

АНАЛІЗ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Ковальов О.О., к.т.н., ст.викл; Паляничка Н.О., к.т.н., доц; Ковальов М.К., здобувач бакалавріату, (ТДАТУ, м. Запоріжжя, Україна)

Summary. *The analysis of energy storage for low-power process systems includes the evaluation of different types of batteries, each of them has its own advantages and disadvantages that affect their use in different process.*

Системи накопичення енергії відіграють ключову роль у технологічних процесах, зокрема в малопотужних системах, таких як електроніка, IoT, портативні пристрої або автономні сенсори. Розглянемо переваги, недоліки, застосування та перспективи розвитку основних видів накопичувачів енергії.

1. Акумулятори (хімічні батареї)

Типи: *Літій-іонні (Li-ion):* Найпоширеніший тип завдяки високій щільності енергії; *Літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄):* Менше деградують, безпечніші; *Нікель-метал-гідридні (NiMH):* Використовуються для пристроїв із середньою потужністю.

Переваги: висока енергетична щільність, легка інтеграція в електронні системи, відносно невеликі розміри та вага.

Недоліки: обмежений термін служби (цикли зарядки-розрядки), термінальна деградація при високих температурах, екологічні проблеми утилізації.

Застосування:

- Мобільні пристрої, електроніка IoT, портативні системи з живленням.

2. Маховики

Маховик накопичує енергію через обертання, зберігаючи її як кінетичну.

Переваги:

- Тривалий термін служби (до 20 років).
- Висока ефективність (до 90%).
- Відсутність хімічної деградації.

Недоліки: чутливість до механічних пошкоджень, висока вартість виготовлення, обмежена енергетична щільність.

Застосування:

- Критично важливі системи з короткотривалим резервом енергії, наприклад, аварійне живлення.

3. Теплові акумулятори

Енергія зберігається у вигляді тепла за допомогою фазових змін матеріалів (PCM) або високотемпературного теплоносія.

Переваги: висока довговічність, простота конструкції, підходить для накопичення відновлюваної енергії.

Недоліки:

- Низька енергетична щільність порівняно з батареями.
- Втрата тепла з часом.

Застосування:

• Технологічні процеси, що потребують стабільного теплового джерела.

4. Водневі паливні елементи

Конвертують хімічну енергію водню в електрику шляхом електрохімічної реакції.

Переваги:

- Екологічність (викиди лише вода).
- Висока щільність енергії.
- Швидке відновлення запасів (заправка воднем).

Недоліки: висока вартість виробництва водню, необхідність спеціальної інфраструктури, чутливість до якості водню.

Застосування:

- Портативні системи, автономні пристрої, мобільні платформи.

5. Напівпровідникові накопичувачі (суперконденсатори)

Зберігають енергію у вигляді електростатичного заряду.

Переваги: надзвичайно швидке заряджання і розряджання, тривалий термін служби (мільйони циклів), стійкість до екстремальних температур.

Недоліки:

- Низька щільність енергії порівняно з батареями.
- Висока вартість за одиницю збереженої енергії.

Застосування:

- Енергозабезпечення пристроїв із короткими імпульсами споживання енергії

Порівняльна таблиця

Тип накопичувача	Щільність енергії	Цикли життя	Швидкість зарядки	Екологічність	Вартість
Літій-іонні батареї	Висока	500–1500	Середня	Помірна	Помірна
Маховики	Низька	20+ років	Висока	Висока	Висока
Теплові акумулятори	Низька	10–15 років	Низька	Висока	Низька
Водневі елементи	Висока	5000+	Середня	Дуже висока	Висока
Суперконденсатори	Низька	Мільйони	Дуже висока	Висока	Висока

Вибір накопичувача енергії для малопотужних систем залежить від вимог до щільності енергії, циклічності, розміру та вартості. Для тривалого живлення найкращим рішенням є літій-іонні батареї або водневі елементи. Маховики та теплові акумулятори ефективні у специфічних умовах, а суперконденсатори підходять для короткотривалих високопотужних застосувань.