

СПЕЦІАЛЬНІ РОЗРОБКИ

УДК 651.35+544.6

В.А. Білогуров (ДНДІ МВС України)

ПОРІВНЯННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ РІЗНИХ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ СИСТЕМ¹

У цій частині статті порівнюємо літієві елементи різних електрохімічних систем, характеристики літій-іонних акумуляторних батарей, їхню конструкцію, особливості використання і заходи безпеки при експлуатації літій-іонних акумуляторів, обмеження для акумуляторів при низьких температурах.

Ключові слова: хімічні джерела струму, первинні, вторинні джерела, ємність джерела струму, цикли заряд-розряд.

В этой части статьи сравним литиевые элементы различных электрохимических систем, характеристики литий-ионных аккумуляторных батарей, их конструкцию, особенности использования и меры безопасности при эксплуатации литий-ионных аккумуляторов, ограничения для аккумуляторов при низких температурах.

Ключевые слова: химические источники тока, первичные, вторичные источники, емкость источника тока, циклы заряд-разряд.

In this part of the paper, we compare the lithium elements of various electrochemical systems, the characteristics of lithium-ion batteries, their design, usage and safety measures in the operation of lithium-ion batteries, and limitations on batteries at low temperatures.

Keywords: chemical power supplies, primary, secondary sources, capacity of power supply, charge-discharge cycles.

Літієві елементи. Особливості літієвих елементів.

Джерела струму з високими енергетичними характеристиками і розширеним діапазоном експлуатаційних можливостей були створені при відмові від водних електролітів.

Найбільші успіхи були досягнуті під час розробки літієвих елементів з органічним і твердим електролітом.

Також досліджувалися джерела струму із твердофазними (MnO_2 , CuO , I_2 , CF_x , FeS_2 і багато інших) і рідкофазними катодними матеріалами (SO_2 і $SOCl_2$). Основні характеристики літієвих елементів найпоширеніших систем представлені в таблиці 1, нижче описані їхні особливості і показані робочі характеристики.

Літієві елементи в цей час у певних галузях техніки успішно конкурують із дешевшими елементами з водним електролітом. Їх використовують в годинниках, фотокамерах, калькуляторах, для захисту пам'яті інтегральних схем, у вимірювальних приладах і медичному обладнанні, там, де потрібна висока стабільність робочої напруги протягом багатьох років експлуатації.

¹ Закінчення. Початок у № 1, 2017. Продовження в № 2, 2017.

Літєві елементи різних електрохімічних систем [1, с. 44]

Характеристики	Джерело струму					
	Li/MnO ₂	Li/SO ₂	Li/SOCl ₂	Li/CF _x	Li/CuO	Li/I ₂
НРЛ, В	3,5	3,0	3,67	3,3	1,6	2,8
Робоча напруга, В	3,0	2,6–2,9	3,3–3,5	–	1,2–1,5	–
Кінцева напруга, В	2,0	2,2	2,2	2,0	0,9–1,0	2,2
Питома енергія						
вагова, Вт/год./кг	До 250	300–340	До 600	250	300	–
об'ємна, Вт/год./дм ³	500	500–560	До 1100	600	600	До 1000
Діапазон робочих температур, °С	-20 – +55	-60 – +70	-50 – +70 (до+130)	-20–+60	-10–+70	-10–+60
Саморозряд, % в год.	2–2,5	1–2	1,5–2	1–2	1–2	1

Розроблено і потужні джерела струму, здатні до віддачі імпульсів великої енергії навіть після 10–12 років зберігання.

До герметизації літєвих елементів пред'являються підвищені вимоги, тому що повинна бути виключена можливість не тільки витікання електроліту, але й потрапляння всередину повітря і пари води, через що виникає небезпека пожежі або вибуху елемента.

Висока реактивність літію, вплив вологості повітря на стан електродів і електроліту визначають підвищену складність при виготовленні елементів, необхідність проведення технологічних операцій у герметичних блоках з атмосферою аргону і “сухих” приміщеннях.

Літєві елементи, циліндричні і дискові, випускаються в габаритах елементів традиційних електрохімічних систем. Тому потрібно бути уважним, щоб не допускати помилок випадкових заміन елементів з робочою напругою 1,5 В на літєві, напруга яких значно більша. Літій – елемент, який також має цілий ряд батарей із літєвих елементів великої ємності (десятки й сотні ампер-годин) для спеціального призначення.

Сучасна техніка безупинно розвивається, виникають нові потреби і на їхню вимогу розробляються нові технології джерел живлення. Тому на зміну традиційним джерелам живлення, таким як нікель-кадмієві і нікель-металгідридні, прийшли літій-іонні. Літій давно привертав до себе увагу розроблювачів, у першу чергу, тим, що такі елементи мають підвищену напругу від 1,5 до 3,6 В, залежно від матеріалу другого електрода.

При порівняльній масі одного елемента вони мають більшу ємність ніж у конкурента (перевершуючи NiCd-акумулятори в 4–5 разів, а NiMH в 3–4 рази) і дають вищу напругу на одному елементі. Наприклад, напруга елемента найпоширеніших споживчих форматів у літій-іонних акумуляторах становить 3,6 В, що в три рази вище, ніж у NiCd- і NiMH-елементів. Отже, там, де колись були потрібні батареї із двох або трьох елементів, сьогодні можна використовувати

тільки один елемент. Серед літєвих джерел розрізняють два основних типи – літій-іонні (Li-Ion) і літій-полімерні (LiPo, Li-Po або Li-Pol). Вони відрізняються за типом електроліту, що використовується при їхньому виготовленні. У випадку Li-Ion – це гелевий електроліт, у випадку LiPo – спеціальний полімер, насичений розчином літію.

Однак технологія виготовлення Lithium-Ion-пристроїв вдосконалюється швидко, а разом із нею змінюється термін дії батарей.

Літій-іонні (Li-ion) акумуляторні батареї

Літій є активним легким металом і має негативний електрохімічний потенціал. Завдяки цьому літій характеризується найбільшою теоретичною питомою електричною енергією. Вторинні джерела струму на основі літію мають високу напругу розряду і значну ємність. Практично всі джерела живлення, що мають високу питому густину, використовують літій завдяки його хімічним властивостям. Кілограм літію здатний зберігати 3860 ампер-годин. Для порівняння, показник цинку – 820, а свинцю – 260. Залежно від типу анода, літєві елементи можуть створювати напругу від півтора до 3,6 Вольт, що вище, ніж у будь-яких інших елементів. Проблема полягала в тім, що літій занадто активний.

Він настільки бурхливо реагує з водою, що може загорітися. Спроби розробити літєві джерела струму, які мають можливість перезаряджатися, здійснювалися в 80-і роки, але були невдалими через неможливість забезпечення потрібного рівня безпеки при їхній експлуатації.

Також було встановлено, що в ході циклів заряд-розряд джерела струму з металевим літєвим електродом можливе виникнення короткого замикання всередині джерела струму. При цьому температура всередині акумулятора може досягати температури плавлення літію. У результаті бурхливої хімічної взаємодії літію з електролітом відбувається вибух. Основною проблемою при використанні літію є його висока активність.

Для того щоб вирішити цю проблему, технологію акумуляторів змінили і стали використовувати літій в іонному стані, а не з металевими літєвими пластинами.

Таким чином, був використаний потенціал літію при прийнятному рівні безпеки. У таких елементах іони літію перебувають в активних речовинах електродів, а не в металевих пластинах. Зазвичай, у таких елементах анод зроблений з вугілля, а катод – з літійкобальтдіоксиду. Як електроліт переважно використовують соляний розчин літію. Назву літій-іонні акумулятори (ЛІА) одержали через те, що електричний струм у зовнішньому ланцюзі з'являється через перенос літєвих іонів від анода до катода на основі різних сполук (найчастіше LiCoO_2 , LiNiO_2 і змішаних оксидів).

Основні характеристики. Принцип роботи цих батарей заснований на переміщенні позитивно заряджених іонів літію Li^+ між позитивними й негативними електродами в процесі розрядки й зарядки. Металевий літій у цих процесах участі не приймає, тому не виникає жодних проблем із відновленням електродів, що забезпечує стабільність і безпеку при використанні батареї.

Наявність негативного електрода, який приймає і віддає іони, є загальною для всіх систем, але існує широкий вибір матеріалів, придатних для реалізації позитивного електрода й здатних забезпечувати різницю потенціалів між електродами до 3 В.

Для нормальної роботи будь-якої електрохімічної батареї необхідно як мінімум три компоненти: два електроди й електроліт, що забезпечує перенос іонів. У малогабаритних батареях електроліт може бути твердим, рідким і желеподібним.

Рідкі електроліти застосовуються, як правило, у клеєних циліндричних батареях, але через високу небезпеку займання вони не застосовуються в інших системах. Тверді електроліти для літєвих батарей, що мають можливість перезарядження, розроблялися протягом десятиліть.

На їхній основі стало можливим створення тонких і плоских батарей, але з невеликим діапазоном робочих температур та малою потужністю, що обмежує галузь застосування таких пристроїв. Компромісним рішенням виглядає введення рідких електролітів у тверду плівку для утворення гелю, що повинно поліпшити параметри батарей.

Хімічні процеси Li-іон акумуляторів.

Для того щоб напруга акумулятора була достатньо високою, дослідники використали як активний матеріал позитивного електрода оксид кобальту. Літійований оксид кобальту має потенціал близько 4 В відносно літєвого електрода, тому робоча напруга Li-іон акумулятора має характерне значення 3 В і вище.

При розряді Li-іон акумулятора відбувається деінтеркаляція (вилучення) літію з вуглецевого матеріалу (на негативному електроді) і інтеркаляція (впровадження) літію в оксид (на позитивному електроді). При заряді акумулятора процеси проходять у зворотному напрямку. Отже, у всій системі відсутній металевий (нуль-валентний) літій, а процеси розряду й заряду зводяться до переносу іонів літію з одного електрода на інший. Тому такі акумулятори називаються "літій-іонні".

Процеси на негативному електроді Li-іон акумулятора.

Для всіх типів Li-іон акумуляторів, які доведені до комерціалізації, негативний електрод виготовляється з вуглецевих матеріалів. Інтеркаляція літію в вуглецевих матеріалах – це складний процес, механізм і кінетика якого істотно залежать від природи вуглецевого матеріалу і природи електроліту.

Вуглецева матриця, яка застосовується в аноді, може мати впорядковану шарувату структуру, як у природного або синтетичного графіту, неупорядковану аморфну або частково впорядковану (кокс, піролізний або мезофазний вуглець, сажа та ін.).

Іони літію при впровадженні розштовхують шари вуглецевої матриці і розташовуються між ними, утворюючи інтеркалати різноманітних структур. Питомий обсяг вуглецевих матеріалів у процесі інтеркаляції-деінтеркаляції іонів літію значно не змінюється.

Крім вуглецевих матеріалів, як матриця негативного електрода використовуються структури на основі олова, срібла і їхніх сплавів, сульфідів олова, фосфорити кобальту, композити вуглецю з наночастками кремнію.

Процеси на позитивному електроді Li-іон акумулятора

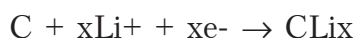
Якщо в первинних літєвих елементах застосовуються різноманітні активні матеріали для позитивного електрода, то в літєвих акумуляторах вибір матеріалу позитивного електрода обмежений.

Позитивні електроди літій-іонних акумуляторів створюються винятково з літійованих оксидів кобальту або нікелю і з літій-марганцевих шпінелей.

Зараз як катодні матеріали все частіше застосовуються матеріали на основі змішаних оксидів або фосфатів. Практикою доведено, що при використанні катодів зі змішаних оксидів досягаються найкращі характеристики акумулятора. Освоюються і технології покриттів поверхні катодів тонкодисперсними оксидами. При заряді Li-іон акумулятора відбуваються реакції на позитивних пластинах:



на негативних пластинах:



Постійний пошук матеріалів електродів і складу електроліту.

Сьогодні під назвою “літєві батареї” об’єднані джерела з різною хімічною структурою:

- літій/тіонілхлоридні (Li/SOCl₂);
- літій/ оксид сірки (Li/SO₂);
- літій/ оксид нікелю (Li/NiO₂);
- літій/ оксид марганцю (Li/MnO₂).

Найбільш вивчений і технологічно відпрацьований тип літєвих батарей – елементи на основі літій/ оксидів марганцю (Li/MnO₂ і Li/Mn₂O₄), тому із усієї групи саме вони найдоступніші.

Їхня ємність нижча ніж у матеріалів на основі кобальту, але вони дешевші й не вимагають такого складного контролера для керування процесами заряд-розряд. Li/NiO₂ (літій/ оксид нікелю) має більш високу ємність, ніж попередній оксид, але він складний у виготовленні й може мати проблеми щодо техніки безпеки. Тому для підвищення безпеки в акумуляторах великої ємності почали використовувати змішані оксиди кобальту й нікелю (20–30 % нікелю).

Батареї Li/SOCl₂ (тіонілхлоридні) характеризуються найвищою вихідною напругою (3,6 В), найбільш широким діапазоном температур (від –55 до +85 °С), низьким струмом саморозряду й невеликим типовим струмом розряду. Однак батареї з таким типом електроліту не “люблять” високих температур. А оскільки при значному струмі розряду на внутрішньому опорі батареї може виділятися тепло до небезпечно припустимого рівня, то в конструкцію елемента вводять запобіжник-обмежник струму (терморезистор), який не допускає струмових перевантажень. Втім, існують спеціальні серії таких елементів, здатні видавати підвищений струм розряду й нормально працювати при високих температурах. Досягти цього вдалося завдяки спеціальній конструкції циліндричного корпусу, він перешкоджає проникненню вологих парів зовні, але не заважає виходу газів.

Приблизно таке ж обмеження має й серія батарей на основі Li/SO₂ (оксид сірки), які теж чутливі до високих температур і не допускають потужнострумове розряду, але мають меншу робочу напругу (3,0 В). Це ранній за часом виникнення тип літій-іонних акумуляторів.

Конструкція Li-іон акумуляторів. Конструктивно Li-іон акумулятори, як і лужні (Ni-Cd, Ni-MH), виготовляються в циліндричному й призматичному варіантах.

У циліндричних акумуляторах згорнутий у вигляді рулону пакет електродів і сепаратора вбудований у сталевий або алюмінієвий корпус, з яким з'єднаний негативний електрод. Позитивний полюс акумулятора виведений через ізолятор на кришку (рис. 1).

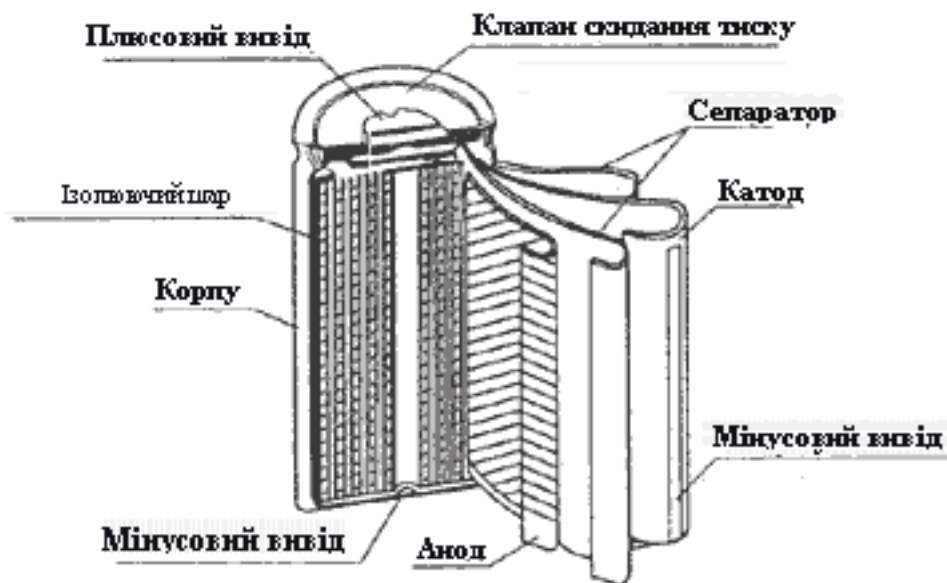


Рис. 1. Будова літій-іонного (Li-ion) акумулятора

Призматичні акумулятори виготовляються складанням прямокутних пластин одна на одну. Вони забезпечують щільніше упакування в акумуляторній батареї, але на відміну від циліндричних акумуляторів, складніше витримують стискуючі зусилля на електроди. У деяких призматичних акумуляторах застосовується рулонне складання пакета електродів, що скручується в еліптичну спіраль (рис. 2).

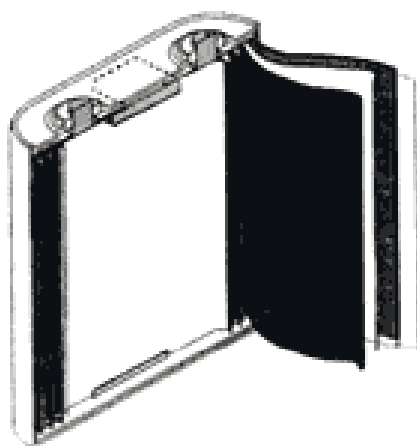


Рис. 2. Будова призматичного літій-іонного (Li-ion) акумулятора з рулонною скруткою електродів

Деякі конструктивні заходи, зазвичай, застосовують і для попередження швидкого розігріву і забезпечення безпеки роботи Li-ion акумуляторів. Під кришкою акумулятора є пристрій, що реагує на позитивний температурний коефіцієнт збільшення опору і який розриває електричний зв'язок між катодом і позитивною клемою при підвищенні тиску газів всередині акумулятора вище допустимої норми.

Для підвищення безпеки експлуатації Li-ion акумуляторів у складі батареї обов'язково застосовується також і зовнішній електронний захист, ціль якого – не допустити можливість перезаряду й перерозряду кожного акумулятора, короткого замикання й надмірного розігріву.

Конструкція Li-ion та інших літєвих акумуляторів, як і конструкція всіх первинних джерел струму (“батарежок”) з літєвим анодом, відрізняється абсолютною герметичністю.

Вимога абсолютної герметичності визначається неприпустимістю витікання рідкого електроліту (негативно діючого на прилади) і недопустимістю потрапляння в акумулятор кисню і вологи з навколишнього середовища. Кисень і вологи реагують із матеріалами електродів й електроліту і повністю виводять акумулятор із ладу. Технологічні операції виробництва електродів й інших деталей, а також збирання акумуляторів проводять в особливих сухих кімнатах або герметичних боксах в атмосфері чистого аргону.

При збиранні акумуляторів застосовують складні сучасні технології зварювання, складні конструкції герметичних виводів.

Закладка активних мас електродів є компромісом між бажанням досягти максимуму розрядної ємності акумулятора й вимогою гарантувати безпеку його роботи для попередження утворення металевого літію (і таким чином можливості займання). Збільшення активних мас потенційно знижує рівень безпеки при експлуатації акумулятора.

Акумулятори збирають у розрядженому стані. Для приведення в дію їх необхідно зарядити.

При першому циклі заряду-розряду літій-іонні акумулятори втрачають частину ємності, тому що в процесі першого заряду, крім впровадження літію в структуру вуглецевого матеріалу, відбувається розкладання електроліту з утворенням плівки, що має тільки іонну провідність. Утворення пасивної плівки призводить до незворотної втрати до 20–30 % закладеної ємності. Для зниження цих втрат рекомендують як добавки в електроліт, так і різні обробки поверхні вуглецевого матеріалу.

Починаючи із другого циклу, процес розряду і заряду літій-іонного акумулятора зводиться до переносу іонів літію від анода до катода й назад. Коефіцієнт використання по струму при цьому близький до одиниці.

Досягнуті характеристики

Сучасні літій-іонні акумулятори мають високі питомі показники: 100–180 Вт/год./кг і 250–400 Вт/год./дм³. Робоча напруга – 3,5–3,7 В.

Якщо ще кілька років тому розроблювачі вважали досяжною ємність літій-іонних акумуляторів (ЛІА) не більше декількох ампер-годин, то в цей час більшість причин, що обмежують збільшення ємності, подолано, і багато виробників почали випускати акумулятори ємністю сотні ампер-годин.

Сучасні малогабаритні акумулятори працездатні при струмах розряду до 2 С, потужні – до 10–20 С.

Діапазон робочих температур: від -20 до +60 °С. Але багато виробників вже розробили акумулятори, працездатні при -40 °С. Можливе розширення температурного діапазону і в бік вищих температур.

Саморозряд ЛІА становить 4–6 % за перший місяць, потім - значно менше: за 12 місяців акумулятори втрачають 10–20% запасеної ємності. Втрати ємності в кілька разів менші, ніж у нікель-кадмієвих акумуляторів, як при 20 °С, так і при 40 °С. Ресурс – 500–1000 циклів.

Позначення акумуляторів

Відповідно до принципів позначень МЕК (Міжнародної електротехнічної комісії) у найменуванні ЛІА перша буква І відбиває електрохімічну систему, друга – матеріал катода (С, N або М для кобальту, нікелю або марганцю), третя буква R або P – конструктивне виконання (циліндричне або призматичне). Цифри, після букв, позначають у циліндричних акумуляторів діаметр (у мм – 2 цифри) і висоту (у десятих мм – 3 цифри), у призматичних – довжину, ширину й висоту (у мм) послідовно. Багато компаній уводять свої літерні позначення типів, але цифри в їхніх найменуваннях відповідають вимогам МЕК.

Температурні умови

В основному Li-іон акумулятори краще всього функціонують при кімнатній температурі. Робота при підвищеній температурі скорочує термін їхнього використання.

Хоча, наприклад, свинцево-кислотний акумулятор може мати найвищу ємність при температурах більш ніж 30 °С, але тривала експлуатація при таких умовах скорочує функціональність акумулятора. Так само й Li-іон краще працюють при високих температурах.

Підвищена температура тимчасово протидіє внутрішньому опору акумулятора, збільшення якого призводить до старіння.

Виняток становить на цей момент тільки літій-полімерні акумулятори із сухим твердим полімерним електролітом.

Для них життєво необхідна температура від 60 °С до 100 °С. Такі акумулятори зайняли свою нішу на ринку резервних джерел у місцях з теплим кліматом. У резервному стані вони перебувають у теплоізолюючому корпусі з вбудованими елементами нагрівання, що живляться від зовнішньої мережі. Застосування Li-іон полімерних акумуляторів як резервних, як вважають фахівці-практики, перевершує VRLA акумулятори за розмірами і довговічністю, особливо в польових умовах, коли керування температурою неможливе. Але їхня висока ціна залишається стримуючим фактором.

При низьких температурах ефективність акумуляторів усіх електрохімічних систем різко знижується. Водночас NiCd акумулятори можуть продовжувати працювати до мінус 40 °С, тоді як температура мінус 20 °С є межею, за якої NiMH, SLA й Li-іон акумулятори припиняють функціонувати [4, с. 132].

Важливо не забувати, що, хоча акумулятор і може працювати при холодних температурах, але це зовсім не означає, що він автоматично може також бути заряджений за таких умов.

Сприйнятливості до заряду більшості акумуляторів при дуже низьких температурах надзвичайно обмежена і струм заряду за таких умов повинен бути зменшений до 0,1 С.

Зберігання Li-ion акумуляторів

Усі літієві акумулятори характеризуються досить гарними параметрами щодо зберігання. Втрата ємності за рахунок саморозряду – 5–10 % за рік.

Наведені показники варто розглядати як деякі номінальні орієнтири. Для кожного конкретного акумулятора, наприклад, розрядна напруга залежить від струму розряду, рівня розрядженості, температури; ресурс залежить від режимів (струмів) розряду й заряду, температури, глибини розряду; діапазон робочих температур залежить від рівня відпрацювання ресурсу, припустимих робочих напруг.

До недоліків Li-ion акумуляторів варто віднести чутливість до перезарядки і перерозрядки, через це вони повинні мати обмежувачі заряду й розряду.

Літій-іонні акумулятори мають у своєму складі спеціальний резистор, за величиною якого зарядний пристрій визначає виробника акумулятора, щоб коректно заряджати встановлений у пристрій акумулятор:

- 8,2 кОм – Panasonic
- 15 кОм – NEC
- 27 кОм – Sanyo [4, с. 208].

Безпека Li-ion акумуляторів

При розробці літієвих і літій-іонних акумуляторів, первинних літієвих елементів питанням безпеки зберігання й використання приділялася особлива увага. Всі акумулятори мають захист від внутрішніх коротких замикань (а в окремих випадках – і від зовнішніх коротких замикань). Ефективним способом такого захисту є застосування двошарового сепаратора, один із шарів якого виготовляється не з поліпропілену, а з матеріалу, аналогічного поліетилену.

У випадках короткого замикання (наприклад, через проростання дендритів літію до позитивного електрода) за рахунок локального розігріву цей шар сепаратора починає плавитися й стає непроникним, запобігаючи, таким чином, подальшому проростанню дендритів. З огляду на всі конструктивні й хімічні способи захисту Li-ion акумуляторів від перегріву й належних умов зберігання та зовнішнього електронного захисту акумуляторів від перезарядки й перерозрядки, можна вважати проблему безпеки експлуатації Li-ion акумуляторів вирішеною.

Заходи безпеки при експлуатації літій-іонних акумуляторів

Для запобігання витоку електроліту, нагріванню й вибуху дотримуйтеся таких правил обережності:

- не занурюйте акумулятор у воду, зберігайте його в сухому прохолодному місці, якщо не використовуєте його за призначенням;
- не використовуйте й не залишайте акумулятор поблизу джерел відкритого вогню або тепла;
- при заряді використовуйте тільки призначені для цього акумулятора зарядні пристрої;
- не підключайте акумулятор до пристроїв, не призначених для живлення від нього;
- не кидайте акумулятор у вогонь і не нагрівайте його;
- не замикайте позитивний і негативний виводи акумулятора металевими предметами або проводами;
- не зберігайте акумулятор разом з металевими предметами, такими як скріпки, шпильки;

- не здавлюйте, не кидайте й не піддавайте акумулятор механічним впливам;
- не паяйте акумулятор, не проколюйте його гострими предметами.

Пристрої захисту Li-іон акумуляторних батарей

Li-іон акумуляторні батареї комерційного призначення мають найбільш досконалий захист порівняно зі всіма типами батарей. Як правило, у схемі захисту Li-іон батарей використовується ключ на польовому транзисторі, який при досягненні на елементі батареї напруги 4,30 В закривається і таким чином перериває процес заряду.

Крім того, наявний термозапобіжник, який при нагріванні батареї до 90 °С від'єднує ланцюг її навантаження, забезпечуючи таким чином її термозахист.

Деякі акумулятори мають вимикач, що спрацьовує при досягненні граничного рівня тиску всередині корпусу, рівного 1034 кПа (10,5 кг/м²), і розриває ланцюг навантаження. Є й схема захисту від глибокого розряду, що стежить за напругою акумуляторної батареї й розриває ланцюг навантаження, якщо напруга знизиться до рівня 2,5 В на елемент.

Внутрішній опір схеми захисту акумуляторної батареї мобільного телефону у ввімкненому стані становить 0,05-0,1 Ом. Конструктивно вона складається із двох ключів, з'єднаних послідовно.

Один із них спрацьовує при досягненні верхнього, а інший – нижнього порога напруги на батареї. Загальний опір цих ключів фактично створює подвоєння її внутрішнього опору, особливо якщо батарея складається всього лише з одного акумулятора.

У деяких типах Li-іон батарей, що мають у своєму хімічному складі марганець і складаються з 1–2 елементів, схема захисту не застосовується. Замість цього в них установлений усього лише один запобіжник. І такі батареї є безпечними через їхні малі габарити й невелику ємність.

Крім того, марганець досить терпимий до порушень правил експлуатації Li-іон батареї. Відсутність схеми захисту зменшує вартість Li-іон батареї, але породжує нові проблеми.

При використанні недорогих зарядних пристроїв, призначених для підзарядки від мережі або від бортової мережі автомобіля, можна бути впевненим, що при наявності в батареї схеми захисту вона відключить її при досягненні напруги кінця заряду. Якщо ж схема захисту відсутня, станеться перезаряд батареї і, як наслідок, її необоротний вихід з ладу. Цей процес звичайно супроводжується підвищеним нагріванням і роздуттям корпусу батареї.

Механізми, що приводять до зменшення ємності Li-іон акумуляторів

При циклах заряд-розряд Li-іон акумуляторів серед можливих механізмів зниження ємності найчастіше розглядаються такі:

- руйнування кристалічної структури катодного матеріалу (особливо LiMn₂O₄);
- розшарування графіту;
- нарощування плівки, яка пасивує, на обох електродах, що призводить до зниження активної поверхні електродів і блокуванню дрібних пор;
- осадження металевого літію;
- механічні зміни структури електрода в результаті об'ємних коливань активного матеріалу при циклах заряд-розряд.

Висновки

- Тільки точне виконання рекомендованих умов експлуатації виробника хімічного джерела струму забезпечить безперервний прогнозований час автономної роботи вашого пристрою.
- У малогабаритних пристроях з відносно малим споживанням енергії доцільно використовувати літєві первинні хімічні джерела струму, які мають найвищий питомий показник запасання енергії в одиниці об'єму (Вт/год./дм³).
- Потрібно передбачати можливість виникнення умов, за яких відбувається миттєве вивільнення енергії хімічного джерела струму (вибух, займання), і запобігати їхній появі в умовах експлуатації.
- Тривала експлуатація сольових елементів хімічного джерела струму без належного контролю за їхнім станом, особливо в кінці терміну експлуатації, може спричинити пошкодження пристрою (апаратури) внаслідок витоку електроліту.
- Пристрої із середнім або з великим споживанням струму економічно вигідно жити від вторинних хімічних джерел струму (акумуляторів), у сучасних умовах переважно літій-іонних.
- Неможливо зарядити акумулятор будь-якої хімічної системи при мінусових температурах, навіть якщо у вашому розпорядженні зарядний пристрій останньої моделі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Таганова А.А., Бубнов Ю.І., Орлов С.Б. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации: справочник. Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. 264 с.
2. Коровин Н.В., Скундин А.М. Химические источники тока: справочник. Москва: Издательство МЭИ, 2003. 740 с.
3. Комpton Т. Вторичные источники тока; перевод с английского А.Г. Колесника, Р.П. Соболева; под ред. Ю.А. Мазитова. Москва: Мир, 1985. 301 с.
4. Хрусталеv Д.А. Аккумуляторы. Москва: Изумруд, 2003. 224 с.

Отримано 21.09.2017

Рецензент Марченко О.С., к.т.н.