

УДК 629.33

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ  $\text{LiFePO}_4$  БАТАРЕЙ****О.П. Сітовський, доцент, к.т.н., А.М. Кашуба, аспірант,  
Луцький національний технічний університет**

*Анотація.* Проведено експериментальні дослідження параметрів  $\text{LiFePO}_4$  батарей. Виготовлено та налаштовано комплекс вимірювальної апаратури для визначення енергетичних параметрів акумуляторних батарей. Визначено залежності заряду, накопиченого в акумуляторній батареї, від напруги в режимах заряду та розряду.

**Ключові слова:** експериментальні дослідження, акумуляторна батарея, заряд, розряд, ємність.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ  $\text{LiFePO}_4$  БАТАРЕЙ****О.Ф. Ситовский, доцент, к.т.н., А.Н. Кашуба, аспирант,  
Луцкий национальный технический университет**

*Аннотация.* Проведены экспериментальные исследования параметров  $\text{LiFePO}_4$  батарей. Изготовлен и настроен комплекс измерительной аппаратуры для определения энергетических параметров аккумуляторных батарей. Определены зависимости заряда, накопленного в аккумуляторной батарее, от напряжения в режимах заряда и разряда.

**Ключевые слова:** экспериментальные исследования, аккумуляторная батарея, заряд, разряд, емкость.

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF  $\text{LiFePO}_4$  BATTERIES PARAMETERS****O. Sitovskyi, Associate Professor, Doctor of Technical Science,  
A. Kashuba, postgraduate, Lutsk National Technical University**

*Abstract.* The experimental researches of  $\text{LiFePO}_4$  batteries parameters are conducted. The complex test equipment for determination of energy parameters of batteries is made and configured. The dependences of the charge accumulated in the battery on the voltage in the charge and discharge modes.

**Key words:** experimental research, battery, charge, discharge, capacity.

**Вступ**

Споживання палива з кожним роком зростає. На автомобільний транспорт припадає значна частина споживаних енергетичних ресурсів. Це зростання призводить до вичерпання покладів нафти, оскільки нафта є скінченим джерелом енергії. Разом з тим паливо на основі нафти чинить неабиякий вплив на навколишнє середовище. Вчених всього світу турбує питання збереження чистоти довкілля, оскільки екологічна обстановка у світі

значно погіршилась за останні десятиліття. Викиди шкідливих речовин двигунами внутрішнього згоряння транспортних засобів суттєво впливають на екологічне забруднення довкілля.

**Аналіз публікацій**

На сьогодні автомобільна промисловість велику увагу приділяє розробці транспортних засобів із гібридними силовими установками та електромобілів. Однак до недавнього часу головним недоліком таких транспортних за-

собів була низька питома ємність і низька довговічність акумуляторних батарей та інших накопичувачів електроенергії. Технічний прогрес дозволив організувати розробку і масовий випуск літій-іонних акумуляторних батарей.

Найбільш перспективними є літій-ферофосфатні ( $\text{LiFePO}_4$ ) батареї [1, 2]. Вони мають високу питому ємність 145–230 Вт·год/кг, великі зарядні та розрядні струми (до 10 С), тривалий термін служби (більше 6–7 років) [3, 4]. Такі батареї можуть швидко заряджатися – 85 % за півгодини зі струмом 2 С і розряджатись струмом 5 С протягом 10 с, що в 5–10 разів швидше, ніж в інших типів акумуляторних батарей (рис. 1, 2, 3).

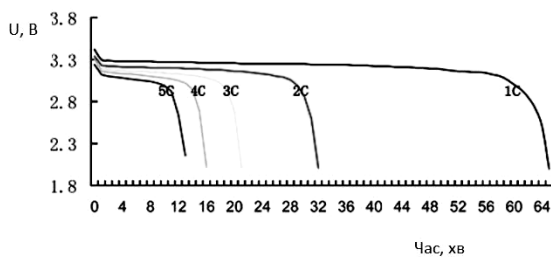


Рис. 1. Характеристика розряду  $\text{LiFePO}_4$  батарей

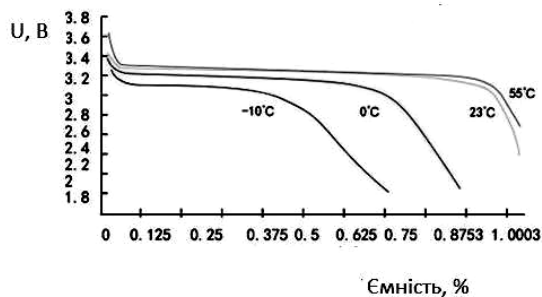


Рис. 2. Залежність ємності  $\text{LiFePO}_4$  батарей від температури

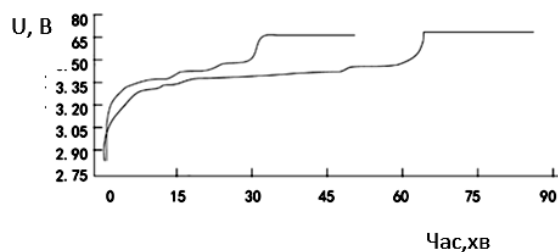


Рис. 3. Характеристика швидкого заряду  $\text{LiFePO}_4$  батарей

Число циклів заряд-розряд  $\text{LiFePO}_4$  батарей досягає понад 2000 із залишковою ємністю

80 % (рис. 4), що в 7 разів більше, ніж у свинцево-кислотних батарей, і в 2 рази більше, ніж у нікель-металгідридних батарей. Проте з підвищеними показниками ємності, потужності, строку служби до  $\text{LiFePO}_4$  батарей висуваються додаткові, більш жорсткі вимоги щодо граничних напруг, точності їх вимірювання і підтримування під час експлуатації.

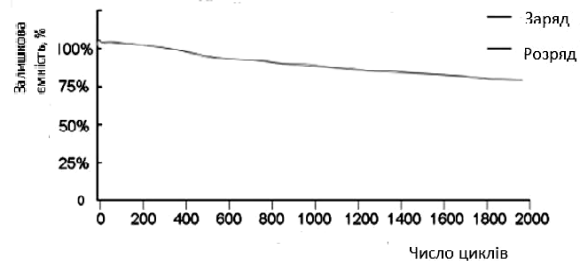


Рис. 4. Залежність залишкової ємності від числа циклів заряд-розряд

### Мета і постановка задачі

У даній роботі за мету ставилося провести експериментальні дослідження для визначення робочих характеристик батарей, виготовлених з  $\text{LiFePO}_4$  акумуляторів ємністю 15 А·год.

Відповідно до поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

1. Виконати цикл заряд-розряд батарей.
2. Під час заряду і розряду визначити співвідношення між процентом заряду батарей і напругою батарей.
3. Визначити межі спрацювання балансирів і номінальні струми для їх правильної роботи.

### Результати досліджень

Для проведення експериментальних випробувань використовувались дві батареї  $\text{LiFePO}_4$  акумуляторів (по 16 акумуляторів в одній батареї) ємністю по 15 А·год, з'єднані паралельно-послідовно (2P8S). У зв'язку з підвищеними вимогами до напруги кінця заряду і напруги кінця розряду на акумулятори було встановлено 16 балансирів для контролю вказаних напруг і автоматичного вирівнювання між акумуляторами накопиченої енергії.

Заряд проводився за допомогою регульованого трансформаторного пристрою із зарядним струмом до 12 А. Розряд здійснювався навантаженням активних опорів, струмом 5–10 А.

Вимірювання проводилися за допомогою мультиметра Mastech MS 2108 А та прецизійного ватметра й аналізатора енергії ВК320 12615. Їх технічні характеристики наведені в табл. 1.

Таблиця 1 Технічні характеристики вимірювальних приладів

№	Показник	Діапазон	Похибка
1	Напруга, В	4,8–60	0,01
2	Струм, А	0–130	0,01
3	Потужність, Вт	0–6554	0,1
4	Енергія, Вт·год	0–6554	0,1
Mastech MS 2108 А			
5	Напруга, В	40–400	± 0,8 %
6	Струм, А	40–400	± 2 %

У результаті проведених експериментальних досліджень було виконано цикли заряд-розряд LiFePO<sub>4</sub> батарей. Під час виконання циклів заряд-розряд постійно велись спостереження і фіксувались напруга, струм, потужність, передана енергія (рис. 5).



Рис. 5. Літійові батареї під час проведення циклу

У процесі проведення експериментальних досліджень було встановлено, який процент енергії передано до батареї або отримано від неї залежно від напруги на клеммах. Результати замірів наведені на графіках (рис. 6, 7).

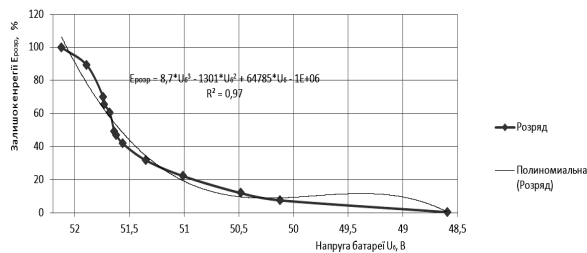


Рис. 6. Залежність процента залишкового заряду батареї від напруги при розряді

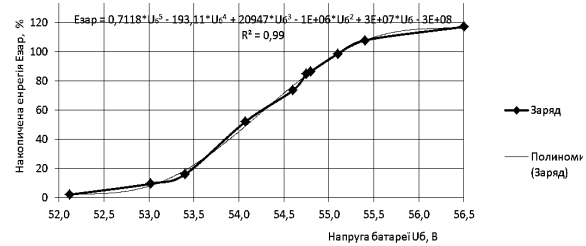


Рис. 7. Залежність процента заряду батареї від напруги при заряді

## Висновки

У результаті експериментальних досліджень: – проведено дослідження та побудовано графіки залежності процента розряду та заряду LiFePO<sub>4</sub> акумуляторної батареї від напруги при 80 % глибині розряду; – визначено граничні напруги для надійної та безпечної експлуатації LiFePO<sub>4</sub> батарей з 16 елементів ( $U_{\min}=48$  В,  $U_{\max}=56,5$  В); – практично визначено оптимальні значення струму зарядки (1–2 А) при спрацюванні балансирів для вирівнювання ємності акумуляторів.

## Література

1. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, В.Я. Двандненко; за ред. О.В. Бажинова. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
2. Ломакин В.В. К вопросу выбора мощности ДВС энергетической установки гибридного автомобиля / В.В. Ломакин, А.В. Шабанов, А.А. Шабанов. [Електронний ресурс] // <http://www.aae-press.ru/f/78/26.pdf>.
3. Звонарёв Е. До 2000 циклов «заряд-разряд»: литий-железофосфатные аккумуляторы ЕЕМВ. Новости электроники № 2, 2012 г.: [Електронний ресурс] / Е. Звонарёв. – <http://compeljournal.ru/images/articles/>. 2012\_2\_10.pdf.
4. HiPower LiFePO<sub>4</sub> Battery test – Performance test. [Електронний ресурс]. – <http://www.hipowergroup.com/ad02.asp>.

Рецензент: О.В. Бажинов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 23 вересня 2013 р.