

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Визначення оптимальних умов експлуатації електромобільних
батарей за різних температурних показників»**

Виконав: студент VI курсу групи Ат-63

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Ігор Коваль

(ім'я та прізвище)

Керівник: Степан ХІМКА
(ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

УДК 631.37

РЕФЕРАТ

«Визначення оптимальних умов експлуатації електромобільних батарей за різних температурних показників». – Коваль І. Б. – Кваліфікаційна робота. Кафедра автомобілів і тракторів. - Дубляни, -Львівський НУП, 2024. 69 с. текст. 5 част. 20 рис., 4 табл., бібл. 22.

У роботі проведено детальний аналіз впливу температурних режимів на продуктивність та термін служби електромобільних батарей. Розглянуто основні типи акумуляторів, їх конструктивні особливості та залежність ключових характеристик від умов експлуатації.

Розглянуто умов зберігання та зарядки електромобільних батарей. Проведено розрахунки витрат на зарядку та обслуговування батарей за різних температур і визначено найкращі умови для експлуатації. Також визначено вплив температури на саморозряд батарей і запропоновано технічні рішення для мінімізації цього ефекту.

У роботі висвітлено сучасні тенденції у використанні акумуляторних батарей в електромобілях та їх перспективи розвитку. Запропоновано заходи з охорони праці під час роботи з високовольтними батареями та забезпечення безпеки експлуатації електромобілів.

Ключові слова: електромобільні батареї, температурні режими, продуктивність, деградація, оптимальні умови.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ. ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1 Сучасний розвиток електромобілів	9
1.2 Показники які впливають на ефективність роботи електромобілів....	11
1.3 Важливість оптимальних умов експлуатації для продовження терміну служби батарей.....	13
Висновки до розділу.....	16
2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	18
2.1 Типи електромобільних батарей	18
2.2 Принципи роботи високовольтних батарей для електричних і гібридних автомобілів.....	19
2.3 Характеристика електромобільних батарей	28
2.4 Ефективність роботи батарей залежно від температурного режиму... Висновки до розділу.....	38 44
3 МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОБ’ЄКТА.....	45
3.1 Програма і задачі дослідження	45
3.2 Аналіз технічних характеристик що до впливу температур.....	46
3.3 Методика досліджень впливу температури на час зарядки.....	48
3.4 Визначення оптимальних умов експлуатації електромобільних батарей.....	56
Висновки за розділом.....	57

4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	58
4.1	Безпечні умови праці на електротехнічній ділянці	58
4.2	Аналіз травмонебезпечних ситуацій та вимоги безпеки під час експлуатації електричного освітлення	60
4.3	Планування заходів з покращення охорони праці	62
5	ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ	63
5.1	Розрахунок витрат на зарядку акумулятора	63
5.2	Витрати на обслуговування	64
5.3	Висновки до розділу.....	65
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	67
	ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....	68

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку автомобільної індустрії електромобілі займають дедалі вагомішу частку на ринку транспорту. Це зумовлено низкою чинників, таких як підвищена увага до проблем екології, розвиток технологій зберігання енергії, а також прагнення знизити залежність від викопного палива. Електромобілі пропонують можливість зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу і сприяти вирішенню глобальних екологічних проблем. Однак одним із найважливіших аспектів їхнього функціонування є робота акумуляторних батарей, від яких залежить ефективність, дальність поїздки, термін служби транспортного засобу та його загальна надійність.

Електромобільні батареї, що зазвичай представлені літій-іонними акумуляторами, виявляють значну залежність своєї продуктивності від зовнішніх умов, зокрема температури. Як надто високі, так і надто низькі температури негативно впливають на ємність, потужність і довговічність батареї. В умовах низьких температур спостерігається збільшення внутрішнього опору та зниження іонної провідності, що призводить до зменшення ємності та ефективності заряджання. Високі температури, навпаки, можуть призвести до прискореної деградації матеріалів батареї та навіть до термічного розгону, що може мати катастрофічні наслідки.

В умовах різних кліматичних зон та сезонних змін виникає необхідність у розробці оптимальних режимів експлуатації електромобільних батарей для забезпечення їх стабільної роботи та продовження терміну служби. Оптимізація цих умов є важливим завданням для підвищення надійності і ефективності електромобілів, що дозволить зробити їх більш конкурентоспроможними порівняно з традиційними автомобілями.

Метою даної роботи є визначення оптимальних умов експлуатації електромобільних батарей при різних температурних показниках, а також розробка рекомендацій щодо покращення їх продуктивності в умовах екстремальних температур.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ. ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Сучасний розвиток електромобілів

Сучасний розвиток електромобілів є важливою частиною глобальної трансформації транспортної галузі, яка спрямована на зменшення викидів парникових газів та залежності від викопного палива. Цей процес можна розглянути через кілька ключових аспектів.

Попит на електромобілі стрімко зростає (рис. 1.1), особливо в розвинених країнах. Згідно з прогнозами, до 2030 року частка електромобілів на ринку може значно зрости.

Продажі електромобілів, 2012-2024

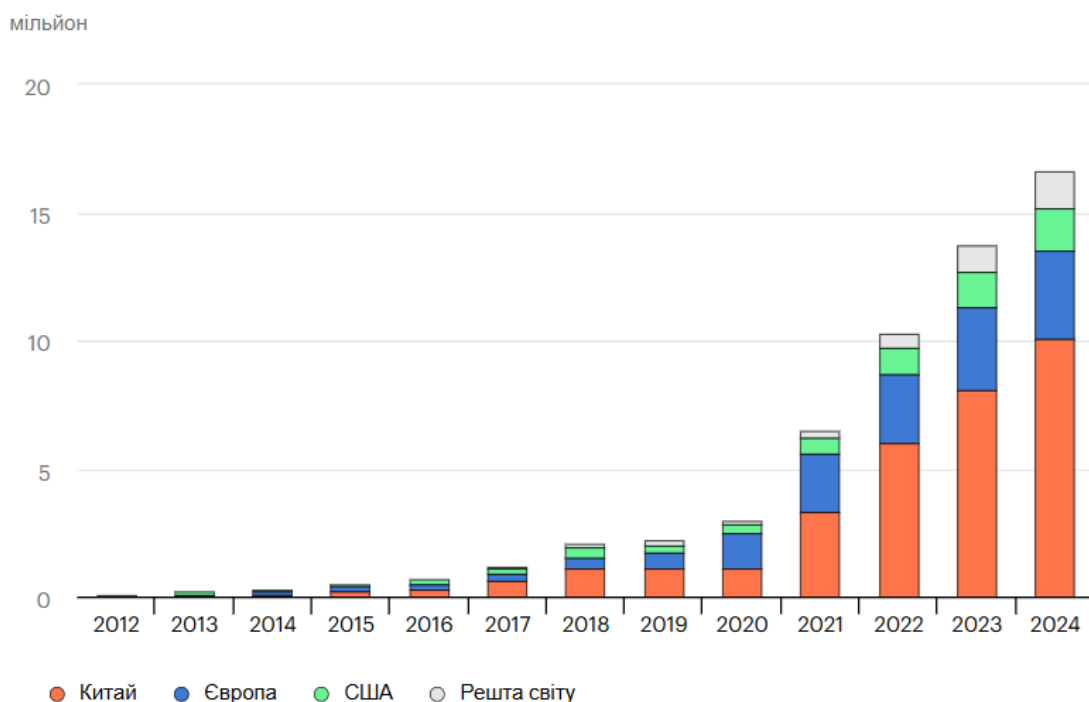


Рисунок 1.1 – Графік попиту на електромобілі

Уряди багатьох країн стимулюють купівлю електромобілів через пільги, субсидії, зниження податків і обмеження на використання традиційних транспортних засобів із двигунами внутрішнього згоряння[3].

Більшість великих автовиробників, таких як Tesla, Volkswagen, BMW, General Motors, Nissan (рис. 1.2), активно випускають нові моделі електромобілів з поліпшеними характеристиками.

Технології електромобілів постійно вдосконалюються, що підвищує їх привабливість для споживачів. Літій-іонні акумулятори, які є стандартом для сучасних електромобілів, стали ефективнішими, з більшою щільністю енергії, швидшим зарядженням і довшим терміном служби. Досліджуються нові типи батарей, наприклад, твердотільні акумулятори, що мають потенціал ще більшої енергоємності та безпеки.



Рисунок 1.2 – Сучасний електромобіль[4]

Сучасні електромобілі можуть проїжджати понад 400-600 км на одному заряді, що робить їх привабливими для ширшого кола користувачів.

Технології швидкої зарядки постійно вдосконалюються, що дозволяє заряджати батарею на 80% за 20-30 хвилин. Інфраструктура для зарядки також швидко розвивається.

Електромобілі мають значно менший екологічний слід порівняно з традиційними автомобілями з двигунами внутрішнього згорання. Не виділяють вихлопних газів під час руху, а викиди при виробництві електроенергії залежать від джерела енергії. Використання відновлюваних

джерел енергії, таких як сонячна чи вітрова, значно знижує вуглецевий слід. Крім CO₂, електромобілі також не виробляють таких забруднювачів, як оксиди азоту (NO_x) і тверді частинки, які мають шкідливий вплив на здоров'я людей та навколишнє середовище.

З розвитком електромобілів зростає і мережа зарядних станцій. У багатьох країнах створюються потужні системи зарядної інфраструктури, що охоплюють як міські, так і міжміські маршрути. Найбільший прогрес помітний у Європі, США та Китаї. Також з'являються нові моделі приватних зарядних пристроїв, які можна встановлювати вдома.

Електромобілі активно інтегруються з передовими програмними рішеннями. Розробка систем автономного керування, таких як Tesla Autopilot, стає важливим напрямом розвитку. Електромобілі стають частиною "розумного" міського середовища, що дозволяє взаємодіяти з іншими транспортними засобами та інфраструктурою для підвищення безпеки та ефективності руху.

Попри вищу початкову вартість, електромобілі мають нижчі витрати на експлуатацію, оскільки:

- Електроенергія дешевша за бензин або дизельне паливо.
- Менша кількість рухомих частин у порівнянні з традиційними автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння означає менше зношування та потребу в ремонті.

З часом батареї втрачають свою ємність, що може знижувати дальність ходу. Ведуться дослідження щодо продовження терміну служби батарей та покращення технологій переробки. Виробництво батарей є енерговитратним процесом і вимагає рідкісних матеріалів, таких як літій і кобальт, видобуток яких має екологічні та етичні виклики.

Сучасний розвиток електромобілів є одним із найважливіших трендів у транспортній галузі, що сприяє переходу до сталого майбутнього. Постійне вдосконалення технологій, розширення інфраструктури зарядки та екологічні переваги роблять електромобілі більш привабливими для широкого загалу.

Проте є ще низка викликів, які необхідно подолати для досягнення масового впровадження електротранспорту[1, 2, 5].

1.2 Показники які впливають на ефективність роботи електромобілів

Ефективність роботи електромобілів залежить від багатьох факторів, які впливають на запас ходу, продуктивність та загальну економічність. Основні показники, що впливають на ефективність роботи електромобілів, можна поділити на кілька категорій.

Ємність батареї - вимірюється в кіловат-годинах (кВт·год) і визначає, скільки енергії може накопичити батарея. Чим вища ємність, тим більше відстань може подолати електромобіль на одному заряді. Проте більша ємність означає більшу вагу батареї, що може знижувати ефективність. З часом батареї втрачають частину своєї ємності через цикли заряджання-розряджання. Чим повільніше деградує батарея, тим довше електромобіль залишатиметься ефективним.

Високі або низькі температури можуть знижувати ефективність батареї. За низьких температур її продуктивність може знижуватися через уповільнення хімічних процесів, а за високих – прискорюється деградація.

Чим вища швидкість заряджання та розряджання батареї, тим кращі характеристики продуктивності. Однак швидке заряджання може призвести до більш швидкої деградації батареї, якщо воно постійно використовується.

Чим легший автомобіль, тим менше енергії він потребує для руху. Вага автомобіля безпосередньо впливає на ефективність витрати енергії, оскільки важкі автомобілі споживають більше енергії для прискорення та подолання підйомів.

Більші батареї додають значної ваги автомобілю, що може негативно впливати на його ефективність. Тому виробники шукають баланс між ємністю батареї та вагою автомобіля.

Чим нижчий коефіцієнт опору повітря, тим ефективніше автомобіль долає опір повітря під час руху, особливо на високих швидкостях. Електромобілі з гарною аеродинамікою витрачають менше енергії на подолання опору повітря, що підвищує загальну ефективність. Дизайн кузова, гладкість поверхонь, форма дахів, капотів і задньої частини впливають на опір повітря. Автомобілі зі зниженим аеродинамічним опором мають вищий запас ходу.

Система рекуперації енергії дозволяє відновлювати частину енергії під час гальмування, яка повертається до батареї. Чим ефективніша ця система, тим більше енергії можна відновити та знизити загальне споживання.

Електродвигуни мають високий ККД (до 90-95%), проте ефективність різних моделей може відрізнятись. Двигуни з більш високою ефективністю споживають менше енергії для тієї ж потужності, що підвищує ефективність автомобіля.

Повний привід споживає більше енергії через складнішу конструкцію трансмісії та більші втрати на тертя. Автомобілі з переднім або заднім приводом зазвичай мають кращу енергоефективність у порівнянні з повнопривідними моделями.

Шини з низьким опором коченню можуть знизити енерговитрати під час руху, підвищивши ефективність автомобіля. Вибір спеціальних енергоефективних шин є важливим фактором, що впливає на загальне споживання енергії. Низький тиск у шинах підвищує опір коченню та, як наслідок, витрати енергії. Регулярна перевірка та підтримка оптимального тиску допомагає покращити ефективність.

При високих швидкостях опір повітря значно зростає, що підвищує споживання енергії. Оптимальна швидкість для більшості електромобілів — це рух на середній швидкості (50-80 км/год), за якої ефективність є максимальною.

Їзда по гірських чи горбистих місцевостях збільшує споживання енергії через необхідність додаткової потужності для подолання підйомів. Навпаки, їзда по рівнинних територіях підвищує ефективність.

Екстремальні температури (дуже високі чи низькі) впливають на ефективність електромобілів. Батареї працюють найкраще у діапазоні +15-+25°C. За низьких температур продуктивність батарей падає, а опалювальні системи споживають додаткову енергію. За високих температур охолоджувальні системи батарей також споживають більше енергії.

Система управління батареєю (BMS) відповідає за контроль заряджання, розряджання та температурних режимів батареї. Ефективні BMS забезпечують оптимальну роботу батареї, запобігаючи її перегріву або надмірному охолодженню, а також контролюють процес заряджання для мінімізації деградації[21].

Енергоефективні стратегії, такі як еко-режими та інтелектуальні системи керування потужністю, допомагають знизити витрати енергії під час експлуатації автомобіля, оптимізуючи його роботу відповідно до умов поїздки. Найбільш значущими показниками, що впливають на ефективність роботи електромобілів, є ємність і стан батареї, маса автомобіля, аеродинаміка, опір коченню шин та ефективність електродвигуна[4, 7, 16].

Умови експлуатації та система управління батареєю також мають критичне значення для досягнення оптимальних результатів, особливо в екстремальних умовах.

1.3 Важливість оптимальних умов експлуатації для продовження терміну служби батарей

Оптимальні умови експлуатації є критично важливими для продовження терміну служби електромобільних батарей. Ці умови визначають ефективність, стабільність і довговічність роботи акумуляторів, що безпосередньо впливає на загальну продуктивність електромобіля.

Дотримання оптимальних умов допомагає зменшити деградацію батареї, покращити її працездатність та знизити витрати на обслуговування.

Деградація батареї — це поступова втрата ємності та ефективності внаслідок хімічних реакцій, що відбуваються всередині акумулятора. Якщо не забезпечувати оптимальні умови експлуатації, процес деградації пришвидшується, що призводить до зниження продуктивності. Високі температури призводять до прискореного старіння активних матеріалів, тоді як низькі температури знижують іонну провідність, що також може негативно впливати на довговічність.

Часті глибокі розряди або зарядка до 100% можуть пришвидшити втрату ємності батареї (рис. 1.3). Рекомендованим є зарядка до 80-90% та уникання глибокого розряду (нижче 20%).

Дослідження показують, що батареї, експлуатовані при оптимальних умовах, можуть зберігати до 80-90% своєї початкової ємності навіть після 150 000–200 000 км пробігу.

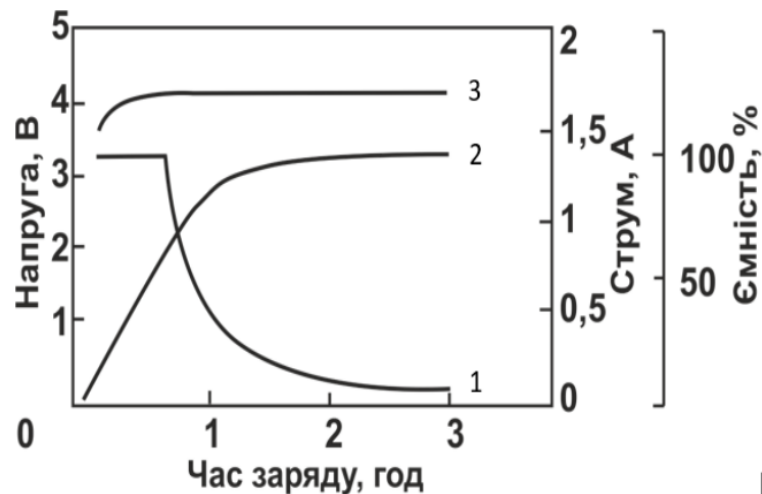


Рисунок 1.3 – Типовий графік заряду літій-іонного акумулятора нормованим зарядним струмом, при постійній напрузі 4,1 В: 1 – струм, 2 – ємність, 3 – напруга.

Як ми вже обговорювали, температура має вирішальний вплив на роботу батареї. Електромобілі повинні працювати при температурі в межах від +20°C до +30°C, щоб забезпечити стабільну роботу.

Підвищені температури можуть викликати термічний розгін — процес, під час якого батарея перегрівається і починає виділяти більше тепла, що може призвести до катастрофічних наслідків, таких як вибух або займання.

Низька температура значно знижує іонну провідність, що робить батарею менш ефективною. При температурі нижче 0°C ємність може знижуватися на 20-30%, а заряджання стає складнішим і небезпечнішим.

Правильний режим зарядки та розрядки є ключовим для довговічності батареї. Постійне використання швидких зарядних станцій може призвести до підвищеного нагрівання батареї, що сприяє її деградації. Оптимальним вважається помірне заряджання за допомогою звичайних зарядних пристроїв, особливо в домашніх умовах. Постійне розряджання батареї до 0% сприяє пришвидшеному зносу. Рекомендується підтримувати заряд на рівні 20-80%, щоб продовжити термін служби акумулятора.

Компанія Nissan рекомендує власникам електромобілів Leaf заряджати батарею не до 100%, а до 80-90%, що дозволяє зберегти її ємність протягом тривалішого часу.

Зовнішні умови, такі як волога, пил і механічні пошкодження, можуть негативно впливати на батарею. Багато електромобілів оснащені захисними системами, що забезпечують ізоляцію батареї від зовнішніх чинників, але додатковий захист і дотримання умов експлуатації можуть продовжити термін служби акумулятора. Батареї сучасних електромобілів мають захист за стандартами IP (Ingress Protection), що забезпечує стійкість до проникнення вологи та пилу. Однак важливо уникати екстремальних умов, таких як затоплення або сильне забруднення.

Використання технологій рекуперації енергії. Рекуперативне гальмування, яке використовується в електромобілях, дозволяє перетворювати кінетичну енергію гальмування на електричну та заряджати батарею. Це дозволяє зменшити кількість циклів заряджання від зовнішніх джерел і, таким чином, продовжити термін служби батареї.

Електромобілі, такі як BMW і3 або Tesla Model S, ефективно використовують систему рекуперативного гальмування, що дозволяє зберігати енергію та зменшувати знос акумулятора[12, 14].

Сучасні електромобілі оснащені інтелектуальними системами моніторингу, які контролюють температуру, заряд, стан елементів батареї та інші параметри. Ці системи допомагають автоматично підтримувати оптимальні умови для продовження терміну служби батареї та запобігти можливим поломкам.

Система Battery Management System (BMS) в електромобілях контролює заряд батареї, слідкує за температурою та іншими параметрами, забезпечуючи її роботу в межах безпечних умов.

Оптимальні умови експлуатації не лише продовжують термін служби батареї, але й дозволяють знизити витрати на обслуговування електромобіля. Менша кількість ремонтів, заміна батареї або її елементів у віддаленій перспективі є значно вигіднішою для власників електромобілів.

Мета роботи: визначення оптимальних умов експлуатації електромобільних батарей за різних температурних показників

Предмет досліджень: вплив температури на якісні показники роботи батарей.

Об'єкт досліджень: час заряду розряду батарей їх деградація, зміна запасу ходу електромобілів.

Задачі досліджень:

- Провести обґрунтування напрямку наукових досліджень.
- Зробити теоретичний аналіз об'єкта дослідження.
- Аналіз технічних характеристик що до впливу низьких (до -10°C), помірних (від $+25^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$) і високих температур на запас ходу.
- Дослідження впливу температури на час заряду.
- Оцінка впливу температур на деградацію і саморозряд батареї.
- Визначення оптимальних умов експлуатації електромобільних батарей.
- Зробити висновки

Висновки до розділу

1. Сучасний розвиток електромобілів відзначається швидким зростанням попиту, особливо в розвинених країнах, де уряди стимулюють їх використання через субсидії та податкові пільги. Автовиробники активно впроваджують інновації в галузі батарей, що покращує енергоємність, швидкість заряджання та загальну продуктивність електромобілів. Також швидко розвивається інфраструктура зарядних станцій, що робить електромобілі зручнішими для користувачів. Зважаючи на екологічні переваги, електромобілі вважаються важливою частиною сталого майбутнього транспорту.

2. На ефективність роботи електромобілів впливають різні фактори, такі як ємність батареї, вага автомобіля, аеродинаміка та ефективність електродвигуна. Оптимальні температурні умови, правильний режим заряджання та розряджання також мають критичне значення для продуктивності. Більшість виробників намагаються знайти баланс між цими показниками для максимального збільшення запасу ходу та ефективності. Використання шин з низьким опором коченню, систем рекуперації та енергоефективних технологій також позитивно впливає на ефективність електромобілів.

3. Оптимальні умови експлуатації є важливими для продовження терміну служби батарей електромобілів, оскільки вони допомагають знизити деградацію та підтримувати стабільну продуктивність. Температурний режим, уникнення глибоких розрядів, а також правильний режим заряджання відіграють важливу роль у збереженні ємності батареї. Застосування систем моніторингу та інтелектуальних технологій дозволяє контролювати стан батареї і запобігати передчасному зносу, що знижує витрати на обслуговування і підвищує ефективність експлуатації електромобілів.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Типи електромобільних батарей

Існує кілька типів електромобільних батарей, які використовуються в сучасних електромобілях, кожен з яких має свої переваги та недоліки залежно від вимог до продуктивності, безпеки, енергоємності та вартості. Основні типи електромобільних батарей включають:

Свинцево-кислотні батареї. Найстаріший тип батарей, який рідко використовується в сучасних електромобілях.

Переваги: низька вартість виробництва; висока надійність.

Недоліки: низька енергетична щільність, що обмежує запас ходу; велика вага та тривалий час заряджання. Використовувалися в ранніх електромобілях і в якості допоміжних батарей.

Літій-іонні батареї (Li-ion). Найпоширеніший тип батарей, що використовується в електромобілях (рис. 2.1).

Переваги: висока енергоємність; довгий термін служби (велика кількість циклів заряджання-розряджання); високий рівень ефективності заряджання.

Недоліки: схильність до перегріву, що вимагає складних систем охолодження; з часом відбувається деградація, що зменшує ємність.

Використовується в таких електромобілях, як Tesla, Nissan Leaf, BMWi3.



Рисунок 2.1 – Види літієвих акумуляторів

Літій-залізо-фосфатні батареї (LiFePO₄). Варіант літій-іонної батареї, який використовує залізо-фосфатний катод.

Переваги: краща стабільність і безпека через стійкість до перегріву; триваліший термін служби порівняно з іншими літій-іонними батареями.

Недоліки: менша енергетична щільність порівняно зі звичайними літій-іонними батареями.

Використовується в деяких моделях електромобілів, таких як Tesla Model 3 (версія для Китаю).

Нікель-металогідридні батареї (NiMH). Використовувалися раніше в гібридних автомобілях.

Переваги: висока стабільність і надійність; висока щільність енергії порівняно зі свинцево-кислотними батареями.

Недоліки: низька ефективність заряджання-розряджання порівняно з літій-іонними батареями; висока саморозрядка. Використовувалася в Toyota Prius (старіші моделі).

Кожен тип батарей має свої унікальні властивості, що підходять для різних типів електромобілів. Літій-іонні батареї є найпоширенішими завдяки їхній ефективності та довговічності, але майбутнє за твердотілими, літій-сірчаними та іншими новітніми технологіями.

2.2 Принципи роботи високовольтних батарей для електричних і гібридних автомобілів

Гібридний або електричний автомобіль має дві батареї:

12-вольтову акумуляторну батарею (англ. 12 V battery): подає електрику на додаткові електричні системи.

Високовольтну батарею (англ. HV battery): забезпечує електрикою високовольтні компоненти. HV (англ. High Voltage) перекладається на українську мову як "висока напруга". Високовольтна батарея встановлюється в багажнику або під днищем автомобіля (рис. 2.2).

Найбільш поширені хімічні склади високовольтних батарей для електромобілів:

- нікель-металогідрид (NiMh)
- літій-іонна (Li-ion).

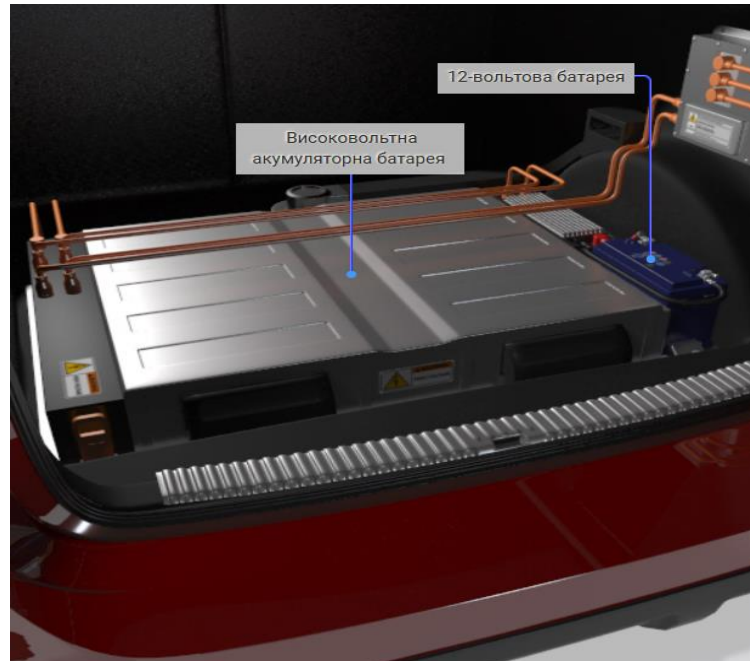


Рисунок 2.2 – Розміщення батарей в електромобілі

Високовольтна батарея складається з наступних компонентів:

- акумуляторні модулі

Зберігають електричну енергію.

- сервісний роз'єм

Ізолює високу напругу від високовольтної системи.

- головне реле

Ізолює високовольтну систему від іншої частини автомобіля.

- струмовимірювальний датчик

Вимірює вхідний і вихідний струм високовольтної батареї.

- BMS батареї

Регулює процеси високовольтної батареї.

Як і 12-вольтова, високовольтна батарея складається з декількох секцій.

Секції у високовольтній батареї можуть бути з'єднані послідовно і паралельно.

- Послідовно з'єднані секції збільшують напругу.
- Паралельно з'єднані секції збільшують ємність.

Сервісний роз'єм використовується під час ремонту (і в екстрених ситуаціях) для ізоляції високої напруги автомобіля (рис. 2.3). Як правило, сервісний роз'єм має помаранчевий колір, що дозволяє його легко ідентифікувати. Оскільки струм протікає тільки в замкнутому ланцюзі, сервісний роз'єм можливо встановити в будь-якому місці між двома модулями.

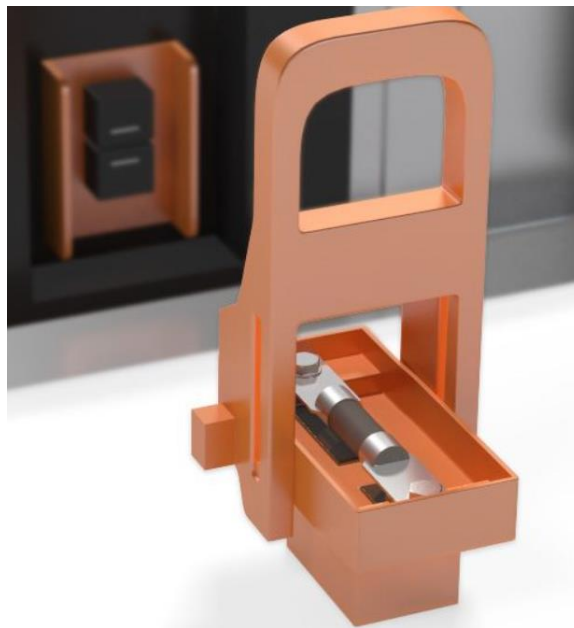


Рисунок 2.3 – Сервісний роз'єм

Два головних реле відокремлюють високовольтну батарею від іншої частини автомобіля шляхом ізоляції плюсового і мінусового полюса. При використанні третього реле пусковий струм обмежується послідовним підключенням резистора. Конденсатори в інверторі подають короткий високий зарядний струм при включенні, а послідовний резистор його обмежує.

Щоб відключити головне реле в гібридному або електричному автомобілях, необхідно виконати наступні умови:

- коли запалювання вимкнене, обидва полюси високовольтної батареї повинні бути ізольовані.

- контакти реле повинні бути розімкнуті, тому що комутаційна напруга відсутня.
- в аварійних ситуаціях всі контакти повинні бути розімкнуті.

Струмовимірювальний датчик підключається до BMS батареї і вимірює вхідний і вихідний струм високовольтної батареї. Щоб розрахувати кількість енергії у високовольтній батареї, потрібно визначити точне значення сили струму. Кількість енергії у високовольтній батареї називається "станом заряду" (англ. State of Charge, SOC). Оскільки високовольтна батарея подає пряму напругу, сила струму вимірюється за допомогою датчика на ефекті Холла.

Схема підключення:

- 73: напруга джерела живлення
- 74: сигнал датчика на ефекті Холла
- 75: заземлення

BMS батареї опрацьовує інформацію, щоб забезпечити безперебійну роботу високовольтної батареї і вимірює:

- температуру високовольтної батареї
- температуру охолоджуючого повітря
- вхідний і вихідний струм батареї
- напругу на модулі
- вирівнює щільність електроліту в секціях
- керує вентилятором
- визначає стан заряду (SOC)
- обмежує або запобігає розрядженню/зарядженню батареї в разі несправності

Система управління акумуляторною батареєю (англ. Battery Management System, аббревіатура: BMS) - електронна система, що керує зарядним і розрядним процесом акумуляторної батареї, відповідає за безпеку її роботи,

проводить моніторинг стану батареї, оцінку вторинних даних працездатності(рис. 2.4). При виникненні проблеми система управління акумуляторною батареєю генерує код помилки.

Всі дані відправляються на інші блоки управління і на діагностичний тестер по зв'язку CAN.

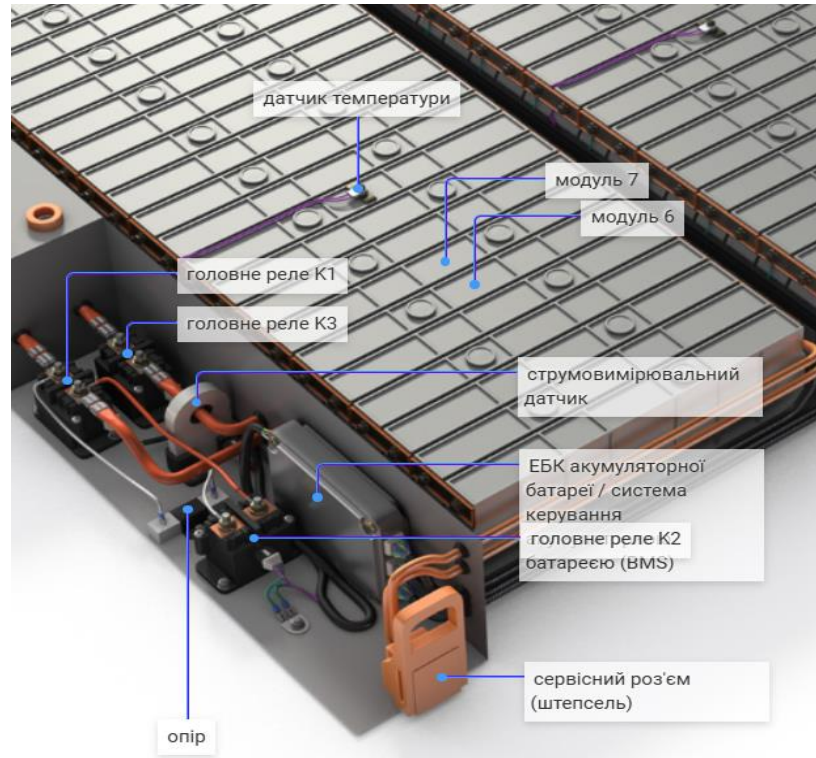


Рисунок 2.4 – Модуль BMS

Завдання BMS полягає в зборі даних про стан акумуляторної батареї. Датчики температури вимірюють температуру високовольтної батареї і запобігають її перегрівання. Датчик частоти обертання (датчик Холла, англ. Hall sensor) вимірює силу струму батареї і визначає стан заряду батареї (англ. State of Charge, аббревіатура: SOC). Вимірники напруги визначають стан заряду батареї і надають дані для підтримки балансу зарядів комірок. Стан працездатності батареї (англ. State of Health, аббревіатура: SOH) визначається за різними даними[8].

BMS захищає високовольтну батарею. Надмірно висока сила струму може виникати в разі короткого замикання або при наявності несправних компонентів. Занадто низька напруга може виникати, якщо батарея

розряджена. Коли напруга осередку стає занадто низькою, це призводить до пошкодження батареї. Занадто висока напруга може виникати при надмірній зарядці батареї. Напруга комірки сильно підвищується, і в батареї відбувається збій.

Для опису стану високовольтної батареї використовують термін "ступінь працездатності батареї" (від англ. State of Health, SOH). На ступінь працездатності впливають різні чинники, і її погіршення веде до втрати ємності. Щоб дізнатися поточну ступінь працездатності батареї, необхідно порівняти фактичну кількість енергії з початковою кількістю енергії, тобто з ємністю нової батареї.

Наприклад:

- Якщо початкова ємність становила 50 кВт·год (kWh), а фактична — 40 кВт·год, то ступінь працездатності батареї дорівнює 80%.
- Якщо спочатку пробіг транспортного засобу становив 270 км (km), а на сьогоднішній день при ідентичних умовах фактичний пробіг становить 250 км, то ступінь працездатності — 93%.
- Якщо батарея із заявленою ємністю в 1 Агод (Ah) має ступінь працездатності 90% і стан заряду 50%, то кількість енергії становить 0,45 Агод.

Стан заряду батареї (від англ. State of Charge, SOC) визначає кількість енергії, що міститься у високовольтній батареї.

Стан заряду можна визначити різними способами. Вимірювання сили струму. Щоб визначити кількість використаної і накопиченої енергії, необхідно постійно контролювати вхідний і вихідний струм батареї[4,18].

Необхідно спочатку виміряти напругу на комірці (це правильніша назва окремого літєвого елемента живлення) високовольтної батареї і її температуру. Після цього можна виміряти кількість енергії в високовольтній батареї. Визначення стану заряду батареї (SOC) за допомогою вимірювання сили струму

Енергія високовольтної батареї використовується, коли автомобіль приводиться в рух за допомогою електромотора. Якщо мотор використовується в якості генератора, сила струму буде повертатися в високовольтну батарею.

Силу струму можна точно виміряти за допомогою датчика який використовує ефект Холла (датчика Холла, англ. Hall Effect sensor). Якщо напруга і проміжок часу відомі, то можна розрахувати використану і накопичену енергію.

Представлений графік приблизно показує стан заряду комірки при певній напрузі і температурі (рис.2.5).

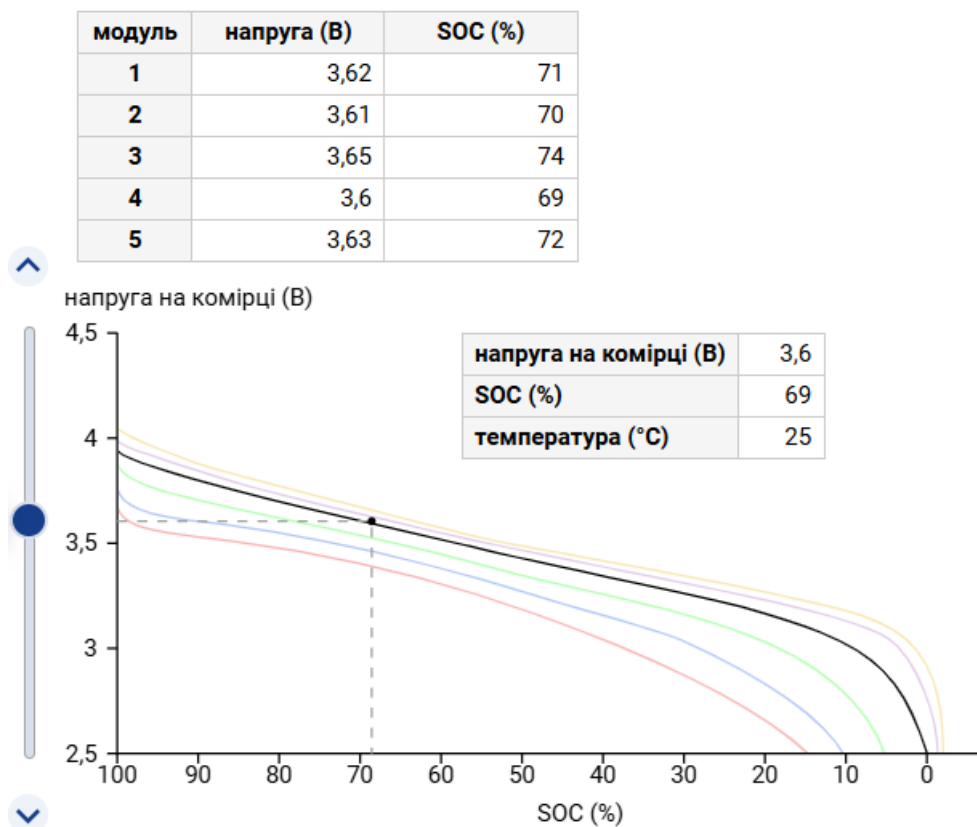


Рисунок 2.5 – Графік стану заряду комірки

Використана енергія розраховується шляхом множення потужності на проміжок часу:

$$W = P \cdot t \quad (2.1)$$

Потужність розраховується за наступною формулою:

$$P = V \cdot I \quad (2.2)$$

де: W = енергія в Джоулях (J), ват-секундах (Ws) або кіловат-годинах (kWh)*

P = потужність (W)

t = час у секундах (с)

V = напруга в вольтах (V)

I = сила струму в амперах (A)

Напругу на комірці і її температуру вимірюють в різних положеннях. За допомогою цих даних можна визначити стан заряду. Температура значно впливає на напругу на комірці. Система керування високовольтною батареєю (BMS) використовує ці дані для визначення стану заряду.

Зазвичай в будь-якій системі, що складається з декількох послідовно включених батарей, виникає проблема розбалансування заряду окремих батарей. Вирівнювання заряду — це метод проектування, що дозволяє збільшити безпеку експлуатації батарей, час роботи без підзарядки і термін служби. Високовольтна батарея знаходиться в балансі в тому випадку, якщо всі комірки (так буде правильніше називати окремий літійовий елемент живлення) мають однаковий заряд. Щоб визначити стан заряду (від англ. State of Charge, SOC), необхідно виміряти напругу на кожному модулі батареї.

Якщо модулі в високовольтній батареї не перебувають в балансі, їх напруга буде відрізнятися все більше і більше. Це може привести до погіршення стану заряду високовольтної батареї, що в кінцевому підсумку стане причиною збою в її роботі.

Якість високовольтної батареї визначається по самій розрядженій комірці в пакеті. Комірki з повним зарядом розряджаються до тих пір, поки всі комірки не матимуть однаковий стан заряду. Це відбувається для оптимального використання високовольтної батареї.

Процес зарядки високовольтної батареї триває до тих пір, поки повністю не зарядиться комірka з найбільшим зарядом. Процес розрядки високовольтної батареї триває до тих пір, поки повністю не розрядиться комірka з найменшим зарядом. Потім розрядка батареї припиняється, і комірки з великим зарядом перестають розряджатися (рис.2.6).

Такий принцип зарядки високовольтної батареї називають ефективною втратою ємності.

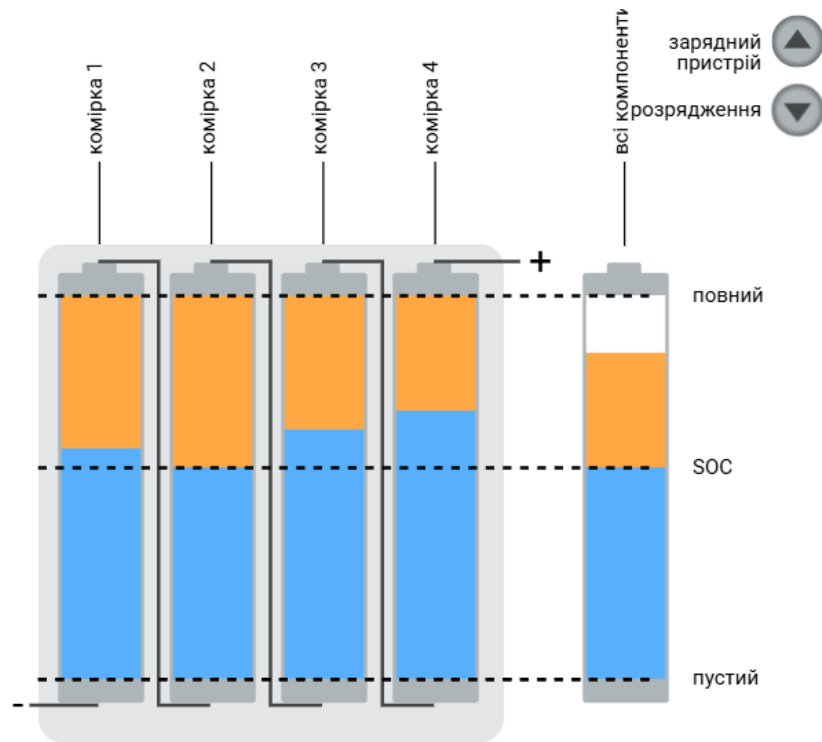


Рисунок 2.6 – Балансування батареї

Зазвичай в будь-якій системі, що складається з декількох послідовно включених батарей, виникає проблема розбалансування заряду окремих батарей. Вирівнювання заряду — це метод проектування, що дозволяє збільшити безпеку експлуатації батарей, час роботи без підзарядки і термін служби. Існують два методи балансування батарей: активний і пасивний. Останній іноді називають «резисторним балансуванням». Пасивне балансування є найбільш простим і надійним способом вирівнювання заряду батареї[8, 20].

При пасивному балансуванні відбувається втрата енергії, оскільки резистор перетворює електричну енергію в тепло. Для балансування батареї енергія надходить з певних комірок через резистор. Кожен модуль батареї має індикатор напруги, що складає його стан заряду. Якщо одна комірка має більший заряд, ніж інші, її можна розрядити, увімкнувши транзистор.

Батарею можна також збалансувати під час зарядки. Для цього необхідно, щоб всі комірки заряджалися одночасно. Якщо якісь комірки заряджаються швидше, ніж інші, то їх зарядний струм частково направляється через резистор і транзистор.

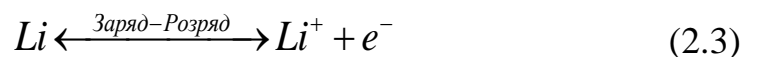
2.3 Характеристика електромобільних батарей

Літій-іонні батареї — це основна технологія, що використовується в електромобілях завдяки своїй високій енергоємності, довготривалому циклічному терміну служби та відносно компактним розмірам(рис. 2.7).

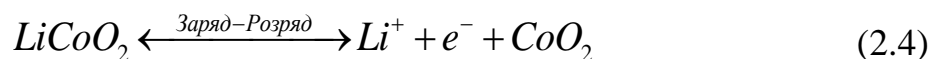
Енергоємність висока (200-250 Вт·год/кг), що забезпечує значний запас ходу для електромобілів. Термін служби 1000-2000 циклів зарядки (залежить від експлуатації). Є певні ризики загоряння при перегріванні або механічних пошкодженнях, потребує ефективної системи охолодження. Ефективність близько 90-95% заряджання-розряджання. Ціна відносно висока через вартість компонентів (кобальт, літій).

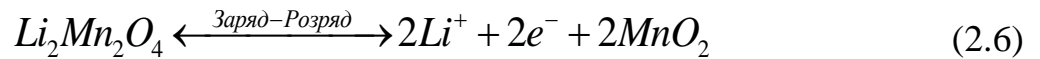
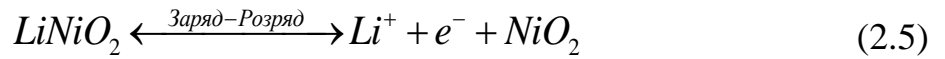
Висока енергетична щільність, що дозволяє електромобілям забезпечувати значний запас ходу. Технологія добре розвинута і широко доступна на ринку.

Електрохімічна реакція, що відповідає за утворення струму на літійовому електроді в акумуляторах із металевим літійовим електродом і рідким електролітом, описується таким рівнянням:



Катоди літійових і літій-іонних акумуляторних батарей виготовляються з оксидів літій-кобальту або літій-нікелю, а також з літій-марганцевих шпінелей. Їхня робота заснована на процесах впровадження та вилучення іонів літій, які відбуваються під час розрядки та зарядки електрода відповідно, згідно з такими рівняннями:





Складність у переробці через вартісні та токсичні матеріали. Деградація ємності з часом, особливо при високих температурах. В середньому для сучасних електромобілів з літій-іонними батареями витрата питомої енергії становить від 15 до 25 кВт·год на 100 км. Витрата енергії залежить від кількох факторів, зокрема: маса автомобіля; аеродинаміка; стиль водіння; температурні умови; швидкість руху.

Наприклад, електромобілі з кращою аеродинамікою і меншою вагою (як Tesla Model 3 або Nissan Leaf) мають нижчу витрату електроенергії, ніж важчі транспортні засоби, такі як електричні позашляховики.

Швидкість заряджання на 100 км залежить від потужності зарядного пристрою (кВт) та характеристик батареї. Приблизні швидкості:

- Від домашньої зарядки (AC, 7 кВт): 25-35 км запасу ходу на годину заряджання.
- Швидкі зарядки (DC, 50 кВт): 250-300 км запасу ходу на годину заряджання.
- Ультрешвидкі зарядки (DC, 150-350 кВт): Можуть забезпечити близько 100 км запасу ходу за 5-10 хвилин заряджання.

Швидкість заряджання може знижуватися при високому або низькому заряді батареї, а також при несприятливих температурних умовах.

Деградація літій-іонних батарей зумовлена кількома факторами: кількість циклів заряджання-розряджання; температурні умови; швидкість заряджання (часте використання швидкісних зарядок може пришвидшити деградацію).

Зазвичай літій-іонні батареї втрачають приблизно:

- 5-10% ємності після перших 2-3 років або 50 000 - 100 000 км пробігу.
- 10-20% ємності після 5-7 років або 150 000 - 200 000 км.

Виробники часто пропонують гарантії на батареї протягом 8 років або 160 000 км з гарантією збереження не менше 70-80% початкової ємності.

Деградація може бути вищою при експлуатації в умовах екстремальних температур (вище $+35^{\circ}\text{C}$ або нижче -10°C), а також при постійному заряджанні батареї до 100% або глибокому розрядженні до 0%.

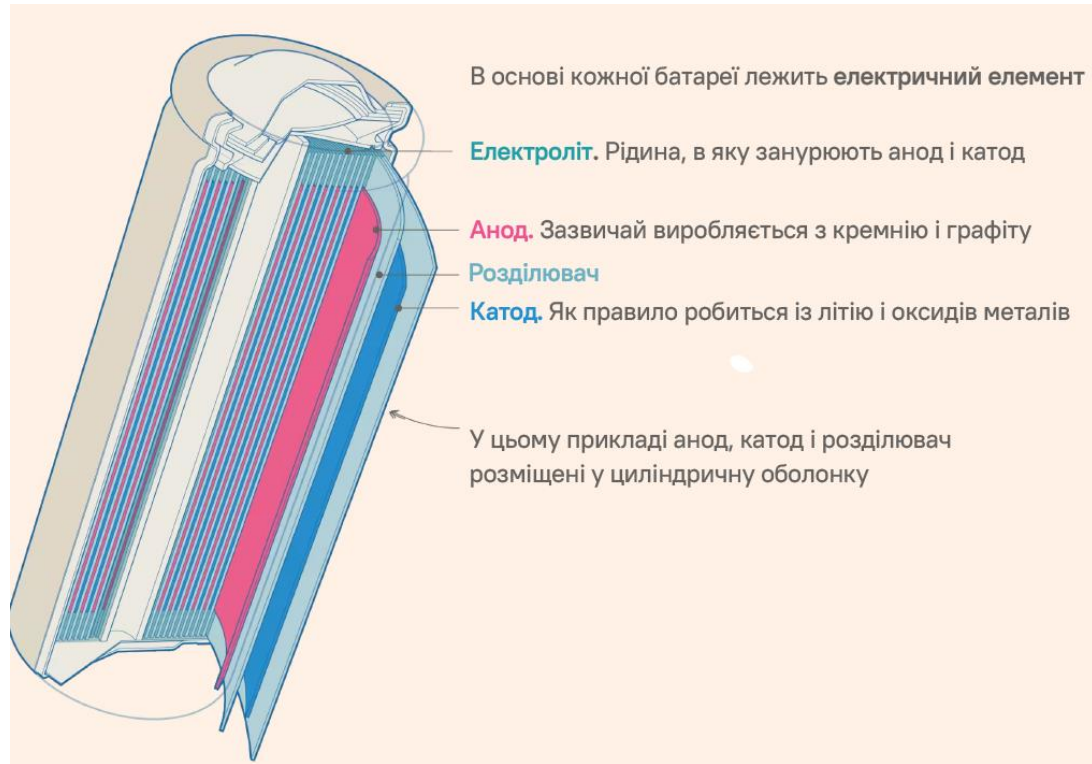


Рисунок 2.7 – Літій-іонна батарея

Літій-залізо-фосфатні батареї (LiFePO_4) батареї є варіантом літій-іонних батарей, але використовують залізо-фосфатний катод замість кобальтового.

Енергоємність низька (90-160 Вт·год/кг), що може зменшити запас ходу. Термін служби більше 2000 циклів зарядки. Безпека висока - стійкі до перегрівання, вибухів і займання. Ефективність близько 90% заряджання-розряджання. Дешевші в порівнянні з іншими літій-іонними батареями через використання заліза[2].

Вища безпека та стабільність порівняно з іншими літій-іонними батареями. Тривалий термін служби та стійкість до високих температур.

Низька енергетична щільність, що обмежує запас ходу електромобілів. Більша вага і розмір порівняно з іншими батареями.

Як відомо, енергія, накопичена в акумуляторній батареї (E_{AB}), визначається напругою на її клеммах $U_{AB}(V)$ та номінальною ємністю $C_{AB}^{НОМ}$ (А·год):

$$E_{AB} = U_{AB} \cdot C_{AB}^{НОМ} \quad (2.7)$$

У цьому випадку ємність акумуляторної батареї на поточний момент часу розраховується за формулою:

$$C = \int_0^{\tau} I \cdot d\tau \quad (2.8)$$

де: I – струм, А,

τ – час, год.

З іншого боку, загальна ємність визначається за допомогою функції:

$$C_{AB} = 3600 C_{AB}^{\max} \cdot f(T) \cdot f(n) \quad (2.9)$$

де: C_{AB}^{\max} – повна ємність акумуляторної батареї, А*год,

$f(T)$ – коректуючий множник для врахування залежності ємності акумуляторної батареї від температури;

$f(n)$ – коректуючий множник для врахування старіння акумуляторної батареї при напрацюванні певного ресурсу n (зарядно-розрядних циклів).

Літій-залізо-фосфатні батареї зазвичай мають дещо нижчу енергетичну щільність порівняно з літій-іонними батареями, тому електромобілі з такими батареями споживають трохи більше питомої енергії на 100 км 17-27 кВт·год на 100 км, залежно від автомобіля, стилю водіння та умов експлуатації.

Це значення трохи вище, ніж для літій-іонних батарей, але різниця невелика, особливо в контексті електромобілів середнього та великого розміру. Швидкість заряджання така ж сама як у Літій-іонні батареї (Li-ion).

Деградація літій-залізо-фосфатних батарей відбувається повільніше, ніж у літій-іонних:

- Після 2000 циклів заряджання-розряджання LiFePO4 батареї зберігають близько 80% початкової ємності. Це може відповідати пробігу понад 500 000 км залежно від умов експлуатації.

- За 8-10 років експлуатації типова втрата ємності може складати 15-20%, але це сильно залежить від температури експлуатації та режимів заряджання.
- LiFePO₄ батареї менш чутливі до деградації при високих температурах і рідше потребують охолодження, що зменшує їх загальне зношування.

Триваліший термін служби та більша стабільність при різних умовах експлуатації. Менша деградація при постійному заряджанні до 100% і використанні швидких зарядок. Вища безпека, оскільки вони менш схильні до перегріву і ризику займання.

Дещо нижча енергетична щільність, що призводить до дещо більшої витрати енергії на 100 км та менших запасів ходу при рівних габаритах батареї порівняно з літій-іонними батареями.

Твердотільні батареї використовують твердий електроліт замість рідкого або гелевого, що робить їх перспективною технологією майбутнього.

Енергоємність дуже висока (до 400 Вт·год/кг, потенційно навіть більше). Очікується довгий термін служби, але точні дані залежатимуть від комерційних продуктів. Висока безпека - твердий електроліт знижує ризики займання та вибуху. Ефективність висока (понад 95%). Ціна поки що дуже висока через складність виробництва.

Технологія ще перебуває на етапі розробки і не готова для масового виробництва. Висока вартість виробництва і необхідність вирішення технологічних проблем.

Твердотільні батареї — це новітня технологія, яка все ще перебуває на стадії розвитку та досліджень. Вони мають потенціал стати наступним етапом у розвитку електромобільних акумуляторів завдяки підвищеній безпеці, вищій енергетичній щільності та швидшому заряджанню. Хоча багато з цих батарей ще не досягли широкомасштабного комерційного впровадження, на основі досліджень та прогнозів можна виділити деякі ключові характеристики.

Твердотільні батареї мають вищу енергетичну щільність, ніж літій-іонні або літій-залізо-фосфатні батареї, що означає, що вони можуть забезпечити більший запас ходу при однакових розмірах.

Очікується, що твердотільні батареї зможуть досягати витрати близько 12-20 кВт·год на 100 км. Це на кілька кіловат годин менше, ніж для літій-іонних та літій-залізо-фосфатних батарей, що підвищує загальну ефективність використання енергії.

Твердотільні батареї здатні забезпечувати надзвичайно швидке заряджання порівняно з традиційними технологіями:

- Домашня зарядка (AC, 7 кВт): приблизно 35-50 км запасу ходу на годину заряджання.
- Швидкі зарядки (DC, 100-150 кВт): можуть забезпечити 300-400 км запасу ходу за годину заряджання.
- Ультрашвидкі зарядки (DC, 300-350 кВт): очікується, що твердотільні батареї зможуть забезпечити 100 км запасу ходу за 5 хвилин заряджання або менше.

Завдяки низькому внутрішньому опору та високій стабільності, твердотільні батареї можуть бути більш стійкими до швидкісного заряджання, при цьому не так швидко деградуватимуть, як літій-іонні.

Деградація твердотільних батарей може бути значно нижчою, ніж у сучасних літій-іонних і літій-залізо-фосфатних батарей:

- Вони можуть зберігати 90-95% початкової ємності навіть після 1000 циклів заряджання.
- Очікується, що після 3000 циклів заряджання (приблизно 800 000 км пробігу) батареї можуть зберігати понад 80% своєї ємності.

Твердотільні батареї менш схильні до термічної деградації і не втрачають такої кількості ємності через часті цикли швидкого заряджання. Також вони краще переносять роботу при екстремальних температурах, що знижує загальний рівень зношування.

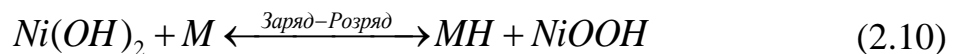
Нікель-метало-гідридні батареї (NiMH) батареї (рис.2.8) використовувалися раніше у гібридних автомобілях, таких як старі моделі Toyota Prius, але були витіснені літій-іонними батареями.

Енергоємність помірна (30-80 Вт·год/кг), набагато нижча, ніж у літій-іонних батареї. Термін служби близько 500-1000 циклів. Безпека висока - менш чутливі до перегріву та механічних пошкоджень. Ефективність низька (60-70%). Хороша безпека та стабільність. Відносно доступні за ціною.

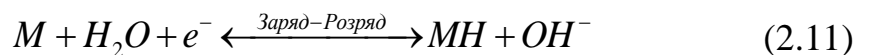


Рисунок 2.8 – Нікель-металогідридна батарея

Загальна електрохімічна реакція, що відповідає за утворення струму в нікель-металогідридному акумуляторі, описується таким рівнянням:



Напів-реакція, що відбувається на аноді нікель-металогідридного акумулятора, виражається таким рівнянням:



NiMH батареї мають нижчу енергетичну щільність у порівнянні з літій-іонними батареями, що призводить до вищої витрати електроенергії. Для

електромобілів, оснащених NiMH батареями, витрата енергії може становити приблизно 25-35 кВт·год на 100 км. Ця витрата є вищою порівняно з сучасними літій-іонними батареями через меншу енергоємність та вищу вагу NiMH батарей.

NiMH батареї не підтримують дуже швидке заряджання, яке доступне в сучасних літій-іонних або твердотільних батареях. Заряджання відбувається повільніше, особливо на високих рівнях заряду (рис. 2.9).

- Домашня зарядка (AC, 3.7-7 кВт): Можуть забезпечити 15-20 км запасу ходу на годину заряджання.
- Швидкі зарядки (DC, 50 кВт): Не підходять для NiMH, оскільки вони не розраховані на швидкісне заряджання.

Через низьку швидкість заряджання використання NiMH батарей в електромобілях обмежене.

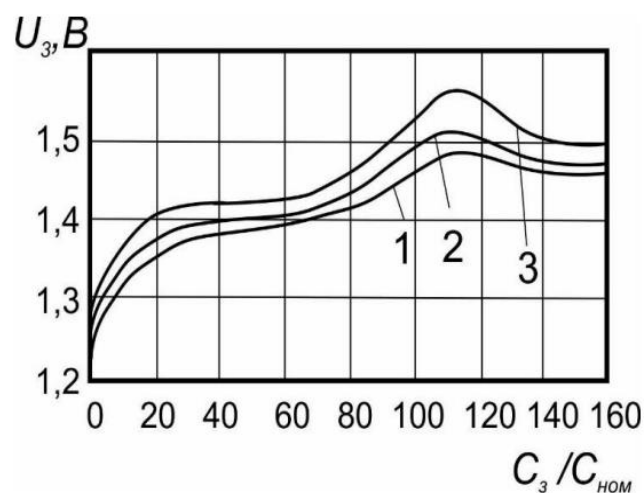


Рисунок 2.9 – Зарядні характеристики нікель-металогідридного акумулятору при температурі 20°C та різних нормованих струмах заряду.

Таблиця 2.1 – Акумуляторні батареї різних типів.

Технологія	Свинцево-кислотні (Lead-Acid)	Нікель-металогідридні (Nickel-metal hydride NiMH)	Натрієво-сірчані (Sodium-Sulfur NaS)	Літій-іонні (Li-Ion)	Літій-залізо-фосфатні (Lithium-iron-phosphate LiFePO ₄)
Переваги	Висока продуктивність, низька об'ємна щільність енергії, низькі капітальні витрати, тривалий термін служби	Батареї мають високу енергоємність і не містять токсичного кадмію, що робить їх екологічними порівняно з нікель-кадмієвими (NiCd) батареями	Дуже висока енергетична потужність, висока енергетична щільність, тривалий термін служби	Дуже високий ККД і щільність енергії	Батареї мають високу енергоємність і не містять токсичного кадмію, що робить їх екологічними порівняно з нікель-кадмієвими (NiCd) батареями
Недоліки	Низький ресурс, несприятливий вплив на навколишнє середовище	Вони мають тенденцію до саморозряду та можуть швидко втрачати заряд під час зберігання, особливо при високих температурах.	Витрати на виробництво, проблеми безпеки	Висока здатність до перегріву	Мають меншу енергетичну щільність порівняно з іншими літійовими батареями, що призводить до більшої ваги та обсягу для тієї ж ємності.
Температурна чутливість	Працюють добре при помірних температурах, але втрачають продуктивність при екстремальних	Мають високу температурну чутливість, оскільки їх ефективність і довговічність знижуються при надмірному нагріванні або охолодженні	Акумулятори дуже чутливі до температури і потребують постійного підтримання високої внутрішньої температури (300–350°C) для стабільної роботи	Чутливі до низьких та високих температур, потрібна система охолодження і підігріву	Мають високу термічну стабільність, але їх ефективність знижується при температурах нижче -20°C або вище 60°C, що може вплинути на їх продуктивність і довговічність.
Вплив на екологію	Високий рівень забруднення під час утилізації, містять свинець та кислоти	Мають менший негативний вплив на екологію порівняно з нікель-кадмієвими (NiCd) та свинцево-кислотними батареями	Акумулятори мають відносно низький вплив на екологію, оскільки використовують нетоксичні матеріали (натрій і сірку).	Потребують складної утилізації, використовуються рідкісні метали (літій, кобальт)	Мають менший екологічний вплив завдяки відсутності токсичних матеріалів, але все одно потребують належної утилізації для запобігання забрудненню навколишнього середовища.
Безпека	Відносно безпечні, але можливий витік кислоти	Менш схильні до перегріву і не містять токсичних металів, але все ж потребують захисту від перезарядки та перегріву для уникнення пошкоджень.	Акумулятори потребують суворих заходів безпеки, оскільки працюють при високих температурах (близько 300°C) і містять рідкий натрій та сірку, що може спричинити займання при пошкодженні або витоку	Ризик термічного розгону та займання при пошкодженні або перегріві	Батареї вважаються одними з найвідповідальніших з точки зору безпеки, оскільки мають високу термічну стабільність, стійкість до коротких замикань і менший ризик загоряння порівняно з іншими літійовими акумуляторами.

Деградація NiMH батарей зазвичай вища, ніж у літій-іонних батарей.

Основні фактори деградації включають:

- Часткове заряджання та розряджання може призвести до зниження ємності з часом, хоча сучасні NiMH батареї частково вирішують цю проблему.
- Високі температури значно знижують термін служби батареї.
- NiMH батареї можуть витримати 500-1000 циклів заряджання, після чого їх ємність знижується до 70-80% від початкової.

Після 3-5 років використання або близько 100 000 км пробігу очікується втрата ємності на рівні 20-30% [4, 6, 16].

Таблиця 2.2 – Порівняння характеристик акумуляторних батарей різних типів.

Технологія	Свинцево кислотні (Lead-Acid)	Нікель-металогідридні (Nickel-metal hydride NiMH)	Натрієво-сірчані (Sodium-Sulfur NaS)	Літій-іонні (Li-Ion)	Літій-залізо-фосфатні (Lithium-iron-phosphate LiFePO4)
Щільність енергії	30-50 Вт·год/кг)	60-120 Вт·год/кг	150-300 Вт·год/кг	150-250 Вт·год/кг	90-160 Вт·год/кг
Час заряджання	Від 8 -16 годин	Від 1,5-2,5 години	Від 6 - 8 годин	Від 1-2 години	Від 1-2 години
Деградація к-ть циклів	200÷ 300	300 ÷ 500	2000÷ 3000	300÷ 2000	2 000÷ 5 000
Температурний діапазон роботи	від -20°C до +50°C	від -20°C до +60°C	від 300°C до 350°C	від +15°C до +35°C.	від +10°C до +40°C
Тривалість саморозряду, t _{20°} /1місяць	3-5%	20-30%	менше 1% на місяць	1-2%	2-3%
Напруга на елемент	2 Во.	1,2 Вольта.	2 Вольти.	3,6-3,7 Вольта	3,2 Вольта.
Вартість переробки, грн./т.	від 2000 до 3000	від 3 000 до 5 000	від 4 000 до 6 000	від 6 000 до 10 000	від 4 000 до 7 000
Ефективність, %	55	60÷70	89	95	90÷95
Ціна, грн.	3000 до 8000	20 000 до 60 000	600- 1000 грн за кВт·год	30000 до 100000	15000 до 70000

2.4 Ефективність роботи батарей залежно від температурного режиму

Залежність продуктивності електромобільних батарей від температурного режиму є критично важливим аспектом для їх ефективної експлуатації. Температура безпосередньо впливає на хімічні процеси всередині акумуляторів, що визначає такі параметри, як ємність, потужність, термін служби і безпека. Далі розглянемо, як різні температурні режими впливають на роботу акумуляторів.

Низькі температури значно знижують продуктивність батарей. В умовах низьких температур іонна провідність електроліту знижується, що призводить до збільшення внутрішнього опору батареї. Це знижує загальну ефективність передачі енергії та збільшує втрати.

При зниженні температури до 0°C і нижче ємність батареї може зменшитися на 20-30%. Це відбувається через уповільнення хімічних реакцій всередині акумулятора.

Заряджання батарей при низьких температурах є проблематичним через підвищений ризик утворення літєвих відкладень на аноді, що може призвести до деградації акумулятора. Багато виробників рекомендують уникати зарядки в умовах низьких температур або використовувати попереднє підігрівання акумулятора.

Тривала експлуатація батарей у холодних умовах може прискорити їх деградацію, особливо якщо відбувається зарядка при мінусових температурах.

Приклад: Tesla, як і інші виробники, оснащує свої електромобілі системами підігріву батарей, що дозволяє зменшити негативний вплив холодного клімату на продуктивність і зарядку.

Високі температури також негативно впливають на роботу батарей, але проявляються інші ризики. При високих температурах (вище $30-40^{\circ}\text{C}$) збільшується швидкість хімічних реакцій в акумуляторі, що може призвести до швидшої деградації активних матеріалів. Це знижує ємність батареї з часом.

При перегріві батареї можливий термічний розгін – неконтрольоване підвищення температури, яке може призвести до руйнування елементів або навіть займання. Це особливо критично для літій-іонних акумуляторів. Постійна експлуатація в умовах високих температур може скоротити термін служби батареї через прискорене старіння електроліту та інших компонентів.

Як і у випадку з низькими температурами, надмірне нагрівання може погіршити ефективність заряджання. Більшість систем автоматично знижують швидкість зарядки або зупиняють її при надмірному нагріванні.

Приклад: Електромобілі Nissan Leaf відомі проблемами з перегрівом батареї у спекотному кліматі, оскільки деякі моделі не оснащені рідинними системами охолодження .

Оптимальною для більшості сучасних літій-іонних батарей вважається температура в межах від $+20^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$. У цьому діапазоні батареї працюють з максимальною ефективністю:

- При середніх температурах хімічні реакції всередині батареї відбуваються стабільно, що дозволяє зберегти максимальну ємність.
- При оптимальній температурі мінімізується внутрішній опір, що зменшує втрати енергії при розряді та зарядці.
- Експлуатація в цьому температурному діапазоні дозволяє мінімізувати ризик деградації та збільшує термін служби батарей.

Для підтримання оптимальних умов роботи батарей, електромобілі оснащуються різними системами терморегуляції:

- Використовують природне охолодження через повітря, але вони менш ефективні при екстремальних температурах.
- Найбільш ефективна система охолодження, що використовує рідину для відведення тепла. Вона дозволяє підтримувати стабільну температуру батареї навіть при інтенсивному використанні або в умовах високих температур.

- Використовуються для підігріву батареї перед зарядкою або початком руху в холодних умовах. Це особливо важливо для експлуатації в регіонах із низькими температурами.

Інженери та вчені активно працюють над удосконаленням батарей для підвищення їх стійкості до температурних коливань. Серед таких інновацій:

- Твердотільні батареї це новий тип батарей, який потенційно може бути менш чутливим до температурних коливань і безпечнішим в умовах перегріву.
- Використання наноматеріалів для покращення теплопровідності та підвищення стабільності батарей.
- Використання алгоритмів штучного інтелекту для автоматичного налаштування режимів охолодження та підігріву в реальному часі.

Оцінка ефективності існуючих систем охолодження електромобільних батарей є важливим кроком для забезпечення оптимальної роботи акумуляторів, запобігання їх перегріву та продовження терміну служби. Охолоджувальні системи відіграють ключову роль у підтримці температури батарей у безпечних межах, особливо під час інтенсивної роботи або в умовах високої температури навколишнього середовища.

Природне повітряне охолодження використовує пасивне відведення тепла за допомогою конвекції. Повітря циркулює навколо батареї без додаткового механічного впливу(рис. 2.10).

Це найдешевша та найлегша система охолодження, оскільки не потребує додаткових компонентів, як-от вентилятори або рідини. Ефективність обмежена, оскільки охолодження залежить від природної циркуляції повітря, яка є недостатньою для інтенсивних умов експлуатації або в спекотну погоду. Використовується здебільшого для малопотужних батарей або в умовах, де немає необхідності в інтенсивному охолодженні.

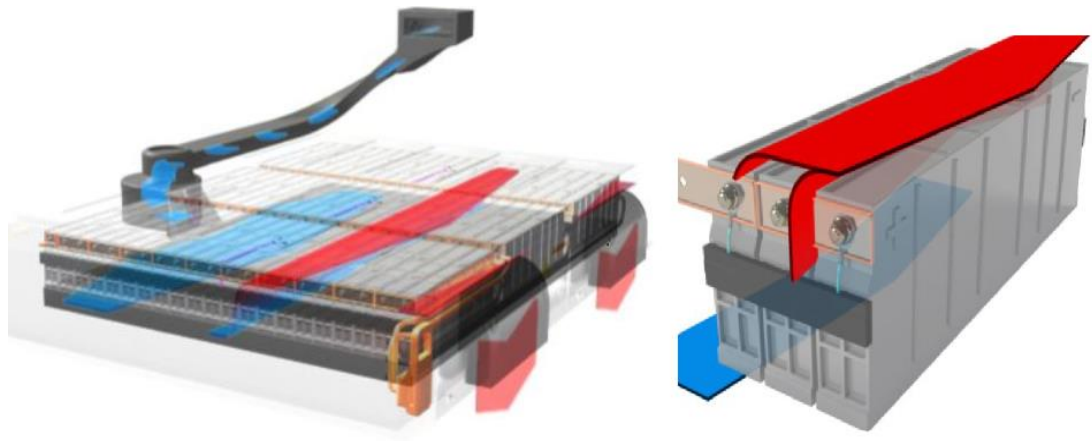


Рисунок 2.10 – Повітряне охолодження високовольтної батареї

Примусове повітряне охолодження використовує вентилятори для примусового руху повітря навколо батареї, що покращує тепловідведення.

Більш ефективно, ніж природне повітряне охолодження, оскільки вентилятори дозволяють збільшити швидкість відведення тепла. Енерговитрати на роботу вентиляторів, нерівномірність охолодження (особливо для великих батарей), зниження ефективності в умовах дуже високих зовнішніх температур. Придатне для середньопотужних батарей, але для високопродуктивних електромобілів цього може бути недостатньо.

Рідинне охолодження використовує рідину (наприклад, воду або спеціальні охолоджувальні рідини) для відведення тепла від батареї через систему трубок і радіаторів(рис. 2.11)[13, 21].

Рідинні системи можуть ефективно відводити тепло навіть при високих навантаженнях, забезпечуючи більш рівномірне охолодження батарейного пакета. Вони також можуть бути налаштовані для забезпечення стабільної температури незалежно від зовнішніх умов. Більш складні у конструкції, що підвищує вартість і додає вагу електромобілю. Необхідність регулярного обслуговування для перевірки рідини та системи трубопроводів. Рідинне охолодження вважається найефективнішим для електромобілів із потужними батареями, особливо тих, що використовуються в умовах високих температур або під час інтенсивного використання (гонки, спортивні моделі).



Рисунок 2.11 – Рідинне охолодження

Термоелектричне охолодження використовує елементи Пельтьє для активного відведення тепла за допомогою електричних процесів, що дозволяє ефективно контролювати температуру батареї (рис. 2.12).

Дуже точний контроль температури, оскільки елементи Пельтьє можуть як охолоджувати, так і нагрівати батарею. Компактна конструкція та відсутність рідин, що спрощує обслуговування. Високі енерговитрати порівняно з іншими системами через необхідність забезпечення електричного струму для роботи термоелектричних елементів. Підходить для спеціалізованих електромобілів або експериментальних систем, але не є поширеною технологією через високі витрати на виробництво та енергоефективність.

Система охолодження повинна забезпечувати підтримку температури батареї в межах оптимального діапазону ($15-30^{\circ}\text{C}$) незалежно від навантаження. Оцінка проводиться шляхом вимірювання температури батареї при різних умовах експлуатації (швидкі розгони, тривале використання, заряджання).

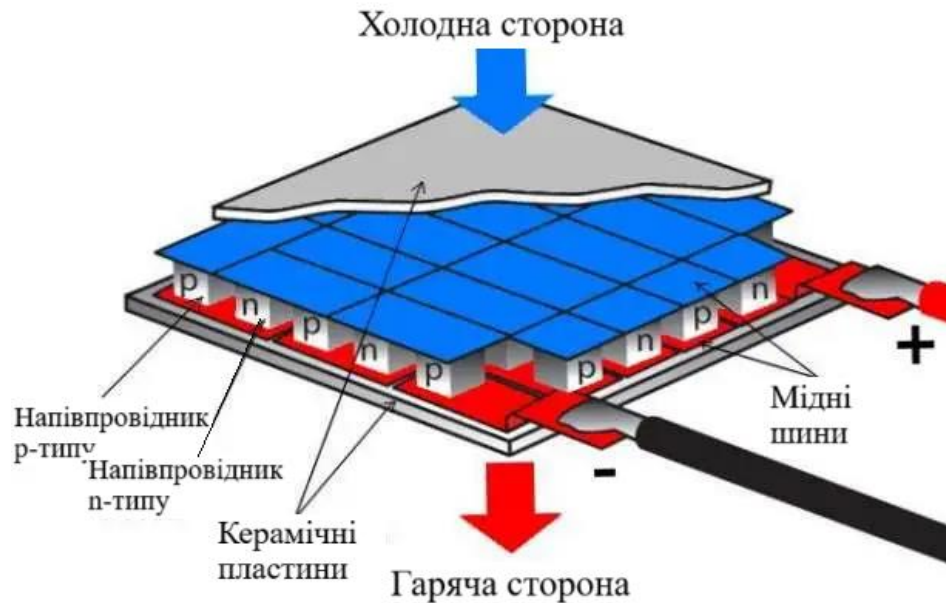


Рисунок 2.12 – Термоелектричне охолодження

Для забезпечення найкращих результатів електромобільні виробники мають використовувати рідинне охолодження у поєднанні з системами управління батареями (BMS), що дозволяє оптимізувати температуру у всьому пакеті.. Підвищена увага до системи охолодження необхідна в умовах жаркого клімату, тривалих поїздок або використання електромобілів на гоночних трасах, де батареї працюють на межі можливостей[13, 19].

Продуктивність електромобільних батарей значною мірою залежить від температурного режиму. Низькі температури призводять до зниження ємності та ефективності зарядки, тоді як високі температури спричиняють перегрів і пришвидшену деградацію батареї. Для забезпечення надійної роботи електромобілів в екстремальних умовах виробники активно розробляють та впроваджують системи терморегуляції і нові типи акумуляторів, здатні ефективніше функціонувати при різних температурних умовах.

Висновки до розділу

1. Електромобільні батареї є складними багаторівневими системами, що включають різні типи клітинок, таких як циліндричні, призматичні та пакетні, кожна з яких має унікальні переваги та сфери застосування. Ключовими

компонентами є анод, катод, електроліт і сепаратор, а система керування батареєю (BMS) забезпечує безпеку і ефективність роботи. Твердотілі батареї, хоча і знаходяться на стадії розробки, обіцяють підвищену безпеку, більшу енергетичну щільність і довговічність, що робить їх перспективними для майбутнього електромобільної індустрії.

2. Сучасні електромобілі використовують різні типи батарей, серед яких основними є свинцево-кислотні, літій-іонні, літій-залізо-фосфатні, нікель-металогідридні та перспективні твердотільні. Літій-іонні батареї є найбільш поширеними завдяки їх високій енергоємності та довговічності, тоді як твердотільні мають великий потенціал через свою безпеку і швидкість заряджання. Вибір типу батареї залежить від вимог до продуктивності, вартості, а також умов експлуатації електромобіля.

3. Температурний режим є ключовим фактором, що впливає на продуктивність батарей електромобілів, оскільки він впливає на їх ємність, потужність і довговічність. Низькі температури знижують ефективність і ємність батарей, тоді як високі температури призводять до перегріву і пришвидшують їх деградацію. Для забезпечення стабільної роботи батарей в екстремальних умовах виробники впроваджують різні системи терморегуляції та вдосконалені акумулятори, стійкі до температурних коливань.

3 МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА

3.1 Програма задачі досліджень

Для того щоб провести експеримент з визначення оптимальних умов експлуатації електромобільних батарей при різних температурних показниках, важливо правильно вибрати тип акумуляторних батарей, які будуть вивчені. Основними критеріями вибору типу батарей є їх поширеність, актуальність для електромобільної галузі, а також можливість отримання достовірних результатів для практичного застосування.

Літій-іонні батареї є найпоширенішим типом акумуляторів для електромобілів. Вони використовуються в таких моделях, як Tesla, Nissan Leaf, BMW i3, Volkswagen e-Golf та багатьох інших, що робить їх дослідження максимально актуальним[9, 14].

Висока щільність енергії дозволяє оцінити залежність продуктивності батарей від температурного режиму в умовах високих навантажень.

Літій-іонні батареї відомі своєю чутливістю до температурних коливань. Це дозволить чітко оцінити, як різні температури впливають на їхню продуктивність, ємність та термін служби.

Задачі дослідження:

- Аналіз технічних характеристик що до впливу низьких (до -10°C), помірних (від $+20^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$) і високих температур (до $+50^{\circ}\text{C}$) на запас ходу.
- Дослідження впливу температури на час заряду.
- Оцінка впливу температур на деградацію і саморозряд батареї.
- Визначення оптимальних умов
- Зробити висновки

3.2 Аналіз технічних характеристик що до впливу температур

Температура навколишнього середовища є критичним фактором, що впливає на ефективність роботи електромобілів. Основні аспекти впливу включають зміну запасу ходу, ефективність зарядки та саморозряд акумулятора.

При низьких температурах (-10°C): хімічні реакції в акумуляторі сповільнюються; втрачається до 30–50% ємності батареї; додаткове споживання енергії на обігрів салону і батареї. Наприклад, Volkswagen e-Golf має запас ходу лише 90 км замість номінальних 130 км.

При помірних температурах ($+10^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$): батарея працює максимально ефективно; запас ходу близький до номінального значення. Наприклад, Tesla Model 3 при $+25^{\circ}\text{C}$ зберігає запас ходу до 350 км, що відповідає заявленим характеристикам.

При високих температурах ($+30^{\circ}\text{C}$ і більше): можливий перегрів батареї, що може обмежити потужність або знизити продуктивність систем охолодження. Для автомобілів із системами охолодження (наприклад, Tesla Model 3) вплив мінімальний. Але в моделях з пасивним охолодженням (наприклад, Nissan Leaf до 2017 року) ефективність помітно падає.

Рівень саморозряду помірний ($\approx 3\text{--}5\%$ на місяць). При екстремально низьких температурах батарея втрачає частину своєї ємності, але швидкість саморозряду незначно змінюється. Значний вплив на саморозряд. При $+40^{\circ}\text{C}$ акумулятори можуть втрачати до 8–10% заряду на місяць через прискорення хімічних реакцій (табл. 3.1).

При низьких температурах знижується доступна ємність, що впливає на запас ходу. Наприклад, щільність енергії у Tesla Model 3 батареї при -10°C знижується до 60–70% від номінальної.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики електромобілів

Характеристика	Nissan Leaf	Toyota Prius	Volkswagen e-Golf	Tesla Model 3	BMW i3
Ємність батареї, кВт·год	24,0	1,3	35,8	50,0–75,0	22,0
Тип двигуна	Електричний	Гібридний (бензиновий + електродвигун)	Електричний	Електричний	Електричний
Потужність електродвигуна, кВт/к.с.	80/107	27/36	100/136	211–283/283–382	125/170
Запас ходу на електротязі, км	До 200	До 3	До 240	До 350	До 130–150
Максимальна швидкість, км/год	145	180	150	210–225	150
Час зарядки, год.	8	Не застосовується	6	8–12	7–8
Швидка зарядка до 80%, хв	30	Не застосовується	45	30	30
Тип акумулятора	Літій-іонний (Li-ion)	Нікель-металогібридний (NiMH)	Літій-іонний (Li-ion)	Літій-іонний (Li-ion)	Літій-іонний (Li-ion)
Початкова вартість	\$21,000	\$22,000	\$35,000	\$35,000	\$42,000
Запас ходу при -10°C, км	120-140	1-2	160	250–280	100–120
Запас ходу при +20°C, км	180-200	2-4	240	320–350	140–150
Запас ходу при +30°C км	170-180	2-4	220	350	150
Питома витрата енергії кВт год/км	0,19	0,65	0,18	0,15	0,14
Саморозряд %/місяць	3-5	15	3–5	2–5	3–5
Щільність енергії, Вт·год/кг	140	60	140	250	140
Вплив температури на саморозряд	Збільшується при високих температурах	Мінімальний	Невеликий вплив	Невеликий вплив	Помірний вплив

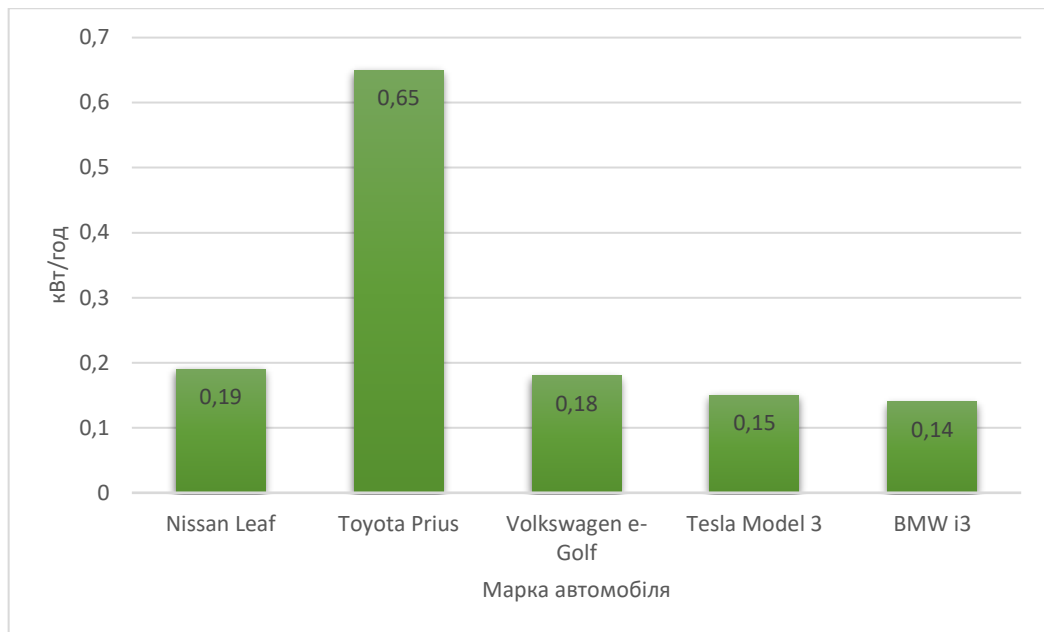


Рисунок 3.1 – Питома витрата енергії кВт год/км.

Електромобілі більш чутливі до низьких температур, ніж до високих, особливо моделі з повітряним охолодженням (Nissan Leaf, Volkswagen e-Golf до 2017 року). Сучасні системи терморегуляції суттєво знижують вплив екстремальних температур (Tesla, BMW i3). Оптимальним діапазоном температур для електромобілів є $+10^{\circ}\text{C} \dots +30^{\circ}\text{C}$, де їх характеристики максимально відповідають заявленим.

Tesla Model 3 має найвищу ємність батареї (до 75 кВт·год), що забезпечує значний запас ходу навіть при екстремальних температурах.

Toyota Prius, будучи гібридом, має найменшу ємність батареї (1,3 кВт·год) і залежність від ДВЗ, що робить її менш ефективною на електротязі.

BMW i3 вирізняється компактністю, прийнятним запасом ходу (100–150 км) та швидким зарядженням, але початкова вартість вища порівняно з іншими моделями[1, 2, 4].

Nissan Leaf і Volkswagen e-Golf пропонують збалансовані характеристики із середньою ємністю батареї та відносно низькою початковою вартістю. Для користувачів, які шукають оптимальне співвідношення вартості та продуктивності, Volkswagen e-Golf і Nissan Leaf є найбільш універсальними варіантами.

3.3 Методика досліджень впливу температури на час зарядки

Для проведення дослідження впливу різних температурних режимів на ефективність і довговічність електромобільних батарей було розроблено експериментальні установки та визначено умови, які дозволяють отримати точні й достовірні результати. Основна увага приділяється підтриманню стабільних умов, які дозволяють ізолювати зовнішні фактори, що можуть впливати на батареї, та забезпечують можливість точного вимірювання параметрів їхньої роботи. Методи вимірювання температури та продуктивності електромобільних батарей мають ключове значення для підтримки їх ефективності, тривалості служби та безпеки. Ось основні методи:

Інфрачервоні сенсори (ІЧ-камера) вимірюють температуру без контакту, використовуючи інфрачервоне випромінювання (рис. 3.2). Це дозволяє відстежувати локальні перегрівання чи неоднорідності температури на поверхні батарей.



Рисунок 3.2 – Інфрачервоний термометр Venetech GM320

Пірометр – це безконтактний термометр. Галузь застосування пірометрів дуже широка. Особливості пірометра Venetech GM320: Діапазон вимірювання: $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+380\text{ }^{\circ}\text{C}$; Дискретність: $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ або $0.1\text{ }^{\circ}\text{F}$; Похибка:

1.5%; Коефіцієнт візування: 12:1; Час відгуку: 500 мс; Спектральний діапазон: 5-14 мкм; Коефіцієнт випромінювання (EMS): 0.8 або 0.95; Лазерний показник: однопроменевий; Робоча температура: від 0 до +40 °С; Робоча вологість: 10-95%; Габарити: 153x101x43 мм.

Термістори - ці сенсори змінюють свій опір залежно від температури. Вони зазвичай використовуються в системах охолодження батарей для регулювання температури.

Термопари використовуються для точного вимірювання температури батареї. Вони встановлюються в ключових точках акумулятора для моніторингу змін температури під час заряджання або розряджання.

Оптоволоконні сенсори забезпечують високу точність і безпеку вимірювання, особливо в умовах високих температур і електричних полів.

Вольтметр та амперметр вимірюють напругу і струм батареї для оцінки її стану під час заряджання і розряджання(рис. 3.3).

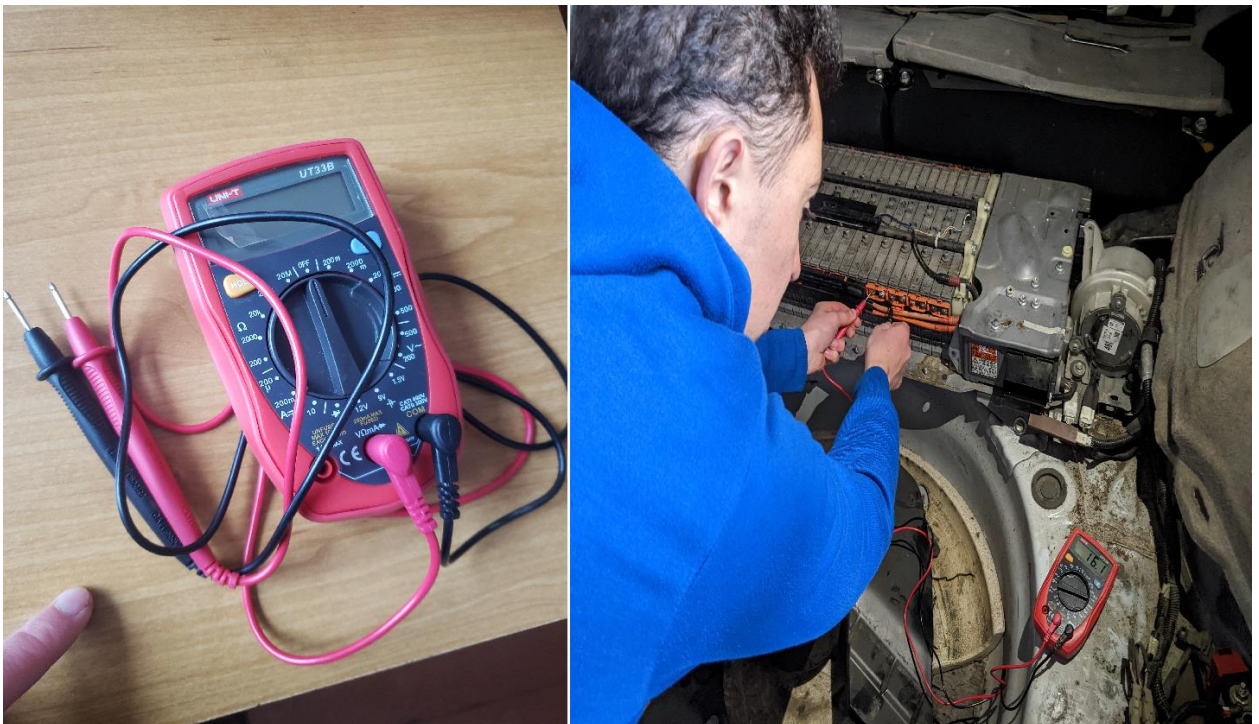


Рисунок 3.3 – Мультиметр UNI-T UT33B

Напруга постійна та змінна - в діапазоні 0,2 В - 600 В; постійний струм – до 10 А; опір – до 20 Мом; тестування елементів живлення 1,5/9В/12 В; тестування діодів; звукове продзвонювання електричного ланцюга;

автовимкнення; підсвічування; стійкість до ударів та падінь (до 2 м); автовідключення; РК-екран; 2 категорія безпеки; розміри – 13,1 x9, 5x5, 8 см; вага – 265 г.

Метод циклічної зарядки та розрядки - цей метод використовується для оцінки продуктивності акумулятора через аналіз його ємності під час кількох циклів заряджання та розряджання.

Онлайн-моніторинг та системи управління батареями (BMS), слідкує за всіма параметрами батареї в режимі реального часу, включаючи температуру, напругу, струм та стан заряду (SoC — State of Charge).

Тестування електромобільних батарей при різних температурах (низьких, помірних і високих) є критично важливим для оцінки їхньої продуктивності, надійності та безпеки. Температура суттєво впливає на роботу акумуляторів, зокрема на їх ємність, час заряджання/розряджання, ефективність і термін служби(табл. 3.2).

Таблиця – 3.2 Технічні характеристики зарядки

Модель	Діапазон температур (°C)	Зарядка (AC)
Nissan Leaf	-5 до 0	9 год 50 хв
	+6 до +15	8 год 14 хв
	+22 до +32	9 год 00 хв
Toyota Prius	Від мережі не заряджається	Від мережі не заряджається
Tesla Model 3	-3 до +2	9 год 33 хв
	+10 до +17	8 год 2 хв
	+19 до +29	8 год 40 хв
BMW i3	-6 до +1	9 год 25 хв
	+8 до +20	7 год 15хв
	+21 до +28	7 год 30 хв
Volkswagen e-Golf	-4 до 0	11 год 10 хв
	+10 до +19	8 год 46 хв
	+22 до +30	10 год 25 хв

Зарядна станція може автоматично знижувати потужність, щоб уникнути пошкоджень батареї. Час зарядки може збільшуватись на 50% і більше. Наприклад, для Volkswagen e-Golf зарядка при -4°C займає до 11 годин 10 хв проти 8 годин 46 хв у нормальних умовах.

Швидка зарядка може бути обмежена через ризик перегріву. Акумулятори з рідинним охолодженням краще витримують високі температури. Наприклад, Tesla Model 3 підтримує стабільну швидку зарядку навіть при $+40^{\circ}\text{C}$.

При низьких температурах (нижче 0°C) продуктивність батарей може значно знижуватися. Сповільнюються хімічні реакції всередині батареї, що зменшує швидкість обміну іонів між електродами. Це пов'язано з підвищенням внутрішнього опору та сповільненням хімічних процесів всередині батареї.

Вплив на батареї: зменшення ємності; зниження швидкості заряджання (заряджання може займати більше часу); зниження потужності (менше енергії може бути видано за короткий час); підвищений ризик утворення літєвих дендритів у літій-іонних батареях, що може призвести до короткого замикання. Ємність батареї знижується пропорційно зменшенню температури. Наприклад, при -10°C ємність батареї може впасти на 30-40% від номінальної.

Помірні температури (від 15°C до 25°C) вважаються оптимальними для роботи батарей, оскільки вони забезпечують найкращий баланс між ємністю, потужністю і терміном служби, і при її відхиленні в будь-який бік продуктивність починає знижуватися.

Вплив на батареї: максимальна ефективність та потужність; оптимальна швидкість заряджання та розряджання; найбільш тривалий термін служби батареї.

При температурах вище 35°C батареї працюють із зниженою ефективністю, що виявляється у збільшенні теплових втрат і прискореній деградації.

Вплив на батареї: зменшення терміну служби через прискорене старіння хімічних компонентів; можливе перегрівання, що може призвести до

теплого відхилення (thermal runaway); підвищений ризик пошкодження структур батареї.

Аналіз результатів для виявлення закономірностей залежності між температурою та продуктивністю електромобільних батарей є важливим кроком для оптимізації їхньої роботи. Температура суттєво впливає на роботу батарей, і розуміння цих взаємозв'язків допомагає підвищити ефективність та тривалість служби акумуляторів.



Рисунок 3.4 – Nissan LEAF

Графік продуктивність Nissan LEAF за різних температур.

- На графіку видно (рис. 3.5), де на низьких і високих температурах продуктивність знижується, а при помірних температурах досягає пікових значень.
- Продуктивність батареї є максимальною в помірних умовах і падає при відхиленнях в обидва боки (низькі та високі температури).

Рекуперативне гальмування обмежене, оскільки батарея не може заряджатися так швидко.

- Чим холодніше на вулиці, тим менший рівень заряду може утримувати батарея Nissan LEAF.

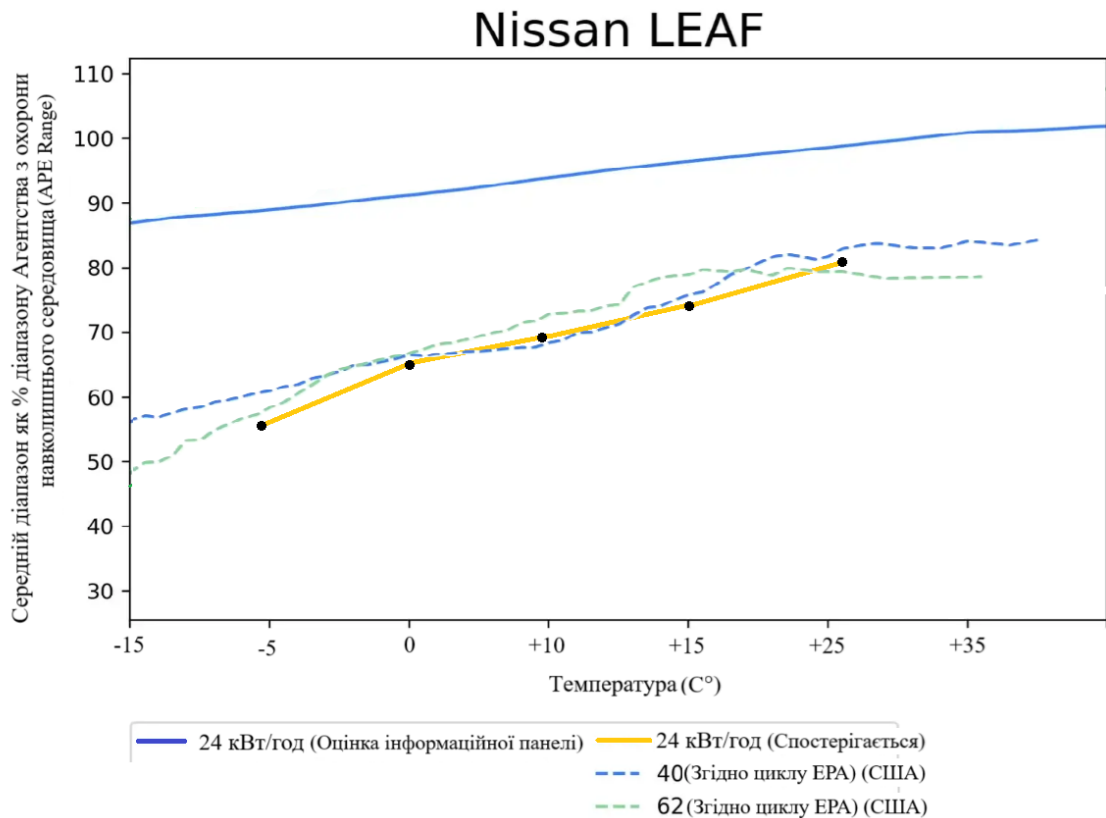


Рисунок 3.5 – Графік продуктивність

- Компанія Nissan не рекомендує зберігати літій-іонну батарею при температурі нижче ($-25\text{ }^{\circ}\text{C}$) більше семи днів. Це може призвести до замерзання акумулятора. Однак у посібнику з експлуатації LEAF 2018 року рекомендується не зберігати його при температурі нижче ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Підігрівач акумулятора (якщо він є) вмикається, коли температура акумулятора становить ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$), і вимикається після досягнення ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Якщо LEAF оснащений підігрівачем акумулятора, то він не буде працювати нижче 15% заряду, а зарядний шнур від'єднується від автомобіля.

Згідно сайту [20] автомобілі мають таку нестачу у холодну погоду від 8% - 32%, а Nissan LEAF як видно з графіком 21%. На цьому графіку порівнюються 14 популярних моделей електромобілів (рис. 3.5), щоб показати втрату запасу ходу в різних умовах водіння. Вона включає в себе агреговані та анонімні дані з 7000 автомобілів у спільноті Recurrent з усіх Сполучених

Штатів, а також десятки тисяч точок даних з бортових пристроїв, які надають дані про використання енергії.

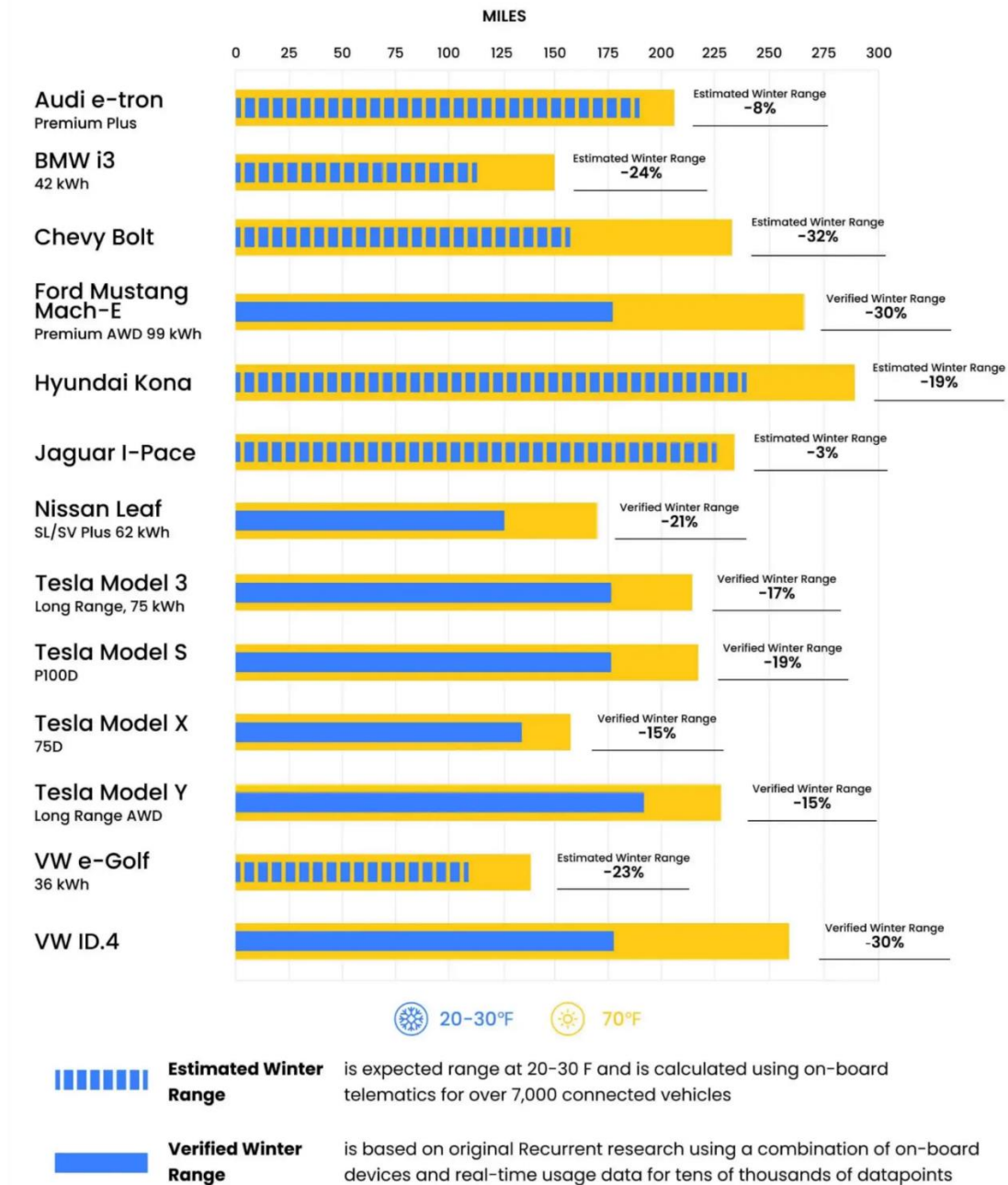


Рисунок 3.6 – Графік ефективності електромобілів у холодний період

Орієнтовний зимовий діапазон для декількох автомобілів був оновлений у 2022 році, щоб відобразити зимовий діапазон, який ми перевірили за допомогою реальних даних.

Підтвержені показники зимового запасу ходу включають всі реальні змінні, такі як нерівності місцевості, різні швидкості руху та використання, а

також календарне старіння акумуляторних батарей автомобіля. Вони показують середні очікування для зимових умов водіння в ряді реальних випадків використання.

Оціночні зимові діапазони (*Estimated Winter Range*) засновані на даних бортової телематики і відображають власні розрахунки діапазонів та програмне забезпечення виробників. Підтверджені зимові діапазони (*Verified Winter Range*) засновані на оригінальних періодичних дослідженнях з використанням комбінації бортових пристроїв і даних про використання в реальному часі, які надають понад 35 000 точок даних[20].

3.4 Визначення оптимальних умов експлуатації електромобільних батарей

Найбільш ефективна зарядка акумуляторів здійснюється при температурі навколишнього середовища в межах $+15^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$. При низьких температурах (-5°C): процес зарядки сповільнюється через зменшення хімічної активності всередині акумулятора. При високих температурах ($+30^{\circ}\text{C}$ і більше): можливий перегрів, що може знижувати ефективність зарядки та скорочувати термін служби батареї.

Оптимальний діапазон заряду для акумулятора: 20–80%. Уникання зарядки до 100% і розряду до 0% допомагає продовжити термін служби батареї.

Електромобілі з активною системою охолодження/підігріву батареї (наприклад, Tesla Model 3, BMW i3) працюють ефективніше в екстремальних умовах. Рекомендація: активувати попереднє підігрівання батареї перед зарядкою при низьких температурах.

Використання зарядних станцій із системами захисту від перенапруги. Уникання зарядки під час грози або при високому навантаженні на електромережу.

Оптимальна температура для зберігання електромобіля: $+15^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$. При низьких температурах батарея може втрачати частину заряду через повільний хімічний процес. При високих температурах можливе прискорене старіння батареї через нагрівання.

Для довготривалого зберігання батарею слід зарядити до 50–60%. Не рекомендується залишати батарею розрядженою або зарядженою до 100% на тривалий період.

Зберігати автомобіль у закритому приміщенні або гаражі з контрольованим кліматом. Уникати прямого сонячного світла та високої вологості. Перевіряти рівень заряду кожні 1–2 місяці. При зниженні заряду до 20–30% — підзарядити до рекомендованого рівня.

Висновки до розділу

1. Низькі температури (-20°C) знижують ефективність акумуляторів через уповільнення хімічних процесів, що скорочує запас ходу та збільшує час заряджання. Деградація батарей прискорюється при високих температурах. Це відбувається через прискорення хімічних реакцій та руйнування електродних матеріалів. Довготривале зберігання при високих температурах також сприяє втраті ємності.

2. Найкраща ефективність батарей досягається при температурі від $+15^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$. У цьому діапазоні зберігається номінальний запас ходу, стабільний час зарядки та мінімальна деградація.

3. Системи охолодження та підігріву батарей суттєво зменшують вплив екстремальних температур, забезпечуючи стабільну роботу навіть у несприятливих кліматичних умовах.

4. Для збереження ресурсу батарей слід підтримувати заряд у межах 20–80% і уникати тривалого перебування в екстремальних температурних умовах. Оптимальна температура зберігання батарей — $+15^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$, з обов'язковим контролем рівня заряду.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Безпечні умови праці на електротехнічній дільниці

Цей підрозділ описує основні заходи для забезпечення безпечних умов праці на електротехнічній дільниці, де виконуються роботи з акумуляторами електромобілів, системами зарядки та іншими високовольтними елементами.

Організація робочого місця: забезпечення ізольованих ділянок для роботи з високовольтними батареями; використання антистатичних покриттів для запобігання накопиченню заряду.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): діелектричні рукавички, килимки, окуляри та спецодяг для роботи з високовольтними компонентами; використання ізольованого інструменту для проведення ремонтних і діагностичних робіт.

Навчання та допуски: проведення інструктажу працівників перед початком роботи; видача спеціальних допусків для робіт з високовольтним обладнанням.

Захист від електричного ураження: встановлення знаків і табличок з попереджувальною інформацією; забезпечення автоматичного відключення живлення у разі аварійних ситуацій.

Вимоги до пожежної безпеки на електротехнічній дільниці.

Описуються заходи для запобігання пожежам, особливо під час роботи з літій-іонними акумуляторами, які мають ризик займання при неправильному поводженні.

Пожежонебезпечні фактори: перегрів акумуляторів; неправильне зберігання матеріалів, що містять літій.

Обладнання для пожежогасіння: наявність вогнегасників, придатних для гасіння електричних пожеж (вуглекислотні, порошкові); установка автоматичних систем пожежогасіння (газові чи порошкові).

Пожежна безпека під час зарядки: дотримання безпечних відстаней між зарядними пристроями; заборона використання пошкоджених кабелів або зарядних пристроїв[10, 15].

Наявність чітких схем евакуації з робочої зони. Навчання персоналу діям у разі виникнення пожежі.

Забезпечення комфортного мікроклімату та безпеки при роботі з акумуляторами, які можуть виділяти гази (наприклад, водень).

Визначення обсягу повітрообміну: для акумуляторних батарей враховуються виділення водню при зарядці, формула розрахунку повітрообміну:

$$L = \frac{G}{C \cdot \eta} \quad (4.1)$$

де:

- L – обсяг повітря, що подається, м³/год,
- G – кількість водню, що виділяється, м³/год,
- C – граничнодопустима концентрація водню (%),
- η – ефективність вентиляційної системи.

Тип вентиляції: примусова витяжна вентиляція для відведення газів; забезпечення природної вентиляції у додаток до примусової.

Розрахунок витрат повітря для зони зарядки: врахування кількості акумуляторів, які одночасно заряджаються; мінімальний повітрообмін: 30-50 м³/год на одну батарею.

Робота з літій-іонними акумуляторами.

Особливості, які слід врахувати для безпеки зберігання у прохолодному сухому місці, при температурі +10...+25°C. Використання негорючих матеріалів для ізоляції.

Уникати перезарядження, оскільки це може викликати перегрів і займання. Використовувати зарядні пристрої, що відповідають стандартам.

Непридатні батареї здаються до спеціалізованих центрів. Заборонено викидати батареї разом із загальними відходами.

Регулярний контроль стану обладнання та проводів. Забезпечення резервного джерела живлення для аварійного відключення. Організація регулярних тренувань персоналу з безпеки.

4.2 Аналіз травмонебезпечних ситуацій та вимоги безпеки під час експлуатації електричного обладнання

Виробничий травматизм зумовлений організаційними, технічними, психофізіологічними та санітарно-гігієнічними причинами. Аналіз виробничого травматизму дозволяє не лише виявити причини, а визначити закономірності їх виникнення. На основі такої інформації розробляються заходи та засоби щодо профілактики травматизму .

Для аналізу виробничого травматизму застосовують багато різноманітних методів, основні з яких можна поділити на такі групи: статистичні, топографічні, монографічні, економічні, анкетування, ергономічні, психофізіологічні, експертних оцінок та інші .

Причини виробничого травматизму поділяються на такі основні групи: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, економічні, психофізіологічні.

Чинники та обставини, які впливають на хід подій за час від початкової до небажаної події можуть бути такими:

Наявність струму на корпусі світильника:

а) відсутність захисного заземлення:

- не виконувалося заземлення;
- пошкоджено захисне заземлення.

б) пошкодження ізоляції :

- відсутність профілактичних заходів;
- неправильна експлуатація.

Дотик обслуговуючого персоналу оголеними частинами тіла до корпусу світильника:

а) недотримання правил техніки безпеки:

- відсутність захисної огорожі;
- недотримання вимог щодо спецодягу обслуговуючого персоналу;
- невиконання правил техніки безпеки;

б) невикористання засобів індивідуального захисту:

- халатність працівника;
- недостатній контроль працівників.

Отже, Такі чинники, відсутність засобів індивідуального захисту, невиконання профілактичних заходів щодо огляду робочого місця, нехтування правилами техніки безпеки можуть бути причиною травмування робочого персоналу.

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій, застосовуючи формули .

Вимоги безпеки до початку роботи:

- Заземлення є обов'язковим!
- Перевірити надійність заземлення електросвітильника і електрощитів.
- Опір ізоляції відносно землі електрично зв'язаних кіл повинен бути не менше 1,0 М Ом.
- Опір ізоляції вимірюється мегомметром 1000-2500В.
- Перевірити візуальну справність органів контролю індикації,.
- Уважно оглянути робоче місце, привести його в порядок. Забрати всі предмети, що заважають роботі. Робочий інструмент, пристосування і допоміжний матеріал, перевірити їхню справність.

Вимоги безпеки під час роботи :

- Управління роботою освітлення у заданому режимі відбувається автоматично.
- При огляді працюючої системи освітлення забороняється виконувати любі роботи в системі автоматики і захисту і вимірювальних приладах.

-Не доторкатися голими руками до неізольованих поверхонь трубопроводів подачі гарячої води.

4.3 Планування заходів з покращення охорони праці

Основні заходи щодо попередження та усунення причин виробничого травматизму бувають на організаційні та технічні.

До технічних заходів належать заходи з виробничої санітарії та техніки безпеки.

Заходи з виробничої санітарії передбачають організаційні, гігієнічні та санітарно-технічні заходи та засоби, що запобігають дії на працюючих шкідливих виробничих чинників. Це створення комфортного мікроклімату шляхом влаштування відповідних систем опалення, вентиляції, теплоізоляція конструкцій будівлі та технологічного устаткування; заміна шкідливих речовин та матеріалів нешкідливими; герметизація шкідливих процесів; зниження рівнів шуму та вібрації; встановлення раціонального освітлення; забезпечення необхідного режиму праці та відпочинку, санітарного та побутового обслуговування [10, 17, 18].

До організаційних заходів належать: правильна організація роботи, навчання, контролю та нагляду з охорони праці; дотримання трудового законодавства, законодавчих та інших нормативно-правових актів з охорони праці; впровадження безпечних методів та наукової організації праці; проведення оглядів, лекційної та наочної агітації та пропаганди з питань охорони праці; організація планово-попереджувального ремонту устаткування, технічних оглядів та випробувань транспортних та вантажопідіймальних засобів, посудин, що працюють під тиском .

5 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ

5.1 Розрахунок витрат на зарядку акумулятора

Вартість зарядки на 1 кВт·год. Вартість електроенергії залежить від тарифу, який варіюється в залежності від країни та постачальника.

Наприклад:

- Вартість 1 кВт·год у середньому становить 4,32 грн.

Ємність акумулятора:

- Приклад для Nissan Leaf: батарея має ємність 24 кВт·год.

Витрати при +20°C (номінальний запас ходу): запас ходу – 200 км.

Кількість зарядок на річний пробіг:

$$K = \frac{П}{З} = \frac{20000}{200} = 100 \text{зарядок} \quad (5.1)$$

де: П – пробіг за рік, км;

З – запас ходу, км.

Витрати на зарядку акумулятора обчислюються за формулою:

$$B = \epsilon \cdot 1 \text{кВт/год} \quad (5.2)$$

де: ϵ – ємність батареї.

Для Nissan Leaf (24кВт·год) при вартості 1 кВт·год = 4,32 грн:

$$B = 24 \text{кВт/год} \cdot 4,32 = 103,7 \text{грн}$$

Таким чином, повна зарядка батареї обійдеться в 103,7 грн.

Витрати на зарядку за рік. Якщо електромобіль пробігає 20000 км на рік і має витрату 24 кВт·год на 100 км, то:

$$B_{\text{рік}} = K \cdot B \quad (5.3)$$

$$B_{\text{рік}} = 100 \cdot 103,7 = 10370 \text{грн}$$

Витрати при -10°C: запас ходу – 140 км.

$$K = \frac{20000}{140} = 143 \text{зарядок}$$

Річні витрати:

$$B_{\text{рік}} = 143 \cdot 103,7 = 14829 \text{ грн}$$

Витрати при +30°C: запас ходу – 180 км.

$$K = \frac{20000}{180} = 111 \text{ зарядок}$$

Річні витрати:

$$B_{\text{рік}} = 111 \cdot 103,7 = 11510 \text{ грн}$$

При -10°C річні витрати на зарядку збільшуються на 3870 грн (43%) через значне зниження ефективності батареї. При +30°C витрати зростають на 990 грн (11%) через менше зниження запасу ходу, але з урахуванням використання систем кондиціонування. Дотримання оптимальних температурних умов (+20°C) забезпечує мінімальні витрати на зарядку та максимальну ефективність батареї.

5.2 Витрати на обслуговування батареї

Зазвичай батарея для електромобіля розрахована на 1000-2000 циклів зарядки. Для Nissan Leaf термін служби батареї становить близько 8-10 років або 150000-200000 км.

При середній вартості нової батареї для Nissan Leaf в 300000 грн. При розрахунку вартості заміни за термін служби (8 років) це буде 37500 грн на рік. Зазвичай обслуговування батареї включає перевірку її стану та можливі заміни деяких компонентів. Це може становити близько 1000-2000 грн на рік залежно від умов експлуатації.

Загальні витрати на експлуатацію батареї (на рік). Виходячи з попередніх розрахунків:

- Витрати на зарядку за рік: 10370 грн
- Витрати на обслуговування батареї: 1500 грн (середнє значення)
- Витрати на амортизацію батареї: 37500 грн (за рік)

Загальні витрати на батарею за рік:

$$10370\text{грн}+1500\text{грн}+37500\text{грн}=49370\text{грн} \quad (5.4)$$

Для автомобіля з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) витрати на паливо можуть бути значно вищими, залежно від пробігу та ціни пального. Наприклад, для автомобіля, який споживає 8 л/100 км, при вартості пального приблизно 53 грн/л:

$$B_{\text{рік}}^{\text{паливо}} = \frac{20000\text{км}}{100\text{км}} \cdot 8\text{л} \cdot 53\text{грн} = 84800\text{грн} \quad (5.5)$$

Витрати на електричний транспорт (як видно) значно нижчі за рахунок менших витрат на зарядку та обслуговування. Експлуатація електричного автомобіля зазвичай має суттєві економічні переваги порівняно з автомобілями з ДВЗ, особливо в контексті витрат на паливо та обслуговування батареї. Хоча початкова вартість електромобіля може бути вищою, витрати на зарядку і обслуговування є значно меншими в довгостроковій перспективі.

Висновок до розділу

Температурні умови суттєво впливають на ефективність використання батареї електромобіля. При -10°C річні витрати на зарядку зростають на 43% (3870 грн) через зниження запасу ходу, тоді як при $+30^{\circ}\text{C}$ витрати збільшуються на 11% (990 грн) через роботу систем кондиціонування та зменшення ефективності батареї. Оптимальним є діапазон температур близько $+20^{\circ}\text{C}$, при якому витрати на зарядку залишаються найнижчими.

Для Nissan Leaf середня вартість повної зарядки батареї становить 103,7 грн при вартості електроенергії 4,32 грн/кВт·год. Річні витрати на зарядку при оптимальних умовах складають 10370 грн, а за екстремальних температур ці витрати зростають до 11510–14829 грн залежно від кліматичних умов.

Термін служби батареї Nissan Leaf становить 8–10 років або 150000–200,000 км пробігу. При середній вартості заміни батареї у 300000 грн, щорічна амортизація розраховується на рівні 37500 грн/рік. Це важливий

фактор, який слід враховувати при розрахунку загальних витрат на експлуатацію електромобіля.

Загальні витрати на батарею за рік (з урахуванням зарядки, обслуговування та амортизації) складають 49370 грн, що значно менше, ніж витрати на паливо для автомобіля з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) за той самий пробіг, які становлять 84800 грн. Експлуатація електромобіля дає економію понад 35430 грн/рік.

Експлуатація електромобіля значно вигідніша в довгостроковій перспективі за рахунок менших витрат на зарядку, обслуговування та відсутності потреби в традиційному пальному. Хоча початкова вартість електромобіля вища, сукупна економія за період експлуатації робить його конкурентоспроможним у порівнянні з авто з ДВЗ.

Дотримання оптимальних умов експлуатації батареї, таких як підтримання температури та рівня заряду, дозволяє мінімізувати витрати на зарядку та продовжити термін служби акумулятора. Це забезпечує не лише економічну вигоду для власника, але й сприяє екологічності та сталому розвитку транспортної галузі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Визначено, що продуктивність електромобільних батарей суттєво залежить від температури. Оптимальними умовами для роботи є діапазон від $+15^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$, що забезпечує найменшу деградацію батарей і максимальну енергоефективність. Низькі температури (-10°C) значно знижують ємність і ефективність зарядки батарей, тоді як високі температури ($+30^{\circ}\text{C}$ і більше) прискорюють їх деградацію, скорочуючи термін служби.

Дотримання рекомендацій щодо оптимальних умов зарядки та зберігання дозволяє продовжити термін служби батарей з 8 до 10 років, що зменшує витрати на їх заміну на 20–30%.

Використання систем активного охолодження, підігріву та рекуперації енергії дозволяє значно знизити вплив температурних екстремумів і підвищити загальну енергоефективність електромобілів.

Перехід на електромобілі з якісними батареями знижує залежність від викопних палив, зменшує викиди CO_2 і має значний економічний ефект у довгостроковій перспективі.

Заряджати батареї в помірних температурних умовах (бажано в закритих або ізольованих приміщеннях) для зниження швидкості деградації. Використовувати системи управління батареями (BMS) для регулярного моніторингу її стану, контролю рівня заряду та температурного режиму.

Регулярно проводити діагностику батарей, забезпечувати належний догляд і своєчасну заміну зношених компонентів. Створювати зарядні станції з можливістю підтримання стабільного температурного режиму, особливо в регіонах із суворими кліматичними умовами. Проведення освітніх заходів для власників електромобілів щодо оптимальних умов зарядки та зберігання батарей з метою підвищення їхньої обізнаності та зменшення експлуатаційних витрат.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Tesla Inc. *Model 3 Owner's Manual, 2015*. Tesla Motors, 2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.tesla.com.
2. BMW AG. *BMW i3 Technical Specifications*. BMW Group, 2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.bmw.com.
3. Electric Vehicles, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles>.
4. Nissan Motor Corporation. *Nissan Leaf User Manual, 2015*. Nissan Motor Co., Ltd., 2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.nissan-global.com.
5. Toyota Motor Corporation. *Toyota Prius Plug-in Hybrid Specifications, 2010*. Toyota Global, 2010. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.toyota-global.com.
6. Volkswagen AG. *Volkswagen e-Golf Technical Data*. Volkswagen Group, 2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.volkswagen.com.
7. Перов В.М., Борисов А.С. *Електромобілі: технології та перспективи розвитку*. – Київ: Наукова думка, 2020. – 320 с.
8. Іваненко О.В., Черненко В.П. *Високовольтні батареї електромобілів: конструкція, принцип дії та експлуатація*. – Харків: Техніка, 2019. – 250 с.
9. Мартиненко О.А. *Особливості експлуатації електромобілів в умовах низьких температур*. – Журнал "Автотранспорт", №12, 2021. – С. 45-52.
10. Національний стандарт України. *Охорона праці: правила безпеки при роботі з високовольтним обладнанням*. – К.: Держстандарт України, 2019.
11. International Electrotechnical Commission (IEC). *Standards for Electric Vehicle Batteries*. IEC 62660-2:2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.iec.ch.
12. Державне агентство з енергоефективності України. *Перспективи розвитку електротранспорту в Україні*. – К.: Енергоефективність, 2021.
13. Юрченко І.М. *Системи охолодження та підігріву батарей електромобілів*. – Журнал "Електротехніка", №3, 2020. – С. 23-29.

14. Мельник О.С. *Технології швидкої зарядки електромобільних батарей*. – Науковий вісник "Енергетика", №5, 2022. – С. 33-40.
 15. Toyota Motor Corporation. *Plug-in Hybrid Electric Vehicles: Environmental Benefits*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.toyota-global.com.
 16. Nissan Motor Corporation. *Impact of Low Temperatures on Electric Vehicle Batteries*. Nissan Technical Bulletin, 2021. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.nissan-global.com.
 17. Energy-Storage news, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.energy-storage.news/nas-batteries-long-duration-energy-storage-proven-at-5gwh-of-deployments-worldwide/>.
 18. BASF and NGK, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2024/06/p-24-216>.
 19. Blackridge Research Consulting, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.blackridgeresearch.com/blog/heres-what-you-need-to-know-about-advantages-disadvantages-applications-of-sodium-sulfur-sulphur-nas-batteries>.
 20. Staff Communities, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://shorturl.at/VvCSH>.
 21. Electude – Автомобільні основи https://lnau.electude.eu/content_11323711_23618361#lesson_2909 (дата звернення 31.09.2024 р.).
 22. Коваль І. Визначення основних типів електромобілів і їх структури Студентська молодь і науковий прогрес в АПК: тези доп. Міжнар. студ. наук. форуму. (2–4 жовтня 2024 року). Львів: Львівський національний університет природокористування, 2024. С. 353.
- О.М. Сукач, О.С. Миронюк, Р.І. Паславський, В.В. Шевчук Автомобілі. Частина 2 «Ходова частина і органи керування автомобіля». Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт, для здобувачів другого (магістерського) рівня освіти з спеціальності 274 - "Автомобільний транспорт". 2022. с 88.