

## СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

**Лісовий О.Р.,** магістрант, **Бурик М.П.,** к.т.н., доцент, **Лободзинський В.Ю.,** к.т.н., доцент

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки*

**Вступ.** Системи накопичення енергії в сучасному світі відіграють все більш важливу роль у забезпеченні сталого та надійного постачання енергії, а також в оптимізації використання різних джерел енергії [1, 2]. Зростаючі проблеми з екологічною стійкістю, зміни клімату та нестабільність цін на паливо підкреслюють важливість розвитку та впровадження систем накопичення енергії як ключового компонента сучасних енергетичних систем.

**Метою статті** є дослідження систем накопичення електричної енергії для збільшення максимально допустимого значення потужності, яка може бути передана навантаженню. Визначення найбільш ефективнішої системи накопичення. Проведення аналізу характеристик існуючих електрохімічних накопичувачів.

**Матеріали і результати досліджень.** Системи накопичення енергії включають в собі різні технології. Серед яких: механічна (кінетична), термічна, хімічна, електрична та електрохімічна [3].

До механічної технології відносять: ГАЕС, на яких відбувається зберігання і створення енергії із застосуванням 2-х резервуарів з водою, що розташовані на різних висотах; застосування стисненого повітря – це накопичувачі, у яких стискається повітря та залишається під тиском у спеціальній ємності; маховики – це механічні пристрої, у яких використовується енергія обертання, яка накопичується та зберігається у вигляді кінетичної енергії.

До термічної технології слід віднести: термохімічні та геотермальні накопичувачі. Також існують сховища теплової енергії, у яких відбувається акумулювання тепла, щоб створити енергію та виділити її за потреби споживача.

У хімічній технології зберігання енергії базується на перетворенні енергії на газ. Прикладом являється отримання водню та синтез природного газу.

Електричним накопичувачем вважається суперконденсатор. Ці пристрої з'явилися ще у кінці 1970-х, але від того часу потужність їх значно зросла. Суперконденсатори застосовуються де необхідне потужне пікове навантаження, для прикладу, в електрозварюванні, в якому струм досягає кількох тисяч ампер або у гібридних авто, у системах «стоп-старт».

Електрохімічна технологія являє собою поєднання електричної та хімічної технологій, тобто ця технологія є комбінованою. Електрохімічні накопичувачі, також відомі як акумулятори або батарейки, це пристрої, які призначені для зберігання електричної енергії та її подальшого використання. Вони працюють на основі електрохімічних процесів, що відбуваються між різними матеріалами у їхніх анодах і катодах.

Електрохімічна технологія накопичення енергії така, як батареї і акумулятори, має свої унікальні переваги порівняно з механічними, термічними, електричними та хімічними методами накопичення енергії.

По-перше, електрохімічні системи можуть бути дуже ефективними в перетворенні та зберіганні енергії. Вони можуть накопичувати та витратити енергію з високим коефіцієнтом корисної дії.

По-друге, батареї та акумулятори можуть накопичувати значну кількість енергії на одиницю об'єму або маси, що дозволяє забезпечувати тривалу роботу пристроїв.

По-третє, батареї і акумулятори можуть бути багаторазово заряджені та розряджені, що робить їх довготривалими та стійкими.

Існують різні типи акумуляторів, серед яких: літій-іонні (Li-ion), літій-залізо-фосфатні (LiFePO<sub>4</sub>), свинцево-кислотні (lead-acid battery), нікель-метал-гідридні (NiMH), нікель-залізні (Ni-Fe), нікель-кадмієві (Ni-Cd) тощо [3].

Літій-іонні. Відповідний тип акумулятора широко використовується у побуті: ноутбуки, мобільні телефони, ліхтарики, пульти керування, годинники, радіо, комп'ютерні миші, електромобілі [4] тощо.

Принцип роботи Li-іон акумулятора зображений на рис. 1.

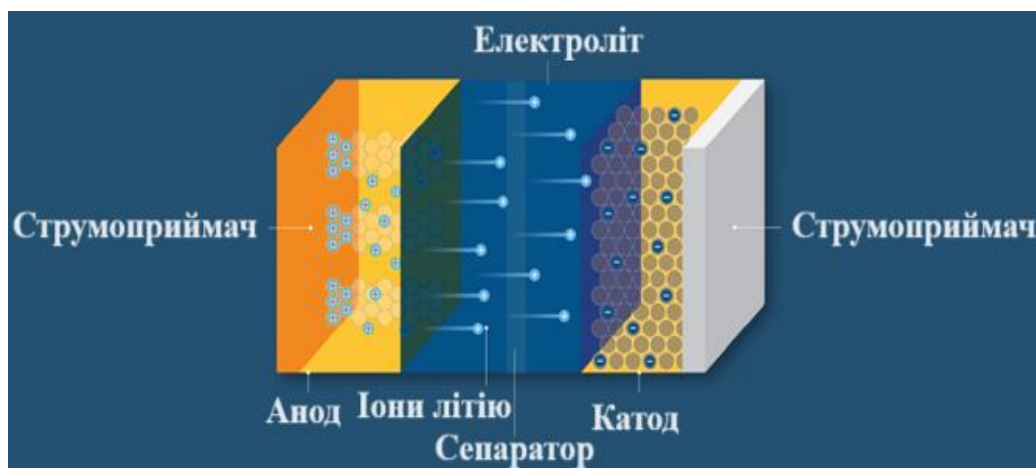


Рисунок 1 – Принципова схема Li-іон акумулятора

Літій-іонний акумулятор складається з кількох основних компонентів: анод (позитивний полюс); катод (негативний полюс); полімерний або рідкий електроліт є провідником іонів літію між анодом і катодом; мембрани та розділові елементи (сепаратор) використовуються для ізоляції анода від катода, але дозволяють іонам літію переходити через електроліт під час роботи акумулятора. Літій-іонні акумулятор також може містити системи контролю та захисту від перенапруги, перегріву, короткого замикання та інших потенційно небезпечних ситуацій.

Літій-залізо-фосфатний акумулятор. LiFePO<sub>4</sub> акумулятор складається з наступних елементів: анод, призначений для виділення літєвих іонів під час розрядження акумулятора; катод, містить літєвий залізофосфат (LiFePO<sub>4</sub>) як активний матеріал; електроліт, може бути літєвою солю у органічних розчинниках; корпус та кришка; виводи; сепаратор, розміщений між анодом і

катодом, призначений для унеможливлення виникнення короткого замикання, а також сприяє передачі іонів.

LiFePO<sub>4</sub> акумулятор широко застосовується у портативних електронних пристроях, електричних транспортних засобах, сонячних батареях та у місцях, де важливі властивості, такі як висока енергоефективність та низький рівень саморозряду.

Свинцево-кислотний акумулятор. Цей тип акумулятора складається з наступних основних компонентів: пластина аноду, яка служить для відпускання електронів під час розрядження акумулятора; пластина катода, що взаємодіє з кислотою під час розрядження та зарядки; роздільник, розміщений між пластинами аноду і катода, щоб запобігти короткому замиканню і допомагає передавати іони між пластинами; виводи; корпус і кришка; електроліт - це розчин кислоти (зазвичай сірчаної кислоти, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) у воді, який призначений для передачі іонів між пластинами аноду і катода під час розрядження і зарядження акумулятора.

Існують деякі типи свинцево-кислотного акумулятора, серед яких Gel та AGM. У Gel акумуляторах електроліт не рідкий, а у вигляді гелю. Gel акумулятор має більш тривалий термін експлуатації. У AGM акумулятора використовується у вигляді сепаратору скломат, який поглинає розчин електроліту між пластинами акумулятора. AGM акумулятор менш чутливий до низьких розрядів.

Свинцево-кислотний акумулятор широко використовується в різних застосуваннях, таких як автомобільні акумулятори, резервні джерела живлення, акумулятори для електростанцій та сонячних батарей, портативні пристрої, морський та рибальський транспорт, та багато інших.

Нікель-метал-гідридний акумулятор. NiMH акумулятор містить в своєму складі такі елементи: анод; катод; електроліт, який допомагає передавати іони між анодом і катодом під час заряджання та розрядження; корпус та кришка; виводи; роздільник, використовується, щоб запобігти короткому замиканню і сприяти передачі іонів.

Нікель-метал-гідридний акумулятор застосовується у портативних пристроях, таких як: мобільні телефони, ноутбуки, комп'ютерні миші фотокамери, відеокамери, іграшки тощо.

Нікель-залізний акумулятор. Ni-Fe акумулятор був розроблений Томасом Едісоном і використовувався в різних застосуваннях в історії, включаючи електричні автомобілі та станції зберігання енергії.

Ni-Fe акумулятор складається з наступних елементів: анод, зазвичай виготовляється з металевого заліза або залізних сплавів, ця частина бере участь у хімічних реакціях під час зарядження та розрядження акумулятора; катод у цих акумуляторах зазвичай виготовляється з нікелевого гідроксиду (Ni(OH)<sub>2</sub>), служить для приймання електронів під час процесу заряджання; електроліт може бути калійний або натрієвий гідроксид, який допомагає передавати іони між анодом і катодом під час зарядження та розрядження; роздільник, зазвичай виготовлений з матеріалів, які не проводять електричний струм, розміщений

між анодом і катодом, щоб запобігти короткому замиканню і сприяти передачі іонів; корпус і кришка; виводи.

Нікель-кадмієвий акумулятор. До складу Ni-Cd акумулятора входять: анод, виготовляється з порошку кадмію (Cd) або кадмієвого оксиду (CdO); катод, містить порошок нікелевого гідроксиду (Ni(OH)<sub>2</sub>) як активний матеріал; електроліт, складається з розчину калійгідроксиду (KOH), електроліт дозволяє іонам переміщатися між анодом та катодом під час заряджання та розряджання акумулятора; сепаратор - це матеріал, який розділяє анод і катод, запобігаючи короткому замиканню між ними, але дозволяє іонам проходити; обгортка у якій зберігається акумулятор. Нікель-кадмієвий акумулятор у розрізі зображений на рис. 2.

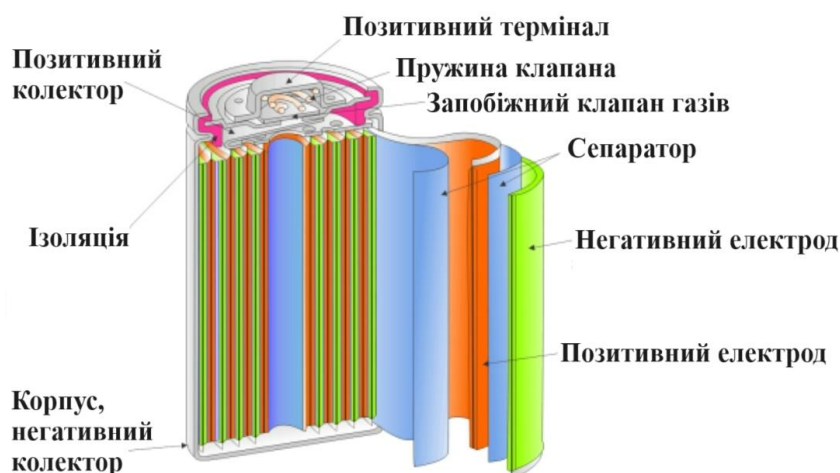


Рисунок 2 – Структурна схема нікель-кадмієвого акумулятора

У теперішній час використання Ni-Cd акумуляторів обмежене, через суттєві недоліки, які обумовленні меншою потужністю, у порівнянні з NiMH та NiFe акумуляторами. Раніше ці акумулятори застосовувались у радіоприймачах, портативних пристроях, переносних калькуляторах. Зараз їх широко використовують у: електромобілях, як тягові акумулятори; трамваях; тролейбусах; авіації, у якості бортових акумуляторних батарей.

Визначимо переваги та недоліки різних типів акумуляторів, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки різних типів акумуляторів

Тип акумулятора	Переваги	Недоліки
Літій-іонні (Li-ion)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Довгий термін служби</li> <li>2. Відсутність ефекту пам'яті</li> <li>3. Не потребують обслуговування</li> <li>4. Робота при низьких температурах</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обмежений термін служби</li> <li>2. Висока вартість</li> <li>3. Вогненебезпечні</li> </ol>

Таблиця 1 – Переваги та недоліки різних типів акумуляторів (продовження)

Тип акумулятора	Переваги	Недоліки
Літій-залізо-фосфатні (LiFePO <sub>4</sub> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Збільшений термін служби</li> <li>2. Відсутність ефекту пам'яті</li> <li>3. Екологічно чисті</li> <li>4. Легкі</li> <li>5. Швидка зарядка</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чутливість до низьких температур</li> <li>2. Великі габарити</li> <li>3. Висока вартість</li> </ol>
Свинцево-кислотні (lead-acid battery)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низький рівень саморозряду</li> <li>2. Стійкість до перепаду напруг</li> <li>3. Високий ККД</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Великі габарити</li> <li>2. Чутливі до глибокого розряду</li> <li>3. Мала кількість циклів заряду-розряду</li> </ol>
Нікель-метал-гідридні (NiMH)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока потужність</li> <li>2. Низький рівень ефекту пам'яті</li> <li>3. Екологічно чисті</li> <li>4. Висока механічна надійність</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Високий рівень саморозряду</li> <li>2. Невелика кількість циклів заряду-розряду</li> </ol>
Нікель-залізні (Ni-Fe)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Високий термін служби</li> <li>2. Велика кількість циклів заряду-розряду</li> <li>3. Екологічно чисті</li> <li>4. Висока безпека експлуатації</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока вартість виробництва</li> <li>2. Високий саморозряд</li> <li>3. Низька питома енергія</li> </ol>
Нікель-кадмієві (Ni-Cd)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низька вартість</li> <li>2. Швидко заряджаються</li> <li>3. Довговічні</li> <li>4. Видають великий струм навантаження</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Високий саморозряд</li> <li>2. Постійна необхідність повного заряджання</li> </ol>

**Висновки.** Сучасне енерговикористання вимагає від енергосистем застосування накопичувачів енергії: механічних, термічних, хімічних, електричних та електрохімічних. Всі ці системи відіграють важливу роль для сталості та надійності енергетичного постачання.

Електричні пристрої, що здатні витримувати щоденні заряди/розряди при середній тривалості циклів 5 – 10 годин, змінювати безінерційно власний режим роботи та дозволяти масштабувати збільшення номінальної енергоемності, відповідають системам накопичення електричної енергії з підсистемами накопичення електрохімічного типу. Вони підвищують

пропускну спроможність мережі електроживлення. Але ефективність акумуляторних батарей, які є складовою цих систем, залежить від умов та режимів використання. При низьких температурах краще працюють Ni-Cd та Li-іон акумулятори, а якщо потрібна електрохімічна система з більшої кількості циклів заряд-розряд, то в цьому випадку найкраще підійдуть Li-ion, LiFePO<sub>4</sub> та Ni-Fe акумулятори.

Аналіз електрохімічних систем накопичення показує, що найбільш рекомендованою до використання є підсистема на базі літій-іонних акумуляторних батарей, яка забезпечує найбільшу потужність, середнє значення коефіцієнта корисної дії та терміну експлуатації.

#### **Перелік посилань**

1. Веремійчук Ю.А., Опришко В.П., Притискач І.В., Ярмолюк О.С. Оптимізація функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів. Київ, Видавничий дім «Кий», 2020. 186 с.
2. Лободзинський В. Ю., Бурик М. П., Петрученко О. В., Ілліна О. О. Вплив системи Smart Grid на національну енергетичну мережу. Енергетика: економіка, технології, екологія: науковий журнал, 2022, № 1, с. 57-64. doi.org/10.20535/1813-5420.1.2022.259182
3. Керєя Ю.Б. Роль системи накопичення енергії у електроенергетичній системі // Ю.Б.Керєя, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: 2022. – С.
4. С. Mi, В. Li, D. Buck, and N. Ota, —Advanced electro-thermal modeling of lithiumion battery system for hybrid electric vehicle applications, in Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007. VPPC 2007. IEEE, pp. 107–111, 2007.