

Артем Фесенко, Роман Єршов, Сергій Степенко

ОГЛЯД ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Артём Фесенко, Роман Ершов, Сергей Степенко

ОБЗОР И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Artem Fesenko, Roman Yershov, Serhii Stepenko

OVERVIEW AND REASONING OF STORAGE BATTERIES SELECTION FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM BASED ON PHOTOVOLTAIC CONVERTERS

Розглянуто проблему вибору типу акумуляторної батареї для використання у складі автономної системи електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів. Сучасний ринок насичений різноманітними типами та моделями акумуляторів, що робить остаточний вибір достатньо складним. Запропонована методика базується на порівнянні питомої ємнісної вартості, напруги однієї комірки, об'ємної ємності, строку експлуатації та екологічності розглянутих типів акумуляторів. Проаналізовано переваги та недоліки основних типів акумуляторів під час їх роботи у складі автономної системи електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів. З використанням запропонованої методики обрано оптимальний тип батарей для заданого застосування.

Ключові слова: акумуляторна батарея, свинцево-кислотні акумулятори, нікель-кадмієві акумулятори, літій-іонні акумулятори, питома ємнісна вартість, об'ємна ємність.

Табл.: 6. Рис.: 4. Бібл.: 17.

Рассмотрена проблема выбора типа аккумуляторной батареи для использования в составе автономной системы электропитания на основе фотоэлектрических преобразователей. Современный рынок насыщен разнообразными типами и моделями аккумуляторов, что делает окончательный выбор достаточно сложным. Предложенная методика базируется на сравнении удельной емкостной стоимости, напряжения одной ячейки, объемной емкости, срока эксплуатации и экологичности рассмотренных типов аккумуляторов. Проанализированы преимущества и недостатки основных типов аккумуляторов при их работе в составе автономной системы электропитания на основе фотоэлектрических преобразователей. С использованием предложенной методики избран оптимальный тип батарей для данного применения.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, свинцово-кислотные аккумуляторы, никель-кадмиевые аккумуляторы, литий-ионные аккумуляторы, удельная емкостная стоимость, объемная емкость.

Табл.: 6. Рис.: 4. Библ.: 17.

The problem of choosing the type of storage battery for use in the autonomous power supply system based on photovoltaic converters is proposed in given article. The modern market is saturated with different types and models of storage batteries that makes the choice quite difficult. The proposed method is based on a comparison of the specific capacitive cost, a cell voltage, volume capacity, term of operation and low emissions for considered types of storage batteries. The advantages and drawbacks for the main types of storage batteries, considering them as part of an autonomous power supply system based on photovoltaic converters, were analyzed. According to the proposed method the optimal type of batteries for the mentioned application was selected.

Keywords: storage battery, lead-acid batteries, nickel-cadmium batteries, lithium-ion batteries, specific capacitive cost, volume capacity.

Табл.: 6. Fig.: 4. Bibl.: 17.

Постановка проблеми. Із усвідомленням людством своєї відповідальності за погіршення стану навколишнього середовища зростає роль відновлюваних джерел енергії. Значне місце серед таких джерел посідає сонячна енергетика. Водночас нагальною стає необхідність збереження електричної енергії. Для її вирішення застосовуються акумулятори різноманітних типів. Широкий вибір існуючих на сьогодні акумуляторних батарей (АКБ) призводить до необхідності вибору конкретного їх типу для кожного специфічного рішення, з урахуванням їх переваг на недоліків.

На рис. 1 схематично зображено автономну систему електроживлення. Таку систему можна поділити на такі функціональні частини: сонячний модуль, контролер заряду акумуляторної батареї, акумуляторна батарея (АКБ), інвертор напруги та споживач.

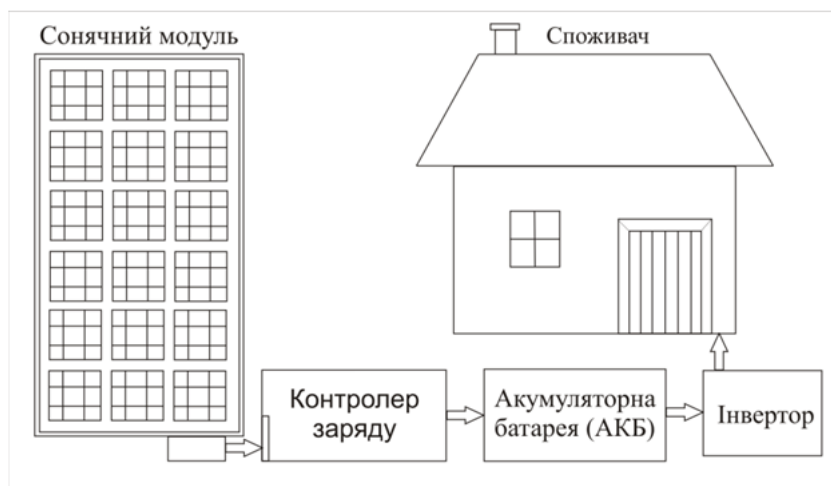


Рис. 1. Схема автономної системи електроживлення

Порівняння акумуляторів буде проводитись за такими критеріями: питомою ємністю, напругою однієї комірки, об'ємною ємністю, середнім строком експлуатації та екологічністю.

Свинцево-кислотні АКБ (Lead-Acid batteries).

Найбільш поширеним типом АКБ, що запропоновані виробниками для подібних систем, є свинцево-кислотні АКБ. Такі акумулятори можна поділити на ті, що потребують обслуговування (з рідким електролітом), та ті, що обслуговування не потребують (типи GEL та AGM). Принцип роботи цього типу акумуляторів засновано на електрохімічній реакції свинцю та діоксиду свинцю в розчині сірчаної кислоти.

Відповідно, свинцево-кислотні акумулятори типів GEL та AGM через відсутність рідкого електроліту між свинцевими пластинами є більш зручними в користуванні та надійними [7].

Перевагами цього типу АКБ є:

- Поширеність та доступність.
- Невисока вартість.
- Наявність великої кількості готових рішень.

Недоліками цього типу АКБ є:

- Наявність токсичних речовин.
- Чутливість до низьких температур.
- Порівняно невеликий ресурс у процесі використання в режимі глибоких розрядів-зарядів.

- Чутливість до повного розряду.

- Додаткові вимоги до перевезення та встановлення АКБ з рідким електролітом.

Тип AGM містить абсорбуючі склотканинні вставки між пластинами, які безпосередньо зв'язують електроліт. Перевагами цього типу акумуляторів є менша вартість порівняно з типом GEL, нижчі вимоги до якості напруги заряду, більш високі струми заряду/розряду.

У табл. 1 наведено параметри декількох свинцево-кислотних АКБ для кожного з типів.

Таблиця 1

Порівняння свинцево-кислотних АКБ

Найменування	Напруга, В	Ємність, А·год	Ресурс роботи, р, зарядів*	Масогабарити ДхШхВ, мм, кг	Вартість, грн
1	2	3	4	5	6
Challenger A12-200 [2]	12	202	12, 260	522x240x219, 60	11 478
SIAP PzS 4 APH 420 [3]	2	420	18, 1200	81x198x540, 25	3991

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6
Ventura GPL 12-200(AGM) [4]	12	200	12, 260	522x238x238, 64	10 278
Leoch DJM 12120 (AGM) [5]	12	120	12, 260	177x225x225, 35	8159
Challenger OPzV2-500(GEL) [6]	2	490	18, 1200	166x206x513, 39,5	8324
Ventura VG12-200 (GEL) [7]	12	200	15, 350	526x238x246	11 728

* кількість циклів заряду-розряду в циклічному режимі роботи при повному розряді.

У запропонованих на ринку України готових рішеннях для автономної системи електроживлення потужність сонячних панелей співвідноситься з потужністю пропонованого інвертора в межах 1:2 – 1:3. Співвідношення потужності сонячних панелей та акумуляторних батарей коливається в межах від 1:4 до 1:5.

Цей тип акумуляторів не містить у своєму складі вбудованих контролерів. Отже, застосовують зовнішні контролери заряду, здебільшого розраховані на напругу 12/24/36/48В сонячної панелі, та широкий діапазон вихідних напруг. Найбільш поширеними є два типи контролерів заряду: ШІМ (широтно-імпульсна модуляція) та МРРТ (Maximum Power Point Tracking, відстеження точки максимальної потужності). Зазвичай контролери з МРРТ більш складні та дорогі, ніж ШІМ, проте їх робота є більш ефективною. Так, з метою здешевлення цього типу контролерів запропоновано відмовитись від використання в їх складі мікропроцесорів, ПЛІС та аналогово-цифрових перетворювачів, замінивши їх функції аналоговими вузлами [16].

Останнім часом з поширенням мережевих та безпроводних технологій, зокрема, в роботі [13], такі рішення знаходять своє застосування й у сфері альтернативної енергетики. Так, пропонується система, що забезпечує моніторинг та збереження даних про стан свинцево-кислотних акумуляторів за допомогою веб-сервера. Також система забезпечує високу ефективність роботи АКБ завдяки алгоритму МРРТ.

У табл. 2 наведено параметри декількох контролерів заряду свинцево-кислотних АКБ.

Таблиця 2

Порівняння контролерів заряду свинцево-кислотних АКБ

Найменування	$U_{\text{вх max}},$ В	$I_{\text{н max}},$ А	$U_{\text{вих}},$ В	Масогабарити, ДхШхВ, мм, кг	$P_{\text{н}},$ Вт	Вартість, грн
EPsolar EPRC10-EC(PWM)	12	10	24	140x89x26, 0,15	120	638
EPsolar LS2024R (PWM)	12	20	24	143x75x45, 0,25	240	1255
EPsolar MPPT TRACER- 2210RN	32	20	100	169x118x83, 0,95	640	5243
EPsolar MPPT TRACER- 4215RN	32	20	150	242x169x91, 2	640	10 983

З наведених даних видно, що контролери заряду з ШІМ є більш дешевими. Проте контролери заряду з МРРТ розраховані на роботу із сонячними батареями (СБ) більшої потужності та більш високим струмом. Також цей тип контролерів забезпечує вищий ККД за умови часткового затінення СБ, підвищує термін служби свинцево-кислотних АКБ [15]. Детальніше ефективність роботи контролера заряду з МРРТ за різних погодних умов (температура, освітленість сонячної панелі) розглянуто в [8].

Недоліком використання у складі автономних сонячних електростанцій свинцево-кислотних АКБ є їхня токсичність (через застосування в конструкції кислот та важких металів). Це призводить до виникнення ускладнень у процесі їх утилізації та вносить

певні ризики у процес експлуатації (через можливі механічні пошкодження під час роботи). Додаткову небезпеку в цьому типі батарей становить наростання тиску всередині корпусу, що може призвести до порушення його цілісності. Тому більшість сучасних моделей обладнані спеціальними клапанами для скидання надлишкового тиску. Всі розглянуті в цій статті батареї оснащені подібними клапанами.

Проте, як показав аналіз рішень, наявних на ринку України та провідних європейських країн, саме цей тип акумуляторів домінує в побутовому сегменті готових систем. Така ситуація спричинена поширеністю, доступністю, відносно невисокою вартістю свинцево-кислотних акумуляторів при достатньо довгому терміні експлуатації. Також застосування свинцево-кислотних акумуляторів виправдане з метою здешевлення побутових систем малої потужності, де не є критичними масогабаритні параметри.

Нікель-кадмієві АКБ (NiCd batteries).

Нікель-кадмієві АКБ історично є однолітками свинцево-кислотних. Однак початок їх використання відбувся із запізненням через труднощі з виробництвом та подолання технологічних недоліків. В основі роботи цього типу акумуляторів лежить електрохімічна реакція гідроксиду нікелю, кадмію та води.

До переваг нікель-кадмієвих АКБ можна віднести:

- Можливість проведення відносно швидкого та простого заряджання АКБ після тривалого зберігання.

- Кількість циклів повного заряду-розряду більше 1000.

- Можливість роботи у широкому температурному діапазоні: від -50 до $+60$ °C.

- Нормальна робота після повного розряду.

- Відсутність спеціальних вимог до перевезення та зберігання.

- Можливість зберігання в розрядженому стані.

До недоліків таких АКБ належать:

- Ефект пам'яті та заходи по боротьбі з ним.

- Відносно значний саморозряд під час довгого зберігання.

- Токсичність застосованих матеріалів та спеціальна утилізація.

Номінальна напруга елемента становить 1,2 В. Через це потрібно з'єднувати певну кількість елементів для отримання бажаної напруги, що у свою чергу підвищує вартість системи. Знайти приклади застосування цих акумуляторів у складі автономних сонячних електростанцій не вдалося, проте вони застосовуються разом із сонячними панелями у складі деяких аерокосмічних систем.

Приклади деяких наявних на ринку зразків цього типу АКБ та їх параметрів наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Порівняння нікель-кадмієвих АКБ

Найменування	Напруга, В	Ємність, А·год	Ресурс роботи, р, зарядів*	Масогабарити, ДхШхВ, мм, кг	Вартість, грн
EverExeed EBN100 [12]	1,2	100	20 2050	106x164x345, 6,9	270–4320
EverExeed EBL100 [13]	1,2	100	20 2050	80x141x365, 13,7	270–19 000
Changhong DMH120 [14]	1,2	120	15 1200	93x123x309, 5,65	-

* кількість циклів заряду-розряду при 80%-му розряді.

Як контролер заряду для таких батарей було запропоновано алгоритм з використанням нечіткої логіки (Fuzzy Logic) [12]. Так, автори доводять на основі моделювання підвищення ККД системи та подовження терміну роботи АКБ до 3000 циклів заряду-розряду.

Нікель-метал-гідридні АКБ (NiMh battery).

Нікель-метал-гідридні акумулятори загалом подібні до нікель-кадмієвих, проте мають багато відмінностей. Катод таких батарей виконано з гідриду металу. Розроблені як заміна нікель-кадмієвих акумуляторів.

Переваги:

- Відсутність ефекту запам'ятовування.
- Екологічно безпечні.
- Дещо вища ємність у таких самих габаритних розмірах, що і в нікель-кадмієвих АКБ.

Недоліки:

- Значно більший саморозряд, ніж у нікель-кадмієвих АКБ.
- Ресурс на рівні 300 циклів заряду-розряду (до 1500 для акумуляторів з низьким саморозрядом).

Зразки цього типу акумуляторів, які застосовувалися б у системах альтернативної енергетики, не відомі. Також у вільному доступі відсутній детальний опис промислового зразка цього типу акумулятора з описом його характеристик, як це було зроблено для інших типів АКБ. Через це більш глибоке порівняння цього типу пристроїв з аналогами в межах поточного огляду не здійснювалося.

Літій-іонні АКБ (Li-ion batteries).

Перший літій-іонний акумулятор було випущено компанією Sony в 1991 році.

Через підвищення зарядної напруги такі акумулятори можуть займатися, тому їх часто обладнують вбудованими контролерами заряду. В більш складних моделях такі контролери можуть відслідковувати температуру акумулятора, запобігаючи перегріванню, обмежувати струм та глибину заряду. У разі порушення режимів заряду або розряду АКБ може спалахнути чи навіть вибухнути. Гасіння такого типу пожежі є дуже складним, оскільки типові методи (вода, вуглекислотний вогнегасник) реагують з компонентами акумулятора. Тому найоптимальнішим способом подолання такого типу пожежі – блокувати доступ повітря до полум'я. Для цього типу АКБ було запропоновано контролер заряду з використанням нечіткої логіки [11]. Як свідчить моделювання та експериментальні дані, ефективність роботи такої системи підвищується, а час, необхідний на процес заряджання акумулятора, зменшується на 23 %.

У 2015 році компанія Tesla презентувала свої АКБ для побутового використання у складі систем альтернативної енергетики Tesla powerwall [17].

У табл. 4 наведено параметри деяких існуючих літій-іонних акумуляторів. Виробник Changhong оснащує свої акумулятори системою керування батареєю (BMS (battery management system)), що забезпечує захист від надмірного заряду, перевантаження за струмом, збір інформації, контроль температури та інше.

Таблиця 4

Порівняння літій-іонних АКБ

Найменування	Напруга, В	Ємність, А·год	Ресурс роботи, р, зарядів*	Масогабарити, ДхШхВ, мм, кг	Вартість, грн
Changhong 4-2IFP11200328	12,8	100	10+ 1500+	425x425x90, 15	-
Changhong 15IFP09155225-7	48	140	10+ 1500+	830x395x315, 100	-
Sony Module IJ1001M	51,2	42	10+ 1500+	215x160x522, 27	38 956
Winston WB-LYP60АНА	4	100	3000+	214x179x106, 3,5	4300
LG CHEM RESU 3.3	48	63	2000+	452x402x120, 31	73 189

* кількість циклів заряду-розряду при 80%-му розряді.

Літій-залізо-фосфатні АКБ (LiFePO₄ batteries).

Головна відмінність літій-залізо-фосфатних АКБ від літій-іонних АКБ полягає в тому, що матеріалом, з якого виготовлено катод, є літій-залізо-фосфат. В основі роботи лежить електрохімічна реакція літій-залізо-фосфату з карбоном. У табл. 5 наведені параметри декількох таких акумуляторів.

Таблиця 5

Порівняння літій-залізо-фосфатних АКБ

Найменування	Напруга, В	Ємність, А·год	Ресурс роботи, р, зарядів*	Масогабарити, ДхШхВ, мм, кг	Вартість, грн
EverExceed EV48100-T	48	100	15+ 3000+	451x221x65, 15	136 240
BLV-12V-105AH	12	105	-	340x270x65, -	2953
Victron energy 24V/100Ah	24	100	-	592x154x278, 2,6	142 325
Victron energy 24V/60Ah	24	60	-	214x179x106, 3,5	32 263

* кількість циклів заряду-розряду при 80%-му розряді.

Переваги:

- Незначний саморозряд.
- Не потребують регламентного обслуговування.
- Екологічно безпечні.
- Наявність готових модулів із вбудованими контролерами заряду та BMS.

До недоліків цього типу акумуляторів можна віднести:

- Високу вартість.
- Ефект запам'ятовування.
- Зменшення ємності при порушенні температурних умов заряду-розряду.

Параметри для порівняння АКБ.

Першим параметром для порівняння різних типів АКБ введемо відношення вартості однієї ампер-години – питому ємнісну вартість A . Значення цього параметра розрахуємо за формулою (1):

$$A = \frac{V}{C}, \quad (1)$$

де V – вартість, грн; C – електрична ємність, А·год. Результати розрахунків цього параметра наведено в табл. 6. Як видно з наведених значень, найбільша вартість однієї ампер-години у деяких моделей літій-іонних та літій-залізо-фосфатних акумуляторів. Проте ці моделі мають певні додаткові особливості (система BMS, можливість з'єднання в єдину збірку, наявність інтерфейсів RS-232/CAN, контролер заряду та ін.). Найменш дорогими з розглянутих акумуляторів є свинцево-кислотні. Це є наслідком широкої номенклатури, поширеністю та відносно нижчою технологічною складністю виготовлення.

Таблиця 6

Розраховані значення показників A та B

№	Акумулятор	Тип	A , грн / А·год	B , (А·год) / см ³	V , см ³
1	2	3	4	5	6
1	Challenger A12-200	AGM	57,39	7,29	27436,32
2	Ventura GPL 12-200	AGM	51,39	6,76	29568,17
3	Leoch DJM 12120	AGM	67,99	20,26	5923,13
4	SIAP PzS 4 APH 420	VRLA	9,50	48,49	8660,52
5	Challenger OPzV2-500	GEL	16,98	28,5	17542,55
6	Ventura VG12-200	GEL	58,64	6,49	30796,25
7	Challenger OPzV2-500	GEL	16,98	28,5	17542,55

Закінчення табл. 6

1	2	3	4	5	6
8	EverExceed EBH100	NiCd	21,6	16,7	5997,48
9	EverExceed EBL100	NiCd	80	24,29	4117,2
10	Sony Module IJ1001M	Li-ion	927,52	5,6	17956,8
11	Winston WB-LYP60AHA	Li-ion	43	24,6	4060,2
12	LG CHEM RESU 3.3	Li-ion	1161,73	3,1	20502
13	EverExceed EV48100-T	LiFePO4	1362,4	15,43	6478,62
14	BLV-12V-105AH	LiFePO4	28,12	17,57	5976
15	Victron energy 24V/100Ah	LiFePO4	1423,5	3,94	25334,7
16	Victron energy 24V/60Ah	LiFePO4	537,72	14,77	4060,37

Другим параметром для порівняння розглянутих типів акумуляторів проаналізуємо номінальну напругу однієї комірки. Порівняльна діаграма наведена на рис. 2.

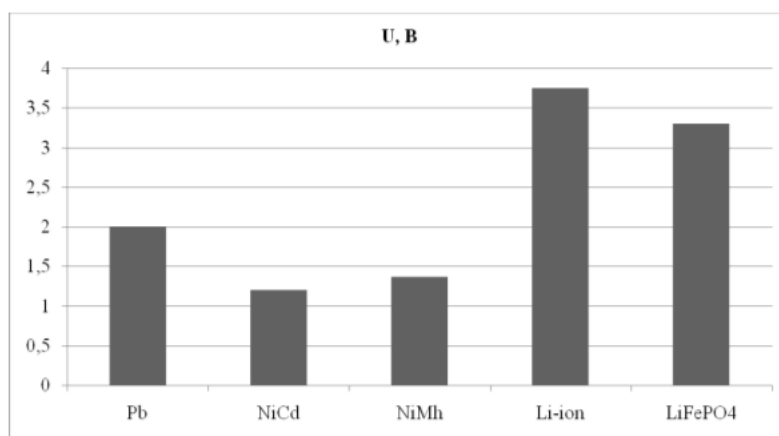


Рис. 2. Номінальні напруги однієї комірки

Як видно з рис. 2, найбільшу напругу однієї комірки мають літій-іонні та літій-залізо-фосфатні акумулятори. Це дозволяє обійтись меншою кількістю комірок для одержання тієї ж вихідної напруги елемента або підвищити її.

Як додатковий параметр для порівняння АКБ різних типів розглянемо об'ємну ємність В – відношення ємності АКБ до її об'єму. Результати розрахунків даних параметрів також наведені в табл. 6. Як видно з наведених даних, найвищі значення мають свинцево-кислотні акумулятори. Нижчі показники пояснюються тим, що літій-іонні акумулятори мають у своєму складі контролери заряду, систему захисту батареї та інші модулі, крім власне акумулятора.

За даними табл. 6 було побудовано діаграми, що ілюструють співвідношення ємнісної вартості та об'ємної ємності для різних типів АКБ (рис. 3 та рис. 4).

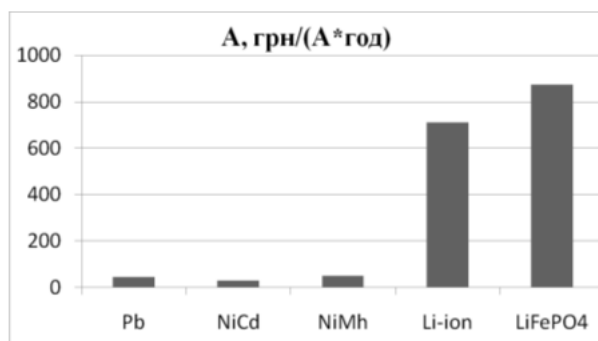


Рис. 3. Ємнісна вартість АКБ різних типів

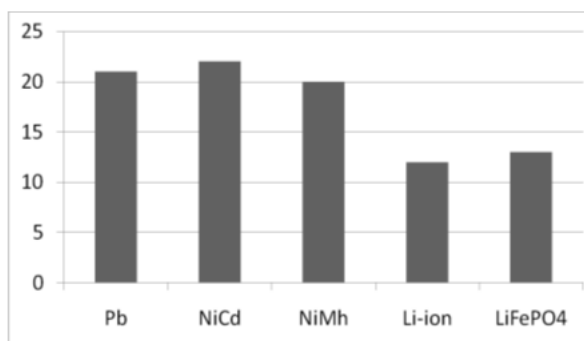


Рис. 4. Об'ємна ємність АКБ різних типів

Загалом, останній показник не є критичним під час вибору акумулятора, оскільки маса та габарити для стаціонарних систем не є настільки значущими, як для бортових систем.

Також важливим критерієм під час вибору АКБ є її ресурс. Як видно з наведених вище даних, всі типи батарей забезпечують досить довгий термін експлуатації в буферному режимі. Стійкість акумуляторів до роботи в режимі розряд-заряд різниться. Так, свинцево-кислотні АКБ більш чутливі до глибоких розрядів та менш стійкі до роботи в режимі розряд-заряд при глибині розряду більше 20 %. Інші з розглянутих типів акумуляторів більш стійкі до такого режиму роботи. Проте у складі автономної системи електроживлення з фотоелектричними перетворювачами АКБ працюватимуть у буферному режимі. Отже, найбільш важливим буде термін експлуатації АКБ.

З-поміж усіх розглянутих моделей найбільший термін використання мають нікель-кадмієві АКБ. Строк експлуатації літєвих батарей сягає 10–15 років, тоді як свинцево-кислотні акумулятори мають цей показник на рівні 12 років. Як видно з наведених показників, свинцево-кислотні акумулятори не надто відстають від більш сучасних та екологічних типів АКБ. А використання типів AGM та GEL дозволяє позбавитись від суттєвих труднощів в експлуатації, що були характерні для моделей з рідким електролітом.

Висновки та пропозиції. Проаналізувавши наведені вище фактори, можна дійти висновку, що через найменшу питому ємнісну вартість, задовільну напругу однієї комірки, середній термін експлуатації, порівняно з іншими типами АКБ, високу об'ємну ємність, оптимальним варіантом для заданого застосування є свинцево-кислотні АКБ. Додатковою перевагою цього типу акумуляторів є їх широка доступність та значний асортимент різноманітних моделей. Такі ж недоліки, як низька екологічність та необхідність регламентного обслуговування, або подолані в сучасних моделях, або є не суттєвими, враховуючи інші переваги. Перспективним також бачиться застосування у складі автономних систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів літєвих АКБ, проте їх широке застосування стримується високою вартістю. Саме через це свинцево-кислотні АКБ є найбільш поширеним типом акумуляторів в наявних на світовому ринку готових рішеннях для автономних сонячних електростанцій побутового рівня.

Поточні дослідження виконуються в межах держбюджетної науково-дослідної роботи № ДР 0116U006960.

Список використаних джерел

1. Акумуляторная батарея Challenger A12-200 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-challenger-a12-200>.
2. Акумуляторная батарея Challenger OPzV2-500 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://avante.com.ua/catalog/akkumuljatornaja_batareja_challenger_opzv2-_500_2v_500_a_ch-05679.
3. Акумуляторная батарея Leoch DJM 12120 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.leoton.ua/leoch-battery-djm12120.php>.
4. Акумуляторная батарея SIAP PzS 4 APH 420 (2B-420A) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://alteco.in.ua/products/akkumulyatory/akkumulyatory-tyagovyye/siap-pzs-4-aph-420-detail>.
5. Акумуляторная батарея VENTURA GPL 12-200 (12V 200Ah) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ipt-ups.com.ua/ventura-gpl-200-12-12v-200ah>.
6. Акумуляторная батарея Ventura VG12-200 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://avtonom.com.ua/batarei-akkumulyatornye/akkumulyatory-dlya-ibp/akkumulyator-dlya-ibp-ventura-vg-12-200-vrla-gel->
7. Хрусталеv Д. А. Акумуляторы / Д. А. Хрусталеv. – М. : Изумруд, 2003. – 244 с.
8. Alami M. E. The modeling of maximum power point tracking controller for increasing efficiency of solar power system / M. E. Alami, M. Habibi and S. Bri // 2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC) (10-13 Dec. 2015., Marrakech), 2015, pp. 1–6.
9. Changhong Nickel Cadmium Battery for Rolling Stock (Ni-CD Battery) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://changhong-battery.en.made-in-china.com/product/aSrJYkIGsWN/China-Changhong-Nickel-Cadmium-Battery-for-Rolling-Stock-Ni-CD-Battery-.html>.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

10. *Everexceed Maintenance Free NiCd Battery* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://ru.made-in-china.com/co_hhyzhyan1314/product_Everexceed-Maintenance-Free-NiCd-Battery-Ebh-Series-1-2V-100ah_ereeooreg.html.

11. *Guan-Chyun Hsieh*. Fuzzy-controlled Li-ion battery charge system with active state-of-charge controller / Guan-Chyun Hsieh, Liang-Rui Chen and Kuo-Shun Huang // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. – 2001. – № 48. – Pp. 585–593.

12. *Ionescu P. D.* Intelligent charger with fuzzy logic / P. D. Ionescu, M. Moscalu and A. Moscalu // *Signals, Circuits and Systems*, 2003. SCS 2003. International Symposium. – 2003. – № 1. – Pp. 101–104.

13. *Melvix J. S. M. L.* Development of intelligent battery monitoring system for solar powered lighting applications / J. S. M. L. Melvix, K. Sundararamabalasubramanian and M. G. Madhan // 2014 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (18-20 Dec. 2014., Coimbatore), 2014, pp. 1–5.

14. *Pocket Plate Range EBL Series long life EBL 100 Nickel cadmium rechargeable 1.2V nicd battery* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://everexceedcorp.en.alibaba.com/product/60204037944-801256541/EverExceed_Pocket_Plate_Range_EBL_Series_long_life_Nicd_100AH_battery.html.

15. *Subashini M.* A novel design of charge controller for a standalone solar photovoltaic system / M. Subashini and M. Ramaswamy // 3rd International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES) (17-19 Mar. 2016, Chennai), 2016, pp. 237–243.

16. *Sugimoto Y.* The Solar Cells and the Battery Charger System Using the Fast and Precise Analog Maximum Power Point Tracking Circuits / Y. Sugimoto // IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI (08-10 Jul. 2015, Montpellier), 2015, pp. 597–602.

17. *Tesla Powerwall: The Complete Review* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://news.energysage.com/tesla-powerwall-complete-review/>.

References

1. *Akkumulatornaia batareia Challenger A12-200* [Storage battery Challenger A12-200]. Retrieved from <http://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-challenger-a12-200>.

2. *Akkumulatornaia batareia Challenger OPzV2- 500* [Storage battery Challenger OPzV2- 500]. Retrieved from http://avante.com.ua/catalog/akkumuljatornaja_batareja_challenger_opzv2-500_2v_500_a_ch-05679.

3. *Akkumulatornaia batareia Leoch DJM 12120* [Storage battery Leoch DJM 12120]. Retrieved from <http://www.leoton.ua/leoch-battery-djm12120.php>.

4. *Akkumulatornaia batareia SIAP PzS 4 APH 420 2V-420A* [Storage battery SIAP PzS 4 APH 420 2V-420A]. Retrieved from <http://alteco.in.ua/products/akkumulyatory/akkumulyatory-tyagovyvye/siap-pzs-4-aph-420-detail>.

5. *Akkumulatornaia batareia VENTURA GPL 12-200 12V 200Ah* [Storage battery VENTURA GPL 12-200 12V 200Ah]. Retrieved from <http://ipt-ups.com.ua/ventura-gpl-200-12-12v-200ah>.

6. *Akkumulatornaia batareia Ventura VG12-200* [Storage battery Ventura VG12-200]. Retrieved from <http://avtonom.com.ua/batarei-akkumulyatornye/akkumulyatory-dlya-ibp/akkumulyator-dlya-ibp-ventura-vg-12-200-vrla-gel->

7. Khrustalev, D.A. (2003). *Akkumulyatory* [Storage batteries]. Moscow: Izumrud (in Russia).

8. Alami, M.E., Habibi, M. and Bri, S. (2015). The modeling of maximum power point tracking controller for increasing efficiency of solar power system. Proceedings from 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC) (Marrakech, December 10-13, 2015). Marrakech: pp. 1–6 (in Morocco).

9. *Changhong Nickel Cadmium Battery for Rolling Stock (Ni-CD Battery)*. Retrieved from <http://changhong-battery.en.made-in-china.com/product/aSrJYkIGgsWN/China-Changhong-Nickel-Cadmium-Battery-for-Rolling-Stock-Ni-CD-Battery-.html>.

10. *Everexceed Maintenance Free NiCd Battery*. Retrieved from http://ru.made-in-china.com/co_hhyzhyan1314/product_Everexceed-Maintenance-Free-NiCd-Battery-Ebh-Series-1-2V-100ah_ereeooreg.html.

11. Guan-Chyun Hsieh, Liang-Rui Chen and Kuo-Shun Huang (2001). Fuzzy-controlled Li-ion battery charge system with active state-of-charge controller. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 48, pp. 585–593.

12. Ionescu, P.D., Moscalu, M. and Moscalu, A. (2003). Intelligent charger with fuzzy logic. *Signals, Circuits and Systems, 2003. SCS 2003. International Symposium*, vol. 1, pp. 101–104.
13. Melvix, J.S.M.L., Sundararamabalasubramanian, K. and Madhan, M.G. (2014). Development of intelligent battery monitoring system for solar powered lighting applications. Proceedings from *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research* (Coimbatore, December 18-20, 2014). Coimbatore: pp. 1–5 (in India).
14. *Pocket Plate Range EBL Series long life EBL 100 Nickel cadmium rechargeable 1.2V nicd battery*. Retrieved from http://everexceedcorp.en.alibaba.com/product/60204037944-801256541/EverExceed_Pocket_Plate_Range_EBL_Series_long_life_Nicd_100AH_battery.html.
15. Subashini, M. and Ramaswamy, M. (2016). A novel design of charge controller for a standalone solar photovoltaic system. Proceedings from *3rd International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*. (Chennai, March 17-19, 2016). Chennai: pp. 237–243 (in India).
16. Sugimoto, Y. (2015). The Solar Cells and the Battery Charger System Using the Fast and Precise Analog Maximum Power Point Tracking Circuits. Proceedings from *IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI* (Montpellier, July 08-10, 2015) Montpellier: pp. 597–602 (in France).
17. *Tesla Powerwall: The Complete Review*. *News energys age*. <http://news.energysage.com> Retrieved from <http://news.energysage.com/tesla-powerwall-complete-review>.

Фесенко Артем Петрович – магістр електроніки, фахівець третьої категорії держбюджетної теми №86/16, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Фесенко Артём Петрович – магістр електроніки, спеціаліст третьої категорії госбюджетної теми №86/16, Чернігівський національний технологічний університет (ул. Шевченко, 95, г. Чернігов, 14027, Україна).

Fesenko Artem – MSc in Electronics, third category specialist of state budget theme №86/16, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: gudrunas.ch@gmail.com

Єршов Роман Дмитрович – асистент, молодший науковий співробітник, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Ершов Роман Дмитриевич – асистент, младший научный сотрудник, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Yershov Roman – assistant, junior researcher, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: roman.d.yershov@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0267-2906>

ResearcherID: H-1432-2016

Scopus Author ID: 57188719994

Степенко Сергій Анатольович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Степенко Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Stepenko Serhii – PhD in Electrical Engineering, senior researcher, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: serhii.stepenko.ua@ieee.org

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7702-6776>

ResearcherID: F-1018-2014

Scopus Author ID: 55570068000