УДК 656.132

С.П. Чуйко[1], О.Б. Шмерего[2]
[1] *Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, Україна*
[2] *Київське відділення Національного наукового центра «Інститут судових експертиз ім. засл. проф. М. С. Бокаріуса» Міністерства юстиції України, Київ, Україна*

РИЗИКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ЛІТІЙ-ІОННІЙ БАТАРЕЇ

Стрімке збільшення кількості електромобілів призводить до збільшення небезпек, якими вони супроводжуються. Однією з таких небезпек є їх пожежна небезпека. За результатами аналітичних досліджень визначено та класифіковано чинники впливу на пожежну небезпеку EV. Це конструктивні, експлуатаційні та обслуговувальні чинники. Глибокий і різкий розряд літій-іонних акумуляторів є одним із критичних режимів експлуатації, що негативно впливає на їх технічний стан, безпеку та надійність.

Ключові слова: *електромобіль, ризики, надійність, іонно-літієва батарея*

The rapid increase in the number of electric vehicles leads to an increase in the dangers that accompany them. One of these dangers is their fire hazard. According to the results of analytical studies, the factors influencing the fire hazard of EVs have been identified and classified. These are design, operational and maintenance factors. Deep and sharp discharge of lithium-ion batteries is one of the critical operating modes, which negatively affects their technical condition, safety and reliability.

Keywords: electric vehicle, risks, reliability, lithium-ion battery

Загорання електромобілів та пов'язані з ними дослідження показують, що частота пожеж з електромобілями у світі значно менша, ніж у автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ). У США на 55 пожеж за участю електромобілів припадає близько 284000 випадків горіння автомобілів з двигуном внутрішнього згорання. Підтверджено, що ймовірність займання батареї електромобіля у разі дорожньо-транспортної пригоди менша, ніж ймовірність загорання автомобіля з бензиновим двигуном [1].

Згідно зі сценарієм заявленої політики MEA (STEPS), глобальний прогноз щодо частки продажів електромобілів, заснований на існуючій політиці та твердих цілях, зріс до 35% у 2030 році, порівняно з менш ніж 25% у попередньому прогнозі. Згідно з прогнозами, Китай зберігає свою позицію найбільшого ринку електромобілів з 40% від загального обсягу продажів до 2030 року в рамках STEPS. Сполучені Штати подвоюють свою частку ринку до 20% до кінця десятиліття, оскільки нещодавні оголошення політики стимулюють попит, тоді як Європа зберігає свою поточну частку в 25% [2].

В останні роки літій-іонні акумулятори (LIB) стали основним джерелом електромобілів та систем накопичення енергії завдяки високій щільності енергії, тривалому терміну служби, низькій вартості та екологічності. Оскільки масштаби їхнього розгортання продовжують зростати, підвищення безпеки, надійності та терміну служби акумуляторних систем стало основним напрямом досліджень. Використання літій-іонних акумуляторів забезпечує високі експлуатаційні характеристики, однак супроводжується низкою ризиків, що впливають на безпеку та надійність транспортних засобів.

Теплоутворення, а отже, теплопередача, відіграють вирішальну роль у забезпеченні продуктивності, старіння та безпеки літій-іонних акумуляторів. Підвищена температура акумулятора є найважливішим прискорювачем старіння. Розуміння та управління температурою та старіння акумуляторів під час експлуатації є багаторівневим завданням.

Літій-іонні батареї мають багато переваг, але у них також є суттєвий недолік: вони схильні до вибуху, адже з'явилися порівняно недавно, тому технології по їх виробництву ще не досягли досконалості [3]. Одними з найбільш несприятливих режимів експлуатації є глибокий розряд та різкий (високострумовий) розряд**,** які можуть призводити до деградації елементів батареї, зниження надійності та виникнення аварійних ситуацій. Глибокий розряд характеризується зниженням рівня заряду акумулятора нижче допустимого порогового значення (як правило, менше 10–20 %). Високі та коливаючі температури також прискорюють процеси деградації всередині елементів, тоді як належне

відведення тепла може продовжити термін служби та уповільнити зниження ємності батареї. На рис. 1 представлено схему літій-іонного акумулятора під час розряду.

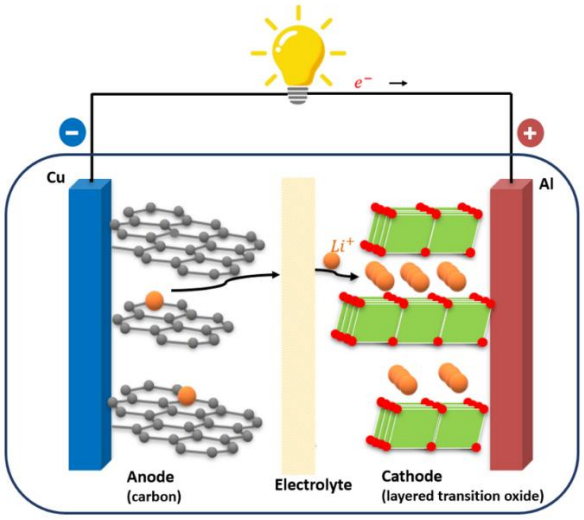

Рисунок 1 – Схематичне зображення літій-іонного акумулятора під час розряду [4].

Схема відображає процес, як літій-іони (Li^+) рухаються від анода до катода (e^-), тоді як електрони циркулюють по зовнішньому колу. Зниження ємності та продуктивності акумулятора насамперед спричинене літієвим покриттям, а також побічними реакціями.

Глибокий та різкий розряд літій-іонних батарей є критичними режимами, що призводять до прискореної деградації, зниження надійності та підвищення ризику аварійних ситуацій. Контроль режимів експлуатації та ефективна робота систем управління батареєю є ключовими умовами безпечного використання електромобілів.

На рис. 2 представлено схему основних ризиків експлуатації автомобілів.



Рисунок 2 – Основні ризики експлуатації електромобілів

Термічний розгін – це процес, коли температура всередині батареї різко підвищується, спричиняючи ланцюгову реакцію. Температура може досягати 800°C за лічені секунди. Це найнебезпечніше явище. При перегріві або пошкодженні батарея може самоприскорено нагріватися, що призводить до швидкого зростання температури (500-1000 °C), виділяються горючі гази і велика ймовірність вибуху або пожежі.

Пожежна небезпека – це складність гасіння літій-іонних батарей, ймовірність повторного займання після гасіння, а також необхідність спеціальних засобів пожежогасіння.

Електричні ризики властиві ураженням високою напругою (до 800 В), а також небезпека при ДТП та обслуговуванні.

Деградація акумулятора – це природний, незворотний процес поступової втрати хімічної ємності та зниження ефективності роботи батареї, вплив температури, режимів заряджання, глибини розряду.

Екологічні ризики щодо утилізації батареї, токсичність компонентів (літій, кобальт, електроліти).

Експлуатаційні обмеження призводять до зменшення запасу ходу в холодну погоду та залежність від зарядної інфраструктури.

Надмірне теплоутворення також може призвести до теплового виходу та, як наслідок, спричинити пожежі або навіть вибухи в цих акумуляторах, чому може запобігти ефективне управління температурою. Тому управління температурою літій-іонних акумуляторів є одним із критичних важливих аспектів проєктування акумуляторних блоків, особливо для потужних застосувань.

Детальне дослідження ризиків та опис механізмів вибуху і пожежі, а також слідів та їх наслідків в умовах використання літій-іонних акумуляторів може слугувати для формування експертної методики комплексної електротехнічної та пожежно-технічної експертизи.

Список використаних джерел

1. Wipa Loengbudn, Kaveh Khalilpour, Gnana Bharathy, Firouzeh Taghikhah, Alexey Voinov. Battery and hydrogen-based electric vehicle adoption: A survey of Australian consumers perspective. Case Stud. Transp. Policy 2022, 10, 2451–[https://surli.cc/qrtktc]

2. International Energy Agency. Global EV Outlook 2023. Paris : IEA, 2023. 250 p. [https://surl.li/kyftji].

3. . Фея О. Літієва доба. Український тиждень. № 42 (622) від 20.10.2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https:// tyzhden.ua/ litiieva-doba/ (дата звернення: 06.04.2026).

4. Burheim, O.S. Temperature, Ageing and Thermal Management of Lithium-Ion Batteries. Energies 2021.14/1248. https://surl.lt/zlzqzk

ЧУЙКО Сергій Петрович – док. філос., доцент кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту, Державний університет «Житомирська політехніка», e-mail: expertauto@ukr.net

CHUIKO Serhiy Petrovych – PhD, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Automobile Transport, Zhytomyr Polytechnic State University, e-mail: expertauto@ukr.net

ШМЕРЕГО Олександр Борисович – головний судовий експерт відділу криміналістичних досліджень Київського відділення Національного наукового центра «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса» Міністерства юстиції України, e-mail: a.shmerego@gmail.com

SHMEREGO Oleksandr Borysovych – Chief Forensic Expert of the Forensic Research Department of the Kyiv Branch of the National Scientific Center "Institute of Forensic Expertise named after Honored Professor M. S. Bokarius" of the Ministry of Justice of Ukraine, e-mail: a.shmerego@gmail.com