

УДК: 629.1.02

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ SOH ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ**

**А.І. Папінко**, ст. викладач, PhD  
**М.В. Буряк**, доцент, канд. техн. наук  
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль

Для оцінки стану акумулятора використовуються різні підходи. Щодо оцінки стану акумулятора (SOH), існують три основні показники, які визначають цей стан: внутрішній опір акумулятора, імпеданс акумулятора та його ємність. Ємність акумулятора відображає кількість енергії, яку акумулятор може зберігати, тоді як внутрішній опір та імпеданс є показниками його потужності. Коли йдеться про гібридні застосування, потужність акумулятора представляє великий інтерес, порівняно з електромобілями, де енергія акумулятора є більш важливою. Тому їхній стан спостерігається за такими показниками потужності, як внутрішній опір та імпеданс. Ці параметри змінюються протягом терміну служби акумулятора через механізми старіння. SOH акумулятора можна розрахувати, використовуючи співвідношення між фактичним значенням показника (ємність, імпеданс або опір) та його початковим значенням. Наприкінці терміну служби, ємність акумулятора може знизитися до 20%, тоді як внутрішній опір зростає до 160% від свого початкового значення. Тому відстеження їх змін, це необхідність для оцінки SOH акумулятора.

Внутрішній опір акумулятора вважається важливим показником стану акумулятора (SOH), який визначає падіння напруги під час подачі струму до акумулятора. На цей параметр сильно впливають старіння та деградація. Його значення збільшується, коли SOH акумулятора зменшується. Тому його часто використовують як надійний показник для оцінки SOH. Найпоширеніший метод називається імпульсним струмом, він базується на законі Ома і вимірює падіння напруги на акумуляторі для заданого струму, а потім обчислює внутрішній опір акумулятора.

$$R_b(\text{SOC}, T) = \frac{OCV(\text{SOC}, T) - V_{bat}(\text{SOC}, T)}{I_{pulse}} \quad (1)$$

$R_b$  - означає внутрішній опір акумулятора,  $OCV$  – напругу холостого ходу,  $V_{bat}$  – напругу, а  $I_{pulse}$  – струм що подається. Цей метод широко використовується для визначення поведінки внутрішнього опору акумулятора в різних робочих умовах з дуже високою точністю.

Також внутрішній опір батареї вимірюється за допомогою втрат енергії, спричинених законом Джоуля, який безпосередньо пов'язаний з цим опором.

$$\frac{dQ_{joule}}{dt} = I_{bat}^2 \cdot R_b \quad (2)$$

$Q_{joule}$  представляє тепло, що генерується акумулятором. Цей метод застосовується з використанням калориметра для вимірювання втрат тепла під час роботи акумулятора.

Внутрішній імпеданс батареї являє собою комбінацію її внутрішнього опору та реактивного опору. Внутрішній імпеданс батареї має тенденцію до збільшення з віком, тому він і вважається індикатором стану батареї (SOH). Найпоширенішим методом вимірювання імпедансу є електроімпедансний спектроскопічний аналіз. Цей метод вимірює імпеданс електричної системи шляхом подачі синусоїдального змінного струму та вимірювання вихідної напруги відгуку, імпеданс вимірюється як функція частоти.

Ємність – це характеристика, яка вказує на загальну кількість енергії, яку може зберігати батарея, відомо, що ця характеристика зменшується зі старінням батареї. Тому експериментальне вимірювання стає одним із найточніших способів оцінки стану акумулятора (SOH). Метод визначення SOH полягає у циклах заряджання/розряджання літій-іонного акумулятора до кінця його життя, основна ідея цього дослідження полягає у визначенні ємності заряджання акумулятора залежно від його напруги для різних рівнів деградації.

Також стан акумулятора можна дослідити, аналізуючи еволюцію кривих його приросту ємності та диференціальної напруги. Фактично, ці параметри змінюються зі старінням акумулятора; тому їх можна використовувати для оцінки стану заряду акумулятора за допомогою експериментальних випробувань. Цей метод полягає в підрахунку кількості циклів, які пройшов акумулятор, та порівнянні її з кількістю, наданою виробником, для оцінки стану заряду. Перевагою даного методу є те, що він враховує такий важливий параметр як - глибина розряду. Кількість циклів, що визначає залишковий корисний термін служби акумулятора, залежить від його стану здоров'я та від врахованого стану глибини розряду.

Наведені методи з їхніми перевагами та недоліками наведені в таблиці 1

Таблиця 1 - Експериментальні методи.

Методи	Переваги	Недоліки
Вимірювання внутрішнього опору	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Простий та надійний метод</li> <li>• Точність вимірювання</li> </ul>	Потребує значного часу
Вимірювання внутрішнього імпедансу	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Найвища точність вимірювання</li> <li>• Здатен надати інформацію про причини деградації акумулятора</li> </ul>	Спирається на інформацію про хімічний склад акумулятора
Вимірювання ємності	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Швидкість</li> </ul>	Неможливо, коли акумулятор працює (потрібно повністю зарядити акумулятор)

У гібридних автомобілях батарея має забезпечувати та поглинати високі імпульсні струми під час прискорення та рекуперативного гальмування, ці операції безпосередньо залежать від її здатності швидко віддавати та приймати енергію, тому для оцінки SOH краще використовувати методи внутрішнього опору, та методи внутрішнього імпедансу, саме вони забезпечують найвищу точність вимірювання.

Список використаних джерел

1. R. Xiong, J. Cao, Q. Yu, H. He and F. Sun, "Critical Review on the Battery State of Charge Estimation Methods for Electric Vehicles," in IEEE Access, vol. 6, pp. 1832-1843, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2780258.
2. I. Sajfar, M. Malaric and R. P. Bullough, "Sealed batteries in transient limiting distribution networks-methods of measuring their internal resistance," 12th International Conference on Telecommunications Energy, Orlando, FL, USA, 1990, pp. 458-463, doi: 10.1109/INTLEC.1990.171286.
3. N. Noura, L. Boulon and S. Jemei, "An Online Identification Based Energy Management Strategy for a Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle," 2019 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Hanoi, Vietnam, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/VPPC46532.2019.8952320.
4. Аулін В.В., Кульова Д.О., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Оцінювання ризиків несхоронних перевезень нафтопродуктів автомобільним транспортом. Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 10(41), ч.ІІ, С. 205-213. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).2.205-213](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.205-213)
5. Кульова Д.О., Магопєць С.О., Лівіцький О.М. Безпека дорожнього руху в Україні: оцінювання ризиків і перспективи цифровізації. Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11(42), ч.ІІ. С. 298-312. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.278-285](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.278-285)