

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ АКУМУЛЯТОРАМИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

У системах управління акумуляторами (англ. Battery Management Systems, BMS), що застосовуються в технологіях електромобілів, інтеграція штучного інтелекту (ШІ) постає як революційне рішення, яке значно підвищує ефективність, забезпечує більшу безпеку та сприяє досягненню принципів сталого розвитку. Система BMS є складним електронним комплексом, призначеним для моніторингу стану акумуляторної батареї автомобіля. Вона виконує низку критично важливих завдань, включно з відстеженням параметрів батареї, обчисленням поточних даних, передаванням інформації, захистом батареї від небажаних впливів середовища, управлінням термічними умовами її роботи та забезпеченням балансування окремих елементів акумуляторної батареї, як наведено на рисунку 1.



Рисунок 1 – Основні функції системи управління акумуляторами BMS електромобілів

Система управління акумуляторами BMS відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності, безпеки та довговічності акумуляторного блоку електромобілів. Її основні функціональні аспекти включають:

- моніторинг і вимірювання. BMS виконує постійний моніторинг критично важливих параметрів, таких як напруга, струм та температура, щоб запобігти потенційним відхиленням, які можуть вплинути на безпеку чи стан батареї;

- управління енергетичними ресурсами. Система здійснює процес балансування зарядженості окремих елементів акумулятора (з використанням активного чи пасивного підходу) [1], що дозволяє рівномірно розподіляти заряд. Це сприяє максимізації робочої ємності елемента живлення та збільшенню його експлуатаційного ресурсу;

- оцінювання технічного стану. Однією з ключових функцій BMS є визначення основних показників стану батареї, таких як рівень залишкового заряду (англ. State of Charge, SOC), стан працездатності (англ. State of Health, SOH), стан енергоємності (англ. State of Energy, SOE), доступна потужність (англ. State of Available Power, SOAP) та залишковий термін експлуатації (англ.

Remaining Useful Life, RUL). Це забезпечує користувача актуальною інформацією про загальний стан акумулятора;

- забезпечення безпеки та управління несправностями. BMS захищає батарею від потенційно небезпечних умов, серед яких надмірний заряд або розряд, перевищення допустимих температур чи короткі замикання. Таким чином, вона запобігає перезавантаженню системи та мінімізує ризики виходу акумулятора з ладу⁴;

- інформаційне забезпечення. Система здатна організувати обмін даними між компонентами за допомогою провідної або бездротової комунікації. Це дозволяє здійснювати ефективний моніторинг та контроль за усіма складовими акумуляторного комплексу.

У рамках дослідження було здійснено огляд сучасних методів штучного інтелекту, які розробляються та адаптуються спеціально для оптимізації роботи систем управління акумуляторами в умовах використання їх в електромобілях. Візуалізований матеріал цього аналізу представлено на рисунку 2.



Рисунок 2 – Огляд методів штучного інтелекту, які розробляються спеціально для систем управління акумуляторами електромобілів

Штучний інтелект, машинне навчання та глибоке навчання утворюють ієрархічну структуру, яка служить основою для розробки інтелектуальних систем управління акумуляторними батареями електромобілів. Штучний інтелект виступає як центральна галузь, метою якої є створення систем, здатних імітувати властивості людського інтелекту. У свою чергу, машинне навчання є підгалуззю ШІ, що забезпечує можливість системам адаптуватися до нових даних, аналізуючи великі обсяги інформації та покращуючи ефективність функціонування без прямого втручання у вигляді програмування. Глибоке навчання, як спеціалізована гілка машинного навчання, використовує штучні багатoshарові нейронні мережі для моделювання складних закономірностей та представлення даних.

Сучасні дослідження вказують на те, що глибоке навчання набуває дедалі більшої популярності як ефективний інструмент моделювання в галузі

зберігання енергії, особливо в задачах, пов'язаних із оцінкою стану SOC та прогнозуванням залишкового терміну служби акумуляторних батарей.

Було виконано аналіз і зіставлення функціональних можливостей традиційної системи управління акумуляторними батареями електромобіля та системи, що впроваджує технології штучного інтелекту. Результати цього аналізу представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Аналіз функціональних характеристик традиційної системи управління акумуляторними батареями електромобіля у порівнянні із системою на основі штучного інтелекту [2, 3]

Показник	Система управління акумуляторними батареями електромобіля	
	Класична	З використанням ШІ
Моніторинг	Напруга, струм, температура	Багатовимірне електротермічне зондування
Оцінка стану	SOC	SOC, SOH, SOE, SOAP
Прогнозування	Відсутнє або обмежене	RUL, швидкість деградації
Керування	Логіка на основі правил	Адаптивні та прогностичні моделі
Оптимізація енергії	Базове балансування акумуляторів	Інтеграція з мережею, планування енергоспоживання
Теплове регулювання	Охолодження на основі порогових значень	Прогнозні електротермічні моделі
Виявлення та діагностика несправностей	Пасивне сповіщення	Активна діагностика та прогнозування відмов
Прогнозування деградації	Обмежене	Моделі деградації
Використання даних	Обмежене	Аналітика великих даних та тенденцій
Інтеграція інтелектуальної системи	Обмежене	Сумісний з мережею на базі Інтернету речей

Застосування алгоритмів штучного інтелекту в системах управління акумуляторними батареями електромобілів дозволяє динамічно адаптувати параметри заряджання та розряджання на основі даних, отриманих у режимі реального часу. Це сприяє оптимізації тривалості експлуатації батареї та забезпечує підвищену ефективність роботи системи. Окрім того, методи машинного навчання відіграють ключову роль у прогностичній аналітиці, що дозволяє системам передбачати процеси деградації акумуляторів і проактивно усувати можливі проблеми, підтримуючи високу надійність та довговічність

компонентів [4].

Використовуючи аналіз великих обсягів даних та технології розпізнавання образів, алгоритми штучного інтелекту значно удосконалюють прийняття рішень у сфері керування акумуляторами електромобілів. Це включає розробку стратегій управління зарядом, регулювання споживання енергії та оптимізацію експлуатаційних параметрів транспортних засобів. Отримана інформація сприяє підвищенню продуктивності акумуляторних систем, збільшенню автономності електромобілів та скороченню експлуатаційних витрат для користувачів.

Таким чином, інтеграція штучного інтелекту в системи управління акумуляторними батареями відкриває нові можливості для підвищення загальної ефективності електромобілів та продовження терміну служби їхніх акумуляторів, забезпечуючи сталий розвиток і конкурентоспроможність на ринку електротранспорту.

Література

1. Смирнов, О., Борисенко, А., & Іноземцев, Д. Моделювання активного балансування елементів літій-іонних акумуляторних батарей в MATLAB/Simulink. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології 2025. No. 28. P. 47–57. URL: <https://doi.org/10.30977/veit.2025.28.0.5> (date of access: 14.04.2026).
2. Kumar N., Prabhansu. Next-generation battery energy management systems in electric vehicles: An overview of artificial intelligence. Future Batteries. 2025. Vol. 7. P. 100087. URL: <https://doi.org/10.1016/j.fub.2025.100087> (date of access: 09.03.2026).
3. Selvaraj V., Vairavasundaram I. A comprehensive review of state of charge estimation in lithium-ion batteries used in electric vehicles. Journal of Energy Storage. 2023. Vol. 72. P. 108777. URL: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108777> (date of access: 19.02.2026).
4. Смирнов, О., Борисенко, А. Розробка прогностичної моделі деградації ємності літій-іонних акумуляторних батарей електромобілів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. 2025. No. 27. P. 110–122. URL: <https://doi.org/10.30977/veit.2025.27.0.1> (date of access: 14.04.2026).

Науковий консультант: Смирнов Олег Петрович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, smirnov1oleg@gmail.com