистів | $P_7 = 0,13;$ |
| 5. Досвід роботи слюсаря | $P_2 = 0,18;$ |
| 6. Пошкодження елементів системи | $P_5 = 0,15;$ |
| 7. Психо-фізіологічний стан слюсаря | $P_3 = 0,13;$ |

Складені події дають можливість побудувати матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами.

Отже, розглядаємо травмонебезпечну ситуацію, яка може виникнути під час демонтажу ресор заднього моста та призвести до травмування слюсаря, а також зробимо розрахунок ймовірності виникнення подій, що формують логіко-імітаційну модель в процесі ремонту автобусів.

Ймовірність виникнення події P_9 визначаємо наступним чином:

$$P_9 = 0,25 + 0,18 + 0,13 = 0,56;$$

Ймовірність виникнення події P_{10} визначаємо:

$$P_{10} = 0,19 \cdot 0,15 = 0,0285$$

Ймовірність виникнення події P_{11} визначаємо так:

$$P_{11} = 0,13 + 0,15 = 0,28;$$

Ймовірність події P_{12} :

$$P_{12} = (0,25 + 0,18 + 0,13) \cdot 0,18 = 0,1008;$$

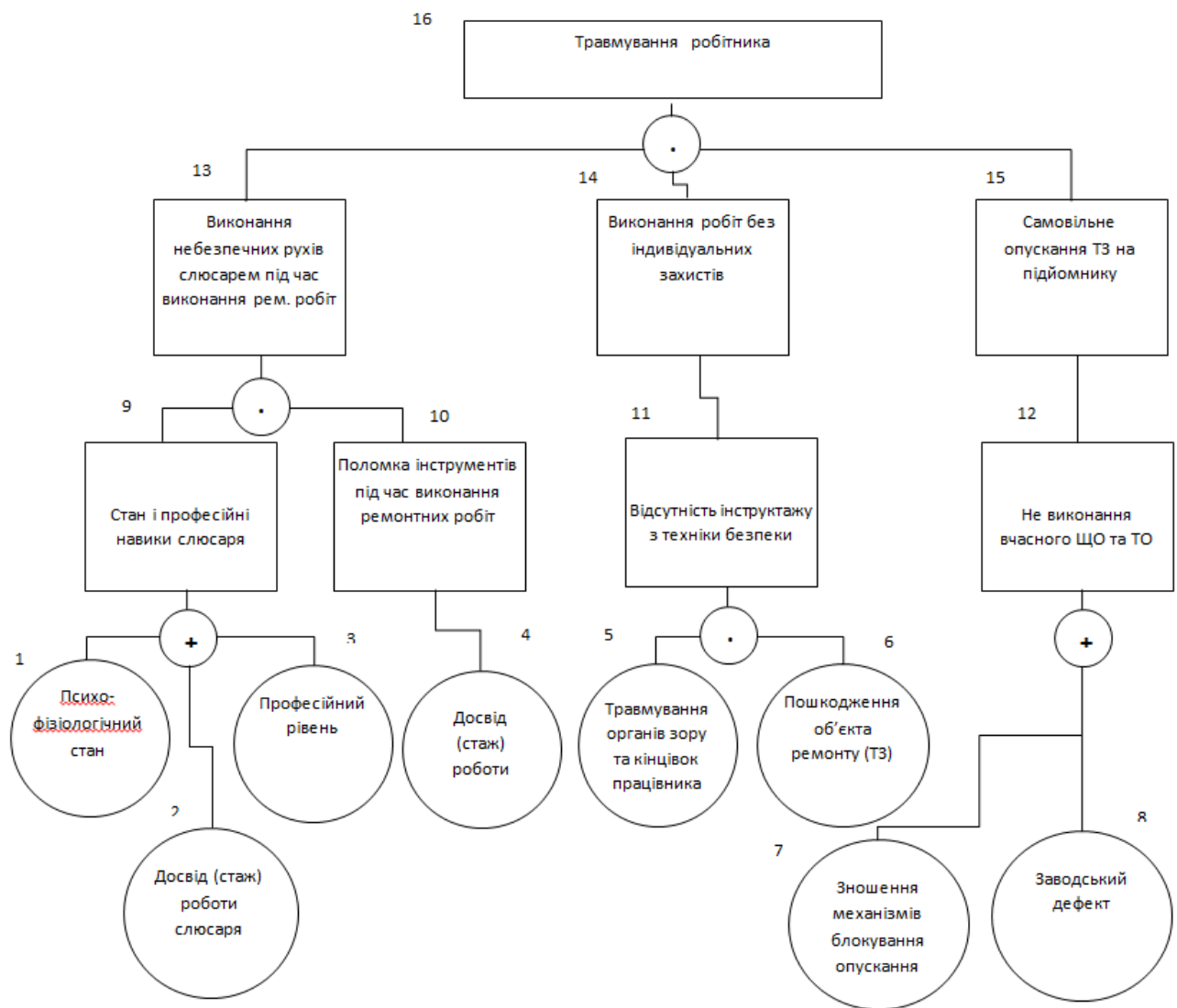


Рис. 5.1. Матриця логічних взаємозв'язків між окремими подіями травмонебезпечної ситуації.

Ймовірність події P_2 :

$$P_2 = 0,1008 \cdot 0,0285 \cdot 0,28 = 0,000804;$$

За нашими розрахунками ймовірність виникнення травми слюсаря під час демонтажу ресор заднього моста є досить мала і становить $P_2 = 0,000804$.

Впровадження у практику підприємства логіко-імітаційних моделей дослідження аварій і травм, а також для обґрунтування заходів охорони праці, дають змогу знизити ймовірність виникнення аварійних та травмонебезпечних ситуацій.

4.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Від ефективності розроблення та впровадження в життя заходів із запобігання та ліквідації надзвичайної ситуації в разі її виникнення залежатиме життя та здоров'я персоналу та відвідувачів підприємств і розміри заподіяної шкоди.

Відповідно до Кодексу цивільного захисту України, підготовка персоналу на підприємствах незалежно від форм власності до дій у надзвичайних ситуаціях здійснюється за спеціально розробленою схемою заходів захисту населення та територій.

Для великих і малих підприємств система заходів захисту від надзвичайних ситуацій включає **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**:

- планування та здійснення необхідних заходів для захисту своїх працівників, об'єктів господарювання;
- розроблення планів локалізації та ліквідації аварій з подальшим погодженням з Державною службою України з надзвичайних ситуацій;
- підтримання у готовності до застосування сил і засобів із запобігання виникненню та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;
- створення та підтримання матеріальних резервів для попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій;
- забезпечення своєчасного оповіщення своїх працівників про загрозу виникнення або при виникненні надзвичайної ситуації.

Наведені вище заходи мають загальний характер, вони не повністю враховують специфіку діяльності конкретного підприємства, чисельність працівників, обсяг і вид виробництва тощо.

Основною особливістю дій малих підприємств при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій є в першу чергу захист персоналу та відвідувачів.

Виходячи з цього, ст. 130 Кодексу цивільного захисту України передбачає, що на підприємствах з чисельністю персоналу 50 осіб і менше розробляються та затверджуються інструкції щодо дій при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Крім того, у сфері промислового виробництва до малих підприємств можуть бути віднесені і такі, де чисельність працівників перевищує 50 осіб. Інструкції для таких підприємств розробляються за рішенням відповідного територіального органу Держслужби України з надзвичайних ситуацій.

Розроблена інструкція не повинна суперечити положенням та вимогам Кодексу цивільного захисту України.

Інструкція розробляється та підписується посадовою особою підприємства з питань цивільного захисту, затверджується керівником підприємства та доводиться до всіх працівників під підпис.

Крім інструкції, на малому підприємстві розробляється План евакуації при пожежі або загрозі вибуху. Особливо це важливо для тих об'єктів, на території яких може знаходитись значна кількість відвідувачів.

Деякі конкретні заходи, не відображені в нормативних документах підприємства, потребують внесення до посадових інструкцій працівників. Крім того, на малому підприємстві необхідно розробляти й доводити до всіх працівників Порядок цілодобового оповіщення керівництва та працівників у випадку загрози або виникнення надзвичайної ситуації.

Всі працівники підприємства повинні бути навчені діям, чітко знати свої обов'язки та неухильно їх виконувати. Це також стосується адміністрації

малого підприємства, яка в екстремальній обстановці не може приймати помилкові рішення або віддавати необґрунтовані розпорядження.

Уникнути цього дозволить якісно розроблена Інструкція щодо дій персоналу малого підприємства при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

4.5 Екологічна безпека та поводження з відходами

У процесі технічного обслуговування електромобілів важливе значення має дотримання вимог екологічної безпеки. Сучасні сервісні центри повинні забезпечувати мінімізацію шкідливого впливу на довкілля, раціональне використання ресурсів та безпечне поводження з небезпечними відходами.

Під час обслуговування електромобілів виникають такі екологічні ризики як накопичення відпрацьованих технічних рідин, гальмівних і охолоджувальних сумішей, зношених фільтрів, а також небезпечних відходів високовольтних акумуляторних модулів. Наявність цих матеріалів потребує строгого контролю та дотримання вимог екологічного законодавства і правил технічної безпеки.

Зменшення негативного впливу на довкілля досягається завдяки впровадженню комплексу організаційних і технічних заходів. Серед них застосування герметичних контейнерів для тимчасового зберігання відходів, використання сертифікованих ділянок збору та передачі батарей і рідин на переробку, ведення журналів обліку небезпечних матеріалів, а також регулярний контроль стану обладнання для запобігання випадковим витокам.

Суттєвого значення набуває процес утилізації та переробки тягових акумуляторів. Після досягнення граничного ресурсу вони підлягають демонтажу, маркуванню і передачі спеціалізованим підприємствам. Така переробка дає можливість повторно вилучати корисні матеріали і зменшувати екологічне навантаження.

У межах екологічної безпеки важливим є також навчання персоналу. Працівники повинні володіти знаннями щодо правильного поводження з

небезпечними речовинами, уміти діяти у випадку аварійної ситуації та використовувати засоби індивідуального захисту.

Дотримання екологічних вимог під час технічного обслуговування електромобілів забезпечує безпечне функціонування сервісного підприємства, зменшує ризик забруднення довкілля і сприяє переходу до сучасних стандартів сталого розвитку. Упровадження елементів системи екологічного менеджменту дозволяє підприємству працювати ефективніше та відповідати світовим тенденціям у сфері «зеленої» мобільності.

Висновки до розділу 4

1. Структурний аналіз травмонебезпечних ситуацій дає можливість оцінити: небезпечність операції, рівень її небезпеки, можливість уникнення та попередження травмонебезпечної ситуації, а у разі виникнення – уникнення її повтору. Також за допомогою аналізу травмонебезпечних ситуації створюють комплекси з індивідуального захисту працівників.

2. Моделювання виникнення травм та аварій дає змогу моделювати процеси формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків, що у свою спрямовано на збереження життя та здоров'я працівників.

3. Розробка логіко-імітаційних моделей травм на виробництві дають змогу будувати матриці виникнення небезпечних, що у своє чергу дає визначити рівень небезпеки виробничого процесу (операції) на життя та здоров'я працівника.

4. Здоров'я та життя працівників є основним пунктом в охороні праці, тому знання дій працівників у разі виникнення небезпечних ситуацій на підприємстві є дуже важливим.

5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

5.1. Економічна ефективність системи діагностики на основі реальних даних

Впровадження адаптивної системи ТО з телеметричним моніторингом дозволяє суттєво скоротити витрати на обслуговування.

Основні джерела економічного ефекту:

- зменшення кількості непланових ремонтів (до 20 %);
- зниження витрат на заміну батарейних модулів завдяки прогнозуванню деградації;
- скорочення часу простою автомобіля;
- підвищення ресурсу вузлів на 10–15 % через оптимізацію навантажень.

Економічний ефект від упровадження системи обчислюється як:

$$E = (C_6 - C_n) \cdot N \quad (5.1)$$

де C_6 – базові витрати на обслуговування за традиційною схемою,

C_n – нові витрати після впровадження системи,

N – кількість обслуговуваних автомобілів.

При середніх річних витратах $C_6 = 500$ USD і зниженні на 25 % отримуємо $E = 125 N$.

Для парку з 100 автомобілів – економія 12 500 USD на рік.

На рисунку 5.1 наведено діаграму, яка відображає частковий розподіл основних переваг, отриманих у результаті впровадження інтегрованої цифрової системи технічного обслуговування електромобілів.

Згідно з аналізом, найбільший ефект досягається за рахунок зниження вартості обслуговування (50 %), що пояснюється оптимізацією трудомісткості операцій, скороченням кількості непланових ремонтів і підвищенням точності діагностики.

Другою за значущістю перевагою є зменшення витрат енергії (30 %), яке забезпечується завдяки моніторингу технічного стану, раціональному використанню тягової батареї та застосуванню систем прогнозування.

Третій напрямок – підвищення рівня безпеки експлуатації (20 %), що досягається впровадженням автоматичних засобів контролю високовольтного обладнання, систем попередження відмов і функцій віддаленої діагностики.



Рисунок 5.1 – Структура економічного ефекту від упровадження системи діагностики.

Рисунок показує, що цифровізація процесів технічного обслуговування дозволяє комплексно підвищити ефективність експлуатації електромобілів. Найбільший економічний ефект спостерігається у скороченні витрат на сервіс, тоді як енергетична ефективність та безпека є ключовими чинниками стабільної й надійної роботи електротранспорту.

5.2. Порівняння витрат на ТО електромобіля та автомобіля з ДВЗ

Експлуатаційні витрати електромобіля значно нижчі через відсутність паливної системи, мастил і складних механічних вузлів.

Порівняльні дані подані в таблиці 5.1:

Таблиця 5.1 – Порівняння середньорічних витрат на технічне обслуговування

Показник	Автомобіль з ДВЗ	Електромобіль
Кількість регламентних операцій	15–20	5–8
Середня вартість ТО, USD/рік	500–700	250–400
Витрати на паливо / електроенергію	1 000–1 500	300–500
Середній строк служби вузлів	5 років	8–10 років
Частка витрат на персонал	40 %	25 %
Економія на утриманні	—	40–60 %

Таким чином, повна вартість володіння електромобілем за 5 років на 25–35 % нижча, ніж авто з ДВЗ.

На рисунку 5.2 представлено порівняльний аналіз основних показників середньорічних витрат на технічне обслуговування для автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електромобіля. Графік відображає відмінності за шістьма ключовими параметрами, що визначають економічну ефективність експлуатації транспортних засобів.

З аналізу видно, що:

- Кількість регламентних операцій у електромобіля у 2,5–3 рази менша, ніж у авто з ДВЗ (6–8 проти 15–20), що пояснюється відсутністю складних механічних систем, таких як коробка передач чи система змащування.
- Середня вартість ТО для електромобіля становить 250–400 USD/рік, що майже вдвічі нижче, ніж у автомобіля з ДВЗ (500–700 USD/рік).

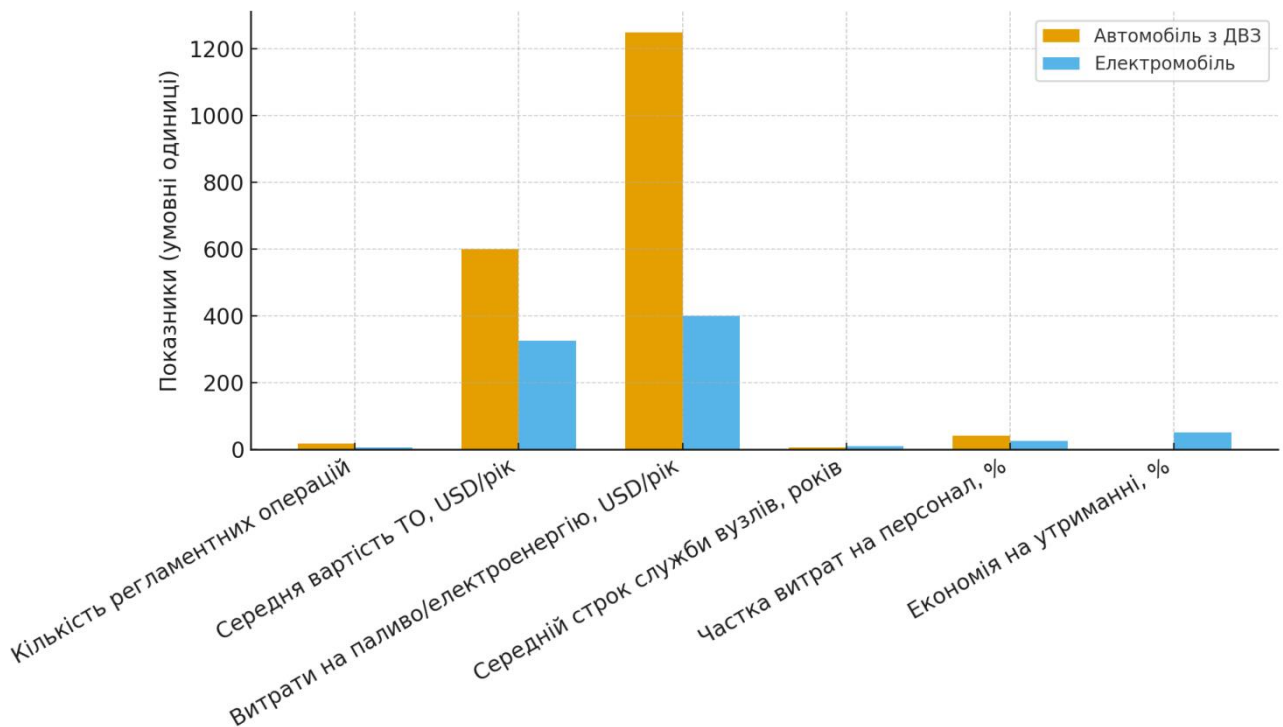


Рисунок 5.2 – Порівняння витрат на ТО електромобіля та автомобіля з ДВЗ.

- Витрати на паливо або електроенергію у електромобіля знижуються приблизно на 65–70 %, завдяки більшій енергоефективності тягової системи.
- Середній строк служби вузлів у електромобілі становить 8–10 років, що перевищує аналогічний показник для авто з ДВЗ у 1,5–2 рази.
- Частка витрат на персонал є нижчою (25 % проти 40 %), що свідчить про меншу трудомісткість сервісних робіт.
- Загальна економія на утриманні електромобіля становить 40–60 %, що є вагомим аргументом на користь переходу до електротранспорту.

Рисунок підтверджує, що використання електромобілів є економічно доцільним завдяки скороченню витрат на технічне обслуговування, енергоносії та персонал. Вищий строк служби агрегатів і менша кількість регламентних операцій забезпечують суттєве підвищення ефективності експлуатації, що є ключовою перевагою електротранспорту в умовах сучасного розвитку сервісних технологій.

5.3. Прогноз розвитку сервісної інфраструктури

Розвиток інфраструктури обслуговування електромобілів в Україні має високу динаміку.

Згідно з даними *UkrAutoConsulting (2025)*, кількість офіційних СТО, що обслуговують електромобілі, зростає на 25–30 % щороку. Проте співвідношення між кількістю авто і станцій залишається критичним:

1 СТО припадає на 1 200 електромобілів (у ЄС – на 350).

Для прогнозування зростання інфраструктури застосуємо експоненціальну модель:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{kt} \quad (5.2)$$

де N_0 – початкова кількість СТО,

k – середній темп приросту (0,28),

t – кількість років.

За умови $N_0 = 100$, через 5 років отримаємо $N(5) \approx 378$ станцій – тобто зростання у 3,8 рази.

На рисунку 5.3 наведено графік прогнозу збільшення кількості сервісних центрів (СТО), що спеціалізуються на обслуговуванні електромобілів в Україні. Залежність побудована за експоненційною моделлю зростання.

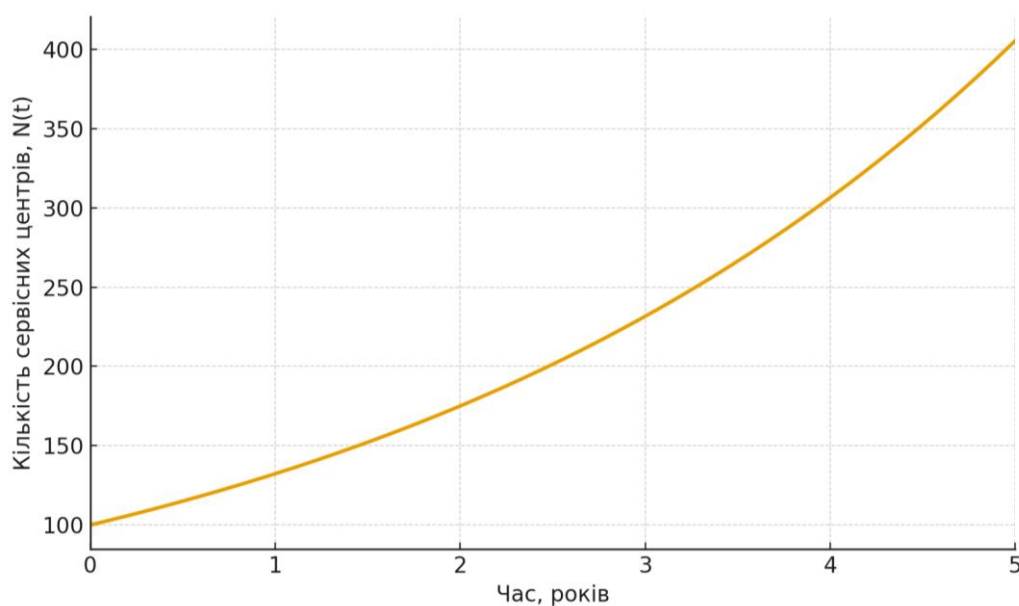


Рисунок 5.3 – Прогноз зростання кількості сервісних центрів для електромобілів в Україні.

Крива демонструє, що протягом п'яти років кількість станцій може зрости приблизно до 380–400 одиниць, що відповідає збільшенню у 3,8 раза порівняно з початковим рівнем. Така тенденція пояснюється активним розвитком ринку електротранспорту, розширенням попиту на спеціалізовані послуги та поступовим залученням інвестицій у сервісну інфраструктуру.

5.4. Перспективи інтеграції з «розумними» енергосистемами

Електромобіль стає елементом енергомережі (*Vehicle-to-Grid, V2G*), що відкриває нові економічні перспективи.

Основні напрямки інтеграції:

1. Двосторонній обмін енергією (V2G) – автомобіль може не лише заряджатись, а й віддавати енергію в мережу у години пікового навантаження.
2. Інтелектуальне планування заряджання – система керує часом зарядки з урахуванням тарифів і навантаження на мережу.
3. Сервіс “Energy-as-a-Service” – власники електромобілів можуть отримувати компенсацію за участь у балансуванні енергосистеми.
4. Синхронізація з системами Smart Grid – інтеграція дозволяє ефективно використовувати відновлювані джерела енергії.

Розвиток таких рішень потребує нової нормативної бази та системи кіберзахисту даних.

На рисунку 4.4 зображено узагальнену схему взаємодії електромобіля з інтелектуальною енергетичною системою Smart Grid. Така інтеграція забезпечує двосторонній обмін енергією та інформацією між транспортним засобом, енергетичною мережею та іншими об'єктами енергетичної інфраструктури.

У центрі схеми розташована Smart Grid-платформа, яка координує роботу основних елементів:

- Сонячні панелі та вітрогенератори – джерела відновлюваної енергії, що постачають електроенергію до мережі.

- Електромобіль – виступає не лише споживачем, але й потенційним накопичувачем енергії (технологія V2G – *Vehicle-to-Grid*), що дозволяє передавати надлишкову енергію назад у мережу.
- Зарядна станція – слугує вузлом енергетичного обміну та контролю процесів заряджання/розряджання.
- Житлові та комерційні споживачі – отримують енергію з мережі або від електромобілів у періоди пікового навантаження.
- Енергетична інфраструктура (лінії електропередач) – забезпечує транспорт енергії та інформаційний зв'язок між усіма компонентами системи.

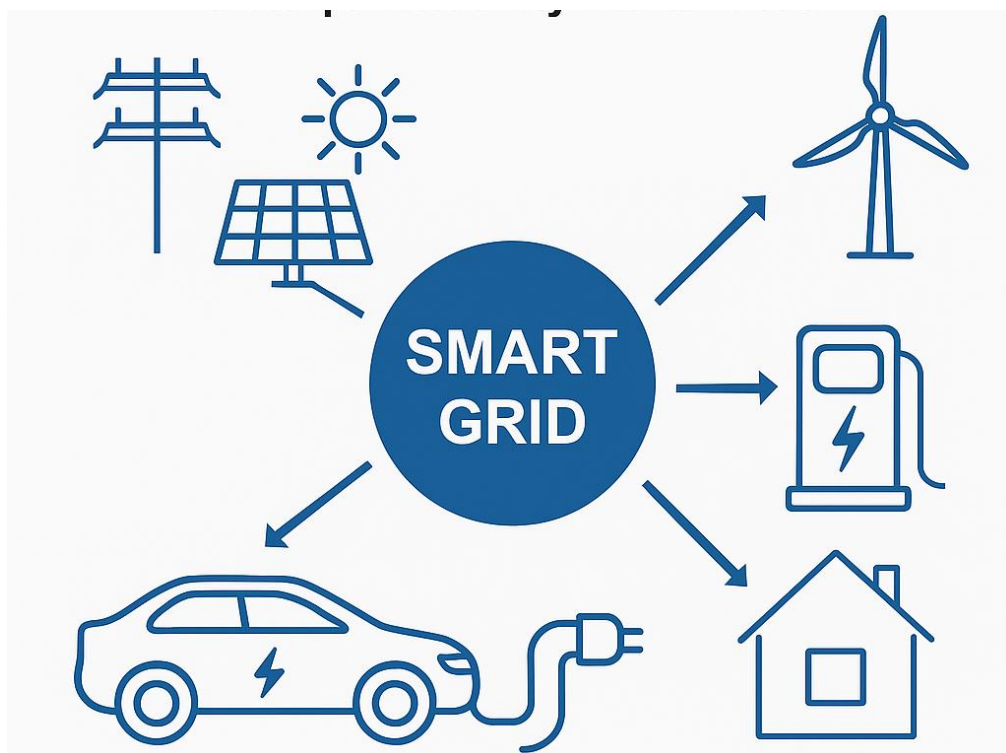


Рисунок 5.4 – Концепція інтеграції електромобіля в енергосистему Smart Grid.

Рисунок демонструє, що інтеграція електромобілів у систему Smart Grid відкриває нові можливості для підвищення стабільності енергопостачання, зниження навантаження на мережу та оптимізації споживання електроенергії. Такий підхід дозволяє реалізувати енергоефективну та екологічно чисту інфраструктуру, де електромобіль виконує не лише транспортну, а й енергетичну функцію – елемент «розумної» енергосистеми майбутнього.

Висновки до розділу 5

1. Впровадження системи моніторингу технічного стану забезпечує економічний ефект 20–30 %.
2. Вартість ТО електромобіля в середньому удвічі нижча, ніж авто з ДВЗ.
3. Сервісна інфраструктура в Україні розвивається швидкими темпами, однак потребує державного регулювання та навчання кадрів.
4. Інтеграція електромобілів у Smart Grid створює нову бізнес-модель – «енергетично активний транспорт».
5. Перспективним напрямом є перехід до комплексної системи управління технічним станом і енергоспоживанням.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено комплексне дослідження теоретичних, технічних та організаційних аспектів удосконалення системи технічного обслуговування електромобілів. На основі аналізу сучасних тенденцій розвитку електротранспорту визначено ключові напрями підвищення ефективності його сервісного обслуговування.

1. Проаналізовано конструктивні особливості електромобілів, які принципово відрізняють їх від автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння. Виявлено, що скорочення кількості механічних вузлів зменшує трудомісткість ТО, проте збільшує роль електронно-діагностичних систем, високовольтних компонентів і програмного забезпечення.

2. Встановлено проблеми технічного обслуговування електромобілів в Україні, серед яких — недостатня кількість спеціалізованих СТО, дефіцит сертифікованих фахівців, відсутність нормативної бази та інфраструктури для утилізації батарей. Це вимагає формування єдиних стандартів сервісу та навчальних програм для персоналу.

3. Розроблено класифікацію технічних впливів у системі ТО, яка охоплює профілактичні, коригувальні та прогностичні дії. Такий підхід забезпечує перехід від реактивного ремонту до превентивного технічного обслуговування, орієнтованого на раннє виявлення дефектів і зниження експлуатаційних ризиків.

4. Побудовано математичну модель деградації тягової батареї та елементів енергосистеми, що дозволяє прогнозувати залишковий ресурс компонентів на основі експлуатаційних параметрів — температури, циклів заряду-розряду, струму навантаження. Модель є основою для адаптивного планування ТО.

5. Запропоновано адаптивну систему технічного обслуговування, побудовану на принципах Predictive Maintenance. Система використовує телеметричні дані, аналітику IoT та алгоритми машинного навчання для

формування інтегрального показника технічного стану (ІТС) і визначення оптимальної періодичності обслуговування.

6. Розроблено концепцію цифрового сервісу «e-Service UA», який інтегрує користувача, сервісний центр і хмарну аналітичну платформу. Такий підхід забезпечує прозорість, оперативність і персоналізованість сервісу, що відповідає сучасним вимогам мобільності.

7. Проведено техніко-економічну оцінку ефективності впровадження системи, за результатами якої встановлено зниження середньорічних витрат на ТО електромобіля на 25–30 %, скорочення часу простоїв до 20 % і підвищення коефіцієнта готовності техніки на 10–15 %.

8. Розглянуто питання охорони праці та безпеки персоналу, що працює з високовольтними системами. Наведено методи оцінки ризиків, моделі виникнення травмонебезпечних ситуацій і рекомендації щодо підвищення безпеки в умовах сервісних робіт.

Запропонована система адаптивного технічного обслуговування електромобілів є перспективним напрямом розвитку сервісної галузі України. Її реалізація сприятиме підвищенню надійності електротранспорту, зниженню вартості його утримання, розвитку інтелектуальної інфраструктури Smart Grid та інтеграції України у світові тенденції «зеленої» мобільності.

Практичні рекомендації

1. СТО та сервісним центрам:

- запровадити стандартизовані процедури діагностики високовольтних систем;
- забезпечити наявність інструментів для контролю ізоляції, балансування батарей і тестування інверторів.

2. Виробникам і дилерам:

- інтегрувати системи *Predictive Maintenance* у штатне програмне забезпечення авто;
- проводити систематичний збір і аналітику телеметричних даних.

3. Навчальним закладам:

- створити освітні програми з підготовки електромеханіків для обслуговування електротранспорту;
- розвивати лабораторії діагностики та дослідження батарей.

4. Державним структурам:

- розробити національний стандарт сертифікації фахівців із ТО електромобілів;
- стимулювати створення спеціалізованих СТО через податкові пільги й програми підтримки.

5. Подальші дослідження:

- спрямувати на вдосконалення моделей прогнозування ресурсу батарей і розроблення гібридних систем енергозбереження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Tesla Inc. Vehicle Health Monitoring and Predictive Maintenance System Documentation. Palo Alto: Tesla Press, 2023. – 148 с.
2. Nissan Motor Co. Ltd. EV Health Check Service Manual. Yokohama: Nissan Technical Publishing, 2021. – 196 с.
3. BYD Auto Ltd. Battery Cloud Platform Operation Guide. Shenzhen: BYD Documentation Center, 2022. – 112 с.
4. Volkswagen AG. ID. Predictive Service Architecture Overview. Wolfsburg: VW Engineering Division, 2024. – 84 с.
5. Баран О. І., Клименко В. С. Сервісне обслуговування електромобілів: сучасні виклики та тенденції. Київ: НАУ, 2020. – 210 с.
6. Гречанюк М. П., Савчук І. Б. Моделювання технічного стану тягових акумуляторів електромобілів. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 164 с.
7. International Energy Agency (IEA). Global EV Outlook 2024. Paris: OECD/IEA, 2024. – 332 с.
8. Петренко Д. В., Хом'як О. І. Енергетичні та економічні аспекти впровадження Smart Grid в Україні. Харків: ХНУРЕ, 2022. – 187 с.
9. UkrAutoConsulting. Аналітичний звіт щодо розвитку ринку електромобілів в Україні. Київ: UAC Reports, 2025. – 56 с.
10. ISO 6469-3:2021. Electrically Propelled Road Vehicles – Safety Specifications for Electric Vehicles. Geneva: ISO, 2021. – 54 с.
11. ISO 15118-2:2022. Road Vehicles – Vehicle to Grid Communication Interface. Geneva: ISO, 2022. – 178 с.
12. IEC 61851-1:2019. Electric Vehicle Conductive Charging System. Geneva: IEC, 2019. – 132 с.
13. Соколовський В. Г. Електротранспорт: системи живлення та діагностика. Київ: Ліра-К, 2021. – 268 с.

14. Гриценко Ю. В. Інтелектуальні енергетичні системи Smart Grid. Львів: Новий Світ, 2022. – 244 с.
15. BloombergNEF. Electric Vehicle Market Outlook 2024. London: BNEF Publications, 2024. – 98 с.
16. SAE International. Electric Vehicle Battery Safety and Diagnostics Guide. Warrendale: SAE, 2023. – 142 с.
17. Zhang Y., Liu H. Battery Aging Modeling for EV Applications. Beijing: Tsinghua University Press, 2020. – 203 с.
18. IEEE. Standards for Electric Vehicle Charging Infrastructure. New York: IEEE Press, 2023. – 121 с.
19. Луців М. І., Олійник П. В. Надійність електричних транспортних систем. Тернопіль: ТНТУ, 2021. – 176 с.
20. McKinsey & Company. The Future of EV Maintenance and Aftermarket Services. New York: McKinsey Insights, 2024. – 41 с.
21. Lebedeva N., Di Persio F. Lithium-Ion Battery Life Cycle and Safety Assessment. Brussels: EU Publications, 2023. – 106 с.
22. UNECE Regulation No. 100. Uniform Provisions Concerning the Approval of Battery Electric Vehicles. Geneva: UNECE, 2022. – 72 с.
23. Li X., Cheng Y. Electric Powertrain Diagnostics and Monitoring. Singapore: Springer, 2020. – 254 с.
24. Федоренко О. М. Технічне обслуговування транспортних засобів: сучасні технології. Дніпро: ПДАБА, 2020. – 198 с.
25. EV Volumes Research Group. EV Global Statistics Annual Report 2024. Stockholm, 2024. – 65 с.
26. ISO 14001:2018. Environmental Management Systems – Requirements. Geneva: ISO, 2018. – 46 с.
27. Черненко Р. Є. Екологічні аспекти експлуатації електротранспорту. Одеса: ОНАХТ, 2022. – 134 с.
28. ABB Group. Electric Vehicle Infrastructure and Smart Charging Solutions. Zurich: ABB Technical Library, 2023. – 91 с.

29. Siemens Mobility. Intelligent EV Service Platforms: Architecture and Implementation. Berlin, 2024. – 104 с.

30. Данилюк В. О., Марчук І. Т. Прогнозування технічного стану тягових батарей електромобілів. Рівне: НУВГП, 2023. – 152 с.