

# ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ РІЗНИХ ТИПІВ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ СИСТЕМ БАЛАНСУВАННЯ

<sup>1</sup> Сагара А.В., аспірант, <sup>1,2</sup> Будько В.І., д.т.н., доцент

<sup>1</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії,

<sup>2</sup> Інститут відновлюваної енергетики НАН України

**Вступ.** Стрімке зростання відсотку складно прогнозованих джерел енергії в енергосистемі України вимагає підвищення рівня маневрених потужностей. Водночас останнім часом загострюється проблема погіршення якості електроенергії в точці підключення ВДЕ, зокрема сонячних електростанцій. Значна відстань до трансформатора та стан ліній електропередач створюють умови підвищення напруги на клеммах СЕС, що перевищують встановлений державою ліміт – 242 В [1]. Вирішення цього питання досліджується фахівцями по всьому світу. Перспективним рішенням є використання електрохімічних акумуляторів, що дозволять акумулювати та віддавати енергію в необхідний для підтримки енергосистеми час.

Є фактори які сповільнюють впровадження таких систем в енергосистему України та світу, зокрема вартість електрохімічних акумуляторів. Для впровадження систем балансування на основі АБ необхідно досягнути хоча б рівня безбитковості такого рішення.

**Метою роботи** є техніко-економічний розрахунок використання різних типів електрохімічних акумуляторів в системах балансування. Сучасні інвертори можуть працювати з різними типами АБ, які задовольняють робочий рівень напруги приладу. Тому, у роботі не буде враховуватись вартість перетворювальної техніки, оскільки вона є основою будь якої системи.

**Матеріали і результати досліджень.** Серед актуальних електрохімічних електросистем розглянемо наступні:

1. Свинцево-кислотні, а саме:

1) AGM

2) GEL

2. LiFePO<sub>4</sub>

AGM (Absorbent Glass Mat) – герметизовані АБ в яких використовується скловолоконний матеріал, що виконує подвійну функцію: резервуара для електроліту та одночасно сепаратора, електрично розділяє позитивну і негативну пластини. Середня кількість циклів заряду/розряду при глибині розрядки (DOD) 50% - 450. Рекомендований максимальний струм розряду  $k_I=0,2 \cdot C$ .

GEL - герметизовані АБ в яких простір між електродами заповнений пористим силікогелем, в якому знаходиться кислотний електроліт. Середня кількість циклів заряду/розряду при DOD=50% - 550. Рекомендований максимальний струм розряду  $k_I=0,1 \cdot C$ .

LiFePO<sub>4</sub> – різновид літій-іонного акумулятора в якому в якості активної маси катоду використовується LiFePO<sub>4</sub>. Середня кількість циклів

заряду/розряду при  $DOD = 90\%$  - > 6000 циклів. Рекомендований максимальний струм розряду  $k_{I\_bat}=1 \cdot C$ .

Для проведення розрахунку задамо умовні вимоги до системи:

1. Номінальна потужність системи  $P_{sys\_nom} = 10$  кВт.
2. Ємність системи  $C_{sys} = 1000A \cdot год$ .
3. Середня робоча напруга  $U_n = 48V$ .

Для розрахунку необхідної кількості елементів скористаємось наступним алгоритмом

1. Визначимо кількість послідовно з'єднаних елементів

$$N_{series} = U_n / U_{bat},$$

де  $U_{bat}$  - середня напруга одного акумулятора.

2. Визначимо кількість паралельно під'єднаних елементів враховуючи необхідну ємність системи:

$$N_{shunt} = C_n / (C_{bat} \cdot DOD),$$

де  $C_{bat}$  - ємність одного акумулятора,

$DOD$  – допустима глибина розрядки елемента.

3. Визначимо коефіцієнт струмового навантаження на АБ, як відношення максимального струму системи та сумарної ємності АБ:

$$k_{I\_sys} = (P_{sys\_nom} / U_n) / C_{bat\_sys},$$

де  $C_{bat\_sys} = C_{bat} \cdot N_{shunt}$  - ємність системи АБ.

4. Перевіримо виконання умови  $k_{I\_sys} \leq k_{I\_bat}$ . У разі не виконання умови, збільшуємо кількість паралельних віток.

Проведемо розрахунок для свинцево-кислотних AGM акумуляторів фірми Challenger A12:

1. Одинична середня напруга елемента – 12В, тоді  $N_{series} = 48/12=4$  шт.
2. Обираємо елемент одиничною ємністю  $C_{bat} = 200 A \cdot год$ ,  $DOD=0.5$ , тоді мінімальна кількість паралельних віток:

$$N_{shunt} = 1000 / (200 \cdot 0,5) = 10 \text{ шт.}$$

3. Коефіцієнт струмового навантаження складає:

$$k_{I\_sys} = (10 \cdot 1000 / 48) / (200 \cdot 10) = 0,104$$

4. Для AGM  $k_{I\_bat} = 0.2$ . Умова  $k_{I\_sys} \leq k_{I\_bat}$  виконується.

Результати аналізу наведені в табл. 1.

Для порівняння різних типів АБ порівняємо умовну вартість одного циклу  $C_{cycle}$ , яку визначимо як відношення вартості системи до середньої кількості циклів АБ:

- AGM, середня кількість циклів – 450, тоді:  
 $C_{cycle} = 470000 / 450 = 1044,5$  грн/цикл
- GEL, середня кількість циклів – 450, тоді:  
 $C_{cycle} = 590964 / 550 = 1074,5$  грн/цикл

LiFePO<sub>4</sub>, середня кількість циклів – 6000, тоді:

$$C_{cycle} = 941160 / 6000 = 156,86 \text{ грн/цикл}$$

Таблиця 1 – Порівняння вартості різних типів електрохімічних систем

Назва	К-ть елементів	Ціна АБ, грн	Ціна системи, грн
Challenger A12 AGM ( $U_{bat} = 12В$ , $C_{bat} = 200А.год$ )	40	11750[2]	470000
Challenger G12 GEL ( $U_{bat} = 12В$ , $C_{bat} = 200А.год$ )	44	13431[3]	590964
Pylontech US2000 LiFePO <sub>4</sub> ( $U_{bat} = 48В$ , $C_{bat} = 50А.год$ )	23	40920[4]	941160

**Висновки.** У роботі проведено економічне порівняння AGM, GEL та LiFePO<sub>4</sub> акумуляторів для використання у системах балансування мережі.

Не зважаючи на значну вартість літій залізофосфатних акумуляторів (818 грн/А·год) у порівнянні з AGM(58,75 грн/А·год) та GEL(67,20) грн/А·год, ці елементи є більш рентабельними адже мають значну перевагу у кількості циклів (~ в 11 разів більше) та рекомендованій глибині розряду 90%.

При цьому, якщо порівняти AGM та GEL системи, друга має перевагу лише у низькопотужних системах, адже має удвічі менше рекомендоване струмове навантаження. Проте через низьку кількість циклів заряду/розряду данні типи акумуляторів не рекомендовано використовувати у системах балансування.

#### Перелік посилань

1. Норми якості електричної енергії. Дата оновлення 14.08.2020 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.nerc.gov.ua/?id=19529>
2. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-challenger-a12-200/>
3. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-challenger-g12-200/>
4. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-pylontech-us2000b-plus-2-2-kvt-ch-48v/>