

Бажинов О. В., Кікла Є. М.

КОНЦЕПЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Анотація. Розглядаються ключові аспекти експлуатації тягових акумуляторних батарей (АКБ), які є основою для роботи електромобілів, навантажувачів та інших видів електротранспорту. Описано основні типи АКБ, критерії їхнього вибору та правила встановлення. Надання інформація для оптимізації роботи та продовження терміну служби тягових АКБ.

Ключові слова: електромобіль, акумуляторна батарея, модель, температурний розгін.

Abstract. The key aspects of operation of traction batteries (batteries) are considered, which are the basis for the operation of electric vehicles, forklifts and other types of electric transport. The main types of batteries, their selection criteria and installation rules are described. Information is provided to optimize the operation and extend the service life of traction batteries.

Keywords: electric vehicle, battery, model, temperature acceleration.

В умовах глобального переходу на екологічно чисті джерела енергії та зростання популярності електротранспорту тягові акумуляторні батареї (АКБ) стають критично важливим компонентом. Від їхньої надійності, ефективності та терміну служби безпосередньо залежить продуктивність і економічність електротранспорту. Однак, щоб досягти максимального ресурсу та уникнути передчасного виходу з ладу, потрібна чітка та системна концепція їхньої експлуатації [1,2].

Мета роботи полягає в розробці та обґрунтуванні комплексної концепції експлуатації тягових акумуляторних батарей (АКБ). Ця концепція охоплюватиме всі ключові етапи життєвого циклу АКБ, від вибору та встановлення до обслуговування, заряджання та утилізації. Дослідити механізми загоряння *Li-ion* акумуляторних батарей та оцінити ефективність існуючих методів їх гасіння з метою розробки рекомендацій щодо підвищення їх безпеки. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати основні причини займання акумуляторних батарей; дослідити механізми розвитку пожежі та можливості її локалізації; оцінити ефективність сучасних методів пожежогасіння електротранспорту; розробити рекомендації щодо підвищення рівня пожежної безпеки електромобілів

Основні завдання:

1. Систематизувати існуючі знання про різні типи тягових АКБ, їхні характеристики та особливості застосування.
2. Розробити рекомендації щодо вибору та встановлення АКБ, враховуючи специфіку електротранспорту.
3. Визначити оптимальні режими заряджання та розряджання для різних типів АКБ з метою максимізації їхнього терміну служби та ефективності.
4. Сформулювати правила регулярного обслуговування та моніторингу стану АКБ, зокрема роль систем керування батареями (BMS).
5. Надати рекомендації щодо безпечного зберігання та транспортування АКБ.
6. Обґрунтувати важливість і принципи екологічно відповідальної утилізації відпрацьованих АКБ.

7 Проаналізувати основні причини займання акумуляторних батарей; дослідити механізми розвитку пожежі та можливості її локалізації; оцінити ефективність сучасних методів пожежогасіння електротранспорту; розробити рекомендації щодо підвищення рівня пожежної безпеки електромобілів

Кінцевою метою є створення практичного посібника, який допоможе оптимізувати експлуатацію тягових АКБ, підвищити їхню надійність та безпеку, а також знизити загальні експлуатаційні витрати.

Причини пожежі Li-ion акумулятора (згідно з науковими та технічними даними) є - перегрів осередку: може бути спричинений інтенсивним навантаженням, поганим охолодженням або коротким замиканням. Як тільки температура перевищує $\sim 60-70^{\circ}\text{C}$ — активується внутрішня деградація, і осередок може зайнятися. Поширення тепла — один перегрітий осередок передає тепло сусіднім, запускаючи ланцюгову реакцію (thermal propagation). Візуально на зображенні видно це у вигляді хвилі нагріву, що поширюється через модуль. Термічний розгін: температура досягає критичної межі ($\sim 150-200^{\circ}\text{C}$), після чого виділяються горючі гази, які займаються. Результат — раптова пожежа або вибух. Механічне пошкодження або дефект виробництва: може бути спричинено ДТП, мікротріщинами або проблемами герметизації. Згідно з даними [UL, NREL, SAE], термічний розгін є критичним сценарієм, що потребує термічного моніторингу, якісного охолодження та автоматичного відключення енергії

Температурний розгін — це неконтрольований процес самонагрівання в літій-іонній батареї, що може призвести до її займання або вибуху. Це відбувається: початковий перегрів (може бути спричинений зовнішнім джерелом тепла, коротким замиканням, механічним пошкодженням або перезарядом); при підвищенні температури (прибл. $70-90^{\circ}\text{C}$) руйнується пасивний SEI-шар (Solid Electrolyte Interphase), який захищає анод; вивільнюється літій, який починає агресивно реагувати з електролітом; виділяється тепло, яке ще більше підвищує температуру — самопосилювальний цикл. При температурі $\sim 130-150^{\circ}\text{C}$ відбувається розкладання електроліту $\rightarrow$ вивільнення горючих газів (етилен, метан, фтористий водень тощо). Якщо температура зростає до $\sim 200-250^{\circ}\text{C}$, може загорітися електроліт. При $\sim 600-800^{\circ}\text{C}$ можливий вибух внаслідок накопичення тиску та займання газів (табл. 1).

Таблиця 1 - Типовий сценарій розвитку подій (фазово)

Фаза	Температура	Процеси	Наслідки
Ініціація	$\sim 60-100^{\circ}\text{C}$	Пошкодження, коротке замикання	Початкове нагрівання
SEI-руйнування	$\sim 100^{\circ}\text{C}$	Хімічна деструкція SEI	Самонагрівання
Розкладання електроліту	$\sim 130-150^{\circ}\text{C}$	Вивільнення газів	Підвищення тиску
Запалювання	$\sim 200-250^{\circ}\text{C}$	Горіння електроліту	Пожежа
Вибух	$\sim 600-800^{\circ}\text{C}$	Накопичення газів, руйнування корпусу	Вибух батарейного модуля

Основні причини температурного розгону: перезаряд (вище 4.2 В/елемент); глибоке розрядження (менше $2.5\text{ В} \rightarrow$ утворення мідних дендритів); коротке замикання; пошкодження сепаратора (призводить до контакту анода і катода).

Зовнішній вплив: удари, проколи, перегрів. Пожежа та вибух: що саме горить - органічний електроліт (легкозаймистий); пластикові компоненти корпусу; газоподібні продукти розкладання (етилен, фтористі сполуки); реакція літію з водою або вологою повітря $\rightarrow$ утворення займистого водню.

Методи захисту від температурного розгону: BMS (Battery Management System): відстеження напруги, температури, струму; сепаратори з shut-down механізмом (тануть при критичній температурі); запобіжні клапани для скидання тиску; термостійкі матеріали корпусу; модульне проектування: ізоляція пошкодженого елемента.

Висока температура може викликати «термічний розгін», коли батарея починає виділяти велику кількість тепла та газів, що збільшує ймовірність займання або вибуху.

Причини підвищення температури, що можуть призвести до термічного розгону: перезаряджання: надмірна напруга призводить до хімічної нестабільності в осередках батареї. Глибока розрядка: може спричинити внутрішні короткі замикання при наступному циклі зарядки. Внутрішнє коротке замикання: через дефекти виробництва або механічне пошкодження — спричиняє різке зростання температури. Литий-іонні акумулятори при перезаряді та не до заряді мають осадження металевго літію (у вигляді дрібно

роздробленого мошистого осаду), що є небезпечно та провокує виникнення короткого замикання, пожежі чи вибуху у ньому.

Інженерні рішення для запобігання вибухам: вбудовані захисні клапани або спеціальні оболонки в акумуляторах можуть допомогти запобігти вибухам. Наприклад, використання матеріалів, які здатні витримати високі температури без руйнування структури, зменшує ризик вибуху в умовах пожежі або аварії; покращена інфраструктура для аварійного реагування; створення відповідних інфраструктурних заходів, таких як спеціально підготовлені рятувальні служби, навчання персоналу для роботи з електричними автомобілями в аварійних ситуаціях і використання спеціальних засобів для безпечного видалення загорілих акумуляторів з автомобіля, може значно підвищити безпеку при аваріях з електричними транспортними засобами.

Ці заходи допомагають зменшити ризики, пов'язані з пошкодженням акумуляторів і їх впливом на безпеку водіїв і пасажирів в разі аварій.

Список використаних джерел:

1. Бажинов, О.В., Кравцов, М.М., 2022. Небезпека транспортних засобів. Монографія. Харків: ЧП Стариченко Л.А., 160 с. Режим доступу : <https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/6638/1/BazhynovKravtsovNebezpekaTransportnykhZasobivM22.pdf>

2. Бажинов, О.В., Бажинова, Т.О., Кравцов, М.М., 2018. Основи ефективного використання екологічно-чистих автомобілів. Монографія. Харківський національний автомобільно-дорожній університет; Харків: Панов А. М. [вид.], 199 с.: рис., табл. Бібліогр.: с. 196-199. – 50. - ISBN 978-617-7722-30-3.

Бажинов Олексій Васильович – доктор технічних наук, професор кафедри інжинірингу систем автомобільного транспорту Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, буд.25, інд. 60001, e-mail: alexey.bazhinov@gmail.com ORCID.org/0000-0002-5755-8553

Кікла Едуард Миколайович – аспірант кафедри інжинірингу систем автомобільного транспорту Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, буд. 25, інд. 60001, e-mail: eduardkykla@gmail.com ORCID 0009-0006-8547-2120

Alexey Bazhinov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Systems Automobiles Transport,, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Jaroslava Mudrogo St., Building 25, Ind. 6001, e-mail: alexey.bazhinov@gmail.com ORCID.org/0000-0002-5755-8553

Kykla Eduard – aspirant of the Department of Engineering Systems Automobiles Transport,, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Jaroslava Mudrogo St., Building 25, Ind. 6001, e-mail: eduardkykla@gmail.com ORCID 0009-0006-8547-2120