

Недоступ Леонід Аврамович, доктор технічних наук, професор, кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: lnedostup@polynet.lviv.ua.

Кіселічний Мирослав Дмитрович, кандидат технічних наук, професор кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: mkiselychnyk@polynet.lviv.ua.

Заярнюк Павло Михайлович, аспірант, кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: zayarnyukpm@gmail.com.

Бобало Юрій Ярославович, доктор технічних наук, професор, кафедра теоретичної радіотехніки та радіоізмерень, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

Бондарев Андрій Петрович, доктор технічних наук, професор, кафедра теоретичної радіотехніки та радіоізмерень, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

Недоступ Леонід Аврамович, доктор технічних наук, професор, кафедра теоретичної радіотехніки та радіоізмерень, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

Кіселічний Мирослав Дмитрович, кандидат технічних наук, професор кафедри теоретичної радіотехніки та радіоізмерень, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

Заярнюк Павло Михайлович, аспірант, кафедра теоретичної радіотехніки та радіоізмерень, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

Bobalo Yuriy, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: bobaloyu@lp.edu.ua.

Bondarev Andriy, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: bondar@ukr.net.

Nedostup Leonid, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: lnedostup@polynet.lviv.ua.

Kiselychnyk Myroslav, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: mkiselychnyk@polynet.lviv.ua.

Zayarnyuk Paolo, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: zayarnyukpm@gmail.com.

УДК 621.317.7

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.42517

Щербань А. П.,
Ларін В. Ю.

ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛІТІЙ-ПОЛІМЕРНИХ АКУМУЛЯТОРІВ

В статті розглянуті основні принципи побудови портативних джерел живлення, зокрема акумуляторів на основі літію. Приведені ілюстрації хімічних процесів, що проходять в них. Також описані конструктивні особливості різних видів акумуляторів на основі літію, а саме літій-іонних та літій-полімерних акумуляторів, особливості їх використання та режими заряджання.

Ключові слова: хімічне джерело струму, літій-полімерний акумулятор, ефект пам'яті, система балансування.

1. Вступ

Акумулятори є електрохімічними системами, в яких реалізуються функції накопичувачів електричної енергії. Акумулятори, як джерело електричної енергії застосовують в пристроях, апаратах або системах, дія яких заснована на автономному принципі функціонування, тобто незалежно від наявності у безпосередньої близькості електричної мережі.

В акумуляторах під час зарядки електрична енергія перетворюється в хімічну і система знаходиться в рівновазі доти, доки між електродами протікає навіть дуже малий струм. При підключенні контактів акумулятора до споживача електричної енергії (елементу з кінцевим електричним опором) відбувається зворотний процес: хімічна енергія перетворюється в електричну — при цьому частина її перетворюється в тепло [1, 2].

Мірою заряду, який акумулятор може накопичити в процесі зарядки, є ємність (це поняття слід відрізнити від електричної ємності конденсаторів), яка вимірюється в ампер-годинах. Корисний заряд, що видає акумулятор, залежить від струму розрядки і початкового ступеня заряду.

На сьогоднішній день поширені акумулятори п'яти різних електрохімічних схем:

- нікель-кадмієві (Ni-Cd);

- нікель-металгідридні (Ni-MH);
- свинцево-кислотні (Sealed Lead Acid, SLA);
- літій-іонні (Li-Ion);
- літій-полімерні (Li-Polymer).

Визначальним фактором для всіх перерахованих елементів живлення є не тільки портативність (тобто невеликий об'єм і вага), але і висока надійність, а також велика тривалість роботи.

Актуальність цієї теми обумовлена особливостями нашого часу, а саме використанням портативних пристроїв у різних сферах життя, починаючи від мобільних телефонів та планшетів і закінчуючи безпілотними повітряними суднами. У будь-якому з цих пристроїв необхідне портативне джерело живлення (акумулятор). А від вибору типу акумулятора будуть залежати особливості використання таких приладів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

За даною темою існує багато публікацій в іноземних виданнях. Але більшість із них приділяє особливу увагу хімічним тонкощам побудови літєвих акумуляторів, натомість змінюючи конструктивні особливості. Наприклад, в статті [3] пропонується використовувати

літій-йодид як основу батареї, додаючи до нього полімерний електроліт. А в роботі [4] автори пропонують використовувати обпалення кристалічної структури полімеру для покращення внутрішньої і зовнішньої мікроструктури полімеру, що в свою чергу буде стимулювати покращення електропровідності і стабільності заряду/розряду акумулятора.

Дослідження, які описані в статті [5], включає детальну інформацію про передові розробки в області твердих полімерних електролітів і гель полімерних електролітів, що використовуються в літєвих акумуляторах, включає в себе поглиблений аналіз характеристик батареї на основі цих полімерних електролітів.

Загальний аналіз джерел живлення в залежності від використовуваного електроліту приведений в статті [6]. Автор цієї роботи намагається узагальнити знання про деякі окремі мембрани в літій-іонних батареях. Розглядається це на принципі типових батарей з використанням керамічного скла, полімерних твердих іонних провідників і полімерного гелю в якості електроліту. Але і в цій роботі недостатньо приділена увага саме конструктивним особливостям та принципам використання батареї на основі літію.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — акумуляторні батареї на основі літію.

Мета дослідження — систематизувати знання про конструктивні тонкощі побудови літєвих акумуляторів, принципи їх використання, особливості заряду/розряду та переваги й недоліки певних різновидів акумуляторів на основі літію.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Дослідити і класифікувати різні види літєвих акумуляторів в залежності від допоміжних речовин та принципів побудови.

2. Проаналізувати переваги та недоліки кожного з представлених видів літєвих акумуляторів.

3. Описати принципи заряду літєвих акумуляторів та особливості їх розрядження.

4. Зробити вибір найбільш перспективного виду акумуляторів на основі літію та обґрунтувати його.

4. Результати дослідження літєвих акумуляторів

4.1. Акумуляторні батареї з використанням літію.

Літєві акумулятори працюють за рахунок окислювально-відновної реакції. У батареях анод складається з окислювальної речовини — відновника, катод — з речовини-окислювача, між ними знаходиться електроліт — рідина. Окислювач забирає у атомів відновника електрони. Іони, що утворилися, проходять через електроліт і приєднуються до окислювача, електрони ж по зовнішньому ланцюзі подаються на пристрій, що вимагає

живлення. Чим активнішими є окислювач і відновник, тим ефективніша робота батареї.

Літій використовують в якості анода, він володіє найбільшим електродним потенціалом (–3V). Як відомо, літій — найактивніший з металів. Він володіє величезним ресурсом зберігання енергії. 1kg здатний зберігати 3860 А/ч. Наприклад, для цинку цей показник складає 820 А/ч. Елементи на основі літію можуть виробляти напругу до 3,7V. А лабораторні зразки здатні виробляти навіть більшу напругу — близько 4,5V.

Літій — найлегший метал, тому його використання зменшує вагу акумулятора. Катод в літєвих акумуляторах роблять із сильних окислювачів. Коли в ході реакції від атомів літію від'єднуються електрони, утворюються позитивні іони ($Li \rightarrow Li^+ + e^-$). Вони проходять через електроліт і осідають на позитивному електроді. Коли весь літій у вигляді іонів осів на катоді, акумулятор розряджений. При заряджанні процес йде у зворотному напрямку — електрони рухаються від катода до анода, іони літію осідають на аноді, де насичуються електронами і стають нейтральними атомами (рис. 1).

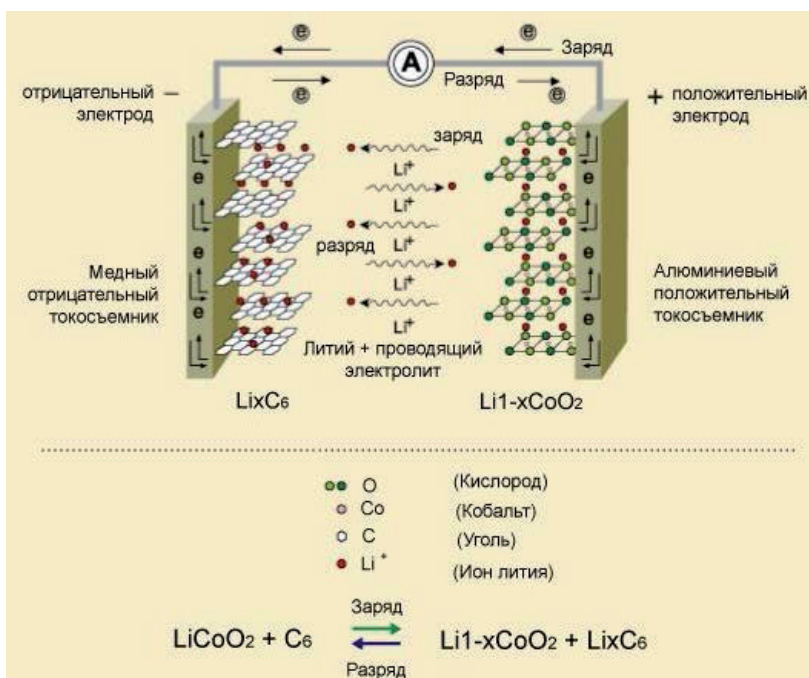


Рис. 1. Схема роботи літєвого акумулятора на прикладі літій-іонного акумулятора [7]

У сучасних літєвих акумуляторах чистий літій не застосовується. На цей час поширені 3 типи літєвих акумуляторів:

- Літій-іонні (Li-Ion). Номінальна напруга ($U_{ном}$) = –3,6V.
- Літій-полімерні (Li-Pol, Li-Polymer або «ліпо»). $U_{ном}$ = –3,7V.
- Літій-залізо фосфатні (Li-Fe або LFP). $U_{ном}$ = –3,3V.

Всі ці типи літєвих акумуляторів розрізняють за матеріалом катода або типом електроліту. В Li-Ion використовується катод з кобальтата літію $LiCoO_2$, в Li-Po застосовується електроліт з гелеподібного полімеру, а в Li-Fe використовується катод з літій-феро-фосфату $LiFePO_4$.

4.2. Li-Ion-акумулятори. Такі акумулятори були розроблені ще в 1940 році, але промисловий випуск почався лише в 1991 р. Їх вважають одними з найперспективніших джерел автономного живлення, але при цьому вони досі залишаються одними з найдорожчих (рис. 2). Вони мають високу енергетичну щільність, порядку $100 \text{ Wt} \cdot \text{h/kg}$, і забезпечують приблизно 300–500 циклів заряд/розряд.



Рис. 2. Схема конструкції Li-Ion-акумулятора

Акумулятори мають дуже низьку швидкість саморозряду (приблизно 3–5 % в перший місяць, потім зменшення до 1–3 % в місяць, додатково близько 3 % споживає схема управління). Крім того, при однакових габаритах, літєві джерела живлення працюють втричі довше, у порівнянні з Ni-Cd-акумуляторами, і у них абсолютно відсутній ефект пам'яті. Що стосується недоліків — насамперед, це висока ціна. Такі батареї необхідно зберігати в зарядженому стані, і у них є ефект старіння, навіть якщо акумулятор не використовується. Цей ефект проявляється в тому, що через рік після виготовлення знижується його ємність, а через два роки він іноді виходить з ладу [8–10].

4.3. Li-Polymer-акумулятори. Це одна з останніх розробок в літєвій технології. Потенційно такі акумулятори дешевші, ніж Li-Ion-акумулятори, але на сьогодні все ж залишаються найдорожчими джерелами живлення. Виробляють цей тип акумуляторів лише кілька відомих виробників. По конструкції вони подібні до своїх попередників, але використовують гелієвий електроліт, тому можуть мати нетрадиційну форму. Ці джерела мають ще більш високу енергетичну щільність (до $160 \text{ Wt} \cdot \text{h/kg}$) і малий струм розряду, причому нинішні зразки здатні витримати дуже велику кількість циклів заряд/розряд — близько 1000. Ще однією перевагою цих акумуляторів є те що вони досить компактні і легкі.

Полімерно-літєві акумулятори складаються з секцій або стеків. Кожна з секцій містить три електрода і сепаратор з полімером, який діє як електроліт і як зв'язуюча речовина. Негативний електрод розташований між двома позитивними і за допомогою термального впливу всі компоненти об'єднують у стек. Товщина однієї секції близько 0,6 мм. Залежно від кількості стеків можна отримати акумулятор тієї чи іншої ємності (рис. 3). Зовні джерело живлення загортають в полімерно-алюмінієву плівку (рис. 4). Принципово іонно-літєві і полімерно-літєві акумулятори не розрізняються, але останні мають одну важливу перевагу. Але оскільки їх робочою речовиною є гель, що складається з суміші полімеру і електроліту, то витік рідини стає просто неможливим.

Можливість заміни рідкого органічного електроліту на полімерний (при зниженні ймовірності його витоків) і збільшення безпеки роботи літій-іонного акумулятора вивчалися з самого початку комерціалізації цих джерел струму.

В основі ідеї літій-полімерного акумулятора (Li-Pol або Li-Polymer) лежить відкрите явище переходу деяких полімерів в напівпровідниковий стан в результаті впровадження в них іонів електроліту.

Літій-полімерні акумуляторні батареї — це одна з найбільш досконалих конструкцій акумуляторних джерел живлення.

Провідність полімерів при цьому зростає більш ніж на порядок. До теперішнього часу розроблені і серійно виготовляються літєві джерела струму з електролітами, які можуть бути поділені на три групи:

- сухі полімерні електроліти (найчастіше на базі поліетиленоксиду, в який вводяться різні солі Li);

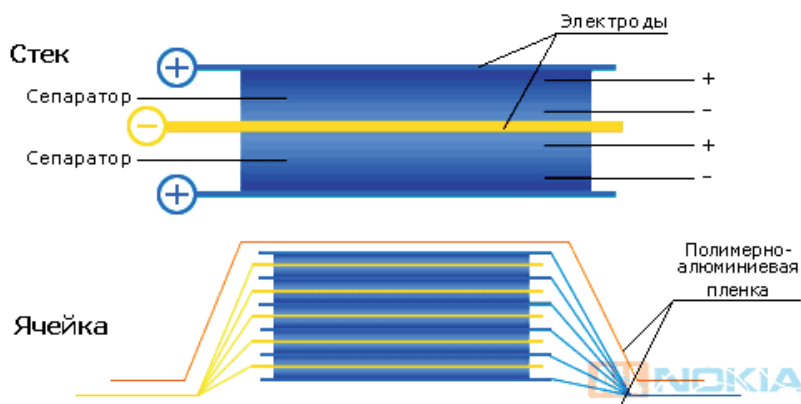


Рис. 3. Схема внутрішньої структури Li-Pol-акумулятора



Рис. 4. Зовнішній вигляд різних Li-Pol акумуляторів

— гелі-полімерні гомогенні електроліти, які утворюються при впровадженні в полімер (або суміш полімерів) солей Li з пластифікатором-розчинником; — неводні розчини солей Li, сорбовані в мікропористій полімерній матриці.

У порівнянні з рідкими електролітами в літій-іонних акумуляторах, полімерні електроліти мають меншу іонну провідність, яка до того ж додатково знижується при температурі нижче нуля. Тому проблема розробок Li-Pol акумуляторів складається не тільки в пошуку іммобілізованого електроліту з досить високою провідністю, сумісного з електродними матеріалами, а й у розширенні температурного діапазону Li-Pol акумуляторів. Уже в першому поколінні літій-полімерних акумуляторів підбором співполімерів вдалося домогтися високої міцності електродів, а іонну провідність електроліту батарей збільшити практично втричі. Якщо на самому початку своєї історії дана група акумуляторів використовувалася лише для живлення портативних пристроїв, то в наш час вона перетворилася на одні з найбільш потужних джерел струму, які застосовують для забезпечення роботи сучасних електричних транспортних засобів. Наприкінці ХХ ст. канадським вченим вдалося створити емнісну літій-полімерну батарею для електромобіля.

Сучасні літій-полімерні акумулятори забезпечують не гірші питомі характеристики, ніж у літій-іонних акумуляторів. Завдяки відсутності рідкого електроліту вони більш безпечні у використанні. Li-Pol акумулятори компактні і можуть бути виконані в будь-якій конфігурації. Їх контейнер може бути виконаний з металізованого полімеру [8–10].

Сучасні Li-Pol акумуляторні батареї володіють хорошими питомими характеристиками. Кількість їх робочих циклів заряду/розряду — 500 і більше. Відсутність рідкого електроліту робить ці акумуляторні джерела струму більш безпечними в експлуатації, ніж літій-іонні акумулятори попередніх поколінь.

Суттєвих обмежень в конструктивному виконанні ці акумулятори не мають, і можуть виготовлятися в будь-якій конфігурації. Як правило, зовнішня корпусна частина літій-полімерних батарей виконується з металізованого полімеру.

Однак, робочі щільності струму і електричні характеристики Li-Pol акумуляторів незначні та помітно погіршуються при зниженні температури через кристалізацію полімеру. Всі розробники відзначають, що на якість Li-Pol акумуляторів і стабільність їх роботи сильно впливає однорідність полімеру, на яку впливають як співвідношення компонентів електроліту, так і температура полімеризації.

4.4. Ефект пам'яті. Серед особливих переваг розглянутих акумуляторів варто відзначити відсутність в них ефекту пам'яті.

Ефект пам'яті — це оборотний ефект втрати ємності акумулятора, який притаманний NiCd (Нікель-кадмієвим) і Ni-Mh (Нікель-металгідридним) акумуляторам. Тобто джерело живлення видає тільки заряд, отриманий в ході останньої підзарядки. Такий ефект розвивається при багаторазовому заряді недорозряджених батарей на основі нікелю і найсильніше проявляється в нікель-кадмієвих акумуляторах. Робоча речовина нового акумулятора має однорідну структуру з мікрочастинок і найбільшу площу активної поверхні. Протягом експлуатації робоча речовина поступово змінює свою

структуру в бік зменшення площі активної поверхні і збільшення часток робочої речовини (рис. 5).

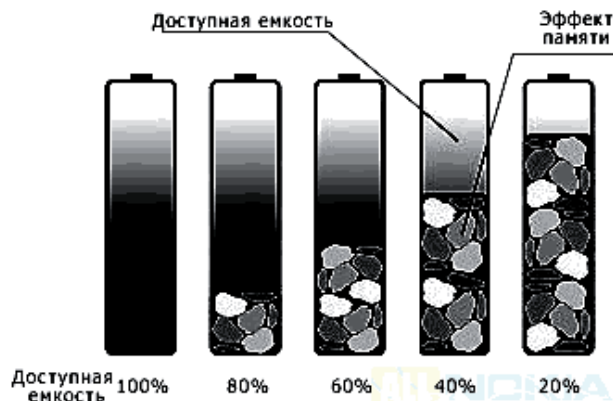


Рис. 5. Відображення ефекту пам'яті акумуляторів [11]

В момент, з якого починається зарядка акумулятора, в сепараторі акумулятора утворюється хімічна сполука, яка заважає подальшому, глибокому розрядженню. Нині ця проблема успішно вирішується шляхом оснащення зарядного пристрою функцією Refresh, дія якої зводиться до попереднього розряду батареї до деякої мінімально допустимої величини ємності і подальшої зарядки. Таким чином, при використанні цієї функції акумулятор всякий раз заряджається практично «з нуля».

Усувають цей ефект повною глибокою розрядкою і зарядкою батареї кілька разів. Така процедура призводить практично до відновлення ємності акумулятора, або наближенню до неї.

4.5. Особливості заряду/розряду Li-Pol акумуляторів.

Літій-полімерні акумулятори вимагають особливого режиму заряду: на відміну від свинцево-кислотних батарей, при заряді яких допускається досить гнучкий діапазон напруги кінця підзарядки, до величини напруги при заряді зазначених акумуляторів пред'являються значно жорсткіші вимоги (рис. 6).

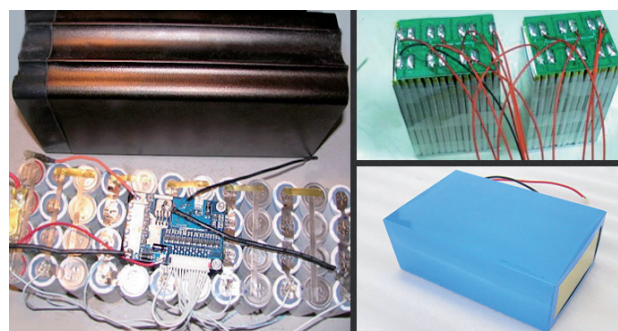


Рис. 6. Зарядження Li-Pol акумуляторів [8]

Під час їх зарядження використовується метод CC-CV. Тобто, спочатку батарея заряджається деяким фіксованим струмом (constant current – CC), при цьому напруга на стеках батареї зростає. По досягненні напругою 4,2V на кожній банці батарея вже заряджена приблизно на 95%. Далі зарядний пристрій переходить до другої фази алгоритму заряду CV (constant voltage – постійна напруга). При цьому струм поступово знижується так, щоб напруга на кожному стеці не перевищила 4,2V.

Ця величина визначається хімічним складом Li-Pol батареї. Перевищення її допустимо не більше, ніж до 4,25 V, а досягнення значення 4,3 V і вище загрожує вибуховим самозайманням.

Фазою заряду CV в польових умовах можна знехтувати: вона додає тільки останні 5 % ємності, але займає від третини до половини загального часу заряду при заряді струмом 1 C. Тому можна припинити заряд по досягненні батареєю максимального значення напруги, заощаджуючи час [12, 13].

При розряді в процесі експлуатації неприпустимо зниження напруги на кожному з стеків нижче 3 V. Достатньо один раз розрядити LiPo батарею до 2,5 V на стек, і вона вийде з ладу. Після такого розряду батарея може «роздутися», вона втрачає більше половини ємності і перестає видавати номінальний струм розряду. Протягом деякого часу батарея втрачає ємність практично повністю.

Звідси виникає проблема експлуатації Li-Pol-акумуляторів, яка полягає в тому, що при заряджанні необхідно контролювати напругу на кожному з стеків, щоб не вивести акумулятор з ладу, а при подальшому розряджанні всі стеки розряджалися однаково, але не нижче допустимого мінімуму. Звичайний зарядний пристрій може контролювати напругу на батареї в цілому, але при великому діапазоні напруг на стеках цілком можливий варіант, коли напруга на одному з них ще 4,05 V, а на другому вже 4,3 V. Контрольний модуль зарядного пристрою вимірює тільки сумарну напругу 8,35 V і продовжує заряджати батарею до 8,4 V ($4,2 * 2$). При цьому напруга на другому стеку перевищує 4,3 V, що з великою ймовірністю призведе до займання. При розряді незбалансованої батареї ця ж проблема здатна привести до перерозряду окремо взятого стека, незважаючи на те, що сумарна напруга ще вище, ніж 3 V помножене на кількість стеків.

Для вирішення цієї проблеми використовується спеціальний пристрій, який називається балансер. Під час заряду він стежить за напругою на кожному із стеків і вирівнює значення їх напруг між собою. При цьому зарядний пристрій припинить процес заряду вчасно, не виводячи акумулятор з ладу. При розрядженні збалансованої батареї на споживачі всі стеки також розряджаються більш-менш рівномірно, і при зниженні сумарної напруги до 3 V на стек повинно спрацювати відсічення регулятора, що запобігатиме виходу батареї з ладу. Багато сучасних зарядних пристроїв вже мають вбудований балансер, яким обов'язково слід користуватися, підключаючи окремий балансувальний роз'єм батареї поряд з силовим і вибираючи відповідний режим заряду. Для пристроїв, що не мають вбудованого балансиру, слід застосовувати окремий зовнішній пристрій.

Струм заряджання Li-Pol-акумулятора не повинен перевищувати ємності акумулятора, тобто максимальний струм заряджання дорівнює 1 C. Наприклад, для заряджання акумулятора ємністю 2200 mA/h струм заряду не повинен перевищувати 2,2 A. У той же час не слід ставити струм заряду менше, ніж 0,5 C.

Примусово розряджати або цикловати літєвий акумулятор немає ніякого сенсу, так як ці батареї не мають ефекту пам'яті і повинні зберігатися в зарядженому стані (найбільш оптимальний режим зберігання — 60 % заряду). Струм розряду акумулятора може бути будь-яким, але не більше його номіналу, зазначеного

на етикетці також в одиницях величини ємності C. Наприклад, 20 C на акумуляторі 1000 mA/h означає, що максимальний безперервний струм розряду дорівнює $20 * 1000 = 20000 \text{ mA} = 20 \text{ A}$. Слід зауважити, що якщо не використовувати акумулятор на межі його можливостей, то він функціонуватиме протягом набагато більшої кількості циклів. Скажімо, для одного з Li-Pol-акумуляторів з номінальним струмом 30 C наводяться такі типові дані: при заряді і розряді струмами в 1 C виробник гарантує 500 циклів без істотної втрати ємності. При заряді струмом 1 C, але розряді максимальним допустимим струмом в 30 C кількість циклів складе всього 50 (впаде в 10 разів). Це дає хороший приклад того, чому бажано мати запас по струму батареї при підборі силової установки.

Акумулятори працездатні при температурі від мінус 20 до +60 °C. При температурі вище за 0 °C ємність батареї при струмі розряду 0,5 C практично не падає, але при мінусових температурах помічається значне її зниження.

5. Обговорення результатів дослідження літєвих акумуляторів

В цьому дослідженні була проведена робота по узагальненню та аналізу існуючих даних про акумулятори на основі літію. Було встановлено, що найбільш перспективним типом останніх є літій-полімерні акумулятори. Хоча вони мають досить високу вартість, але мають ряд переваг, зокрема безпека використання, простота виготовлення потрібної конфігурації та відсутність ефекту старіння.

Серед недоліків цієї роботи можна зазначити невелике приділення уваги математичним розрахункам параметрів різних типів акумуляторів, але проведеного дослідження досить для того, щоб робити судження про перевагу літій-полімерних акумуляторів над іншими.

Результати цього дослідження будуть корисними для вибору типів акумуляторів для тих чи інших приладів, для виконання порівняльних аналізів та ін. Надалі планується використати отримані результати для розробки математичної моделі системи контролю параметрів використання енергії безпілотного повітряного судна, живлення систем якого буде здійснюватися саме завдяки літій-полімерному акумулятору.

6. Висновки

В результаті проведених досліджень:

1. Описані різні види акумуляторів на основі літію, проілюстровані їх конструктивні особливості та зовнішній вигляд, пояснені принципи роботи.
2. На основі наведених даних про параметри літєвих акумуляторів здійснений вибір на користь літій-полімерних акумуляторів.
3. Описані принципи заряду літій-полімерних акумуляторів та особливості їх експлуатації.

Таким чином, літій-полімерні акумулятори посідають провідне місце в портативних джерелах струму. Особливості їх конструкції дозволяють попередити протікання та займання. Використання літєвих акумуляторів надає можливість значною мірою продовжити роботу портативних пристроїв та розширити їх можливості. Але при цьому треба бути дуже уважним до умов експлуатації

таких акумуляторів, а також до процесу їх заряджання. Необхідно використовувати тільки спеціальні зарядні пристрої. В цьому полягає один з недоліків таких джерел живлення. Іншою їх вадою можна вважати залежність ємності акумулятора від температури навколишнього середовища. Але й ця проблема вирішується використанням спеціальних ізолюючих матеріалів, які підтримують необхідний рівень температури.

Література

1. Опра, Д. П. Органические полимерные катодные материалы для первичных литиевых источников тока: физико-химические исследования [Текст]: автореферат дис. ... кандидата хим. наук: 02.00.04 / Д. П. Опра; Институт химии Дальневосточного отделения РАН. — В., 2004. — 9 с.
2. Багоцкий, В. С. Химические источники тока [Текст] / В. С. Багоцкий, А. М. Скундин. — М.: Энергоиздат, 1981. — 360 с.
3. Zhao, Y. An Aqueous Lithium-Iodine Battery with Solid Polymer Electrolyte-Coated Metallic Lithium Anode [Text] / Y. Zhao, N. B. Mercier, H. R. Byon // ChemPlusChem. — 2014. — Vol. 80, № 2. — P. 344–348. doi:10.1002/cplu.201402038
4. Bin, W. Summary of Lithium-Ion Battery Polymer Electrolytes [Text] / W. Bin, F. Chun // Advanced Materials Research. — 2012. — Vol. 535–537. — P. 2092–2099. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.535-537.2092
5. Zhao, Y. Polymer Electrolytes for Lithium/Sulfur Batteries [Text] / Y. Zhao, Y. Zhang, D. Gosselink, T. N. L. Doan, M. Sadhu, H.-J. Cheang, P. Chen // Membranes. — 2012. — Vol. 2, № 4. — P. 553–564. doi:10.3390/membranes2030553
6. Yang, M. Membranes in Lithium Ion Batteries [Text] / M. Yang, J. Hou // Membranes. — 2012. — Vol. 2, № 4. — P. 367–383. doi:10.3390/membranes2030367
7. Ефимов, О. Н. Новые материалы для литиевых аккумуляторов [Текст] / О. Н. Ефимов, Д. Г. Белов, Г. П. Белов и др. // Машиностроитель. — 1995. — № 3. — С. 24–28.
8. Скундин, А. М. Современное состояние и перспективы развития и исследований литиевых аккумуляторов [Текст] / А. М. Скундин, О. Н. Ефимов, О. В. Ярмоленко // Успехи химии. — 2002. — Т. 71, № 4. — С. 378–398.
9. Хоменко, В. Г. Електрохімічні конденсатори на основі електропровідних полімерів [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.03 / В. Г. Хоменко; НТУУ «КПІ». — К., 2011. — С. 14.
10. Потупчик, С. Литий-полимерные (Li-Pol) аккумуляторы [Электронный ресурс] / С. Потупчик // RCDesign. — Режим доступа: \www/URL: http://www.rcdesign.ru/articles/engines/lipol. — 10.02.2015.

11. Кедринский, И. А. Химические источники тока с литиевым электродом [Текст] / И. А. Кедринский, В. Е. Дмитриенко, Ю. М. Поваров и др. — Красноярск: Изд. Краснояр. ун-та, 1983. — 247 с.
12. Ярмоленко, О. В. Новые полимерные электролиты, модифицированные краун-эфирами, для литиевых источников тока [Текст]: автореферат дис. ... доктора химических наук: 02.00.05 / О. В. Ярмоленко; Институт физической химии и электрохимии РАН им. А. Н. Фрумкина. — М., 2012. — С. 7–9.
13. Вайлов, А. М. Автоматизация контроля и обслуживания аккумуляторных батарей [Текст] / А. М. Вайлов, Ф. И. Эйгель. — М.: Связь, 1985. — 156 с.

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИТИЙ-ПОЛИМЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

В статье рассмотрены основные принципы построения портативных источников питания, в частности аккумуляторов на основе лития. Приведены иллюстрации химических процессов, проходящих в них. Также описаны конструктивные особенности различных видов аккумуляторов на основе лития, а именно литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов, тонкости их использования и режимы подзарядки.

Ключевые слова: химический источник тока, литий-полимерный аккумулятор, эффект памяти, система балансировки.

Щербань Анастасія Павлівна, аспірант, кафедра інформаційно-виміральної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: tkach_anastasiya@bk.ru.

Ларін Віталій Юрійович, доктор технічних наук, професор, кафедра інформаційно-виміральної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: vjlarin@gmail.com.

Щербань Анастасия Павловна, аспирант, кафедра информационно-измерительной техники, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Ларин Виталий Юрьевич, доктор технических наук, профессор, кафедра информационно-измерительной техники, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Shcherban Anastasia, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: tkach_anastasiya@bk.ru. Larin Vitaliy, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: vjlarin@gmail.com