

УДК 621.377

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-198-209

Дмитро Захарченко, Сергій Степенко

**ОГЛЯД ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ
ДЛЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Актуальність теми дослідження. Дослідження накопичувачів електроенергії для роботи електроенергетичних об'єктів, характеристик та їх врахування при виборі типу накопичувача для об'єкта дозволить оптимізувати роботу системи загалом.

Постановка проблеми. Науково-технічний розвиток та екологічне становище висуває більш жорсткі вимоги до електроенергетичних системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянуто класифікацію та основні характеристики наявних накопичувачів електроенергії, їхні основні переваги та недоліки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Основною проблемою застосування нових типів накопичувачів електроенергії є відсутність їх масового поширення на ринку електроенергетичних об'єктів.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка методики визначення оптимального типу та моделі універсального накопичувача електроенергії і аналіз його переваг та недоліків.

Виклад основного матеріалу. Проведений аналіз існуючих типів накопичувачів електроенергії та їхніх характеристик. Запропонована методи, яка базується на порівнянні вартості одиниці ємності, об'ємної ємності, екологічного впливу та строку експлуатації. Проаналізовані основні відмінності кожного типу накопичувача електроенергії, їхні переваги та недоліки.

Висновки відповідно до статті. Запропонована методика базується на порівнянні вартості одиниці ємності, об'ємної ємності, екологічного впливу та строку експлуатації. Проаналізовані основні відмінності кожного типу накопичувача електроенергії, їхні переваги та недоліки. З використанням запропонованої методики зроблено оптимальний вибір накопичувача електроенергії для електроенергетичних об'єктів.

Ключові слова: накопичувач електроенергії; акумуляторна батарея; літій-іонний акумулятор; свинцево-кислотний акумулятор; нікель-кадмієвий акумулятор; вартість одиниці ємності.

Табл.: 7. Рис.: 2. Бібл.: 29.

Актуальність теми дослідження. З розвитком людство дедалі більше вдосконалює електроенергетичні об'єкти, роблячи їх більш безпечними, економічно вигідними та, що найголовніше, екологічно чистими. Накопичувачі електроенергії є незамінною частиною більшості електроенергетичних об'єктів і правильних їх підбір та встановлення є запорукою виконання всіх сучасних вимог.

Постановка проблеми. Технічний розвиток накопичувачів електроенергії збільшив інформаційний простір та комбінації їх параметрів. Найбільш поширеним накопичувачем електроенергії є акумуляторна батарея (АКБ). Вона встановлюється в системах сонячних електростанцій, вітрових електростанцій, електромобілів, безперебійного живлення тощо. Завдяки АКБ вдається стабілізувати вихідну напругу, отримувати екологічно чисту електроенергію в безвітряні години й години з малою сонячною активністю, рухатись електромобілю. Значний спектр видів і характеристик АКБ робить процес їх підбору до відповідного електроенергетичного об'єкту відповідальним завданням. На рис. 1 зображено електроенергетичну систему із використанням сонячної енергії та процесу перетворення її в електричну з АКБ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками процесам аналізу, оптимального підбору, обслуговування, експлуатації та вдосконаленню [27-29] присвячена велика кількість як українських, так і зарубіжних публікацій. Аналіз проводиться здебільшого теоретично, інколи експериментально. Кожна наступна публікація будується на сталому досвіді попередніх наукових досліджень та їх результатів. Науково-технічний прогрес у даній галузі є доволі значним, а вимоги різноманітних електроенергетичних комплексів та екологічні стандарти дедалі зростають. Відповідно до зазначеного є необхідність побудови нового дослідження на дослідній базі попередників. У роботі [27] проводиться огляд та обґрунтування АКБ для об'єкта. Ця робота опублікована у 2017 р. і на сьогодні втратила частину актуальності через розвиток технологій, цін та поширення тих чи інших АКБ на світовому ринку. Але ця робота є найбільш змістовною та обґрунтованою, правильно сформульованою для основи нашої роботи.

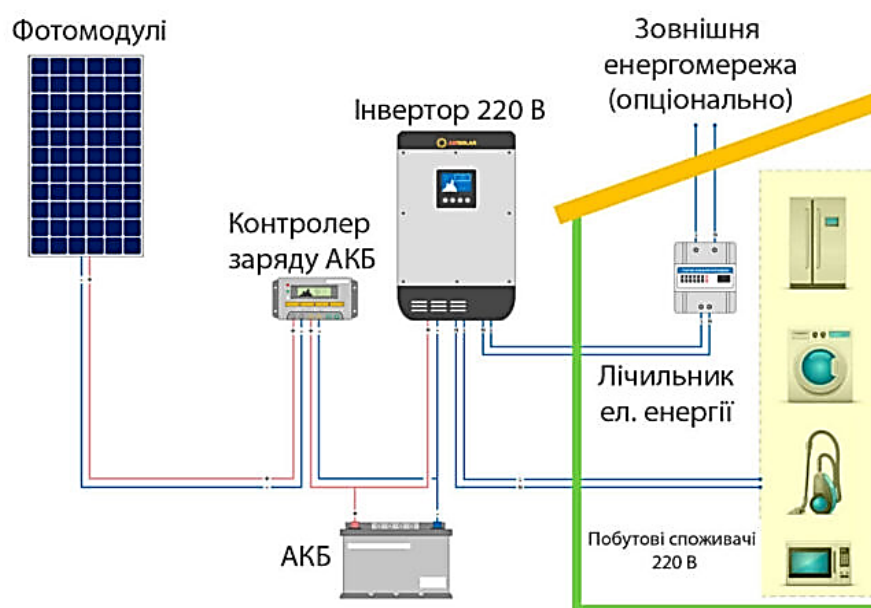


Рис. 1. Електроенергетична система

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Науково-технічний прогрес у створенні нових типів та вдосконаленні існуючих АКБ здійснює істотний вплив на електроенергетичні об'єкти загалом. Існування все давно розроблених та доведених до логічного кінця вдосконалення моделі існують та є конкурентоспроможними завдяки їх поширенню та низькій собівартості, або завдяки їх вузькоспеціалізованим особливостям. Здебільшого морально старі типи АКБ мають винятково низьку вартість на сучасному ринку накопичувачів електроенергії. Тому більш нові, сучасні та екологічні моделі та типи АКБ не є конкурентоспроможними. Їх глибоко досліджувати на сьогоднішній день немає сенсу по причині низької впровадженості та гранично низького поширення. Але за такими типами ефективно і екологічне майбутнє.

Постановка завдання. Метою роботи є огляд існуючих типів накопичувачів електроенергії, їх характеристик та основних параметрів. Для існуючих та найбільш поширених електроенергетичних об'єктів розробити методіку вибору найбільш оптимального типу накопичувача електроенергії.

Виклад основного матеріалу.

АКБ відрізняються такими основними параметрами:

1. Ємність акумулятора.
2. Зовнішні розміри.
3. Термін експлуатації.
4. Кількість циклів перезарядки.
5. Діапазон робочих температур.
6. Параметри саморозряду.
7. Присутність прискореної зарядки.
8. Напруга однієї секції.
9. Екологічні властивості.

Сучасні АКБ виконуються як один або декілька об'єднаних у спільному корпусі елементів. У залежності від типу, електроліт може бути у вигляді рідини або гелю. З огляду на тип електроліту необхідно застосовувати різні режими обслуговування, зарядки та встановлення акумулятору.

До найбільш поширених АКБ належать такі типи:

1. Свинцево-кислотні.
2. Нікель-метал-гідридні.
3. Нікель-кадмієві.
4. Літій-іонні.
5. Літій-залізо-фосфатні.
6. Літій-полімерні.

У залежності від типу АКБ відрізняється їх вартість, ємність, температурний режим роботи, розміри, кількість циклів перезарядки тощо. АКБ виконуються як один елемент або кілька елементів, підключених паралельно чи послідовно. Деякі види АКБ мають елементи управління для забезпечення контролю режиму заряду/ розряду і забезпечення захисту при експлуатації.

Свинцево-кислотні АКБ (Lead-Acid batteries). Цей тип АКБ є найбільш поширеним на ринку накопичувачів електроенергії. У залежності від типу електроліту свинцево-кислотні АКБ можна поділити на: 1) з рідким електролітом; 2) з гелевим електролітом (типи AGM та GEL). Принцип роботи АКБ даного типу заснований на електрохімічних реакціях свинцю і діоксиду свинцю у розчині сірчаної кислоти. Свинцево-кислотні АКБ типу GEL та AGM завдяки відсутності рідкого електроліту у своєму складі є більш зручними у використанні та надійними [7]. У табл. 1 наведено порівняння деяких параметрів свинцево-кислотних АКБ.

Таблиця 1

Порівняння свинцево-кислотних АКБ

Назва	Ємність, А·год	Напруга, В	Ресурс ро- боти, р, зарядів*	Зовнішні розміри/вага Д×Ш×В, мм, кг	Вартість, грн
Bosch 6СТ-70 S4 026 0092S40260 [1]	70	12	15300	260×175×225 17	2205
Topla 6СТ-70 TOP Japan R [2]	70	12	14960	260×175×225 17	2654
Volter GE (GEL) [3]	60	12	19110	347×167×168 17,3	5970
LogicPower LPM-GL (GEL) [4]	65	12	13900	350×165×185 23,9	4799
VENTURA GPL 1270 (AGM) [5]	70	12	12550	260×169×229 22,8	4771
Merlion MLB-12-65 (AGM) [6]	65	12	11820	350×167×179 20,5	3805

Перевагами свинцево-кислотних АКБ є:

1. Низький саморозряд.
2. Висока кількість циклів заряду/розряду.
3. Низька вартість та висока поширеність.
4. Відсутність «ефекту пам'яті».

Недоліками свинцево-кислотних АКБ є:

1. Низька питома ємність.
2. Глибокий розряд призводить до скорочення числа циклів заряду/розряду.
3. Токсичні речовини у складні АКБ.
4. Необхідність дотримання вимог до встановлення та перевезення АКБ з рідким типом електроліту.

На відміну від типу GEL, тип AGM має у своєму складі вставки з абсорбуючої склотканини, які зв'язують електроліт. АКБ даного типу мають більш високу струми при заряді/розряді, меншу вартість і нижчі вимоги до напруги у процесі заряду.

Виходячи з даних, наведених у табл. 1 видно, що окрім що АКБ типу (AGM) мають меншу вартість у порівнянні з АКБ типу (GEL) та менший ресурс роботи. Класичні АКБ із рідким електролітом мають значно нижчу вартість при відсутності відмінностей у інших параметрах. Така залежність спостерігається і на практиці. Домінуючими є АКБ з рідким електролітом.

Для використання АКБ у електроенергетичних об'єктах необхідним є встановлення контролера. Свинцево-кислотні АКБ не мають у своєму складі контролеру, отже, необхідно застосовувати зовнішні контролери заряду. За типом розділяють контролери заряду на: 1) широтно-імпульсної модуляції (ШІМ); 2) із відстеженням точки максимальної потужності (Maximum Power Point Tracking, MPPT).

Контролери типу ШІМ мають меншу вартість і меншу ефективність у порівнянні і MPPT. Тому з метою зменшення вартості цього типу контролерів, запропонований план відмови від використання у їхньому складі мікропроцесорів, ПЛІС та аналогово-цифрових перетворювачів, шляхом заміщення їхніх функцій аналоговими вузлами [26].

Як показує ситуація на ринку накопичувачів електроенергії, свинцево-кислотні АКБ мають найбільше поширення та сферу застосування. Вони відрізняються доступністю, розповсюдженістю та невисокою вартістю.

Нікель-кадмієві АКБ (NiCd batteries). Нікель-кадмієві АКБ отримали широке поширення як накопичувач електроенергії приблизно в початку 50-х рр. XX ст. Найбільшого застосування отримали у портативному обладнанні при поширенні до 50 %. Цей тип АКБ працює завдяки електрохімічній реакції гідроксиду нікелю, води та кадмію.

Перевагами нікель-кадмієвих АКБ є:

1. Низька вартість.
2. Значна кількість циклів заряду/розряду.
3. Висока стійкість до температурних змін.
4. Малий внутрішній опір.
5. Висока швидкість зарядки.
6. Відсутність негативних наслідків «глибокого» розряду.
7. Можливість використовувати та перевозити АКБ без спеціальних вимог.

Недоліками нікель-кадмієвих АКБ є:

1. Низька екологічність (кадмій відноситься до високотоксичних елементів).
2. Низька питома ємність.
3. Наявність «ефекту пам'яті».
4. Високий саморозряд.

Даний тип АКБ серед усіх інших одиниць, що має найкращу віддачу максимальної ємності, має значку кількість циклів заряду/розряду при періодичному вмісному глибокому розряді. Один елемент має напругу 1.2 В, що нижче ніж у свинцево-кислотних - 2 В. У табл. 2 наведено порівняння параметрів нікель-кадмієвих АКБ.

Таблиця 2

Порівняння нікель-кадмієвих АКБ

Назва	Ємність, А·год	Напруга, В	Ресурс роботи, р, зарядів*	Зовнішні розміри/вага Д×Ш×В, мм, кг	Вартість, грн
Panasonic (P301) [8]	0,6	3,6	1000	53×29×11 0,3	163
Camelion (T-107) [9]	0,6	3,6	940	49×23×20 0,25	107
Енергія E110 [10]	0,6	3,6	1130	65×41×18 17,3	78

Як контролер заряду для нікель-кадмієвих АКБ запропоновано використання алгоритму з нечіткої логіки (Fuzzy Logic) [24]. У результаті очікується підвищення кількості циклів заряду/розряду до 3000 та ККД накопичувача електроенергії.

Нікель-метал-гідридні АКБ (NiMH battery). Нікель-метал-гідридні АКБ отримали широке поширення як накопичувач електроенергії приблизно в початку 80-х рр. ХХ ст. У порівнянні з нікель-кадмієвими АКБ мають більшу щільність енергії. Катод даних АКБ виконаний з гідриду металу. У табл. 3 наведено порівняння параметрів нікель-метал-гідридних АКБ.

Перевагами нікель-метал-гідридних АКБ є:

1. Більша питома ємність (до 30 %).
2. Менша вага.
3. Менша схильність до «ефекту пам'яті».
4. Більша екологічна безпечність.

Недоліками нікель-метал-гідридних АКБ є:

1. Менша кількість циклів заряду/розряду.
2. Вища вартість.
3. Менший, у порівнянні з NiCd, температурний діапазон.
4. Менша сила струму.
5. Недопустимість глибоких розрядів.
6. Високий саморозряд.

Таблиця 3

Порівняння нікель-метал-гідридних АКБ

Назва	Ємність, А·год	Напруга, В	Ресурс роботи, р, зарядів*	Зовнішні розміри/вага Д×Ш×В, мм, кг	Вартість, грн
VB-Power NI-MH [21]	4	7,2	710	130×15×15 0,4	1163
Dinogy NiMH [22]	1,6	7,2	600+	17×32×100 0,72	400
Traxxas NiMH [23]	3	8,4	590	111×42×19 0,83	1044

Літій-іонні АКБ (Li-ion batteries). Літій-іонні АКБ отримали широке поширення як накопичувач електроенергії приблизно в початку 90-х рр. ХХ ст. Найбільшим виробником АКБ даного типу є компанія Sony. Конструкція сучасних літій-іонних АКБ передбачає використання контролерів, або так званих «smart-мікросхем». Вони дають можливість керувати зарядним пристроєм для безпечного й ефективного процесу зарядки/розрядки. Для літій-іонних АКБ також було запропоновано використання контролеру заряду/розряду з використанням технології нечіткої логіки [24]. За результатами моделювання та експериментів, так систему дозволяє зменшити час зарядки АКБ на 20-23 %. У табл. 4 наведено порівняння параметрів літій-іонних АКБ.

Перевагами літій-іонних АКБ є:

1. Висока питома ємність.
2. Мала вага та габаритні розміри.
3. Низький саморозряд.
4. Велика кількість циклів заряду/розряду.

Недоліками літій-іонних АКБ є:

1. Висока вартість.
2. Малий діапазон робочих температур.
3. Спалахо-, вибухонебезпечність.

Таблиця 4

Порівняння літій-іонних АКБ

Назва	Ємність, А·год	Напруга, В	Ресурс роботи, р, зарядів*	Зовнішні розміри/вага Д×Ш×В, мм, кг	Вартість, грн
BMS Eco Battery [11]	832	24	3000+	1200×600×640 260	143013
LP LTO [12]	80	48	2700+	360×420×170 102	90763
Soluna 4K PACK [13]	80	48	3200	436×630×200 56	69741
WEEKENDER LI-ION [14]	100	12	2470	220×81×231 6.25	10200

Літій-залізо-фосфатні АКБ (LiFePO₄ batteries). Літій-залізо-фосфатні АКБ отримали широке поширення як накопичувач електроенергії приблизно на початку ХХІ ст. Як катод у цьому типі АКБ використовується літій-залізо-фосфат. У табл. 5 наведено порівняння деяких параметрів літій-залізо-фосфатних АКБ.

Перевагами літій-залізо-фосфатних АКБ є:

1. Більший ресурс роботи.
2. Стабільна напруга розряду.
3. Напруга однієї комірки 3.2 В.
4. Більш екологічні.
5. Більший піковий струм.
6. Хімічна і термічна стабільність.
7. Стійкість до низьких температур (до -30⁰С).

Недоліками літій-залізо-фосфатних АКБ є:

1. Наявність «ефекту пам'яті».
2. Висока вартість.
3. Необхідність точно дотримуватись умов заряду/розряду.

Таблиця 5

Порівняння літій-залізо-фосфатних АКБ

Назва	Ємність, А·год	Напруга, В	Ресурс роботи, р, зарядів*	Зовнішні розміри/вага Д×Ш×В, мм, кг	Вартість, грн
LUXEON HT12.8-50AH LIFEPO [15]	50	12	3700+	257×200×132 7,5	9999
EVEREXCEED EP48100 [16]	100	48	4000+	483×177×450 43	63169
CHALLENGER 12-100 [17]	100	12	2900	450×220×170 12,8	13508

Літій-полімерні АКБ (Li-pol). Даний тип АКБ є удосконаленим Li-ion АКБ. Як електрод використовується твердий полімер. Знайшли найбільшого поширення у дрібній електроніці (мобільні телефони, цифрова техніка), портативному електроінструменті та електромобілях. У табл. 6 наведено порівняння деяких параметрів літій-полімерних АКБ.

Перевагами літій-полімерних АКБ є:

1. Низький саморозряд.
2. Велика щільність енергії.
3. Можливість мати товщину від 1 мм.
4. Можливість мати гнучку форму.

Недоліками літій-полімерних АКБ є:

1. Невеликий струм розряду.
2. Невелика стійкість до температур нижче за -20 °С.

Таблиця 6

Порівняння літій-полімерних АКБ

Назва	Ємність, А·год	Напруга, В	Ресурс роботи, р, зарядів*	Зовнішні розміри/вага Д×Ш×В, мм, кг	Вартість, грн
Dinogy Li-Pol [18]	11	22,2	4300	196×73×50 3,1	6500
34109125 DBK [19]	6	3,7	2300+	100×120×3 0,05	399
663480SP Shida [20]	1,5	3,7	-	80×33×6,2 0,03	402

Порівняння досліджених типів АКБ. Для вибору оптимального економічного рішення необхідним є визначення вартості одиниці ємності АКБ кожного з типів, вираженою у Вт·годинах. Для цього необхідно скористатись формулою (1):

$$Z = \frac{X}{C \cdot U}, \quad (1)$$

де X – вартість АКБ, грн;

C – ємність АКБ, А·год;

Z – вартість одиниці ємності АКБ, грн/(Вт·год);

U – напруга, В.

Для кожного типу АКБ необхідно обрати варіант, який має найменшу вартість одиниці ємності. Результати розрахунку та порівнянь обраних варіантів АКБ занесені до табл. 7.

Таблиця 7

Результати розрахунку

№	Назва АКБ	Тип АКБ	Z, грн/(Вт·год)	X, грн	C, А·год	U, В
1	Bosch 6CT-70 S4 026 0092S40260	Pb/SLA	2,63	2205	70	12
2	LogicPower LPM-GL	GEL	6,07	4799	65	12
3	Merlion MLB-12-65	AGM	4,88	3805	65	12
4	Енергія E110	NiCd	36,11	78	0.6	3,6
5	Dinogy	NiMH	34,72	400	1.6	7,2
6	BMS Eco Battery	Li-ion	7,16	143013	832	24
7	CHALLENGER 12-100	LiFePO4	11,26	13508	100	12
8	34109125 DBK	Li-pol	17,97	399	6	3,7

З огляду на наведені в табл. 7 результати розрахунку можна дійти висновку, що найдешевшим є свинцево-кислотний тип АКБ з рідким електролітом. Його вартість на 46 % менша за найближчого до порівняння типу АКБ, а саме свинцево-кислотного з GEL електролітом. Такі цінові результати на сьогоднішній день можливі завдяки поширеності та простоті виготовлення. Також результати розрахунку наведені на гістограмі на рис. 2.

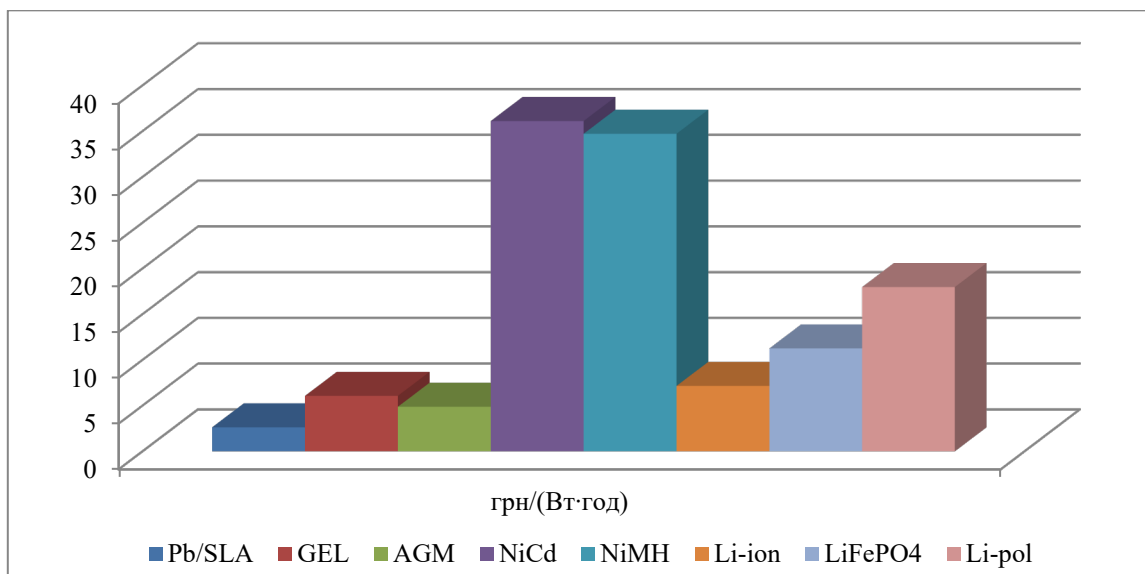


Рис. 2. Результати розрахунку

Якщо звернути увагу на відношення зовнішніх габаритних розмірів АКБ та їх маси до ємності, вираженої у Вт·год, то на сьогоднішній день у даному параметрі спостерігається приблизна рівність завдяки розвитку технологій виробництва усіх типів АКБ на основі Літію.

Важливим параметром АКБ також є його ресурс. Згідно з описом та розглядом кожного з типів АКБ усі типи можуть забезпечити досить значний термін використання. Цей термін знаходиться в межах 10-15 років. Найбільшого терміну використання можна отримати від NiCd АКБ. Свинцеві АКБ тримають цей параметр на рівні 12 років. Для отримання повного терміну використання АКБ і відсутності його зниження критично важливо витримувати усі умови експлуатації АКБ, такі як температурний режим, глибина розряду/заряду, струм заряду, умови зберігання, транспортування, обслуговування тощо. Кожен тип АКБ має свої специфічні умови й вибір оптимального типу також повинен залежати від можливості повною мірою витримувати ці вимоги експлуатації.

Висновки відповідно до статті. Перший АКБ з'явився приблизно 140 років тому і впевнено заволодів усіма аспектами людського життя. Зараз дуже складно уявити світ без накопичувачів електричної енергії. АКБ застосовуються скрізь, від найменшого до найбільшого: ліхтарі, мобільні телефони, планшети, ноутбуки, пульти дистанційного керування, резервні джерела живлення, новітні екологічні електростанції, екологічно чисті типи транспорту, космічна галузь тощо. З кожним роком людина споживає дедалі більше електричної енергії і дедалі більший її відсоток споживається саме з накопичувачів електроенергії. Тому процеси виробництва АКБ, їх експлуатації та утилізації повинні з кожним роком покращуватись, а розвиток новітніх типів АКБ не стояти на місці.

Якщо брати до уваги не тільки вартість одиниці ємності АКБ, а і баланс переваг/недоліків кожного з типів АКБ і умови їх використання, то найбільш оптимальним і перспективним у майбутньому є Li-ion тип АКБ і умови їх використання. Даний тип АКБ дає можливість використовувати його протягом 10-15 років, має збалансовану вартість одиниці ємності, вираженої у Вт·год, велику напругу однієї комірки, високу об'ємність у відношення до об'єму АКБ та його маси, низький саморозряд та широкі умови експлуатації. З кожним роком поширення АКБ даного типу зростає, вартість знижується, параметри та характеристики вдосконалюються. У перспективі оптимальність даного вибору буде зростати. Перспективними є розробки літєвих АКБ інших типів, але на сьогодні їхнім головним недоліком є висока вартість та мала поширеність.

Поточні дослідження виконуються в межах держбюджетної науково-дослідної роботи молодих вчених № 0120U101554 «Автономні електроенергетичні системи з високою ефективністю, покращеними масогабаритними характеристиками та підвищеною надійністю для спеціальних застосувань».

Список використаних джерел

1. Аккумуляторная батарея Bosch 6СТ-70 S4 026 0092S40260. URL: <https://svitakb.com.ua/akkumulyatory/avtomobilnye/bosch-6st-70-s4026-silver-570412063>.
2. Аккумуляторная батарея Topla 6СТ-70 TOP Japan R. URL: <https://svitakb.com.ua/akkumulyatory/avtomobilnye/topla-6st-70-top-japan>.
3. Аккумуляторная батарея Volter GE. URL: <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-volter-ge-12v-60ah/>.
4. Аккумуляторная батарея LogicPower LPM-GL. URL: <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-logicpower-lpm-gl-12v-65ah/>.
5. Аккумуляторная батарея VENTURA GPL 1270. URL: http://www.ecosvit.net/index.php?action=market_product&id=2601&lang=ua.
6. Аккумуляторная батарея Merlion MLB-12-65. URL: <http://www.ecosvit.net/ua/akumulyator-merlion-mlb-12-agm-12v-65ah>.
7. Хрусталеv Д. А. Аккумуляторы. Москва : Изумруд, 2003. 244 с.
8. Аккумуляторная батарея Panasonic (P301). URL: <https://nash-mag.com.ua/p217797638-akkumulyator-panasonic-r301.html>.
9. Аккумуляторная батарея Camelion (T-107). URL: <https://nash-mag.com.ua/p217743024-akkumulyator-camelion-107.html>.
10. Аккумуляторная батарея Енергія E110. URL: <https://nash-mag.com.ua/p238772339-akkumulyator-energiya-e110.html>.
11. Аккумуляторная батарея BMS Eco Battery. URL: <https://rozetka.com.ua/151427620/p151427620/>.
12. Аккумуляторная батарея LP LTO. URL: <https://rozetka.com.ua/262702201/p262702201/>.
13. Аккумуляторная батарея Soluna 4K PACK. URL: <https://rozetka.com.ua/239228977/p239228977/>.
14. Аккумуляторная батарея WEEKENDER LI-ION. URL: <https://energo-partner.com.ua/p1208483214-litievuj-akkumulyator-100>.
15. Аккумуляторная батарея LUXEON HT12.8-50AH LIFEPO. URL: <https://energo-partner.com.ua/p998093962-akkumulyator-litievuj-luxeon.html>.
16. Аккумуляторная батарея EVEREXCEED EP48100. URL: <https://energo-partner.com.ua/p1305264587-akkumulyator-litievuj-100ah.html>.
17. Аккумуляторная батарея CHALLENGER 12-100. URL: <https://energo-partner.com.ua/p1201872002-akkumulyator-litievuj-100.html>.
18. Аккумуляторная батарея Dinogy Li-Pol. URL: https://rozetka.com.ua/dinogy_dlc_6s11000ca_xt/p38403680/characteristics/.
19. Аккумуляторная батарея 34109125 DBK. URL: https://batareyki.com.ua/catalog/litij_polimernye_li_pol/34109125_dbk_6000mah_3_1x109x125_99_1g/.
20. Аккумуляторная батарея 663480SP Shida. URL: https://batareyki.com.ua/catalog/litij_polimernye_li_pol/663480sp_shida_1500mah_20c_6_2_33_0_80_3_34_2g/.
21. Аккумуляторная батарея VB-Power NI-MH. URL: <https://modelistam.com.ua/power-battery-4000mah-tamiya-plug-hard-case-p-20576/>.
22. Аккумуляторная батарея Dinogy NiMH. URL: <https://modelistam.com.ua/akkumulyator-dinogy-nimh-1600mah-23a-mini-tamiya-p-31726/>.
23. Аккумуляторная батарея Traхxas NiMH. URL: <https://modelistam.com.ua/akkumulyator-traхxas-nimh-3000-mach-p-29179/>.

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

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

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

27. Фесенко А. П., Ершов Р. Д., Степенко С. А. Огляд та обґрунтування вибору акумуляторних батарей для автономної системи електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів. *Технічні науки та технології*. 2017. № 1(7). С. 177-186.

28. Шмелев Ю. Н., Бойко С. Н., Городний А. Н., Чернихова Е. С., Владов С. И. Електротехнічний комплекс контролю стану авіаційних акумуляторних батарей. *Технічні науки та технології*. 2017. № 4(10). С. 123-132.

29. Jan Semjon, Ján Grexa, Peter Mačo. Проектування док-станції для мобільної роботизованої платформи типу agv. *Технічні науки та технології*. 2018. № 4(14). С. 210-215.

References

1. Akkumuliatornaia batareia Bosch 6CT-70 S4 026 0092S40260 [Storage battery Bosch 6CT-70 S4 026 0092S40260]. <https://svitakb.com.ua/akkumulyatory/avtomobilnye/bosch-6st-70-s4026-silver-570412063>.

2. Akkumuliatornaia batareia Topla 6CT-70 TOP Japan R [Storage battery Topla 6CT-70 TOP Japan R]. <https://svitakb.com.ua/akkumulyatory/avtomobilnye/topla-6ct-70-top-japan>.

3. Akkumuliatornaia batareia Volter GE [Storage battery Volter GE]. <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-volter-ge-12v-60ah/>.

4. Akkumuliatornaia batareia LogicPower LPM-GL [Storage battery LogicPower LPM-GL]. <https://220volt.com.ua/akkumulyatornaya-batareya-logicpower-lpm-gl-12v-65ah/>.

5. Akkumuliatornaia batareia VENTURA GPL 1270 [Storage battery VENTURA GPL 1270]. http://www.ecosvit.net/index.php?action=market_product&id=2601&lang=ua.

6. Akkumuliatornaia batareia Merlion MLB-12-65 [Storage battery Merlion MLB-12-65]. <http://www.ecosvit.net/ua/akumulyator-merlion-mlb-12-agm-12v-65ah>.

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

8. Akkumuliatornaia batareia Panasonic (P301) [Storage battery Panasonic (P301)]. <https://nashmag.com.ua/p217797638-akkumulyator-panasonik-r301.html>.

9. Akkumuliatornaia batareia Camelion (T-107) [Storage battery Camelion (T-107)]. <https://nashmag.com.ua/p217743024-akkumulyator-camelion-107.html>

10. Akkumuliatornaia batareia Енергія Е110 [Storage battery Енергія Е110]. <https://nashmag.com.ua/p238772339-akkumulyator-energiya-e110.html>.

11. Akkumuliatornaia batareia BMS Eco Battery [Storage battery BMS Eco Battery]. <https://rozetka.com.ua/151427620/p151427620/>.

12. Akkumuliatornaia batareia LP LTO [Storage battery LP LTO]. <https://rozetka.com.ua/262702201/p262702201/>.

13. Akkumuliatornaia batareia Soluna 4K PACK [Storage battery 4K PACK]. <https://rozetka.com.ua/239228977/p239228977/>.

14. Akkumuliatornaia batareia WEEKENDER LI-ION [Storage battery WEEKENDER LI-ION]. <https://energo-partner.com.ua/p1208483214-litievij-akkumulyator-100>.

15. Akkumuliatornaia batareia LUXEON HT12.8-50AH LIFEPO [Storage battery LUXEON HT12.8-50AH LIFEPO]. <https://energo-partner.com.ua/p998093962-akkumulyator-litievij-luxeon.html>.

16. Akkumuliatornaia batareia EVEREXCEED EP48100 [Storage battery EVEREXCEED EP48100]. <https://energo-partner.com.ua/p1305264587-akkumulyator-litievij-100ah.html>.

17. Akkumuliatornaia batareia CHALLENGER 12-100 [Storage battery CHALLENGER 12-100]. <https://energo-partner.com.ua/p1201872002-akkumulyator-litievij-100.html>.

18. Akkumuliatornaia batareia Dinogy Li-Pol [Storage battery Dinogy Li-Pol]. https://rozetka.com.ua/dinogy_dlc_6s11000ca_xt/p38403680/characteristics/.
19. Akkumuliatornaia batareia 34109125 DBK [Storage battery 34109125 DBK]. https://batareyki.com.ua/catalog/litiiy_polimernye_li_pol/34109125_dbk_6000mah_3_1x109x125_99_1g/.
20. Akkumuliatornaia batareia 663480SP Shida [Storage battery 663480SP Shida]. https://batareyki.com.ua/catalog/litiiy_polimernye_li_pol/663480sp_shida_1500mah_20c_6_2_33_0_8_0_3_34_2g/.
21. Akkumuliatornaia batareia VB-Power NI-MH [Storage battery VB-Power NI-MH]. <https://modelistam.com.ua/power-battery-4000mah-tamiya-plug-hard-case-p-20576/>.
22. Akkumuliatornaia batareia Dinogy NiMH [Storage battery Dinogy NiMH]. <https://modelistam.com.ua/akkumulyator-dinogy-nimh-1600mah-23a-mini-tamiya-p-31726/>.
23. Akkumuliatornaia batareia Traxxas NiMH [Storage battery Traxxas NiMH]. <https://modelistam.com.ua/akkumulyator-traxxas-nimh-3000-mach-p-29179/>.
24. Guan-Chyun Hsieh, Liang-Rui Chen, Kuo-Shun Huang. (2001). Fuzzy-controlled Li-ion battery charge system with active state-of-chargecontroller. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, (48), pp. 585–593.
25. Ionescu, P. D., Moscalu, M., Moscalu, A. (2003). Intelligent charger with fuzzy logic. *Signals, Circuits and Systems, 2003. SCS 2003. International Symposium*, (1), pp. 101–104.
26. Sugimoto, Y. (2015). The Solar Cells and the Battery Charger System Using the Fast and Precise Analog Maximum Power Point Tracking Circuits. *IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI* (pp. 597–602).
27. Fesenko, A. P., Ershov, R. D., Stepenko, S. A. (2017). Ohliad ta obgruntuvannia vyboru akumulatornykh batarei dlia avtonomnoi systemy elektrozhyvlennia na osnovi fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv [Review and justification of the choice of batteries for autonomous power supply system based on photovoltaic converters]. *Technical sciences and technologies – Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*, 1(7), pp. 177-186.
28. Shmelev, Y. N., Boyko, S. N., Gorodny, A. N., Chernikhova, E. S., Vladov, S. I. (2017). Elektrotekhnichniy kompleks kontroliu stanu aviatsiinykh akumulatornykh batarei [Electrotechnical complex of control of a condition of aviation accumulator batteries]. *Technical sciences and technologies – Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*, 4(10), pp. 123-132.
29. Jan Semjon, Ján Grexa, Peter Mako. (2018). Docking station design for mobile robotic platform type agv. *Technical sciences and technologies*, 4(14), pp. 210-215.

UDC 621.377

Dmytro Zakharchenko, Serhii Stepenko

REVIEW AND JUSTIFICATION OF THE ENERGY STORAGE DEVICES SELECTION FOR ELECTRIC POWER FACILITIES OPERATION

Urgency of the research. The study of electricity storage for the operation of power facilities, characteristics and their consideration when choosing the type of storage for the facility will optimize the system as a whole.

Target setting. Scientific and technical development and the environmental situation make more stringent requirements for the power system.

Actual scientific researches and issues analysis. The classification and main characteristics of existing energy storage devices, their main advantages and disadvantages are considered.

Uninvestigated parts of general matters defining. There The main problem with the use of new types of electricity storage is the lack of their widespread use in the market of electricity facilities.

The research objective. The aim of the work is to develop a methodology for determining the optimal type and model of universal electricity storage and analysis of its advantages and disadvantages.

The statement of basic materials. The analysis of existing types of electric energy storage devices and their characteristics is carried out. Methods are proposed that are based on a comparison of unit cost, volume capacity, environmental impact and service life. The main differences of each type of electricity storage, their advantages and disadvantages are analyzed.

Conclusions. The proposed method is based on a comparison of unit cost, volume capacity, environmental impact and service life. The main differences of each type of electricity storage, their advantages and disadvantages are analyzed. Using the proposed technique, the optimal choice of electricity storage for power facilities is made.

Keywords: energy storage, storage battery, lithium-ion battery, lead-acid battery, nickel-cadmium battery, unit cost.

Table: 7. Fig.: 2. References: 29.

Захарченко Дмитро Станіславович – аспірант, магістр автомобільного транспорту, Національний Університет «Чернігівська Політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Zakharchenko Dmytro - PhD student, Master of Motor Transport, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko Str., Chernihiv, 14035, Ukraine).

E-mail: dimazakhar@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3009-5648>

Степенко Сергій Анатолійович – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник, Національний Університет «Чернігівська Політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Stepenko Serhii – PhD in Electrical Engineering, leading researcher, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko Str., 14035 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