

початку процесу прийняття рішення, оцінювати ставлення децидента до ризику невизначеності різних факторів, стимулює його активно знаходити нові реальні альтернативи поведінки.

Якщо в процесі збирання інформації на певному етапі виявляється, що зібрано не всю інформацію чи одержати її з певних причин неможливо, то невизначеність трансформується в недостовірність. Вона може набирати вигляду неповноти чи недостатності (є не вся потрібна інформація), для деяких задач є неточні описи (недовизначеність), певні елементи задачі описано лише за аналогією з уже розв'язуваними (неадекватність).

Невизначеність може виникати й через невизначеність мети (це веде до виникнення задач із багатьма критеріями), а також у багатоособових задачах прийняття рішень. У випадку активної протидії в одних ситуаціях чи активного сприяння в інших невизначеність моделюється методами теорії ігор. Урахування фізичної невизначеності може ускладнитися виникненням лінгвістичної невизначеності в описанні розподілу ймовірностей. Інакше кажучи, ці види невизначеності можуть накладатися один на інший.

#### Література

1. Glenn Shafer and Judea Pearl, editors. Readings in uncertain reasoning. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1990.
2. Morris De Groot Optimal Statistical Decisions. Wiley Classics Library. 2004. (Originally published 1970.)
3. How to operate QC Circle Activities, Amer Society for Quality, 1985.
4. Guide to Quality Control, Asian Productivity Organization, 1986.
5. Anderson, Barry F. The Three Secrets of Wise Decision Making. Single Reef Press. 2002.

УДК 629.3

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЛІТІЙ-ІОННОГО АКУМУЛЯТОРА ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

**Смирнов Олег Петрович**, докт. техн. наук, професор кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [smirnov1oleg@gmail.com](mailto:smirnov1oleg@gmail.com), ORCID: [0000-0003-4881-9042](https://orcid.org/0000-0003-4881-9042)

**Борисенко Анна Олегівна**, канд. техн. наук, кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [anutochka2111@gmail.com](mailto:anutochka2111@gmail.com), ORCID: [0000-0001-5992-8274](https://orcid.org/0000-0001-5992-8274)

**Казак Дмитро Антонович**, магістр,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [kazakd952@gmail.com](mailto:kazakd952@gmail.com)

Актуальність теми роботи пов'язана зі швидким розвитком електричних транспортних засобів, що викликає експоненціальне зростання попиту на

акумуляторні батареї. За останні п'ять років міжнародні поставки акумуляторів зросли майже в 20 разів. Серед усіх типів акумуляторних батарей літій-іонні є основним вибором для електромобілів через їх високу щільність енергії, потужність та робочу напругу. Проведені дослідження охоплюють весь замкнутий життєвий цикл акумуляторних батарей електромобілів від виробництва до переробки, що охоплює широкий спектр діяльності, включаючи контроль, діагностику, перефільювання та повторне використання в менш потужних додатках.

Метою дослідження є підвищення екологічної чистоти та економічної ефективності за рахунок повторного використання літій-іонних акумуляторних батарей електромобілів.

Об'єктом дослідження є процес дослідження життєвого циклу літій-іонного акумулятора електромобіля.

Предметом дослідження є життєвий цикл літій-іонного акумулятора електромобіля.

Статистичні дані стверджують, що понад 70 % знятих з експлуатації акумуляторних батарей електромобілів все ще можуть накопичувати понад 80 % своєї номінальної ємності. Пряма переробка літій-іонних батарей, що мають високий потенціал для вторинного використання, призведе до навколишнього середовища та значних втрат енергії та ресурсів. Тому раціональне дати їм друге життя. Ринковий потенціал знятих з експлуатації літій-іонних акумуляторів для їх вторинного використання може перевищити 200 ГВт·год/рік до 2030 р., що задовольняє до 60 % світового попиту на стаціонарні системи накопичення енергії. Крім того, літій-іонні акумуляторні батареї від електромобілів, що відробили свій термін служби та вийшли з експлуатації, містять різноманітні високоцінні матеріали, які зведені до таблиці 1 [1].

Таблиця 1 – Високоцінні матеріали в акумуляторах електромобілів, що вийшли з експлуатації [1]

Катодний активний матеріал акумулятора	Частка матеріалу (%)			Вартість (10000 \$ США / тонна матеріалу)		
	Co	Ni	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Co	Ni	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
LiFePO <sub>4</sub>	0	0	23.24	0	0	0,58
LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0	0	20.28	0	0	0,51
LiCoO <sub>2</sub>	60.21	0	37,47	2.01	0	0,94
LiNi <sub>0,33</sub> Co <sub>0,33</sub> Mn <sub>0,33</sub> O <sub>2</sub>	20.28	20.20	38.26	0,68	0,39	0,96
LiNi <sub>0,8</sub> Co <sub>0,15</sub> Mn <sub>0,05</sub> O <sub>2</sub>	9.20	48,87	38.21	0,31	0,96	0,95
LiNi <sub>0,8</sub> Co <sub>0,1</sub> Mn <sub>0,1</sub> O <sub>2</sub>	6.06	48.26	38.00	0,20	0,95	0,95

Погіршення потужності, енергоефективності та ємності акумуляторних батарей електромобілів спостерігається разом зі збільшенням циклів роботи батареї. Втрата ємності є основною причиною виходу акумулятора з експлуатації. Виробники електромобілів зазвичай розглядають можливість заміни акумуляторів, коли акумулятор більше не може задовольняти щоденні потреби електромобіля в дальності пробігу, тому рекомендують замінювати

аккумуляторні батареї в електромобілях, коли їх залишкова ємність зменшується до 80 % початкової ємності.

Більшість аккумуляторних батарей електромобілів, що відробили свій термін служби та зняти з експлуатації, ще мають хороші енергетичні та потужні властивості для повторно використання в інших менш вимогливих сферах, таких як розумні електромережі, малогабаритні низькошвидкісні та персональні електричні транспортні засоби (електричні велосипеди, електричні самокати, тощо) та система зберігання енергії, що інтегровані з відновлюваними енергетичними системами [2]. Для цього аккумулятори, що зняти з експлуатації, потрібно діагностувати та перевіряти, відсортувати та перегрупувати, для їх повторного використання в інших енергетичних сферах. На рисунку 1 наглядно показано життєвий цикл аккумуляторів електромобілів, які отримують повторне використання в інших сферах.



Рисунок 1 – Життєвий цикл літій-іонного аккумулятора електромобіля

Елементи аккумуляторів, що пройшли контроль, відновлення та балансування, збирають у нові аккумуляторні модулі для подальшого перепрофілювання. Технологія відновлення (балансирування) літій-іонних аккумуляторів відкриває можливість підвищити однорідність, надійність і довговічність систем зберігання енергії, що створені на основі батареї другого терміну служби. Після процесу контролю та балансування аккумулятори з високим залишком ємності перепрофілюються для різних стаціонарних систем зберігання енергії, щоб продовжити їх термін служби.

Термін експлуатації аккумуляторних батарей, що зняти з електромобілів, може продовжуватись ще багато років. Зрештою вони переробляються для отримання сировини для виробництва нових аккумуляторів. Водночас весь процес життєвого циклу аккумуляторів електромобілів, які отримують повторне використання в інших сферах, може стати каталізатором для переходу суспільства до сталого майбутнього за тенденції електрифікації транспорту та інших сферах життя [3].

## Висновки

У роботі вирішені науково-практичні задачі, що пов'язані дослідженням життєвого циклу акумуляторів електромобілів. Майбутня тенденція електрифікації транспортних засобів та відновлювальної енергетики полягає у повторному використанні літій-іонних акумуляторних батарей електромобілів для інших застосувань, таких як системи накопичення енергії в різних сферах енергетичного застосування. Перехід до циклічної економіки, створення системи управління та утилізації знятих з експлуатації літій-іонних акумуляторних батарей електромобілів мають вирішальне значення для підвищення стійкості енергетичної галузі.

Друге життя літій-іонних акумуляторних батарей електромобілів є багатообіцяючим шляхом збільшення часу використання акумуляторних систем, тим самим зменшуючи загальні витрати протягом усього терміну служби та збільшуючи використання енергетичних ресурсів.

### Література

1. Managing the surge: a comprehensive review of the entire disposal framework for retired Lithium-ion batteries from electric vehicles / R. Guo et al. Journal of Energy Chemistry. 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2024.01.055> .
2. Debnath U. K., Ahmad I., Habibi D. Gridable vehicles and second life batteries for generation side asset management in the Smart Grid. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2016. Vol. 82. P. 114–123. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.03.006> .
3. Sustainable business model archetypes for the electric vehicle battery second use industry: Towards a conceptual framework / R. Reinhardt et al. Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 254. P. 119994. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.119994> .