

Р.М. Ігнатюк,
О.С. Стадник,
С.В. Морозюк

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ УТИЛІЗАЦІЇ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Анотація

У даній роботі розглянуто актуальну проблему утилізації акумуляторних батарей електромобілів як ключового етапу життєвого циклу електротранспорту. Розкрито технологічні підходи до переробки. Розглянуто європейське законодавче регулювання, економічні аспекти переробки АКБ.

Ключові слова: методи утилізації АКБ, гідрометалургія, Li-ion батарея.

Під впливом екстремальних робочих температур, сотень часткових циклів розряду на рік, літій-іонні акумулятори в електромобілях сильно деградують протягом перших п'яти років експлуатації та в більшості випадків розраховані приблизно на десятиліття терміну служби. Однак ці акумулятори можуть прожити друге життя, навіть якщо вони більше не відповідають стандартам продуктивності електромобілів, які зазвичай включають підтримку 80 відсотків загальної корисної ємності та досягнення коефіцієнта саморозряду в стані спокою лише близько 5 відсотків протягом 24-годинного періоду. Після відновлення такі акумулятори все ще здатні працювати достатньо, щоб обслуговувати менш вимогливі системи, такі як стаціонарні системи зберігання енергії. За даними [1] акумуляторна батарея включає декілька етапів життєвого циклу, які зображені на рисунку 1.



Рис. 1 Життєвий цикл акумулятора електромобіля [1]

Утилізація акумуляторних батарей електромобілів є важливим етапом у життєвому циклі електротранспорту, оскільки після завершення експлуатації АКБ перетворюється на джерело як цінних ресурсів, так і потенційної небезпеки для довкілля. Сучасні тягові батареї, зокрема літій-іонного типу (наприклад, на основі нікель-марганець-кобальт — NMC), мають складну багатокомпонентну структуру. Вони включають катодні й анодні матеріали, електроліт, систему управління (BMS), корпус і допоміжні компоненти. Після 8–10 років експлуатації електромобіля

аккумулятор зберігає приблизно 70–80% своєї первинної ємності, що дозволяє йому бути використаним у стаціонарних системах зберігання енергії в рамках другого життєвого циклу.

Утилізація батарей включає кілька ключових технологічних підходів: механічне розбирання, пірометалургічну переробку (плавлення при високих температурах), гідрометалургічну екстракцію (вилучення металів за допомогою кислот) та інноваційні екологічні методи. Для вилучення кольорових металів і сплавів використовують вихрострумову сепарацію [2] хоча найбільш перспективним вважається гідрометалургічний метод, який забезпечує високий рівень відновлення літію, нікелю, кобальту й міді. Крім того, він має менший вуглецевий слід, ніж термічні методи.

Таблиця 1 Методи утилізації АКБ

Етап	Метод	Вихід продукції
1. Демонтаж або розбирання	Механічний розбір (ручний або автоматизований)	Модулі, корпус
2. Пірометалургія	Термічна обробка	Металеві сплави
3. Гідрометалургія	Хімічне вилучення металів (кислотне)	Li, Ni, Co (до 95%)
4. Регенерація графіту та електроліту	Частково можлива	Залежить від технологій
5. Рафінація / очищення	Етап очистки вторинної сировини	Катодні матеріали для нових акумуляторних батарей

На законодавчому рівні Європейський Союз регламентує процес утилізації. Новий регламент ЄС щодо акумуляторів (2023/1542) передбачає впровадження обов'язкових паспортів батарей, цільових показників переробки для кожного виду металів, а також розширену відповідальність виробника (EPR), згідно з якою саме виробник або імпортер зобов'язаний забезпечити повну утилізацію після закінчення терміну служби [3]. До 2030 року планується досягти рівня відновлення літію не менше 70%, а кобальту й нікелю — не менше 90%.

Окрім екологічних міркувань, питання утилізації тісно пов'язане з економікою критичних матеріалів. Переробка старих АКБ дозволяє зменшити залежність від імпорту стратегічних ресурсів, знизити вартість нових батарей та сприяти формуванню замкнутого циклу виробництва. Також розвиток інфраструктури для переробки та повторного використання АКБ створює нові можливості для енергетичних систем, зокрема для акумуляції електроенергії з відновлюваних джерел [3].

Li-іон батареї є лідерами у використанні на електромобілях і найпоширеніша – NMC: нікель-марганець-кобальтова або LFP: залізо-фосфатна.

Таким чином, утилізація акумуляторних батарей електромобілів є критичним фактором сталого розвитку електротранспорту. Вона забезпечує збереження ресурсів, зменшення екологічного навантаження та економічну доцільність у довгостроковій перспективі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Second-life EV batteries: The newest value pool in energy storage. McKinsey & Company [Електронний ресурс]: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/second-life-ev-batteries-the-newest-value-pool-in-energy-storage/>
2. Stadnyk O. Substantiation of eddy current separation parameters for car recycling technology. Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources: book of abstracts 5nd International Scientific and Technical Internet Conference (Petroșani, Romania, November 11, 2022). Petroșani, Romania, 2022. P. 211–213
3. Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC (Text with EEA relevance). [Електронний ресурс]: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/eng>

Ігнатюк Роман Михайлович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: r.m.ihnatiuk@nuwm.edu.ua;

Стадник Олександр Святославович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: o.s.stadnyk@nuwm.edu.ua;

Морозюк Сергій Володимирович – старший викладач кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національний університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: s.v.moroziuk@nuwm.edu.ua.

Abstract

This paper addresses the relevant issue of electric vehicle battery recycling as a key stage in the life cycle of electric transport. Technological approaches to battery processing are presented. The study also examines European legislative regulations and the economic aspects of battery recycling.

Keywords: car, operating cost, fuel consumption, insurance, maintenance and repair costs.

Ihnatiuk Roman Mykhailovych – Ph. D. (Eng), Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile Industry, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: r.m.ihnatiuk@nuwm.edu.ua;

Stadnyk Oleksandr Svyatoslavovych – Ph. D. (Eng), Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile Industry, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: o.s.stadnyk@nuwm.edu.ua;

Morozuk Serhiy Volodymyrovych – Senior Lecturer of the Department of Automobiles and Automobile Industry, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, e-mail: s.v.moroziuk@nuwm.edu.ua.