

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу технічного обслуговування
електроавтомобілів

Виконав: студент 4 курсу, групи МАС-42
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Михайло ГАЛИЧАК
(прізвище та ініціали)

Керівник _____ Іван ГЕВКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Роман ХОРОШУН
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зав. кафедри _____ Олег ЦЬОНЬ
(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 автотранспорту та логістики
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«21» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Галичаку Михайлу Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу технічного обслуговування електроавтомобілів

Керівник роботи Гевко Іван Богданович д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «21» січня 2026 року № 4/9-42

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11 червня 2026

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес технічного обслуговування електроавтомобілів

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

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

4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

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

Технологічний процес технічного обслуговування електромобілів – 4А1;

Ескіз мобільного діагностичного стенду – А1;

Стенд мобільно-діагностичний з обладнанням – А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	к.т.н. доц. Сенчишин В.С.		

7. Дата видачі завдання 21.січня 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	27.01.2026	
2	Технологічний розділ	10.02.2026	
3	Конструкторський розділ	02.06.2026	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	11.06.2026	
5	Оформлення графічної частини	11.06.2026	
6	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра		

Студент

_____ (підпис)

Галичак Михайло Васильович

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Гевко Іван Богданович

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: « Розроблення технологічного процесу технічного обслуговування електроавтомобілів ».

Робота виконана на кафедрі автотранспорту та логістики Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра д.т.н., професор Гевко Іван Богданович.

Пояснювальна записка складається з чотирьох розділів і 64 сторінок формату А4 та 6 аркушів формату А1 графічної частини сторінок додатків.

Ключові слова технічне обслуговування, високовольтна система, тягова батарея, електропривод, діагностування.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Основні експлуатаційно-технічні характеристики електромобіля.....	8
1.2 Типи електромобілів та особливості їх конструктивної еволюції.....	11
1.3 Основні компоненти та системи електромобілів.....	15
1.4 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра....	28
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	29
2.1 Технічне обслуговування тягової акумуляторної батареї.....	29
2.2 Технічне обслуговування зарядної системи.....	35
2.3 Обслуговування низьковольтної електричної системи.....	42
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	48
3.1 Розроблення мобільного діагностично-сервісного стенда для технічного обслуговування електромобілів.....	48
3.2 Обґрунтування вибору матеріалу рами.....	52
3.3 Розрахунок навантаження на раму стенда.....	53
3.4 Розрахунок навантаження на одне колесо.....	54
3.5 Перевірка стійкості стенда.....	54
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	56
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час технічного обслуговування електромобілів.....	56
4.2 Заходи безпеки та охорони праці під час технічного обслуговування електромобілів.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	63
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Сучасний розвиток автомобільної галузі характеризується активним переходом від традиційних транспортних засобів із двигунами внутрішнього згоряння до електромобілів, які є більш екологічними, енергоефективними та технологічно досконалішими. Зростання кількості електроавтомобілів у світі та в Україні зумовлює необхідність удосконалення підходів до їх технічного обслуговування, діагностування та ремонту. На відміну від автомобілів із бензиновими або дизельними двигунами, електромобілі мають іншу конструктивну будову, інші джерела енергії, особливості роботи силової установки, систем керування, тягової акумуляторної батареї та високовольтного обладнання. Саме тому організація їх технічного обслуговування потребує спеціальних знань, відповідного обладнання, дотримання вимог електробезпеки та застосування сучасних діагностичних методів.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи бакалавра зумовлена тим, що електроавтомобілі поступово займають дедалі більшу частку автомобільного парку, однак система їх технічного обслуговування ще перебуває на етапі активного формування. Багато станцій технічного обслуговування орієнтовані переважно на обслуговування традиційних автомобілів, тому не завжди мають належну матеріально-технічну базу, спеціалізоване обладнання та підготовлений персонал для роботи з електричними транспортними засобами. Особливо важливими є питання безпечного виконання операцій із високовольтними системами, перевірки стану тягової батареї, електродвигуна, інвертора, зарядного пристрою, систем охолодження та електронних блоків керування [7, 9, 10, 12].

Особливої уваги під час технічного обслуговування електроавтомобілів потребує тяговий акумуляторний блок, оскільки він є одним із найдорожчих і найвідповідальніших елементів транспортного засобу. Його технічний стан впливає на запас ходу, стабільність роботи електропривода, безпеку експлуатації та загальний ресурс автомобіля. Для оцінювання стану батареї необхідно контролювати рівень заряду, залишкову ємність, температурний режим, балансування комірок, внутрішній опір та справність системи керування

батареею. Недотримання вимог до обслуговування або неправильне втручання у високовольтну систему може призвести не лише до виходу з ладу дорогих компонентів, а й до небезпечних ситуацій для персоналу та користувачів автомобіля.

Не менш важливим напрямом є організація технологічного процесу технічного обслуговування на підприємстві автосервісу. Рационально розроблена технологія дозволяє скоротити тривалість виконання робіт, підвищити якість діагностування, забезпечити безпеку праці та ефективно використовувати виробничі площі, обладнання і трудові ресурси [3, 4, 5]. Для цього необхідно визначити перелік основних операцій, обґрунтувати вибір діагностичного та сервісного обладнання, встановити послідовність виконання робіт, розрахувати трудомісткість і сформулювати вимоги до організації робочого місця.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розроблення технологічного процесу технічного обслуговування електроавтомобілів з урахуванням їх конструктивних особливостей, вимог безпеки, сучасних методів діагностування та умов організації робіт на станції технічного обслуговування.

Об'єктом дослідження є процес технічного обслуговування електроавтомобілів в умовах підприємства автосервісу.

Предметом дослідження є технологічна послідовність, методи, обладнання та організаційні рішення, які забезпечують якісне і безпечне технічне обслуговування електроавтомобілів.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонований технологічний процес може бути використаний для організації або вдосконалення робіт із технічного обслуговування електроавтомобілів на станціях технічного обслуговування. Розроблені рішення сприятимуть підвищенню рівня безпеки персоналу, зменшенню ризику пошкодження високовольтних компонентів, покращенню якості діагностування та забезпеченню надійної експлуатації електричних транспортних засобів.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Основні експлуатаційно-технічні характеристики електромобіля

Електромобіль як сучасний транспортний засіб відрізняється від автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння не лише типом силової установки, а й особливостями формування тягових властивостей, запасу ходу та процесу поповнення енергії. Основними параметрами, які визначають його технічний рівень і практичну придатність до експлуатації, є потужність електропривода, величина крутного моменту, пробіг на одному заряді акумуляторної батареї та тривалість заряджання [6, 7, 8].

Потужність і крутний момент. Однією з важливих переваг електричної силової установки є висока ефективність перетворення електричної енергії в механічну роботу. Електродвигун має значно меншу кількість рухомих елементів порівняно з двигуном внутрішнього згоряння, тому втрати на тертя в ньому є нижчими. Крім того, така силова установка не потребує складної системи мащення, має спрощену конструкцію та характеризується меншим рівнем механічного зношування.

Особливістю електродвигуна є здатність розвивати максимальний або близький до максимального крутний момент практично з початку руху [7, 8]. Це забезпечує електромобілю високу динаміку розгону, плавність ходу та швидку реакцію на натискання педалі акселератора. Саме тому багато сучасних електромобілів демонструють високі тягово-швидкісні показники, які в окремих випадках перевищують характеристики автомобілів із традиційними двигунами внутрішнього згоряння.

У високопродуктивних моделях електромобілів сумарна потужність силової установки може перевищувати 500 к. с., а в окремих спортивних модифікаціях – досягати ще більших значень. Наприклад, електромобіль Porsche Taycan Turbo S оснащується двома електродвигунами, які забезпечують сумарну потужність до 761 к. с. Завдяки цьому автомобіль здатний розганятися до 100 км/год приблизно за 2,8 с. Такий приклад свідчить про високий потенціал

електричного привода щодо забезпечення інтенсивного прискорення та стабільної передачі тягового зусилля на колеса.

Запас ходу електромобіля. Для більшості електромобілів, призначених для повсякденної експлуатації, вирішальне значення має не максимальна динаміка, а запас ходу на одному заряді акумуляторної батареї. Саме цей показник визначає зручність використання транспортного засобу, можливість виконання щоденних поїздок без частого заряджання та загальну конкурентоспроможність електромобіля порівняно з автомобілями, обладнаними двигунами внутрішнього згорання.

Запас ходу безпосередньо залежить від ємності тягової акумуляторної батареї, енергоефективності електропривода, маси автомобіля, аеродинамічного опору, режиму руху, температури навколишнього середовища та використання допоміжних систем, зокрема опалення або кондиціонування [7, 9, 10]. На початковому етапі розвитку серійних електромобілів їхній пробіг на одному заряді часто становив лише близько 100–150 км, що суттєво обмежувало сферу застосування таких транспортних засобів.

Сучасні електромобілі мають значно кращі показники автономності. Для багатьох моделей середнього класу реальний запас ходу становить близько 350–450 км, що є достатнім для щоденного використання в міських і приміських умовах. Якщо середньодобовий пробіг автомобіля становить 50–70 км, одного повного заряду батареї може вистачати на декілька днів експлуатації. Це робить електромобіль практичним засобом пересування не лише для коротких міських маршрутів, а й для міжміських поїздок.

Окремі сучасні моделі вже здатні долати 600–800 км на одному заряді. Подальший розвиток акумуляторних технологій, систем рекуперації енергії, електронного керування та аеродинаміки створює передумови для збільшення запасу ходу до 800–1000 км. Прикладом перспективного технічного підходу є концепт Mercedes-Benz Vision EQXX, представлений у 2022 році, у якому особлива увага приділена зниженню енергоспоживання, оптимізації маси та підвищенню ефективності силової установки. Такі рішення поступово наближають електромобілі за експлуатаційною автономністю до традиційних автомобілів із ДВЗ.

Швидкість заряджання акумуляторної батареї. Важливою характеристикою електромобіля є тривалість заряджання тягової акумуляторної батареї. Цей показник залежить від ємності батареї, допустимої зарядної потужності, технічного стану акумуляторних модулів, температурного режиму та можливостей зарядної інфраструктури [7, 9, 10]. Чим більша ємність батареї, тим більший запас енергії вона може накопичити, однак для її повного заряджання потрібна більша кількість часу або застосування потужнішого зарядного обладнання.

У побутових умовах електромобіль може заряджатися від звичайної електричної мережі, однак такий спосіб є найповільнішим. Залежно від ємності батареї та параметрів мережі повне заряджання може тривати кілька годин або всю ніч. Такий варіант є зручним для власників, які мають можливість залишати автомобіль на заряджанні під час тривалої стоянки, наприклад у гаражі або на приватній парковці.

Значно ефективнішим є використання спеціалізованих зарядних станцій змінного або постійного струму. Особливо швидке поповнення енергії забезпечують швидкісні зарядні термінали постійного струму, які дозволяють передавати до батареї значну електричну потужність. У сучасних електромобілях за наявності відповідної зарядної інфраструктури можливо зарядити акумуляторну батарею приблизно до 80 % за 35–45 хвилин. Такий рівень швидкості заряджання значно підвищує зручність експлуатації електромобілів під час далеких поїздок.

Водночас слід зазначити, що швидке заряджання потребує ефективної системи терморегулювання батареї, оскільки під час проходження великих струмів відбувається її нагрівання. Надмірне підвищення температури може негативно впливати на ресурс акумуляторних елементів, тому сучасні електромобілі обладнуються системами контролю температури, охолодження та електронного керування процесом заряджання. Це дозволяє підтримувати безпечні режими роботи батареї, зберігати її ресурс і забезпечувати стабільність експлуатаційних характеристик транспортного засобу.

1.2 Типи електромобілів та особливості їх конструктивної еволюції

Розвиток електромобілів є результатом тривалого технічного пошуку, спрямованого на підвищення енергоефективності, запасу ходу, безпеки та експлуатаційної зручності транспортних засобів [6, 7]. Перехід автомобільної галузі до електричної тяги не відбувся миттєво, оскільки на початкових етапах електромобілі значною мірою повторювали конструкцію традиційних автомобілів із двигунами внутрішнього згорання. Лише з удосконаленням тягових акумуляторних батарей, силової електроніки, електродвигунів і систем керування з'явилися транспортні засоби, конструкція яких уже повністю орієнтована на використання електричного привода.

У загальному вигляді електромобілі можна розглядати за етапами їх конструктивного розвитку. Такий підхід дозволяє краще зрозуміти, як змінювалися компонування, енергетичні характеристики, запас ходу та технологічні можливості електричних транспортних засобів.

Електромобілі першого покоління. До першого покоління можна віднести електромобілі, створені переважно шляхом переобладнання серійних автомобілів із двигунами внутрішнього згорання. У таких конструкціях базовий кузов, ходова частина та значна частина агрегатів залишалися майже без змін, а замість ДВЗ встановлювали електродвигун, інвертор і акумуляторний блок. Тягова батарея, як правило, розміщувалася у вільному просторі, зокрема в зоні багажного відділення або на місці паливного бака.

Подібне рішення мало певні переваги, насамперед відносно невисоку вартість розроблення, оскільки виробник міг використовувати вже наявну платформу автомобіля. Водночас така схема мала суттєві технічні обмеження. Розміщення акумуляторів у нераціональних зонах погіршувало розподіл маси, зменшувало корисний об'єм багажного відділення та обмежувало можливу ємність батареї. Крім того, збереження окремих елементів традиційної трансмісії не дозволяло повністю реалізувати переваги електричного привода.

Через невелику ємність акумуляторів, значну масу та недостатньо оптимізовану конструкцію такі електромобілі мали обмежений запас ходу, невисоку максимальну швидкість і порівняно скромні динамічні характеристики.

Їх можна розглядати як перехідний етап, який дав змогу відпрацювати базові технічні рішення, але ще не забезпечував повноцінної конкуренції з автомобілями, оснащеними бензиновими або дизельними двигунами. До подібних прикладів можна віднести ранні дослідні й дрібносерійні електромобілі, а також Toyota RAV4 EV, представлений наприкінці 1990-х років.

Електромобілі другого покоління. Другий етап розвитку пов'язаний із появою електромобілів, конструкція яких уже частково адаптувалася до потреб електричного привода. У таких транспортних засобах ще зберігалася певна уніфікація з автомобілями, обладнаними двигунами внутрішнього згорання, однак компоновка основних вузлів була переглянута з урахуванням розміщення акумуляторної батареї, електродвигуна, силової електроніки та зарядного обладнання.

На відміну від автомобілів першого покоління, у цих моделях поступово відмовлялися від надлишкових механічних елементів, характерних для традиційної трансмісії. Акумуляторні модулі почали розташовувати більш раціонально – під сидіннями, у центральному тунелі або в інших конструктивно придатних зонах кузова. Це дозволило дещо покращити розподіл маси, підвищити ефективність використання внутрішнього простору та збільшити запас ходу.

Однак електромобілі другого покоління ще не були повністю самостійними з погляду архітектури платформи. Їхня конструкція залишалася компромісною, оскільки спиралася на кузова або технічні рішення, розроблені для автомобілів із ДВЗ. Через це можливості збільшення ємності батареї та оптимізації компонування були обмеженими. Прикладами таких автомобілів можна вважати Kia Soul EV, Volkswagen e-Golf та інші моделі, у яких електрична силова установка інтегрувалася в уже наявну автомобільну платформу.

Окреме місце серед електромобілів цього періоду посідає Nissan Leaf. Ця модель була значно краще пристосована до щоденної експлуатації, ніж більшість попередніх електромобілів. Вона не мала прямого аналога з двигуном внутрішнього згорання, проте частина її конструктивних рішень і компонентної бази залишалася пов'язаною з іншими моделями виробника. Nissan Leaf став

одним із перших масових електромобілів, який продемонстрував реальну можливість використання електричного транспорту в міських умовах.

Електромобілі третього покоління. Третє покоління електромобілів характеризується переходом до спеціалізованої електричної платформи. У таких автомобілях конструкція кузова, розташування силових елементів і компоновання енергетичної системи спочатку проєктуються під електричний привод. Одним із найбільш показових прикладів такого підходу стала Tesla Model S, у якій тягова акумуляторна батарея розміщена в нижній частині кузова, а електродвигун встановлений у зоні привідної осі.

Розташування батареї під підлогою стало принципово важливим конструктивним рішенням. По-перше, воно дозволило значно збільшити розміри акумуляторного блока без суттєвого зменшення простору салону та багажника. По-друге, важка батарея, розміщена низько, знижує центр мас автомобіля, що позитивно впливає на стійкість, керованість і безпеку руху. По-третє, така компоновка створює більш рівномірний розподіл маси між осями, що є важливим для динаміки та комфорту експлуатації.

Для автомобілів із двигуном внутрішнього згоряння подібна архітектура є практично недосяжною через значні габарити силового агрегата, системи випуску, паливного бака та трансмісії. Натомість електричний привод дає змогу гнучко розміщувати основні компоненти, звільняючи більше простору для пасажирів і вантажу.

Ще однією важливою ознакою електромобілів третього покоління стало застосування багатомоторних схем. У двомоторних модифікаціях один електродвигун може приводити передню вісь, а інший – задню. Це дозволяє реалізувати повний привод без складної механічної трансмісії, роздавальної коробки та карданних валів. Такий підхід не лише покращує тягові властивості автомобіля, а й підвищує ефективність керування крутним моментом на різних режимах руху.

Багатомоторна схема також позитивно впливає на рекуперацію енергії. Під час гальмування електродвигуни працюють у генераторному режимі, перетворюючи частину кінетичної енергії автомобіля в електричну та повертаючи її до акумуляторної батареї. Потужні електродвигуни в цьому

випадку виконують не лише тягову функцію, а й роль ефективних генераторів, що сприяє підвищенню загальної енергоефективності транспортного засобу.

Подібну архітектуру використовують не лише Tesla, а й інші виробники. Наприклад, Jaguar I-Pace поєднує розташування акумуляторної батареї в підлозі з повним приводом і високими тяговими можливостями. Такий тип компонування став типовим для багатьох сучасних електричних кросоверів і легкових автомобілів преміального класу.

Багатомоторні електромобілі. Подальший розвиток електричних платформ привів до появи автомобілів із трьома або чотирма електродвигунами. У таких конструкціях кожен двигун може відповідати за окрему вісь або навіть за окреме колесо. Це значно розширює можливості керування тяговими зусиллями та дозволяє реалізувати електронний розподіл крутного моменту з високою точністю.

Наприклад, у деяких модифікаціях Audi e-tron S застосовується тримоторна схема, де два електродвигуни працюють на задній осі, а третій забезпечує привод передніх коліс. Така система дозволяє оперативно змінювати розподіл тяги залежно від дорожніх умов, швидкості руху та дій водія. Внаслідок цього покращуються стійкість, прохідність і динаміка автомобіля.

Ще складнішою є чотиримоторна архітектура, у якій кожне колесо має окремий електродвигун або окремий привідний модуль. Таке рішення відкриває широкі можливості для індивідуального керування моментом на кожному колесі. Його застосування є особливо перспективним для електричних пікапів, позашляховиків і спортивних автомобілів, де важливими є точність керування, висока прохідність, стійкість на складних покриттях і максимальна динаміка. Прикладами такого підходу є Rivian R1T, Rimac Nevera та інші високотехнологічні електромобілі.

Електромобілі четвертого покоління. До четвертого покоління можна віднести електромобілі, у яких основний акцент зроблено на підвищенні напруги високовольтної системи, скороченні часу заряджання та подальшому зростанні енергоефективності. Якщо у багатьох ранніх електромобілях використовувалися системи з напругою приблизно 350–450 В, то нові платформи поступово переходять до архітектури близько 800 В.

Застосування високовольтної системи з підвищеною напругою має кілька важливих переваг [7, 9, 10]. За однакової потужності зменшується сила струму, що дає змогу знизити теплові втрати в провідниках, зменшити масу кабельної мережі та підвищити ефективність передавання енергії. Крім того, така архітектура створює умови для швидшого заряджання акумуляторної батареї за наявності відповідної зарядної інфраструктури.

До електромобілів цього покоління можна віднести Porsche Taycan, а також моделі Hyundai та Kia, побудовані на платформі E-GMP. Вони демонструють новий підхід до побудови електричного транспортного засобу, у якому важливими стають не лише запас ходу й потужність, а й швидкість поповнення енергії, стабільність роботи високовольтної системи та ефективність теплового керування.

Хоча електромобілі з 800-вольтовою архітектурою ще не в усіх показниках перевершують найкращі моделі попередніх поколінь, вони мають значний потенціал для подальшого розвитку. Насамперед це стосується зменшення тривалості заряджання, підвищення ресурсу батарей, поліпшення енергоефективності та розширення можливостей для далеких поїздок.

1.3 Основні компоненти та системи електромобілів

Незважаючи на відмінності між окремими моделями електромобілів, їхнім поколінням, типом привода та компоновальними рішеннями, більшість сучасних електричних транспортних засобів мають подібну загальну структуру. Основу конструкції електромобіля становить комплекс взаємопов'язаних систем, які забезпечують накопичення електричної енергії, її перетворення, передавання до коліс, керування режимами руху, заряджання та підтримання безпечних умов експлуатації.

До основних складових електромобіля належать тяговий електродвигун, акумуляторна батарея, інвертор, система керування електроприводом, зарядний пристрій, високовольтна електрична мережа, система терморегулювання, редуктор або привідний модуль, а також допоміжні електронні та механічні системи [7, 8, 9]. Кожен із цих елементів виконує окрему функцію, однак

ефективність роботи електромобіля визначається саме їхньою узгодженою взаємодією.

Електричний двигун є одним із головних елементів силової установки електромобіля, оскільки саме він перетворює електричну енергію, що надходить від тягової акумуляторної батареї, у механічну енергію обертання. Отриманий крутний момент через редуктор або інший передавальний механізм передається на привідні колеса, забезпечуючи рух транспортного засобу.

Принцип роботи електродвигуна ґрунтується на явищі електромагнітної взаємодії. Якщо провідник зі струмом перебуває в магнітному полі, на нього діє механічна сила. У конструкції двигуна ця сила використовується для створення обертального руху ротора відносно нерухомої частини – статора. Унаслідок взаємодії магнітних полів формується крутний момент, який і забезпечує роботу електропривода.

Конструктивно електродвигун складається зі статора, ротора, обмоток, корпусу, підшипникових вузлів, системи охолодження та датчиків контролю. Статор виконує функцію нерухомої частини, у якій створюється магнітне поле, а ротор є рухомим елементом, що обертається під дією електромагнітних сил. Залежно від конструктивної схеми, типу живлення та способу формування магнітного поля електродвигуни можуть мати різні технічні характеристики, рівень ефективності, масу, вартість і складність керування.

У сучасних електромобілях переважно застосовуються безщіткові електродвигуни, оскільки вони мають вищу надійність, менші втрати на тертя та не потребують регулярного обслуговування щітково-колекторного вузла [7, 8]. Відсутність щіток зменшує механічне зношування, підвищує ресурс агрегата та дає змогу точніше керувати режимами його роботи за допомогою електронних систем.

Одним із найбільш ефективних типів електричних машин, які використовуються в електромобілях, є синхронний електродвигун змінного струму з постійними магнітами. У такій конструкції ротор містить постійні магніти, а статор створює кероване обертове магнітне поле. Завдяки цьому двигун здатний забезпечувати високий коефіцієнт корисної дії, значну питому потужність, компактність і швидку реакцію на зміну навантаження.

Разом із тим синхронні двигуни з постійними магнітами мають і певні недоліки. Насамперед це висока вартість, оскільки для виготовлення магнітів використовуються рідкісноземельні матеріали. Крім того, наявність постійного магнітного поля ускладнює керування двигуном у деяких режимах роботи та потребує застосування точних електронних систем керування. Саме тому такі електродвигуни найчастіше використовуються в потужних і технологічно складних електромобілях, де важливими є висока динаміка, енергоефективність і компактність силової установки.

До прикладів транспортних засобів, у яких застосовуються високоефективні електроприводи такого типу, можна віднести Porsche Taycan, Tesla Model S та інші сучасні електромобілі преміального класу. Їхні силові установки демонструють високу здатність до швидкого набору швидкості, стабільну тягу в широкому діапазоні режимів і ефективне використання енергії тягової батареї.



Рис. 1.1. Двигун електромобілів Porsche Taycan і Tesla Model S.

Окрім синхронних електродвигунів із постійними магнітами, у сучасних електромобілях досить широко застосовуються електричні машини, у яких магнітне поле створюється не постійними магнітами, а електромагнітними обмотками. Такі двигуни працюють на змінному струмі та є економічно привабливішими, оскільки не потребують використання дорогих рідкісноземельних матеріалів. Саме нижча вартість виготовлення, технологічна простота та достатній рівень надійності зумовлюють їх поширення в електричних транспортних засобах різних класів.

Залежно від характеру взаємодії ротора з магнітним полем статора такі електродвигуни можуть бути синхронними або асинхронними. У синхронних електричних машинах ротор обертається з тією самою частотою, що й обертове магнітне поле статора. Подібні рішення застосовуються, зокрема, в окремих моделях міських електромобілів, наприклад Renault Zoe. Вони забезпечують добру керованість, стабільну роботу та прийнятні енергетичні показники.

Більш поширеним варіантом є асинхронний електродвигун. Його особливість полягає в тому, що ротор обертається з дещо меншою частотою, ніж магнітне поле, яке створюється обмотками статора. Саме ця різниця швидкостей, або ковзання, забезпечує виникнення електромагнітного моменту. Асинхронні двигуни характеризуються простою та міцною конструкцією, відсутністю постійних магнітів, стійкістю до перевантажень і порівняно невисокою вартістю виробництва.

Разом із тим асинхронні електродвигуни зазвичай мають дещо нижчий коефіцієнт корисної дії порівняно з синхронними машинами з постійними магнітами. Це пов'язано з додатковими електромагнітними втратами, які виникають у роторі під час роботи. Однак їхня конструктивна простота, ремонтпридатність і надійність роблять такі двигуни доцільними для використання у багатьох серійних електромобілях. Прикладом застосування асинхронного електропривода є Audi e-tron, у якому така схема забезпечує стабільну роботу силової установки та достатні тягові характеристики.

Передавальний механізм електромобіля. Важливою особливістю електричного привода є те, що електродвигун здатний розвивати високий крутний момент уже з мінімальної частоти обертання. На відміну від двигуна внутрішнього згоряння, якому для ефективної роботи потрібен обмежений діапазон обертів і складна система зміни передавальних чисел, електродвигун має значно ширший робочий діапазон. Він може швидко набирати оберти, працювати в різних режимах навантаження та змінювати напрямок обертання без застосування окремого механізму заднього ходу.

З цієї причини електромобілі, як правило, не потребують класичної багатоступінчастої коробки передач. У більшості випадків достатньо використання компактного редуктора, який знижує частоту обертання вала

електродвигуна та одночасно збільшує крутний момент, що передається на колеса. Такий редуктор часто є одноступінчастим і конструктивно об'єднується з електродвигуном у єдиний привідний модуль.

Найчастіше в електромобілях застосовують зубчасті редуктори, зокрема циліндричні або планетарні передачі. Вони мають компактні розміри, високу надійність, не потребують складного технічного обслуговування та забезпечують ефективне передавання потужності від електродвигуна до коліс. Спрощення трансмісії позитивно впливає на масу автомобіля, зменшує кількість деталей, які підлягають зношуванню, і підвищує загальну надійність силової установки.



Рис. 1.2. КПП електромобіля.

У високошвидкісних або спортивних електромобілях іноді застосовують двоступінчасті коробки передач. Таке рішення дозволяє поєднати інтенсивний розгін на малих швидкостях із можливістю досягнення високої максимальної швидкості. Перша передача використовується для реалізації максимальної тяги під час старту та прискорення, тоді як друга забезпечує ефективніший рух на високих швидкостях. Проте така схема є складнішою та дорожчою, тому в більшості серійних електромобілів перевага надається простій одноступінчастій редукторній передачі.

Тягова акумуляторна батарея є одним із найважливіших і найдорожчих елементів електромобіля, оскільки саме вона виконує функцію основного джерела енергії для живлення електричного привода та високовольтних систем транспортного засобу. Від її технічного стану, ємності, напруги, температурного

режиму та ефективності системи керування безпосередньо залежать запас ходу електромобіля, динамічні характеристики, безпека експлуатації та загальний ресурс автомобіля.

Конструктивно тягова батарея являє собою складний енергетичний модуль, сформований із великої кількості окремих акумуляторних елементів. Ці елементи об'єднуються в модулі, а модулі, у свою чергу, формують загальний акумуляторний блок. Такий підхід дозволяє отримати необхідну ємність і робочу напругу, які відповідають вимогам конкретної моделі електромобіля. У сучасних електричних транспортних засобах номінальна напруга високовольтної батареї зазвичай перебуває в межах від 350 до 800 В, залежно від архітектури електропривода, потужності силової установки та типу зарядної системи.

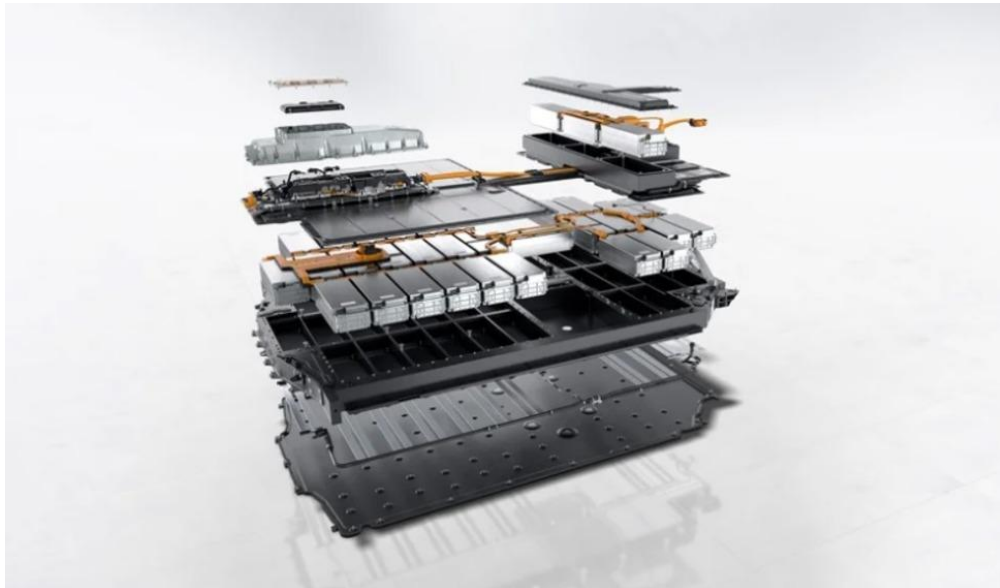


Рис. 1.3. Тягова акумуляторна батарея.

Робота тягової батареї контролюється спеціалізованою електронною системою керування – BMS, тобто Battery Management System. Вона здійснює постійний моніторинг напруги окремих комірок, температури модулів, сили струму, рівня заряду, залишкової ємності та загального стану акумуляторного блока. Крім того, система BMS забезпечує балансування елементів, захист від перезарядження, надмірного розрядження, перегрівання, короткого замикання та інших небезпечних режимів. Саме завдяки цій системі акумуляторна батарея працює стабільно, безпечно та зберігає свій ресурс упродовж тривалого періоду експлуатації.

Важливою особливістю тягових батарей є їхня форма та розміщення в конструкції автомобіля. У сучасних електромобілях акумуляторний блок найчастіше інтегрується в нижню частину кузова, тобто в підлогову платформу. Це дозволяє раціонально використовувати простір, не зменшувати об'єм салону та багажного відділення, а також знизити центр мас транспортного засобу. Низьке розташування батареї позитивно впливає на стійкість автомобіля, керованість і розподіл маси між осями.

Акумуляторні елементи можуть відрізнятися за хімічним складом, конструктивним виконанням, питомою енергоємністю, довговічністю та стійкістю до температурних навантажень. Раніше в електрифікованому транспорті застосовувалися, зокрема, нікель-металгідридні акумулятори, однак сьогодні вони вважаються менш перспективними через відносно нижчу енергоємність і більшу масу. Найбільш поширеними в сучасних електромобілях є літій-іонні акумуляторні елементи різних типів, оскільки вони забезпечують високу питому енергію, достатній ресурс, прийнятну масу та можливість швидкого заряджання.

До поширених різновидів літєвих батарей належать елементи на основі різних катодних матеріалів, зокрема літій-нікель-марганець-кобальтові, літій-залізо-фосфатні та інші модифікації. Кожен тип має власні переваги й обмеження. Одні батареї забезпечують більшу енергоємність і кращий запас ходу, інші – вищу термічну стабільність, довший ресурс або нижчу вартість виробництва. Тому вибір типу акумуляторної батареї залежить від призначення електромобіля, його класу, вартості, вимог до безпеки та умов експлуатації.

Подальший розвиток електромобільної галузі значною мірою пов'язаний із удосконаленням акумуляторних технологій. Перспективними напрямками є створення батарей із більшою питомою ємністю, скороченим часом заряджання, підвищеним ресурсом і покращеною безпекою. Особлива увага приділяється твердотільним акумуляторам, новим електродним матеріалам, ефективнішим системам охолодження та методам контролю деградації комірок. Очікується, що впровадження таких рішень дасть змогу збільшити запас ходу електромобілів, зменшити масу батарейного блока та підвищити економічну доцільність їх експлуатації.

Інвертор є одним із ключових елементів силової електроніки електромобіля, оскільки він забезпечує взаємодію між тяговою акумуляторною батареєю та електродвигуном. Основна його функція полягає у перетворенні електричної енергії з одного виду в інший. Тягова батарея накопичує та віддає енергію у вигляді постійного струму, тоді як більшість сучасних тягових електродвигунів працює на змінному струмі. Саме тому інвертор перетворює постійний струм батареї у змінний струм із необхідними параметрами частоти, напруги та сили струму.

Однак призначення інвертора не обмежується лише перетворенням струму. Він також виконує функцію керування тяговим електроприводом. Залежно від положення педалі акселератора, швидкості руху автомобіля, навантаження на колеса та команд електронної системи керування інвертор регулює подачу енергії до електродвигуна. Таким чином забезпечуються плавний розгін, стабільна тяга та ефективне використання енергії акумуляторної батареї.

Важливою функцією інвертора є участь у процесі рекуперативного гальмування. Під час сповільнення автомобіля електродвигун переходить у генераторний режим і перетворює частину кінетичної енергії транспортного засобу в електричну. Інвертор у цьому випадку змінює напрямок енергетичного потоку та забезпечує передавання електроенергії назад до тягової батареї. Завдяки цьому зменшуються втрати енергії, підвищується ефективність руху та збільшується запас ходу електромобіля.

Оскільки інвертор працює з високими значеннями напруги та струму, він є теплонавантаженим елементом. У процесі експлуатації в силових напівпровідникових модулях виникають теплові втрати, тому для стабільної роботи пристрою необхідне ефективне охолодження. Перегрів інвертора може призвести до зниження потужності електропривода, появи помилок у системі керування або аварійного обмеження роботи силової установки. Тому під час технічного обслуговування електромобіля важливо перевіряти стан електричних з'єднань, герметичність системи охолодження, відсутність механічних пошкоджень корпусу та справність електронної діагностики інвертора.

Низьковольтна акумуляторна батарея. Незважаючи на наявність потужної тягової акумуляторної батареї, у конструкції електромобіля зберігається окрема низьковольтна електрична підсистема. Як правило, вона працює з напругою 12 В, а в окремих сучасних моделях може застосовуватися й інша низьковольтна архітектура. Її наявність пояснюється тим, що значна частина бортового обладнання електромобіля не потребує високої напруги та функціонує за принципами, подібними до систем звичайного автомобіля.

Низьковольтна батарея забезпечує живлення електронних блоків керування, освітлювальних приладів, замків, сигналізації, мультимедійної системи, приладів індикації, електропідсилювачів, реле, контакторів, датчиків, виконавчих механізмів та іншого допоміжного обладнання. Вона також відіграє важливу роль під час запуску електромобіля, оскільки саме від низьковольтної мережі живляться системи, які активують високовольтний контур і дозволяють підключити тягову батарею до силової установки.

За своїм функціональним призначенням низьковольтна батарея є аналогом звичайного автомобільного акумулятора, однак умови її роботи в електромобілі мають певні особливості. Вона не використовується для запуску двигуна внутрішнього згорання, але забезпечує роботу критично важливої електроніки. У разі її розрядження електромобіль може не перейти в робочий режим, навіть якщо тягова батарея має достатній рівень заряду. Саме тому контроль стану низьковольтної батареї є обов'язковим елементом технічного обслуговування електромобіля.

Під час обслуговування необхідно перевіряти напругу батареї, стан клем, якість електричних контактів, відсутність окиснення, надійність кріплення та працездатність системи підзаряджання від високовольтного контуру через перетворювач DC/DC [7, 8, 9]. Несправність низьковольтної системи може спричинити порушення роботи бортової електроніки, помилки керування та неможливість нормального запуску автомобіля.

Система охолодження електромобіля призначена для підтримання оптимального температурного режиму основних компонентів силової установки. На відміну від двигуна внутрішнього згорання, електродвигун виділяє значно менше тепла, однак це не означає, що електромобіль не потребує

складної системи терморегулювання. Найбільш чутливими до температури елементами є тягова акумуляторна батарея, інвертор, зарядний пристрій, перетворювач DC/DC та, у деяких випадках, сам електродвигун.

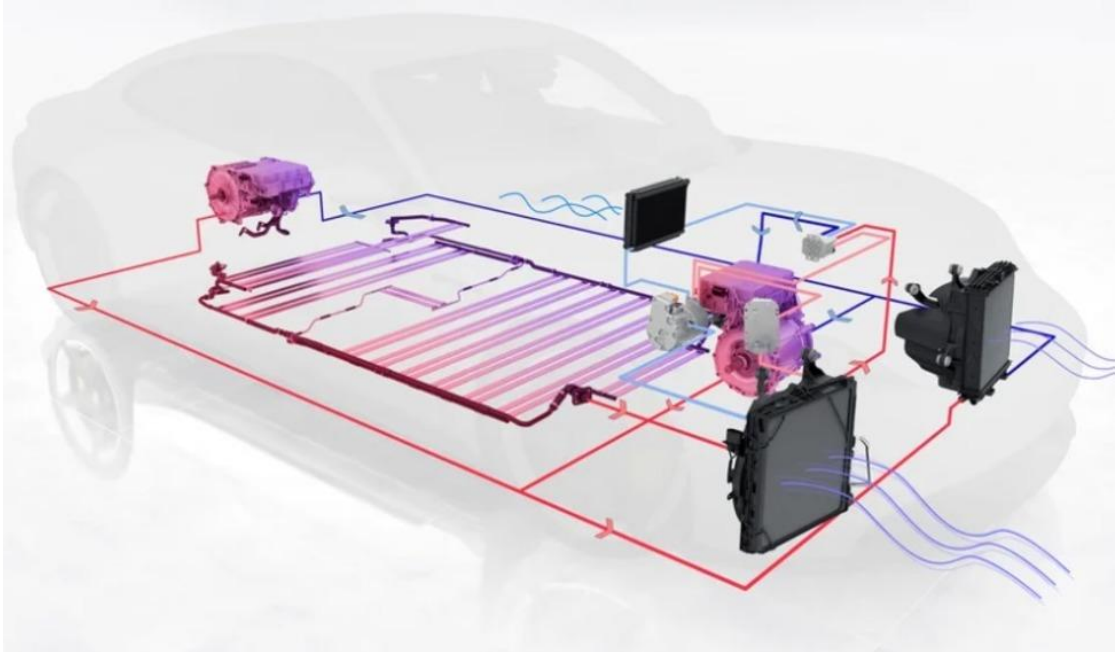


Рис. 1.4. Система охолодження електромобіля.

Особливо важливим є температурний контроль тягової батареї. Акумуляторні елементи найефективніше працюють у відносно вузькому температурному діапазоні. За надто низької температури зменшується доступна ємність батареї, погіршується приймання заряду та знижується запас ходу. За надмірного нагрівання прискорюється деградація акумуляторних комірок, зростає ризик нерівномірного старіння модулів і можуть активуватися захисні обмеження потужності.

Під час інтенсивного руху, різкого прискорення, тривалого навантаження або швидкісного заряджання великими струмами тягова батарея нагрівається. Для відведення надлишкового тепла застосовуються рідинні контури охолодження, теплообмінники, радіатори, електричні насоси, клапани, температурні датчики та електронні алгоритми керування. У деяких електромобілях система терморегулювання може не лише охолоджувати, а й підігрівати батарею перед заряджанням або під час експлуатації в холодну пору року.

Окремої уваги потребує охолодження інвертора, оскільки через нього проходять значні електричні струми. Силкові електронні компоненти під час

роботи нагріваються, і без належного відведення тепла їхня ефективність та надійність знижуються. Тому інвертор часто підключають до спільного або окремого рідинного контуру охолодження, який підтримує допустиму температуру силових модулів.

Система терморегулювання електромобіля має велике значення не лише для надійності, а й для безпеки. Її несправність може призвести до перегрівання батареї, обмеження потужності електропривода, збільшення часу заряджання або скорочення ресурсу високовольтних компонентів. Тому під час технічного обслуговування необхідно перевіряти рівень і стан охолоджувальної рідини, герметичність трубопроводів, роботу насосів, справність вентиляторів, температурних датчиків, клапанів і радіаторів.

У сучасних електромобілях система терморегулювання може виконувати не лише функцію охолодження тягової батареї, інвертора та електродвигуна, а й брати участь у підтриманні комфортного мікроклімату в салоні. Особливо ефективним рішенням є використання теплового насоса, принцип роботи якого подібний до інверторного кондиціонера, здатного працювати як на охолодження, так і на обігрів.

Застосування теплового насоса є важливим саме для електромобілів, оскільки вони не мають двигуна внутрішнього згоряння, від якого у звичайному автомобілі можна використовувати надлишкове тепло для обігріву салону. У разі використання лише електричних нагрівачів значна частина енергії витрачається безпосередньо з тягової батареї, що може помітно зменшувати запас ходу, особливо в холодну пору року.

Тепловий насос дозволяє раціональніше використовувати енергію, оскільки він не стільки «виробляє» тепло, скільки переносить його з одного середовища в інше. Завдяки цьому забезпечується обігрів або охолодження салону з меншими енергетичними витратами. Крім того, у деяких конструкціях тепловий насос може бути інтегрований із системою терморегулювання батареї, що дає змогу попередньо підігрівати акумулятор перед заряджанням або підтримувати його в оптимальному температурному діапазоні під час руху.

Зарядний блок електромобіля є спеціалізованим електронним пристроєм, який забезпечує керування процесом поповнення енергії тягової акумуляторної

батарей. На перший погляд заряджання електромобіля може здаватися простою операцією під'єднання автомобіля до джерела електроенергії, однак фактично цей процес є складним і потребує точного контролю напруги, сили струму, температури батареї, рівня заряду та стану електричних з'єднань.

Електромобіль повинен мати можливість працювати з різними джерелами живлення: від побутової електричної розетки до спеціалізованих швидкісних зарядних станцій великої потужності. При цьому зарядна інфраструктура у різних країнах і регіонах може відрізнятися за технічними стандартами, типами роз'ємів, рівнем напруги, допустимою потужністю та способом передавання електроенергії. Тому зарядна система автомобіля має бути сумісною з відповідними протоколами керування та засобами електричного захисту.

Заряджання може здійснюватися змінним або постійним струмом. Під час заряджання змінним струмом електроенергія спочатку надходить до бортового зарядного пристрою, який перетворює її на постійний струм, придатний для накопичення в тяговій батареї. Такий спосіб найчастіше використовується в побутових умовах або на зарядних станціях середньої потужності. Його перевагою є доступність і простота підключення, однак тривалість заряджання при цьому може бути досить значною.

Під час швидкісного заряджання постійним струмом енергія подається до батареї безпосередньо через високовольтний контур, оминаючи основну частину перетворення в бортовому зарядному пристрої. У цьому випадку значна частина силової електроніки розміщується вже в самій зарядній станції. Такий спосіб дозволяє істотно скоротити час поповнення заряду, однак вимагає потужної інфраструктури, ефективного охолодження батареї та точного узгодження між автомобілем і зарядним терміналом.

На тривалість заряджання впливають ємність тягової батареї, її поточний рівень заряду, температура акумуляторних елементів, допустима зарядна потужність автомобіля та можливості зарядної станції. Зазвичай найбільша швидкість заряджання досягається в середньому діапазоні заряду батареї, тоді як ближче до повного заряду система автоматично знижує струм для захисту акумуляторних комірок від перегрівання та прискореної деградації.

Таким чином, зарядний блок є не лише пристроєм для приймання електроенергії, а й важливим елементом безпеки та керування ресурсом тягової батареї. Під час технічного обслуговування необхідно перевіряти справність зарядного роз'єму, стан контактів, відсутність перегріву, герметичність вузлів, працездатність бортового зарядного пристрою та коректність обміну даними між автомобілем і зарядною станцією.

Гальмівна система електромобіля має певні особливості, пов'язані з використанням рекуперативного гальмування. Теоретично електромобіль може сповільнюватися за рахунок електродвигуна, який у генераторному режимі створює опір обертанню коліс і одночасно перетворює частину кінетичної енергії на електричну. Отримана енергія повертається до тягової акумуляторної батареї, що підвищує загальну енергоефективність транспортного засобу.

Проте повністю відмовитися від традиційних гальмівних механізмів неможливо. Усі сучасні електромобілі обладнуються класичною фрикційною гальмівною системою, до складу якої входять гальмівні диски, колодки, супорти, гідравлічні магістралі, робоча рідина, електронні блоки керування та системи стабілізації. Така система необхідна для забезпечення надійного гальмування в аварійних ситуаціях, під час руху на малих швидкостях, при повністю зарядженій батареї або в умовах, коли рекуперація обмежена температурою чи станом акумулятора.

Особливістю електромобілів є те, що фрикційні гальма використовуються менш інтенсивно, ніж у автомобілях із двигунами внутрішнього згорання. Значну частину сповільнення бере на себе електродвигун у режимі рекуперації. Завдяки цьому зменшується механічне зношування гальмівних колодок і дисків, збільшується їхній ресурс і знижується кількість пилу від фрикційних матеріалів.

Разом із тим зменшене навантаження на гальмівні механізми має і певні експлуатаційні наслідки. Через рідше використання диски та супорти можуть бути більш схильними до корозії, особливо за умов підвищеної вологості, зимової експлуатації та дії дорожніх реагентів. Тому під час технічного обслуговування електромобіля необхідно не лише оцінювати ступінь зношування колодок і дисків, а й перевіряти їхній корозійний стан, рухомість супортів, герметичність гідравлічної системи та якість гальмівної рідини.

1.4 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

Для досягнення мети кваліфікаційної роботи необхідно виконати такі завдання:

Проаналізувати особливості технічного обслуговування основних електричних систем електромобіля.

Розробити технологічну послідовність технічного обслуговування тягової акумуляторної батареї.

Розробити порядок технічного обслуговування зарядної системи електромобіля.

Розробити технологію обслуговування низьковольтної електричної системи.

Виконати розрахунок трудомісткості та орієнтовної вартості основних операцій технічного обслуговування.

Обґрунтувати необхідність застосування мобільного діагностично-сервісного стенда для обслуговування електромобілів.

Розробити конструкцію мобільного стенда, визначити його габаритні розміри, матеріали та складальні елементи.

Виконати розрахунок навантаження на раму стенда, навантаження на одне колесо та перевірити його стійкість.

Проаналізувати небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час технічного обслуговування електромобілів.

Розробити заходи з охорони праці, електробезпеки та безпечної організації робіт під час обслуговування електромобілів.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Технічне обслуговування тягової акумуляторної батареї

Під час технічного обслуговування тягової акумуляторної батареї необхідно оцінити не лише її поточний заряд, а й загальний технічний стан. Для цього контролюють параметри, які характеризують працездатність батареї, рівномірність роботи модулів і наявність можливих відхилень.

Основними контрольованими параметрами є:

SOC – рівень заряду батареї;

SOH – технічний стан або залишковий ресурс батареї;

напруга тягової батареї;

напруга окремих модулів або комірок;

різниця напруг між модулями;

температура батарейних модулів;

внутрішній опір акумуляторних елементів;

справність системи BMS;

наявність помилок у високовольтному контурі;

стан охолодження батареї;

стан високовольтних кабелів і роз'ємів.

Особливо важливими показниками є SOC і SOH [9, 10]. Показник SOC характеризує поточний рівень заряду батареї, а SOH дозволяє оцінити, яку частину початкової ємності батарея зберегла після певного періоду експлуатації.

Технічне обслуговування тягової батареї повинно виконуватися у визначеній послідовності [3, 4]. Це забезпечує безпеку персоналу, зменшує ризик пошкодження високовольтних компонентів і дозволяє об'єктивно оцінити стан батарейного блока.

Загальна тривалість технічного обслуговування тягової акумуляторної батареї становить:

$$T_{\text{заг}} = 195 \text{ хв}$$

Переведемо у години:

$$T_{\text{год}} = \frac{195}{60} = 3,25 \text{ год}$$

Отже, трудомісткість робіт становить:

$$T_{\text{год}} = 3,25 \text{ нормо-год}$$

Таблиця 2.1 – Технологічна послідовність технічного обслуговування тягової акумуляторної батареї.

№	Назва операції	Зміст робіт	Обладнання та інструмент	Час, хв
1	Приймання автомобіля	Фіксація пробігу, рівня заряду, скарг власника, умов експлуатації	Діагностична карта, ПК	10
2	Первинна комп'ютерна діагностика	Зчитування помилок BMS, високовольтної системи, зарядного модуля	OBD-сканер, сервісне ПЗ	20
3	Перевірка SOC і SOH	Визначення рівня заряду та залишкової ємності батареї	Діагностичне ПЗ, сканер BMS	20
4	Аналіз напруги модулів	Порівняння напруги окремих модулів, визначення дисбалансу	Сканер, сервісна програма	15
5	Контроль температури батареї	Перевірка температури модулів і рівномірності нагрівання	Діагностичне ПЗ, тепловізор за потреби	15
6	Огляд високовольтних кабелів	Перевірка стану ізоляції, кріплень, роз'ємів, відсутності пошкоджень	Діелектричні рукавиці, ліхтар, оглядове дзеркало	20
7	Перевірка корпусу батареї	Огляд герметичності, кріплення, слідів ударів, корозії або деформацій	Підіймач, ліхтар	20

8	Перевірка системи охолодження	Контроль рівня рідини, герметичності, роботи насосів і клапанів	Діагностичний сканер, ліхтар	20
9	Перевірка ізоляції високовольтного кола	Контроль опору ізоляції відповідно до вимог безпеки	Мегомметр, ЗІЗ	20
10	Аналіз заряджання батареї	Перевірка приймання заряду, стабільності струму та температури	Зарядний пристрій, діагностичне ПЗ	25
11	Формування висновку	Оформлення результатів, рекомендації щодо подальшої експлуатації	ПК, діагностична карта	10
Разом				195хв

Одним із найважливіших показників технічного стану тягової батареї є SOH – State of Health. Він показує, яку частину початкової ємності батарея зберегла в процесі експлуатації.

Показник SOH можна визначити за формулою:

$$SOH = \frac{C_{\text{факт}}}{C_{\text{ном}}} \cdot 100\%$$

де: SOH – технічний стан батареї, %;

$C_{\text{факт}}$ – фактична доступна ємність батареї, кВт·год;

$C_{\text{ном}}$ – номінальна ємність батареї, кВт·год.

Для прикладу прийmemo, що номінальна ємність тягової батареї електромобіля становить:

$$C_{\text{ном}} = 64 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

За результатами діагностування фактична доступна ємність становить:

$$C_{\text{факт}} = 57,6 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Тоді:

$$SOH = \frac{57,6}{64} \cdot 100 = 90\%$$

Отже, батарея зберегла приблизно 90 % своєї початкової ємності. Такий стан можна вважати задовільним, якщо відсутні критичні помилки BMS, значний дисбаланс комірок, перегрівання або порушення ізоляції.

Під час роботи тягової батареї окремі акумуляторні комірки можуть старіти нерівномірно. Це призводить до появи різниці напруг між модулями. Надмірний дисбаланс знижує ефективну ємність батареї, ускладнює заряджання та може спричинити передчасне обмеження потужності електромобіля.

Різницю між максимальною і мінімальною напругою модулів визначають за формулою:

$$\Delta U = U_{\max} - U_{\min}$$

де: ΔU – різниця напруг між модулями, В;

U_{\max} – найбільша напруга модуля, В;

U_{\min} – найменша напруга модуля, В.

Для прикладу прийmemo:

$$U_{\max} = 3,96 \text{ В}$$

$$U_{\min} = 3,91 \text{ В}$$

Тоді:

$$\Delta U = 3,96 - 3,91 = 0,05 \text{ В}$$

Отже, різниця напруг становить:

$$\Delta U = 50 \text{ мВ}$$

Якщо різниця напруг між комірками або модулями не перевищує допустимих значень, батарея працює стабільно. Якщо ж дисбаланс є значним, необхідно виконати балансування або провести додаткову діагностику окремих модулів.

Температурний режим є одним із найважливіших чинників, що впливає на ресурс тягової акумуляторної батареї. Надмірне нагрівання прискорює деградацію акумуляторних елементів, а занадто низька температура знижує доступну ємність і обмежує швидкість заряджання.

Під час обслуговування системи охолодження батареї виконують:

перевірку рівня охолоджувальної рідини;

огляд трубопроводів і з'єднань;

перевірку герметичності системи;

контроль роботи електричних насосів;
 перевірку температурних датчиків;
 аналіз температури модулів через систему BMS;
 перевірку роботи клапанів і теплообмінників.

У разі виявлення нерівномірного нагрівання окремих модулів необхідно перевірити циркуляцію рідини, справність датчиків і можливе забруднення теплообмінників.

Перевірка ізоляції високовольтного контуру є обов'язковою операцією під час технічного обслуговування батареї [9, 10, 12]. Її мета – переконатися у відсутності пробою ізоляції, витоку струму на корпус автомобіля або пошкодження високовольтних кабелів.

Для перевірки використовують спеціальний вимірювач опору ізоляції – мегомметр. Перед проведенням робіт автомобіль необхідно перевести у безпечний стан відповідно до інструкції виробника, а персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту.

Опір ізоляції визначається за формулою:

$$R_{i3} = \frac{U}{I_{\text{вит}}}$$

де: R_{i3} – опір ізоляції, Ом;

U – напруга високовольтної системи, В;

$I_{\text{вит}}$ – струм витоку, А.

Для прикладу приймемо:

$$U = 400 \text{ В}$$

$$I_{\text{вит}} = 0,0004 \text{ А}$$

Тоді:

$$R_{i3} = \frac{400}{0,0004} = 1\,000\,000 \text{ Ом}$$

$$R_{i3} = 1 \text{ МОм}$$

Отримане значення свідчить про задовільний стан ізоляції, якщо воно відповідає вимогам виробника автомобіля.

Загальна трудомісткість технічного обслуговування тягової акумуляторної батареї визначається як сума часу виконання всіх технологічних операцій:

$$T_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n t_i$$

де: $T_{\text{заг}}$ – загальна тривалість робіт, хв;

t_i – тривалість окремої операції, хв;

n – кількість операцій.

Згідно з таблицею 2.1:

$$T_{\text{заг}} = 10 + 20 + 20 + 15 + 15 + 20 + 20 + 20 + 20 + 25 + 10 = 195 \text{ хв}$$

Переведемо хвилини у години:

$$T_{\text{год}} = \frac{195}{60} = 3,25 \text{ год}$$

Трудомісткість технічного обслуговування тягової акумуляторної батареї становить:

$$T_{\text{год}} = 3,25 \text{ нормо-год}$$

Вартість виконання робіт можна визначити за формулою:

$$C_{\text{роб}} = T_{\text{год}} \cdot C_{\text{н/г}}$$

де: $C_{\text{роб}}$ – вартість роботи персоналу, грн;

$T_{\text{год}}$ – трудомісткість робіт, нормо-год;

$C_{\text{н/г}}$ – вартість однієї нормо-години, грн/год.

Для розрахунку приймаємо:

$$C_{\text{н/г}} = 850 \text{ грн/год}$$

Тоді:

$$C_{\text{роб}} = 3,25 \cdot 850 = 2762,5 \text{ грн}$$

Округлюємо:

$$C_{\text{роб}} \approx 2760 \text{ грн}$$

Для більш повного розрахунку врахуємо додаткові витрати:

- використання діагностичного обладнання – 350 грн;
- використання засобів індивідуального захисту – 120 грн;
- витрати на очищення контактних зон і дрібні матеріали – 180 грн.

Повна вартість технічного обслуговування батареї:

$$C_{\text{повн}} = C_{\text{роб}} + C_{\text{обл}} + C_{\text{зіз}} + C_{\text{мат}}$$

де: $C_{\text{повн}}$ – повна вартість технічного обслуговування, грн;

$C_{\text{роб}}$ – вартість роботи персоналу, грн;

$C_{\text{обл}}$ – вартість використання обладнання, грн;

$C_{\text{зіз}}$ – витрати на засоби індивідуального захисту, грн;

$C_{\text{мат}}$ – витрати на допоміжні матеріали, грн.

Підставимо значення:

$$C_{\text{повн}} = 2762,5 + 350 + 120 + 180 = 3412,5 \text{ грн}$$

Округлюємо:

$$C_{\text{повн}} \approx 3410 \text{ грн}$$

Орієнтовна повна вартість технічного обслуговування тягової акумуляторної батареї становить 3410 грн.

2.2 Технічне обслуговування зарядної системи

Технічне обслуговування зарядної системи доцільно виконувати за визначеною послідовністю [3, 4]. Це дозволяє системно оцінити стан усіх елементів, починаючи від зовнішнього огляду зарядного роз'єму і завершуючи перевіркою параметрів заряджання за допомогою діагностичного обладнання.

Таблиця 2.2 – Технологічна послідовність технічного обслуговування зарядної системи електромобіля.

№	Назва операції	Зміст робіт	Обладнання та інструмент	Час, хв
1	Приймання автомобіля	Фіксація скарг власника, перевірка пробігу, уточнення умов заряджання	Діагностична карта, ПК	10
2	Зовнішній огляд зарядного роз'єму	Перевірка корпусу роз'єму, кришки, ущільнювачів, слідів перегрівання або пошкодження	Ліхтар, оглядове дзеркало	15

3	Перевірка контактів зарядного порту	Огляд контактів, виявлення окиснення, забруднення, підгоряння	Ліхтар, очищувач контактів	15
4	Перевірка зарядного кабелю	Огляд ізоляції, штекера, фіксатора, відсутності перегинів і механічних пошкоджень	Візуальний контроль, мультиметр	15
5	Комп'ютерна діагностика	Зчитування помилок зарядного модуля, BMS, високовольтної системи	OBD-сканер, сервісне ПЗ	20
6	Перевірка бортового зарядного пристрою	Аналіз напруги, струму, температури, зарядної потужності	Діагностичне ПЗ	25
7	Перевірка заряджання змінним струмом	Підключення до АС-зарядки, контроль стабільності процесу	Зарядний пристрій АС	20
8	Перевірка заряджання постійним струмом, за наявності	Контроль роботи DC-заряджання, перевірка комунікації із зарядною станцією	DC-зарядна станція або тестер	25
9	Перевірка високовольтних кабелів	Огляд кабелів, роз'ємів, кріплень, відсутності пошкоджень ізоляції	Діелектричні рукавиці, ліхтар	20
10	Перевірка системи охолодження зарядного модуля	Контроль рівня охолоджувальної рідини, герметичності, роботи насоса	Діагностичне ПЗ, ліхтар	15

11	Очищення та профілактика контактної зони	Видалення пилу, забруднень, нанесення захисного засобу за потреби	Очищувач контактів, серветки	10
12	Оформлення результатів	Заповнення карти ТО, формування висновку та рекомендацій	ПК, діагностична карта	10
Разом				200 хв

Під час технічного обслуговування важливо не лише оглянути зарядний роз'єм і кабелі, а й перевірити фактичні параметри процесу заряджання. До основних параметрів належать зарядна напруга, сила струму, потужність заряджання, температура зарядного модуля та стан тягової батареї.

Зарядну потужність можна визначити за формулою:

$$P = U \cdot I$$

де: P – потужність заряджання, Вт;

U – напруга заряджання, В; I – сила струму заряджання, А.

Наприклад, якщо під час заряджання змінним струмом напруга становить:

$$U = 230 \text{ В}$$

а сила струму:

$$I = 32 \text{ А}$$

тоді зарядна потужність становитиме:

$$P = 230 \cdot 32 = 7360 \text{ Вт}$$

$$P = 7,36 \text{ кВт}$$

Отже, зарядна система працює з потужністю приблизно 7,36 кВт, що відповідає типовому режиму заряджання від однофазної АС-станції підвищеної потужності.

Якщо електромобіль заряджається від швидкісної зарядної станції постійного струму, то потужність може бути значно більшою. Наприклад, за напруги:

$$U = 400 \text{ В}$$

і сили струму:

$$I = 125 \text{ А}$$

потужність заряджання становитиме:

$$P = 400 \cdot 125 = 50000 \text{ Вт}$$

$$P = 50 \text{ кВт}$$

Отже, у режимі швидкого заряджання постійним струмом зарядна потужність може становити 50 кВт і більше, залежно від можливостей автомобіля та зарядної станції.

Для оцінювання роботи зарядної системи можна виконати орієнтовний розрахунок часу заряджання тягової батареї. Час заряджання залежить від ємності батареї, початкового та кінцевого рівня заряду, а також зарядної потужності.

Кількість енергії, яку необхідно передати до батареї, визначається за формулою:

$$E_{\text{зар}} = C_{\text{бат}} \cdot \frac{SOC_2 - SOC_1}{100}$$

де: $E_{\text{зар}}$ – кількість енергії для заряджання, кВт·год;

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

SOC_1 – початковий рівень заряду, %;

SOC_2 – кінцевий рівень заряду, %.

Приймаємо:

$$C_{\text{бат}} = 64 \text{ кВт}\backslash\text{год}$$

$$SOC_1 = 20\%$$

$$SOC_2 = 80\%$$

Тоді:

$$E_{\text{зар}} = 64 \cdot \frac{80 - 20}{100}$$

$$E_{\text{зар}} = 64 \cdot 0,6 = 38,4 \text{ кВт}\backslash\text{год}$$

Час заряджання визначається за формулою:

$$t_{\text{зар}} = \frac{E_{\text{зар}}}{P_{\text{зар}}}$$

де: $t_{\text{зар}}$ – орієнтовний час заряджання, год;

$P_{\text{зар}}$ – потужність заряджання, кВт.

Для заряджання змінним струмом потужністю:

$$P_{\text{зар}} = 7,36 \text{ кВт}$$

отримуємо:

$$t_{\text{зар}} = \frac{38,4}{7,36} = 5,22 \text{ год}$$

Для заряджання батареї з 20 до 80 % від АС-станції потужністю 7,36 кВт потрібно приблизно 5,2 год.

Для заряджання постійним струмом потужністю:

$$P_{\text{зар}} = 50 \text{ кВт}$$

отримуємо:

$$t_{\text{зар}} = \frac{38,4}{50} = 0,768 \text{ год}$$

$$t_{\text{зар}} = 0,768 \cdot 60 = 46,1 \text{ хв}$$

У режимі швидкого заряджання постійним струмом поповнення заряду з 20 до 80 % триватиме приблизно 46 хв. У реальних умовах цей час може бути дещо більшим, оскільки система BMS поступово знижує зарядну потужність при наближенні до високого рівня заряду або за підвищеної температури батареї.

Загальна трудомісткість робіт визначається як сума часу на виконання всіх технологічних операцій:

$$T_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n t_i$$

де: $T_{\text{заг}}$ – загальна тривалість технічного обслуговування, хв;

t_i – тривалість окремої операції, хв;

n – кількість операцій.

Згідно з таблицею 2.2:

$$T_{\text{заг}} = 10 + 15 + 15 + 15 + 20 + 25 + 20 + 25 + 20 + 15 + 10 + 10$$

$$T_{\text{заг}} = 200 \text{ хв}$$

Переведемо хвилини в години:

$$T_{\text{год}} = \frac{200}{60} = 3,33 \text{ год}$$

Трудомісткість технічного обслуговування зарядної системи становить:

$$T_{\text{год}} = 3,33 \text{ нормо-год}$$

Вартість виконання робіт із технічного обслуговування зарядної системи визначається за формулою:

$$C_{\text{роб}} = T_{\text{год}} \cdot C_{\text{н/г}}$$

де: $C_{\text{роб}}$ – вартість роботи персоналу, грн;

$T_{\text{год}}$ – трудомісткість робіт, нормо-год;

$C_{\text{н/г}}$ – вартість однієї нормо-години, грн/год.

Для розрахунку приймаємо вартість однієї нормо-години роботи спеціалізованого поста з обслуговування електромобілів:

$$C_{\text{н/г}} = 850 \text{ грн/год}$$

Тоді:

$$C_{\text{роб}} = 3,33 \cdot 850 = 2830,5 \text{ грн}$$

Округлюємо:

$$C_{\text{роб}} \approx 2830 \text{ грн}$$

Крім оплати роботи персоналу, доцільно врахувати додаткові витрати, пов'язані з використанням діагностичного обладнання, витратних матеріалів і засобів індивідуального захисту: використання діагностичного обладнання – 300 грн; використання засобів індивідуального захисту – 120 грн; очишувач контактів і допоміжні матеріали – 150 грн; перевірка зарядним обладнанням – 250 грн.

Повну вартість робіт визначаємо за формулою:

$$C_{\text{повн}} = C_{\text{роб}} + C_{\text{обл}} + C_{\text{зіз}} + C_{\text{мат}} + C_{\text{зар}}$$

де: $C_{\text{повн}}$ – повна орієнтовна вартість робіт, грн; $C_{\text{роб}}$ – вартість роботи персоналу, грн; $C_{\text{обл}}$ – вартість використання діагностичного обладнання, грн; $C_{\text{зіз}}$ – витрати на засоби індивідуального захисту, грн; $C_{\text{мат}}$ – витрати на допоміжні матеріали, грн; $C_{\text{зар}}$ – витрати на використання зарядного обладнання, грн.

Підставимо значення:

$$C_{\text{повн}} = 2830,5 + 300 + 120 + 150 + 250$$

$$C_{\text{повн}} = 3650,5 \text{ грн}$$

Округлюємо:

$$C_{\text{повн}} \approx 3650 \text{ грн}$$

Орієнтовна повна вартість технічного обслуговування зарядної системи електромобіля становить 3650 грн.

За результатами технічного обслуговування зарядної системи доцільно оформити карту технічного стану. Вона дозволяє зафіксувати результати перевірки та визначити подальші рекомендації щодо експлуатації електромобіля.

Таблиця 2.3 – Приклад карти технічного стану зарядної системи електромобіля.

Контрольований елемент	Результат перевірки	Оцінка стану	Рекомендація
Зарядний роз'єм	Механічні пошкодження відсутні	Норма	Експлуатація дозволена
Контакти зарядного порту	Незначне забруднення	Задовільний	Виконати очищення
Зарядний кабель	Ізоляція без тріщин	Норма	Подальша експлуатація
Бортовий зарядний пристрій	Помилки відсутні	Норма	Контроль на наступному ТО
Високовольтні кабелі	Пошкоджень не виявлено	Норма	Експлуатація дозволена
Заряджання АС	Потужність 7,36 кВт	Норма	Додаткових робіт не потребує
Заряджання DC	Потужність до 50 кВт	Норма	Контроль температури батареї
Система BMS	Критичних помилок немає	Норма	Плановий контроль
Охолодження зарядного модуля	Ознак перегрівання немає	Норма	Перевірити рівень рідини за регламентом
Комунікація із зарядною станцією	Стабільна	Норма	Експлуатація дозволена

2.3 Обслуговування низьковольтної електричної системи

Обслуговування низьковольтної електричної системи доцільно виконувати за визначеною послідовністю [3, 4, 9]. Спочатку проводять зовнішній огляд, далі перевіряють стан 12-вольтової акумуляторної батареї, після чого виконують комп'ютерну діагностику, контроль роботи DC/DC-перетворювача та перевірку основних споживачів електроенергії.

Таблиця 2.4 – Технологічна послідовність обслуговування низьковольтної електричної системи електромобіля.

№	Назва операції	Зміст робіт	Обладнання та інструмент	Час, хв
1	Приймання автомобіля	Фіксація скарг власника, перевірка пробігу, аналіз умов експлуатації	Діагностична карта, ПК	10
2	Зовнішній огляд АКБ 12 В	Огляд корпусу батареї, клем, кріплення, наявності окиснення	Ліхтар, ключі, щітка для клем	10
3	Вимірювання напруги батареї	Перевірка напруги у стані спокою	Мультиметр	10
4	Перевірка батареї під навантаженням	Оцінювання здатності батареї підтримувати напругу під час навантаження	Тестер АКБ	15
5	Перевірка клем і масових з'єднань	Очищення, підтягування, контроль надійності контактів	Ключі, очищувач контактів	15
6	Комп'ютерна діагностика	Зчитування помилок електронних блоків, аналіз параметрів мережі 12 В	OBD-сканер, сервісне ПЗ	20

7	Перевірка DC/DC-перетворювача	Контроль вихідної напруги, стабільності заряджання АКБ 12 В	Мультиметр, діагностичне ПЗ	20
8	Перевірка запобіжників і реле	Огляд блоків запобіжників, перевірка справності електричних ланцюгів	Тестер, мультиметр	15
9	Перевірка освітлювальних приладів	Контроль роботи фар, габаритів, стоп-сигналів, покажчиків повороту	Візуальний контроль	10
10	Перевірка допоміжних споживачів	Контроль роботи склоочисників, замків, електроприводів, сигналізації	Діагностичне ПЗ, візуальний контроль	15
11	Оформлення результатів	Заповнення карти ТО, формування висновку та рекомендацій	ПК, діагностична карта	10
Разом				150 хв

Однією з основних операцій є вимірювання напруги 12-вольтової акумуляторної батареї. Перевірку виконують мультиметром у стані спокою, коли автомобіль вимкнений і основні споживачі електроенергії неактивні.

Орієнтовна оцінка стану батареї за напругою може бути такою:

Напруга АКБ, В	Оцінка стану
12,6–12,8	Батарея заряджена, стан нормальний
12,3–12,5	Заряд середній, потрібен контроль
12,0–12,2	Батарея частково розряджена
Менше 12,0	Батарея розряджена або несправна

Для прикладу приймемо, що під час вимірювання отримано:

$$U_{\text{АКБ}} = 12,35 \text{ В}$$

Таке значення свідчить про середній рівень заряду батареї. У цьому випадку доцільно виконати додаткову перевірку під навантаженням і проконтролювати роботу DC/DC-перетворювача.

DC/DC-перетворювач є важливим елементом електромобіля, який виконує функцію живлення низьковольтної мережі та заряджання 12-вольтової батареї від високовольтної тягової батареї. Його робота є аналогічною за призначенням до генератора у звичайному автомобілі, проте принцип дії є іншим.

Для перевірки DC/DC-перетворювача вимірюють напругу на клеммах 12-вольтової батареї у режимі готовності електромобіля до руху. Якщо перетворювач працює справно, напруга зазвичай підвищується порівняно зі станом спокою і може становити приблизно 13,5–14,8 В залежно від конструкції автомобіля та алгоритму заряджання.

Для прикладу прийmemo:

$$U_{\text{спок}} = 12,35 \text{ В}$$

$$U_{\text{роб}} = 14,2 \text{ В}$$

Збільшення напруги визначимо за формулою:

$$\Delta U = U_{\text{роб}} - U_{\text{спок}}$$

де: ΔU – приріст напруги, В;

$U_{\text{роб}}$ – напруга під час роботи DC/DC-перетворювача, В;

$U_{\text{спок}}$ – напруга батареї у стані спокою, В.

Підставимо значення:

$$\Delta U = 14,2 - 12,35 = 1,85 \text{ В}$$

Підвищення напруги на 1,85 В свідчить про те, що DC/DC-перетворювач працює та забезпечує заряджання низьковольтної акумуляторної батареї.

Під час діагностування низьковольтної системи доцільно оцінити навантаження окремих споживачів. Потужність електричного споживача визначається за формулою:

$$P = U \cdot I$$

де: P – потужність споживача, Вт;

U – напруга живлення, В;

I – сила струму, А.

Наприклад, якщо електричний споживач працює від мережі:

$$U = 12 \text{ В}$$

а сила струму становить:

$$I = 8 \text{ А}$$

тоді:

$$P = 12 \cdot 8 = 96 \text{ Вт}$$

Потужність даного споживача становить 96 Вт. Такий розрахунок дозволяє оцінити навантаження на низьковольтну систему та перевірити відповідність фактичного споживання нормальним значенням.

Загальна трудомісткість робіт визначається як сума часу виконання всіх операцій:

$$T_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n t_i$$

де: $T_{\text{заг}}$ – загальна тривалість обслуговування, хв;

t_i – тривалість окремої операції, хв;

n – кількість операцій.

Згідно з таблицею 2.4:

$$T_{\text{заг}} = 10 + 10 + 10 + 15 + 15 + 20 + 20 + 15 + 10 + 15 + 10$$

$$T_{\text{заг}} = 150 \text{ хв}$$

Переведемо хвилини у години:

$$T_{\text{год}} = \frac{150}{60} = 2,5 \text{ год}$$

Трудомісткість обслуговування низьковольтної системи становить:

$$T_{\text{год}} = 2,5 \text{ нормо-год}$$

Вартість виконання робіт визначається за формулою:

$$C_{\text{роб}} = T_{\text{год}} \cdot C_{\text{н/г}}$$

де: $C_{\text{роб}}$ – вартість роботи персоналу, грн;

$T_{\text{год}}$ – трудомісткість робіт, нормо-год;

$C_{\text{н/г}}$ – вартість однієї нормо-години, грн/год.

Для розрахунку приймаємо:

$$C_{\text{н/г}} = 750 \text{ грн/год}$$

Тоді:

$$C_{\text{роб}} = 2,5 \cdot 750 = 1875 \text{ грн}$$

Окрім вартості роботи персоналу, доцільно врахувати додаткові витрати:

використання діагностичного обладнання – 200 грн;

очищувач контактів і допоміжні матеріали – 120 грн;

використання тестера акумуляторної батареї – 150 грн.

Повну орієнтовну вартість визначаємо за формулою:

$$C_{\text{повн}} = C_{\text{роб}} + C_{\text{обл}} + C_{\text{мат}} + C_{\text{тест}}$$

де: $C_{\text{повн}}$ – повна вартість робіт, грн;

$C_{\text{роб}}$ – вартість роботи персоналу, грн;

$C_{\text{обл}}$ – вартість використання діагностичного обладнання, грн;

$C_{\text{мат}}$ – витрати на допоміжні матеріали, грн;

$C_{\text{тест}}$ – вартість використання тестера АКБ, грн.

Підставимо значення:

$$C_{\text{повн}} = 1875 + 200 + 120 + 150$$

$$C_{\text{повн}} = 2345 \text{ грн}$$

Орієнтовна повна вартість обслуговування низьковольтної електричної системи електромобіля становить 2345 грн.

За результатами обслуговування доцільно оформити карту технічного стану низьковольтної системи. Вона дозволяє зафіксувати результати перевірки та сформулювати рекомендації щодо подальшої експлуатації електромобіля.

Таблиця 2.5 – Приклад карти технічного стану низьковольтної електричної системи.

Контрольований елемент	Результат перевірки	Оцінка стану	Рекомендація
АКБ 12 В у стані спокою	12,35 В	Задовільний	Перевірити під навантаженням
АКБ 12 В у робочому режимі	14,2 В	Норма	DC/DC працює справно
Клеми акумулятора	Незначне окиснення	Задовільний	Очистити та обробити контакти

Масові з'єднання	Надійні	Норма	Додаткових робіт не потребує
DC/DC-перетворювач	Напруга стабільна	Норма	Контроль на наступному ТО
Запобіжники	Справні	Норма	Експлуатація дозволена
Освітлювальні прилади	Працюють справно	Норма	Додаткових робіт не потребує
Склоочисники	Працюють справно	Норма	Контроль стану щіток
Електронні блоки керування	Критичних помилок немає	Норма	Планова діагностика
Системи комфорту	Працюють справно	Норма	Експлуатація дозволена

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розроблення мобільного діагностично-сервісного стенда для технічного обслуговування електромобілів

Для підвищення ефективності виконання робіт із технічного обслуговування електромобілів запропоновано розробити мобільний діагностично-сервісний стенд. Його застосування дає змогу зосередити в одному місці основне діагностичне обладнання, вимірювальні прилади, діелектричний інструмент, зарядні адаптери, засоби індивідуального захисту та допоміжні матеріали.

Необхідність такого стенда зумовлена тим, що обслуговування електромобілів пов'язане не лише з перевіркою традиційних автомобільних систем, а й із контролем високовольтного обладнання, тягової акумуляторної батареї, зарядної системи, DC/DC-перетворювача, інвертора та електронних блоків керування. Тому робоче місце майстра повинно бути організоване таким чином, щоб забезпечити швидкий доступ до приладів, безпечне зберігання інструменту та зручне переміщення обладнання між постами технічного обслуговування.

Розроблений стенд являє собою пересувну металеву конструкцію рамного типу, встановлену на чотирьох поворотних колесах [5, 11]. У конструкції передбачено верхню панель для приладів, полицю для ноутбука або планшета, відсіки для засобів індивідуального захисту, відділення для діелектричного інструменту, гачки для кабелів і бічну ручку для переміщення.

Таблиця 3.1. Основні технічні характеристики стенда.

Параметр	Значення
Тип конструкції	мобільний діагностично-сервісний стенд
Виконання	рамна зварна конструкція
Призначення	обслуговування та діагностування електромобілів

Висота станда	1200 мм
Ширина станда	700 мм
Глибина станда	450 мм
Кількість полиць	3
Кількість коліс	4
Діаметр коліс	100 мм
Матеріал рами	профільна труба 25×25×2 мм
Матеріал полиць	листова сталь 1,5–2,0 мм
Матеріал панелі приладів	листова сталь 1,5 мм або алюмінієвий лист
Орієнтовна маса станда без обладнання	35–45 кг
Розрахункова вантажопідйомність	80–100 кг
Рекомендована вантажопідйомність одного колеса	не менше 50 кг
Тип коліс	поворотні, два з гальмівним фіксатором
Спосіб з'єднання рами	зварювання
Спосіб кріплення полиць	болтове або зварне
Захисне покриття	порошкове фарбування або ґрунт-емаль

Таблиця 3.2. Специфікація складальних елементів станда.

Позн.	Найменування елемента	Матеріал / тип	Кількість	Примітка
1	Вертикальна стійка рами	профільна труба 25×25×2 мм	4	довжина 1200 мм
2	Верхня поперечина передня/задня	профільна труба 25×25×2 мм	2	довжина 700 мм
3	Нижня поперечина передня/задня	профільна труба 25×25×2 мм	2	довжина 700 мм
4	Бічна верхня поперечина	профільна труба 25×25×2 мм	2	довжина 450 мм

5	Бічна нижня поперечина	профільна труба 25×25×2 мм	2	довжина 450 мм
6	Проміжна полична поперечина	профільна труба 25×25×2 мм	6	для кріплення полиць
7	Верхня панель приладів	листова сталь 1,5 мм	1	540×160 мм
8	Полиця для ноутбука	листова сталь 1,5–2 мм	1	460×150 мм
9	Нижня полиця	листова сталь 1,5–2 мм	1	650×400 мм
10	Відсік для ЗІЗ	листова сталь / короб	1	для рукавиць та окулярів
11	Відсік для інструменту	листова сталь / короб	1	для діелектричного інструменту
12	Гачки для кабелів	стальний пруток Ø6–8 мм	3	передня частина стенда
13	Бічна ручка	труба Ø20–25 мм	1	для переміщення
14	Поворотне колесо	Ø100 мм	2	без гальма
15	Поворотне колесо з фіксатором	Ø100 мм	2	з гальмом
16	Болти кріплення коліс	M8	16	по 4 на колесо
17	Гайки та шайби	M8	16 комплектів	для кріплення коліс
18	Захисне покриття	грунт-емаль / порошкова фарба	—	антикорозійний захист

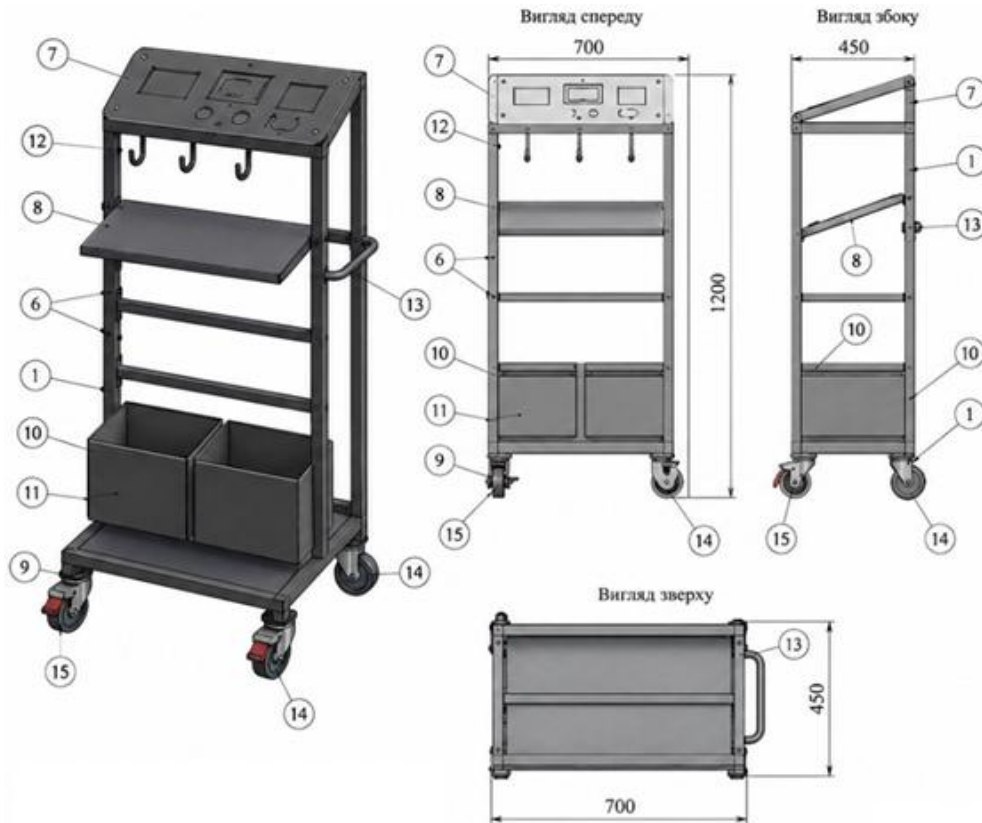


Рис. 3.1. Ескізне креслення мобільного діагностично-сервісного стенда для технічного обслуговування електромобілів.

Таблиця 3.3. Перелік обладнання, яке розміщується на стенді.

№	Найменування обладнання	Орієнтовна маса, кг	Призначення
1	Ноутбук або планшет із сервісним ПЗ	2,5	робота з діагностичними програмами
2	OBD-II діагностичний сканер	0,5	зчитування помилок електронних блоків
3	Цифровий мультиметр	0,7	вимірювання напруги, струму, опору
4	Мегомметр	1,5	перевірка опору ізоляції
5	Тестер 12-вольтової АКБ	1,0	перевірка низьковольтної батареї
6	Комплект діелектричного інструменту	8,0	безпечна робота з електрообладнанням
7	Діелектричні рукавиці та окуляри	1,0	захист персоналу

8	Зарядні кабелі та адаптери	8,0	перевірка зарядної системи
9	Очищувач контактів, серветки, дрібні матеріали	2,0	профілактичне обслуговування
10	Попереджувальні таблички	1,0	позначення небезпечної зони
	Разом	26,2 кг	

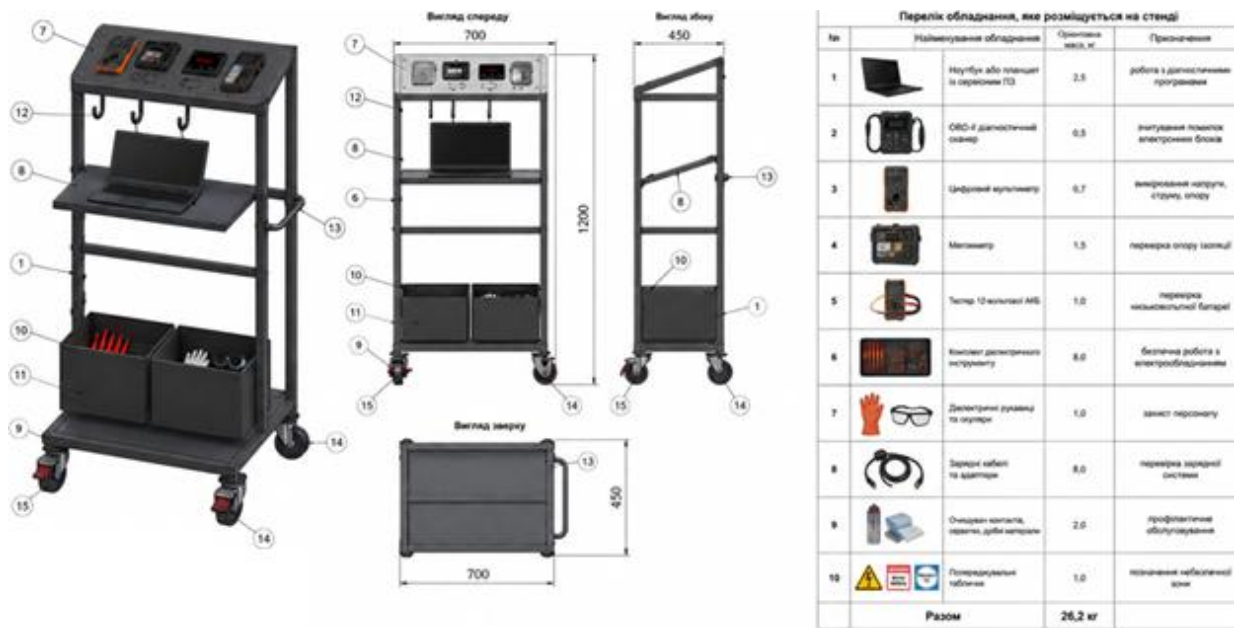


Рис. 3.2. Мобільний діагностично-сервісний стенд з обладнанням для технічного обслуговування електромобілів.

З урахуванням запасу приймаємо розрахункову масу обладнання:

$$m_{\text{обл}} = 60 \text{ кг}$$

Таке значення приймається з урахуванням можливого додаткового навантаження, зберігання кабелів, приладів, витратних матеріалів та інструменту.

3.2 Обґрунтування вибору матеріалу рами

Для виготовлення рами стенда обрано сталеву профільну трубу 25×25×2 мм. Такий матеріал є доцільним для навчально-конструкторського виробу, оскільки має достатню міцність, невелику масу, доступну вартість і добру

технологічність під час зварювання.

Переваги профільної труби $25 \times 25 \times 2$ мм:

достатня жорсткість для стенда невеликої вантажопідйомності;

простота різання та складання;

зручність виконання зварних з'єднань;

можливість кріплення полиць і коліс;

доступність у виробничих умовах;

невелика маса конструкції.

Для полиць доцільно застосувати листову сталь товщиною 1,5–2,0 мм. За потреби полиці можуть мати відбортовані краї для підвищення жорсткості.

3.3 Розрахунок навантаження на раму стенда

Для перевірки працездатності конструкції визначимо розрахункове навантаження на стенд [11].

Приймаємо:

$$m_{\text{обл}} = 60 \text{ кг}$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

Сила ваги обладнання:

$$G = m_{\text{обл}} \cdot g$$

$$G = 60 \cdot 9,81 = 588,6 \text{ Н}$$

Для врахування нерівномірного розміщення інструменту, динамічних навантажень під час переміщення та можливого додаткового обладнання приймаємо коефіцієнт запасу:

$$k = 1,5$$

Розрахункове навантаження:

$$G_{\text{розр}} = G \cdot k$$

$$G_{\text{розр}} = 588,6 \cdot 1,5 = 882,9 \text{ Н}$$

Рама стенда повинна витримувати навантаження не менше:

$$G_{\text{розр}} = 882,9 \text{ Н}$$

Це відповідає масі приблизно:

$$m_{\text{розр}} = \frac{882,9}{9,81} = 90 \text{ кг}$$

Таким чином, прийнята конструкція стенда повинна забезпечувати безпечне розміщення обладнання масою до 90 кг.

3.4 Розрахунок навантаження на одне колесо

Стенд встановлюється на чотири поворотні колеса. При рівномірному розподілі навантаження сила, що припадає на одне колесо, визначається за формулою:

$$G_1 = \frac{G_{\text{розр}}}{4}$$

$$G_1 = \frac{882,9}{4} = 220,7 \text{ Н}$$

Маса, що припадає на одне колесо:

$$m_1 = \frac{G_1}{g}$$

$$m_1 = \frac{220,7}{9,81} = 22,5 \text{ кг}$$

Одне колесо повинно витримувати не менше 22,5 кг. З урахуванням додаткового запасу та нерівномірного навантаження приймаємо колеса вантажопідйомністю не менше 50 кг кожне.

Загальна вантажопідйомність чотирьох коліс:

$$m_{\text{кол}} = 4 \cdot 50 = 200 \text{ кг}$$

Вибрані колеса забезпечують достатній запас міцності для експлуатації стенда.

3.5 Перевірка стійкості стенда

Стійкість мобільного стенда залежить від розмірів опорного контуру та положення центра мас [11]. Для спрощеної перевірки приймаємо, що найбільше зміщення центра мас у напрямку глибини стенда становить:

$$e = 80 \text{ мм}$$

Глибина стенда:

$$B = 450 \text{ мм}$$

Половина глибини опорного контуру:

$$\frac{B}{2} = \frac{450}{2} = 225 \text{ мм}$$

Умова стійкості:

$$e < \frac{B}{2}$$

$$80 < 225$$

Умова виконується. Проекція центра мас розміщується в межах опорного контуру, а стенд має достатню статичну стійкість під час використання.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час технічного обслуговування електромобілів

Технічне обслуговування електромобілів має низку специфічних особливостей порівняно з обслуговуванням автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння [12, 14]. Основна відмінність полягає в наявності високовольтних компонентів, які можуть працювати з напругою приблизно від 350 до 800 В [12, 13, 14]. До таких елементів належать тягова акумуляторна батарея, інвертор, електродвигун, високовольтні кабелі, зарядний модуль, DC/DC-перетворювач та силові роз'єми. У разі порушення правил безпеки ці компоненти можуть становити небезпеку ураження електричним струмом, виникнення електричної дуги, опіків або пошкодження обладнання.

Одним із найнебезпечніших факторів під час обслуговування електромобіля є можливість випадкового контакту працівника з елементами високовольтної системи. Особливо небезпечними є пошкоджені кабелі, роз'єми, корпус тягової батареї, а також вузли, що мають сліди перегріву, механічного удару або потрапляння вологи. Тому перед початком робіт необхідно виконати зовнішній огляд автомобіля, перевірити стан високовольтних кабелів, переконатися у відсутності видимих пошкоджень та, за потреби, провести знеструмлення високовольтного контуру.

До шкідливих виробничих факторів також належать підвищена напруженість праці, необхідність роботи з діагностичним обладнанням, електромагнітні впливи, шум від вентиляційного й компресорного обладнання, недостатнє освітлення робочої зони, а також можливість контакту з охолоджувальними рідинами, мастильними матеріалами та очищувачами контактів. Під час перевірки системи охолодження тягової батареї працівник може контактувати з антифризом, який потребує обережного поводження та недопущення потрапляння на шкіру або в очі.

Окрему групу небезпек становлять механічні фактори. Під час огляду днища електромобіля, зарядної системи, високовольтних кабелів або

батареїного блока часто використовується підіймач. Неправильне встановлення автомобіля на опори, помилковий вибір точок підіймання або контакт опор підіймача з високовольтними кабелями може спричинити пошкодження елементів автомобіля та створити аварійну ситуацію. Тому перед підійманням електромобіля необхідно користуватися технічною документацією виробника, дотримуватися визначених точок опори та не допускати навантаження на корпус тягової батареї.

Під час обслуговування зарядної системи існує ризик перегрівання контактів, пошкодження ізоляції зарядного кабелю, порушення комунікації між автомобілем і зарядною станцією або короткого замикання. Особливу увагу потрібно приділяти стану зарядного роз'єму, наявності слідів підгоряння, окиснення, забруднення або деформації контактів. Роботи із зарядною системою необхідно виконувати лише після перевірки відсутності активного процесу заряджання.

Важливе значення має також пожежна небезпека. Тягова акумуляторна батарея за нормальних умов експлуатації є безпечною, однак у разі механічного пошкодження, перегрівання, короткого замикання або порушення роботи системи BMS може виникнути ризик теплового розгону. Такий процес супроводжується різким підвищенням температури, виділенням газів і можливим займанням акумуляторних елементів. У зв'язку з цим на посту технічного обслуговування електромобілів повинні бути передбачені засоби пожежної безпеки, вільний доступ до евакуаційних шляхів, а персонал має знати порядок дій у разі аварійної ситуації.

Таблиця 4.1. Небезпечні та шкідливі фактори під час обслуговування електромобілів.

Виробничий фактор	Можливі наслідки	Заходи зниження ризику
Висока напруга тягової батареї	Ураження електричним струмом, опіки	Знеструмлення системи, використання ЗІЗ, діелектричний інструмент

Пошкодження високовольтних кабелів	Коротке замикання, електрична дуга	Візуальний огляд, контроль ізоляції, заборона роботи з пошкодженими кабелями
Несправність зарядної системи	Перегрів, відмова заряджання	Перевірка контактів, роз'ємів, кабелів і параметрів заряджання
Тягова акумуляторна батарея	Перегрів, тепловий розгін, займання	Контроль температури, перевірка BMS, недопущення механічних пошкоджень
Робота з підйомачем	Падіння автомобіля, пошкодження батареї	Використання штатних точок підймання, перевірка справності підйомача
Контакт з охолоджувальною рідиною	Подразнення шкіри, очей	Використання рукавиць, окулярів, дотримання правил поводження з рідинами
Недостатнє освітлення	Помилки під час діагностування, травмування	Забезпечення нормативного освітлення робочого місця
Неорганізоване робоче місце	Спотикання, пошкодження кабелів, травми	Раціональне розміщення інструменту, використання мобільного стенда

4.2 Заходи безпеки та охорони праці під час технічного обслуговування електромобілів

Безпечне виконання робіт із технічного обслуговування електромобілів повинно базуватися на поєднанні організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів. Основною метою цих заходів є запобігання травматизму, ураженню електричним струмом, пожежам, пошкодженню високовольтних компонентів та виникненню аварійних ситуацій на робочому місці.

Перед початком обслуговування електромобіля працівник повинен ознайомитися з технічною документацією виробника, визначити розташування

високовольтних компонентів, зарядного роз'єму, сервісного роз'єму тягової батареї, аварійного вимикача та точок підймання автомобіля. Роботи повинні виконуватися лише працівниками, які мають відповідну підготовку з електробезпеки та допуск до обслуговування електричних транспортних засобів.

Першим етапом безпечного виконання робіт є підготовка робочого місця. Зона обслуговування повинна бути чистою, сухою, добре освітленою та вільною від сторонніх предметів. На робочому місці необхідно розмістити попереджувальні таблички про виконання робіт із високовольтною системою. Інструмент, кабелі, засоби захисту та діагностичне обладнання доцільно розміщувати на мобільному діагностично-сервісному стенді. Це дає змогу уникнути безладу, скоротити час підготовки та зменшити ризик випадкового пошкодження обладнання.

Під час роботи з електромобілем обов'язково застосовуються засоби індивідуального захисту [13, 14]. До них належать діелектричні рукавиці, захисні окуляри, спецодяг, діелектричне взуття або ізолювальний килимок. Для роботи з електричними колами необхідно використовувати інструмент з ізольованими рукоятками. Перед застосуванням діелектричних рукавиць слід перевірити їх цілісність, відсутність проколів, тріщин або інших пошкоджень.

Особливо важливою операцією є знеструмлення високовольтної системи перед виконанням робіт поблизу тягової батареї, інвертора, електродвигуна, зарядного модуля або високовольтних кабелів. Порядок знеструмлення залежить від конструкції конкретного електромобіля, але в загальному вигляді включає вимкнення автомобіля, від'єднання зарядного кабелю, відключення 12-вольтової батареї, зняття сервісного роз'єму або запобіжника високовольтної системи та витримку часу, необхідного для розрядження конденсаторів силової електроніки.

Після знеструмлення обов'язково необхідно перевірити відсутність напруги за допомогою відповідного вимірювального приладу. Лише після цього допускається виконання робіт у зоні високовольтних компонентів. Забороняється торкатися помаранчевих високовольтних кабелів без попередньої перевірки безпечного стану системи.

Під час підймання електромобіля необхідно використовувати лише штатні точки опори, визначені виробником. Не допускається встановлення лап підймача під корпус тягової акумуляторної батареї, високовольтні кабелі, пластикові захисні кожухи або елементи системи охолодження. Перед підйманням слід переконатися, що автомобіль розміщений на рівній поверхні, а підймач справний і відповідає масі транспортного засобу.

Під час обслуговування зарядної системи необхідно переконатися, що автомобіль не підключений до зарядної станції. Зарядний кабель повинен бути оглянутий на наявність пошкоджень ізоляції, перегинів, тріщин, слідів перегріву або деформації контактів. У разі виявлення пошкоджень використання такого кабелю забороняється.

Під час роботи з тяговою батареєю забороняється її розбирати без спеціального дозволу, використовувати несправний інструмент, залишати металеві предмети поблизу відкритих електричних контактів, а також виконувати роботи у вологому середовищі. У разі виявлення запаху електроліту, диму, підвищеної температури, здуття корпусу або слідів механічного пошкодження батарейного блока роботи необхідно негайно припинити, а автомобіль перемістити у безпечну зону.

До організаційних заходів охорони праці належать проведення інструктажів, перевірка знань персоналу, ведення журналів обліку робіт, маркування небезпечних зон, забезпечення працівників справними засобами захисту та контроль технічного стану обладнання. Усі працівники, які виконують роботи з електромобілями, повинні знати порядок дій у разі ураження електричним струмом, пожежі, витoku охолоджувальної рідини або аварійного пошкодження тягової батареї.

Пожежна безпека під час технічного обслуговування електромобілів має важливе значення. У зоні обслуговування повинні бути засоби пожежогасіння, призначені для роботи з електрообладнанням, а також інструкція щодо дій у разі займання. У разі підозри на тепловий розгін батареї не можна продовжувати діагностування або заряджання автомобіля. Необхідно припинити роботи, попередити персонал, обмежити доступ до автомобіля та діяти відповідно до аварійного порядку.

Таблиця 4.2. Заходи охорони праці під час технічного обслуговування електромобілів.

Вид робіт	Основні вимоги безпеки
Діагностування електронних систем	Використовувати справне діагностичне обладнання, не втручатися в електричні кола без потреби
Робота з високовольтними кабелями	Застосовувати ЗІЗ, виконувати знеструмлення, перевіряти відсутність напруги
Обслуговування тягової батареї	Не допускати механічного пошкодження, контролювати температуру, не розбирати без дозволу
Перевірка зарядної системи	Від'єднати зарядний кабель, оглянути контакти, перевірити відсутність перегріву
Робота з низьковольтною АКБ	Уникати короткого замикання, контролювати полярність, очищати клеми із застосуванням ЗІЗ
Підймання автомобіля	Використовувати штатні точки опори, не навантажувати батарейний блок
Робота з рідинами	Застосовувати рукавиці й окуляри, не допускати розливу, утилізувати відходи належним чином
Завершення робіт	Перевірити правильність підключення систем, прибрати робоче місце, оформити результати ТО

Санітарно-гігієнічні умови праці також впливають на безпеку персоналу. Робоче місце повинно мати достатнє освітлення, вентиляцію, зручний доступ до обладнання та вільні проходи. Підлога має бути сухою, неслизькою і стійкою до дії технічних рідин. Кабелі діагностичного обладнання та зарядних пристроїв не повинні лежати у проходах або створювати небезпеку спотикання.

Після завершення технічного обслуговування працівник повинен перевірити правильність встановлення всіх захисних кожухів, кріплень, роз'ємів і кабелів. Повторне підключення високовольтної системи допускається лише після повного завершення робіт і контрольної перевірки. Після запуску електромобіля необхідно виконати комп'ютерну діагностику, переконатися у відсутності критичних помилок та оформити результати виконаних робіт [9, 10, 12].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У загально-технічному розділі розглянуто основні експлуатаційно-технічні характеристики електромобілів, їх конструктивну еволюцію, типи електроприводів, особливості тягових акумуляторних батарей, інверторів, систем охолодження, зарядних пристроїв і низьковольтної електричної системи. Матеріал подано логічно, з поясненням функціонального призначення основних вузлів і систем електроавтомобіля. Це створює належну теоретичну основу для подальшого розроблення технологічного процесу технічного обслуговування.

Технологічний розділ має практичну спрямованість. У ньому доцільно розкрито обслуговування найважливіших систем електроавтомобіля: тягової акумуляторної батареї, зарядної системи та низьковольтної електричної мережі. Правильним є підхід, за якого основна увага приділяється не загальному опису автомобіля, а саме технологічній послідовності виконання робіт, контролю параметрів, діагностуванню, визначенню трудомісткості та орієнтовної вартості сервісних операцій.

Конструкторський розділ логічно пов'язаний із темою роботи, оскільки передбачає розроблення мобільного діагностично-сервісного стенда для технічного обслуговування електромобілів. Таке рішення є практично доцільним, оскільки дає змогу впорядкувати розміщення діагностичного обладнання, засобів індивідуального захисту, діелектричного інструменту, зарядних кабелів та допоміжного оснащення. Наявність розрахунків навантаження на раму, навантаження на колесо та перевірки стійкості підвищує інженерну цінність цього розділу.

Розділ із безпеки життєдіяльності та охорони праці відповідає специфіці теми, оскільки обслуговування електроавтомобілів пов'язане з підвищеними ризиками ураження електричним струмом, пошкодження високовольтних кабелів, перегрівання тягової батареї, несправності зарядної системи та небезпеки під час підймання автомобіля. Доцільним є розгляд засобів індивідуального захисту, порядку знеструмлення високовольтної системи, перевірки відсутності напруги та організації безпечного робочого місця.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, Гупка А.Б., Хорошун Р.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальність 274 «Автомобільний транспорт». – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.
2. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів. – Львівська політехніка, 2017. – 324 с.
3. Канарчук В.Є. та ін. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. У 3-х кн. Кн. 2. Організація, планування й управління: підручник / В.Є. Канарчук, О.А. Лудченко, А.Д. Чигринець. – К.: Вища шк., 1994. – 383 с.
4. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. – К.: Знання-Прес, 2003. – 511 с.
5. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів / Уклад. Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 550 с.
6. Кисляков В.Ф., Лущик В.В. Будова і експлуатація автомобілів: підручник. – К.: Либідь, 2006. – 400 с.
7. Сажко В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – К.: Каравела, 2006. – 296 с.
8. Бойко М.Ф. Трактори та автомобілі. Частина 2. Електрообладнання: навчальний посібник. – Київ: Вища освіта, 2001. – 243 с.
9. Мигаль В. Д., Мигаль В. П. Методи технічної діагностики автомобілів: навчальний посібник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2014.
10. Конспект лекцій з курсу «Комп'ютерна діагностика» для студентів спеціальності «Автомобільний транспорт» денної і заочної форми навчання / Босюк П.В., Левкович М.Г., Тесля В.О. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2016. – 236 с.
11. Кіркач Н.Ф. Розрахунок і проектування деталей машин. – Харків, 1991. – 274 с.

12. Закон України «Про охорону праці». – Харків: Вид-во «ФОРТ», 2003.
– 32 с.
13. НАОП 60.2-3.06-98 «Типові норми видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам автомобільного транспорту».
14. Практикум з охорони праці: навчальний посібник / за ред. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.