

## Секція 6. ЕЛЕКТРИЧНІ, ГІБРИДНІ, АЛЬТЕРНАТИВНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ, СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

### ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТВЕРДОТІЛЬНИХ АКУМУЛЯТОРІВ

**Багач Руслан Володимирович**, асистент кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [bagach.ruslan@gmail.com](mailto:bagach.ruslan@gmail.com), ORCID: [0000-0003-0157-5933](https://orcid.org/0000-0003-0157-5933)

Літій – іонний акумулятор був спроектований ще 1980 року. Конструкція передбачає наявність чотирьох елементів, таких як позитивно та негативно заряджених електродів, сепаратора та рідкого електроліту [1, 2].

Все ж літій-іонні батареї поступово йдуть на задній план, тому що на їх заміну прийшли акумуляторні твердотільні батареї. Створення твердотільного акумулятора стало проривом у галузі акумуляторів для електромобілів.

В технології твердотільних літєвих акумуляторів використовується з'єднання скла з літію і натрію як провідний матеріал. Структура літій-іонного та твердотільного акумулятора представлена на рис. 1. [3, 4].

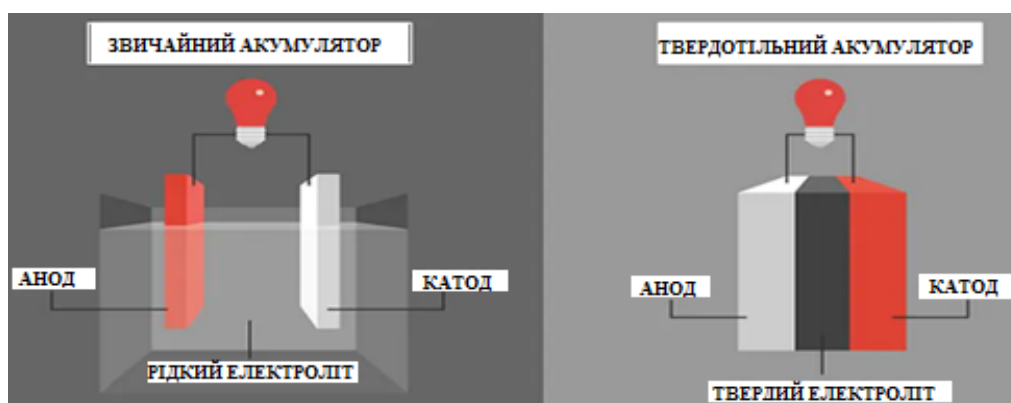


Рисунок 1 – Структура літій-іонного акумулятора, структура твердотільного акумулятора.

Перелік основних шарів літій-іонної батареї та батареї з твердотілим електролітом представлено на рис. 2.

Чи зможуть твердотільні батареї замінити літій-іонні, мабуть, та принаймні саме в цьому напрямку все йде. Насправді багато автовиробників вже інвестують у цю технологію фінанси, включаючи Volkswagen, Toyota, Ford і BMW. Однак на практиці осередки твердотільних батарей виробляються в поодиноких примірниках у лабораторіях, і довести їх до масового виробництва – дороге і поки що недостатньо опрацьоване завдання. Важко розробити твердий електроліт, який був одночасно стабільним, хімічно інертним і хорошим провідником

іонів між електродами. Крім того, електроліти занадто дорогі у виробництві і схильні до розтріскування при використанні через їхню крихкість при розширенні та стисканні [5, 6].

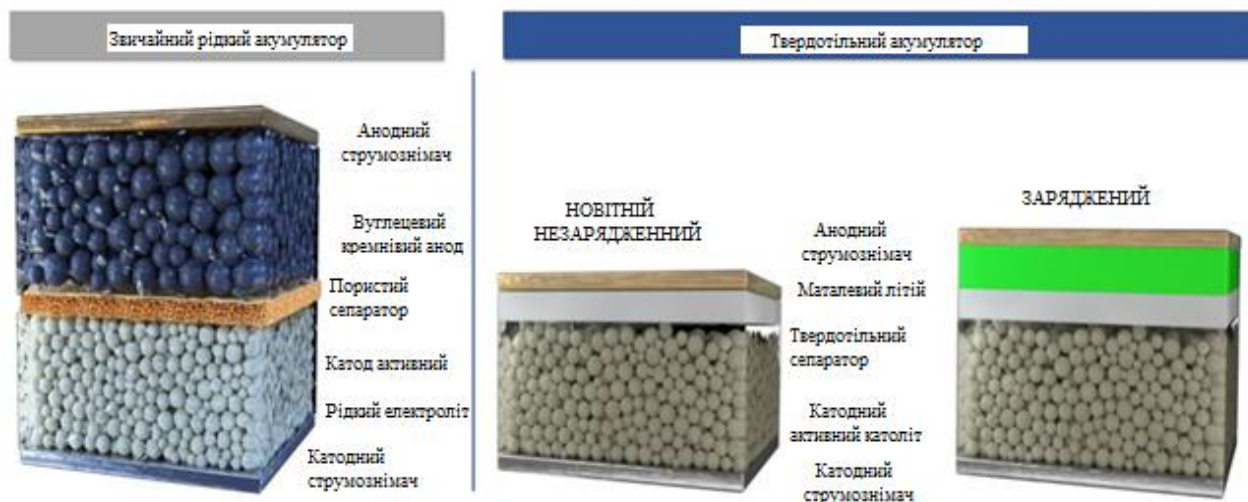


Рисунок 2 – Основні шари літій-іонної батареї та батареї з твердотілим електролітом.

В останні роки було проведено багато досліджень, які стали на меті вирішення цієї проблеми. Дослідники розробили так звані змішані іонно-електронні провідники (МІЕС), а також електронні та літій-іонні ізолятори (ЕІ). Це тривимірна стільникова архітектура з нанорозмірними трубками МІЕС. Трубки заповнені літійом, який утворює анод. Ключова частина цього відкриття полягає в тому, що стільникова структура дає простір літію розширюватися і стискатися під час заряджання та розряджання. Таке "дихання" акумулятора дозволяє уникати тріщин. Покриття трубок ЕІ діє як бар'єр, що захищає їх від електроліту. Ось така структура твердотільної батареї позбавляє нас необхідності додавати будь-яку рідину або гель, а отже дозволяє уникати дендритів.

Компанія під назвою Ion Storage Systems розробила надтонкий керамічний електроліт завтовшки близько 10 мікрометрів, приблизно такої ж товщини, як сучасні пластикові роздільники, які використовують рідкі електроліти. Кожна сторона керамічного електроліту покрита супертонким шаром оксиду алюмінію, який допомагає зменшити опір. Прототип батареї має енергоємність близько 300 Вт·год/кг і здатний заряджатися за 5-10 хвилин цей тип акумулятора представлено на рис. 3. Для порівняння: сучасні акумулятори NCA досягають енергоємності близько 250 Вт·год/кг.

Твердотілі батареї мають великі перспективи. Проблема в тому, що виробництво таких батарей складно та дороге в порівнянні з літій-іонними акумуляторами, причому однією з основних проблем є дефекти плівок ефекроліту, які є ключовими для батарей. Крихітні бульбашки, що утворюються в плівці, перешкоджають переміщенню іонів між електродами, уповільнюючи заряджання [7, 8].

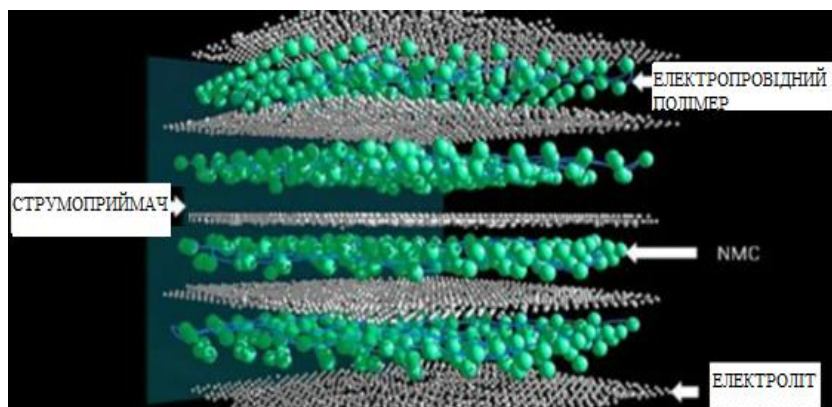


Рисунок 3 – Прототип батареї з надтонким керамічним електролітом

Щоб подолати цю проблему, команда Oak Ridge додала етап нагрівання, а потім охолодження електроліту під тиском. В результаті була отримана плівка без бульбашок і з більш високим вмістом азоту на поверхні, яка також була майже в 1000 разів провіднішою, показала поліпшення щільності критичного струму майже на 50% і кращу літіофільність, що є ключовим фактором у твердотільних батареях приклад представлений на рис.4.

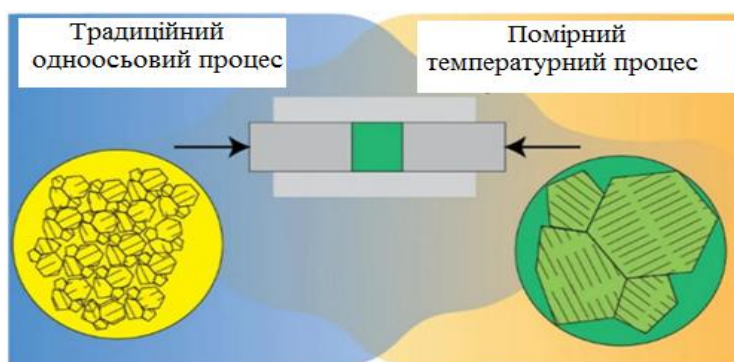


Рисунок 4 – Нагрів та охолодження електроліту під тиском покращили якості твердотільних акумуляторів

Такий процес не тільки підвищує продуктивність, а й відкриває можливості для більш надійної обробки твердих електролітів у промислових масштабах, оскільки інженери матимуть більший контроль над процесом.

### Висновки

Принцип роботи твердотільної батареї такий, як і у літій-іонної батареї, проте твердотільні батареї можливо по праву вважати батареєю нового покоління, яка замінює рідкий електроліт на твердий. Вона має міцну стійкість, тому не загориться і не вибухне навіть у разі проколу.

Твердотільні батареї мають великий потенціал, але перед їх широким прийняттям доведеться подолати кілька проблем. Одна з проблем полягає у забезпеченні хорошої продуктивності твердого електроліту при дедалі нижчих температурах. Крім того, твердотільні батареї повинні продемонструвати

тривалий цикл роботи та підтримувати високу провідність за субнульових температур. Дослідники працюють над розробкою твердотільних батарей без дорогого літію, що стало можливим завдяки проривам у магнієвій провідності. Це може прокласти шлях до більш доступної та стійкої технології твердотільних батарей у майбутньому.

Твердотільні батареї пропонують безліч переваг у порівнянні з традиційними літій-іонними батареями, включаючи більш високу енергетичну щільність, підвищену безпеку і, можливо, нижчий екологічний слід. Хоча вони можуть вимагати більше літію в порівнянні з поточною технологією літій-іонних акумуляторів, загальні переваги твердотільних батарей роблять їх перспективним варіантом для майбутнього енергопостачання та електромобільності. У міру продовження досліджень, ймовірно, використання літію в твердотільних батареях буде оптимізовано, що додатково підвищить їх потенціал як сталого та ефективного рішення для зберігання енергії.

### Література

1. Гнатов А. В. Електромобілі – майбутнє, яке вже настало / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, О. А. Ульянець // Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. – Х.: ХНАДУ, 2017. – № 11. – С. 24-28. – ISSN 2226-9266– Режим доступа: [http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_SIS/AE17\\_1/1.4.pdf](http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE17_1/1.4.pdf)

2. Багач Р.В. Перспективи подальшого вдосконалення акумуляторних батарей для електромобілів. Міжнародна науково-практична конференція присвячена 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету " Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців" 27-29 жовтня 2021 р. – Харків: ХНАДУ, 2021. – 415 с. – С. 346-349.

3. Демчук, Д. Л. "Композитний електроліт для твердотільного літійового акумулятора." *Наукові розробки молоді на сучасному етапі*. Київський національний університет технологій та дизайну, 2019.

4. Лісовський, І. В., et al. "РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОЗИТНОГО ЕЛЕКТРОЛІТУ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ LATP/LIPF."

5. Shukla, A. K., and T. Prem Kumar. "Materials for next-generation lithium batteries." *Current science* 94.3 (2008): 314-331.

6. Заворотній, Владислав Дмитрович. *Електромеханічна система електромобіля*. BS thesis. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.

7. Belous, A., et al. "All solid-state battery based on ceramic oxide electrolytes with perovskite and NASICON structure." *Journal of Solid State Electrochemistry* 22 (2018): 2315-2320.

8. Mas, Hanna, et al. "SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF ELECTROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF OXIDE Li-CONDUCTIVE MATERIALS WITH SPINEL AND PEROSKITE STRUCTURES." *Ukrainian Chemistry Journal* 89.1 (2023): 3-17.