

Джерела живлення БПЛА

Вторинні хімічні джерела струму (акумулятори)

2.1. Класифікація вторинних хімічних джерел струму

Вторинні ХДС або акумулятори, на відміну від первинних мають можливість перезаряду або циклування. Для них окрім параметрів, характерних для первинних джерел струму є ще параметр кількості циклів заряд–розряд, допустима напруга розряду, допустимі зарядні струми і т.д.

Перший свинцевий акумулятор був запропонований Планте у 1860 р. у 80–х рр. минулого століття налагоджено промисловий випуск свинцевих акумуляторів. Свинцевий акумулятор – найбільш поширене вторинне ХДС. Він відрізняється дешевизною, надійністю в роботі, високою стабільною напругою.

Випускають три основних типи свинцевих акумуляторів: стаціонарні, стартерні і тягові. Стаціонарні акумулятори із ємністю від 40 до 5000 А·год використовують для живлення споживачів постійного струму на електричних станціях і підстанціях; для підтримання напруги в мережах постійного струму при пікових навантаженнях через підключення батарей паралельно перетворювачам (інверторам); у якості резерву електроенергії, там де не припустимі перерви у подачі струму; для обслуговування телефонних станцій; джерела безперебійного живлення. Стартерні батареї використовують для запуску двигунів і освітлення транспортних засобів; напруга таких батарей 6, 12 або 24 В (48 В – електровелосипед), ємність від 6 до 215 А·год. Тягові батареї ємністю від 40 до 1200 А·год використовують для енергозабезпечення електрокарів, електронавантажувачів, потягів для перевезення руди в шахтах. Крім того свинцеві акумулятори використовують для освітлення залізничних вагонів, для запуску дизелів тепловозів, для енергозабезпечення підводних човнів, у радіотехніці, але висока теоретична витрата активних речовин і електроліту в свинцевому акумуляторі (12 г/А·год) побудили дослідників до розробки нових електрохімічних систем. У 1900 р. Юнгнером (Швеція) був запропонований лужний нікель кадмієвий (НК), а у 1901 р. Едісоном (США) – нікель–залізний. Теоретична витрата активних речовин у цих акумуляторах значно нижчий ніж у свинцевому, та складає відповідно 6,2 і 5,1 г/А·год.

більшості конструкцій НК і НЗ акумуляторів використовують ламельні пластини, які складаються із комплекту плоских продовговатих перфорованих пакетів, або ламелей, які місять запресовану в них активну масу.

Акумулятори з ламельними електродами випускають ємністю від 2 до 1000 А·год. Використовують для живлення електродвигунів шахтних електровозів, електрокарів, навантажувачів, для живлення шахтних ламп, установок зв'язку і в радіотехніці. В порівнянні із свинцевими НК і НЗ акумулятори більш міцні, краще зберігаються при переривах у роботі, мають великий ресурс циклів заряд–розряд (до 1500) і термін служби (8–10 років), але питомі характеристики їх гірші ніж свинцевих, оскільки менша напруга розімкненого ланцюга. Нікель–залізні акумулятори гірше свинцевих працюють за низьких температур та мають великий саморозряд. Нікель–кадмієві акумулятори не мають цих недоліків, але через велику вартість й дефіцитність кадмію їх використання обмежено [15].

Срібно–цинкові (СЦ) акумулятори використовують в установках зв'язку, сигналізації, переносних пристроях, для енергозабезпечення літаків і космічних апаратів. До переваг СЦ акумуляторів можна віднести високу питому енергію і потужність (струм до 4 кА/м^2). Питомі характеристики СЦ акумуляторів у 4 рази вище ніж НК та свинцевих. Недоліком СЦ акумуляторів є малий ресурс (150 циклів), складність приведення у дію (необхідне тривале просочення електродів електролітом), мала збереженість із електролітом (6 міс), незадовільна робота за понижених температур, висока ціна.

Малий термін служби СЦ акумуляторів спонукав до створення системи – срібно–кадмієвий акумулятор. Внаслідок більш позитивного потенціалу характеристики такої системи гірші ніж СЦ. Але кадмій не кородує у лужному електроліті, тому можлива герметизація. Розчинність гідроксиду кадмію в лугові на декілька порядків нижча ніж оксиду цинку, тому проростання дендритів кадмію через сепаратор майже не буває.

Електрохімічна система цинк – гідроксид калію – оксогідроксид нікелю представляє цікавість для розробки дешевого акумулятора з високими

характеристиками. Вартість активних мас у НЦ акумуляторі складає 10, 20, 40% від вартості активних мас відповідно СК, СЦ і НК акумулятора. Заміна кадмію на цинк в акумуляторах із окисдно-нікелевим електродом дозволяє підвищити напругу до 1,6 В і питому енергію до 70 Вт·год/кг. Нікель-цинкові акумулятори добре працюють за коротких режимів розряду та низьких температурах. Недоліком НЦ акумуляторів є малий ресурс – 300 циклів.

1964 р. Центер і Клос запропонували герметичний нікель-водневий акумулятор. Оскільки водень є активною речовиною то такий акумулятор є напівгазовим. Такий акумулятор працездатний в інтервалі температур від мінус 20 до +50 °С, ресурс – 100 циклів, питома енергія 55–60 Вт·год/кг. Висока питома енергія обумовлена можливістю використання водневого електрода малої товщини, оскільки він не є ємністю для активної речовини, а слугує лише для адсорбції газоподібного водню та передачі заряду. Конструктивно такий акумулятор виконаний у вигляді балона, всередині якого розміщені блоки різнополярних пластин. Тиск водню в акумуляторі збільшується при заряді пропорційно кількості електрики, поки не закінчиться заряд окисно-нікелевого електрода.

Серед акумуляторів із неводним електролітом найбільш відомі сірчано-натрієві акумулятори із твердим натрій-провідним електролітом (β -глинозем), що розроблені для використання в автомобілях. Для автомобілів із дальністю пробігу близько 300 км акумулятори повинні мати наступні характеристики: питома енергія – 220 Вт·год/кг, питома потужність – 220 Вт/кг, мінімальна тривалість роботи – 5 років, ресурс – 1000 циклів. Такі значення реалізовані у лабораторних системах натрій – сірчаного акумулятора із твердим електролітом, а також системи літій-сірка і літій-хлор із розплавленим електролітом.

Електрорушійна сила систем натрій-сірка 2,08 В, теоретична питома енергія 1430 Вт·год/кг. Натрій і сірка дешеві, температури їх плавлення 98 та 113 °С, отже при робочій температурі 300 °С активні речовини знаходяться у

розплавленому стані. Тому при циклуванні не відбувається зміни структури, що зазвичай характерно для твердих електродів.

Як електроліт використовують пресовані і спечені таблетки або керамічні пробірки із β -глинозему товщиною 0,5–1 мм. Негативним електродом є металічний натрій. Позитивний електрод – графіт, просочений сіркою. Ще більшу питому енергією має система літій–сірка (2625 Вт·год/кг). Але практична реалізація такої системи є складною. Тому використовують акумулятори у яких літій і сірка знаходяться у зв'язаному стані (сплав із алюмінієм). Натрієво–сірчаний акумулятор – це високотемпературний акумулятор, що працює з твердим електролітом за температур 300–350 °С. Із акумулятором даного типу пов'язувалися найбільші надії в розробленні джерел струму для електромобілів, які за своїми енергетичними та економічними показниками змогли б скласти конкуренцію двигуну внутрішнього згорання.

Нікель–металгідридні акумулятори

Впродовж кількох десятиліть нікель–кадмієві акумулятори використовувалися досить широко, але висока токсичність виробництва змушувала шукати альтернативні технології. У результаті створено нікель–металогідридні батареї, які випускають досьогодні. Попри те що, що роботи створення Ni–MH акумуляторів почалися ще 1970–ті роки, стійкі металогідридні сполуки, здатні пов'язувати більше об'ємів водню, знайшли лише через десятиліття.

Перший Ni–MH акумулятор, у якому ролі основного активного матеріалу металогідридного електрода застосовувався сплав LaNi_5 , запатентував Вілл у 1975 р. У ранніх експериментах з металогідридними сплавами, нікель–металогідридні акумулятори працювали нестабільно, і необхідної ємності батарей досягти не виходило. Тому промислове використання Ni–MH акумуляторів почалося лише у середині 1980–х років після створення сплаву La-Ni-Co , що дозволяє електрохімічно абсорбувати водень протягом понад сто циклів. З того часу конструкція Ni–MH акумуляторних батарей безупинно вдосконалювалася у бік збільшення їхньої питомої енергії. Нікель–металогідридні акумулятори за своєю конструкцією є аналогами нікель–кадмієвих акумуляторів, а, по електрохімічним процесам –нікель–водневим

аккумуляторам. Питома енергія Ni-MH-аккумулятора значно вища питомої енергії Ni-Cd- і Ni-H₂-аккумуляторів (табл. 2.2).

Порівняльні характеристики акумуляторів

Параметр	Акумулятори		
	Ni-Cd	Ni-H ₂	Ni-MH
Номинальна напруга, В	1,2	1,2	1,2
Питома енергія:			
Вт·год/кг	20–40	40–55	50–80
Вт·год/дм ³	60 – 120	60–80	100 – 270
Питома потужність, Вт/кг	50 – 400	50 – 100	50 – 1100
Термін служби:			
роки	1 – 5	2 – 7	1 – 5
цикли	500 – 1000	2000 – 3000	500 – 2000
Саморозряд, %	20 – 30 (за 28 діб)	20 – 30 (за 1добу)	20 – 40 (за 28 діб)
Робоча температура, °С	–50–+60	–20–+30	–40–+60
Шкідливі речовини	Cd	Немає	Немає

Значний розкид деяких параметрів у таблиці 2.2 пов'язаний з різним призначенням (конструкціями) акумуляторів. Особливостями НМН-акумулятора є висока ємність, високі потужнісні (критичні) характеристики (здатність заряду і розряду великими струмами), здатність витримувати надлишковий заряд і надглибокий розряд (переполюсовку), відсутність дендритоутворень. Дуже важливим перевагою НМ-акумулятора перед НК-акумулятором є відсутність дуже шкідливого елемента – кадмію. По напрузі, типорозмірам, конструктивному виконанню й технології НМ-акумулятор відповідає НК-акумулятору, і вони взаємозамінні як і виробництві, і у експлуатації. Заміна негативного електрода дозволила підвищити у 1,3–2 рази закладку активних мас позитивного електрода, який визначає ємність акумулятора. Тому Ni-MH акумулятори мають проти Ni-Cd акумуляторів значно більш високі питомі енергетичні характеристики [10].

Через війну сфер застосування НМ-акумуляторів близька до області застосування НК-акумуляторів, НМ-акумулятори використовують у

стільникових телефонах, пейджерів, радіотелефонах, сканерах, ліхтарях, радіостанціях, електровелосипедах, електромобілях, гібридних автомобілях, електронних таймерах і декадних лічильниках, резервних запам'ятовувальних пристроях (МВU) і центральній акумулятор (СВ) комп'ютерів, і ноутбуків, пристроях виявлення наявності вогню й диму, пристроях охоронної сигналізації, приладах екологічного аналізу води та повітря, блоках пам'яті електронно-управляемих обробних верстатів, радіоприймачах, диктофонах, калькуляторах, електричних бритвах, слухових акумуляторів, електричних іграшках тощо.

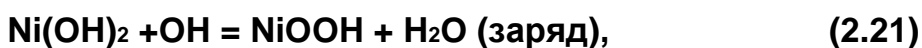
На відміну від Ni–Cd в Ni–MH батареях як анод береться сплав металів, поглинаючих водень. Лужний електроліт не бере участі у реакції, що ґрунтується на переміщенні іонів водню між електродами. У результаті зарядки гідрооксид нікелю Ni(OH)₂ перетворюється в NiOOH, віддаючи водень сплаву негативного електрода. Поглинання водню не є ізотермічною реакцією, тому метали для сплаву завжди підбирають в такий спосіб, щоб один з них при зв'язуванні газу виділяв, а інший, навпаки, поглинав тепло. Теоретично це мало

забезпечити тепловий баланс, але нікель–металогідридні акумулятори гріються істотно сильніше, ніж нікель–кадмієві.

Успіх поширенню нікель–металогідридних акумуляторних батарей забезпечили висока енергетична щільність і нетоксичність матеріалів, використовуваних при її виробництві [6].

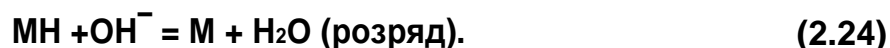
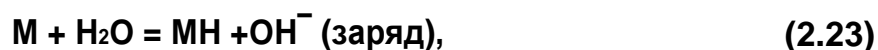
Основні процеси Ni–MH акумуляторів. У Ni–MH акумуляторах як позитивний електрод використовується оксидно–нікелевий електрод, як і у нікель–кадмієвому акумуляторі, а електрод з сплаву нікелю з рідкоземельними металами, що поглинає водень, використовується замість негативного кадмієвого електрода.

На позитивному оксидно–нікелевому електроді Ni–MH акумулятора протікає реакція:

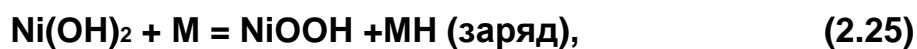




На негативному електроді метал з абсорбованим воднем перетворюється на металогідрид:



Загальна реакція в Ni–MH акумуляторі записується наступним чином:



Електроліт в основній струмоутворюючій реакції участі не приймає. Після надання 70–80 % ємності і перезаряді на окисдно–нікелевому електроді починає виділятися кисень:



який відновлюється на негативному електроді:



Дві останні реакції забезпечують замкнутий кисневий цикл. При відновленні кисню забезпечується ще й додаткове підвищення ємності металогідридного електрода з допомогою включення групи OH^- .

При розряді, після вичерпання ємності позитивного електрода (при перерозряді) у ньому протікає побічна реакція виділення водню:



Водень через пористий сепаратор досягає негативного електрода і окислюється у ньому:



Конструкція електродів Ni–MH акумуляторів. Металоводневий електрод. Головним матеріалом, що визначає характеристики Ni–MH акумулятора, є водневоабсорбуючий сплав, який може поглинати об'єм водню, що у 1000 разів перевищує свій власний об'єм. Найбільшого поширення набули сплави типу LaNi_5 , у яких частина нікелю замінена марганцем, кобальтом і алюмінієм збільшення стабільності і активності сплаву. Для зменшення вартості деякі фірми–виробники замість лантану застосовують міш–метал (Мм, що є сумішшю рідкісноземельних елементів, їх співвідношення в суміші близько до співвідношення у природних рудах), до складу якого крім лантану входять також церій, празеодим і неодим [12].

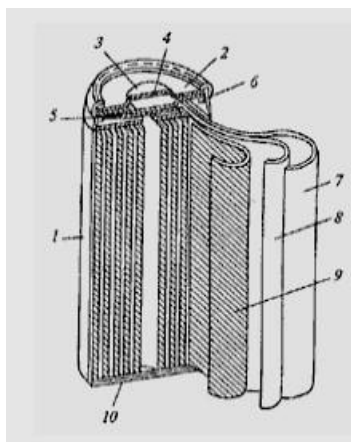
При зарядно–розрядному циклуванні має місце розширення й стиснення на 15–25 % кристалічної ґратки водневоабсорбуючих сплавів через абсорбцію і десорбцію водню. Такі зміни ведуть до утворення тріщин в сплаві через підвищення внутрішніх напружень. Утворення тріщин викликає збільшення площі поверхні, яка піддається корозії при взаємодії з лужним електролітом. Із цих причин розрядна ємність негативного електрода поступово знижується.

акумуляторі з обмеженою кількістю електроліту, це викликає проблеми, пов'язані з перерозподілом електроліту. Корозія сплаву призводить до хімічної пасивності поверхні через утворення стійких до корозії оксидів і гідроксидів, що підвищують перенапругу основної струмоутворюючої реакції

металогідридного електрода. Утворення продуктів корозії приміром із споживанням кисню і водню з розчину електроліту, що, у свою чергу, викликає зниження кількості електроліту в акумуляторі і підвищення його опору.

Для уповільнення небажаних процесів диспергування і корозії сплавів, що визначають термін їхньої служби, застосовують (крім оптимізації складу та режиму виробництва сплаву) два основних методи. Перший метод – мікрокапсулювання частинок сплаву, тобто. в покритті їхньої поверхні тонким пористим шаром (5–10 %) – щодо маси нікелю чи міді. Другий метод, знайшов найбільш широке використання – обробка поверхні частинок сплаву в лужних розчинах з формуванням захисних плівок, проникних для водню [16].

Конструкція Ni–MH акумуляторів. Ni–MH акумулятори циліндричною форми. Позитивний і негативний електроди, розділені сепаратором, згорнуті як рулон, який вставлено до корпусу і закриті герметизуючою кришкою з прокладкою (рис. 2.14). Кришка має запобіжний клапан, що спрацьовує при тиску 2–4 МПа у разі збою при експлуатації акумулятора.

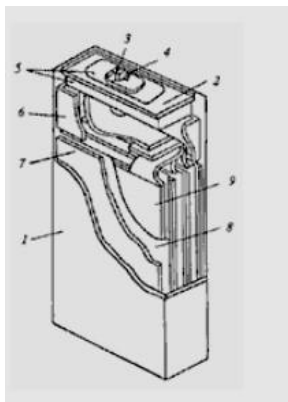


1–корпус; 2–кришка; 3–ковпачок клапана; 4–клапан; 5–колектор позитивного електрода; 6– ізоляційне кільце; 7– негативний електрод; 8–сепаратор; 9–позитивний електрод; 10–ізолятор

Рис. 2.14. Конструкція нікель–металогідридного (Ni–MH) акумулятора

призматичних Ni–MH акумуляторах позитивні й негативні електроди розміщені по черзі, а поміж них розміщується сепаратор. Блок електродів вставлено в металевий чи пластмасовий корпус і закритий герметизуючою

кришкою. На кришці, зазвичай, встановлюється клапан чи датчик тиску (рис. 2.15).



1–корпус; 2–кришка; 3–ковпачок клапана; 4–клапан; 5– ізоляційна прокладка; 6– ізолятор; 7–негативний електрод; 8– сепаратор; 9 – позитивний електрод

Рис. 2.15. Конструкція Ni–MH акумулятора

Ni–MH акумуляторах використовується лужний електроліт з КОН з добавкою LiOH. Як сепаратор в Ni–MH акумуляторах застосовують нетканний поліпропілен – поліамід завтовшки 0,12–0,25мм, оброблені змочувачем. Позитивний електрод у Ni–MH акумуляторах застосовують позитивні оксидно– нікелеві електроди, аналогічні які у Ni–Cd акумуляторах. У Ni–MH акумуляторах переважно застосовують металокерамічні, а останні роки – повстяні і пінополімерні електроди.

Негативний електрод. Практичне використання у Ni–MH акумуляторах знайшли п'ять конструкцій негативного металогідридного електрода:

- ламельна, коли порошок воденьабсорбуючого сплаву зі сполучною речовиною чи зв'язуючого, запресовані в нікелеву сітку;
- піонікелева, коли пасту зі сплавом і сполучною речовиною вводять у пори піонікелевої основи, і потім сушиться і пресується (вальцується);
- фольгова, коли паста зі сплавом і сполучною речовиною наноситься на перфоровану нікелеву чи сталеву нікельовану фольгу, і потім сушиться і пресується;
- вальцована, коли порошок активної маси зі сплаву і зв'язувальної речовини, наноситься вальцуванням (прокаткою) на розтягну нікелеву решітку чи мідну сітку;

– спечена, коли порошок сплаву напресовується на нікелеву сітку і після цього спікається у атмосфері водню.

Питомі ємності металогідридних електродів різних конструкцій близькі за значенням і визначаються, переважно, ємністю застосовуваного сплаву.

Характеристики Ni–MH акумуляторів. Електричні характеристики. Питома ємність металогідридних електродів становить 0,24–0,3 А·год/г чи 1,2–1,5 А·год/см³, що до у 3 рази перевищує питому ємність кадмієвого електрода. Як воденьабсорбуючий сплав використовують титано–нікелеві чи сплави з лантаном (LaNi₅). Питома енергія НМ–акумуляторів у межах 50–60 Вт·год/кг чи 100–200 Вт·год/л. Напрацювання більшості НМ–акумуляторів при циклуванні за стандартами МЕК (глибина розряду 60 %) становить 500–1000 циклів. Деякими фірмами досягнуто 2000–2500 циклів і термін їхньої служби 3–5 років. Більшість НМ–акумуляторів може експлуатуватися в буферному режимі при заряді нормованим струмом 0,01–0,03 Q без обмеження часу [6].

Напруга розімкнутого ланцюга. Значення напруги розімкнутого ланцюга $U_{р.л.}$ Ni–MH–системи точно визначити важко внаслідок залежності рівноважного потенціалу окисдно–нікелевого електрода від рівня окисленості нікелю, і навіть залежності рівноважного потенціалу металогідридного електрода від рівня насичення його воднем. Проте, при приблизному значенні потенціалу 0,490 В для електрода $Ni(OH)_2 \mid NiOOH$ і за значення потенціалу – 0,828 В для металогідридного електрода, за значення тиску водню 0,1 МПа, значення $U_{р.л.}$ становитиме 1,318 В. Зниження рівноважного тиску водню удесятеро призведе до підвищення теоретичного потенціалу електрода (отже, до зниження $U_{р.л.}$ лише на 29 мВ. Для НМ–електрохімічної системи прийнята номінальна напруга 1,2 В. Через 24 години після заряду акумулятора, напруга розімкнутого ланцюга зарядженого Ni–MH акумулятора перебуває у інтервалі 1,30–1,35 В.

Номінальна розрядна напруга U_p при нормованому струмі розряду $I_p = 0,1–0,2Q$ (Q – номінальна ємність акумулятора) за температури 25 °С

становить 1,2–1,25 В, звичайно кінцева напруга – 1,0 В. Напруга зменшується зі зростанням навантаження

Ємність акумуляторів. Із підвищенням навантаження (зменшення часу розряду) і за зниження температури ємність Ni–MH акумулятора зменшується. Особливо діє зниження температури на ємність на великих швидкостях розряду і за температурах нижче 0 °С.

Коефіцієнт корисної дії Ni–акумуляторів. Для Ni–акумуляторів ККД за напругою становить 83–87 %. Віддача за ємністю і за енергією Ni–акумуляторів залежить від швидкостей перебігу основної і побічної (виділення кисню) реакцій на оксидно–нікелевому електроді. При зарядній ємності Q_3 до $0,8 Q_{ном}$ швидкість побічної реакції дуже мала.

Останніми роками ряд фірм почали випуск потужних Ni–акумуляторів циліндричною і призматичною форм ємністю 3,6–14 А·год для гібридних автомобілів. Ці акумулятори здатні розряджатися нормованими струмами більш 20 Q. Батареї з цих акумуляторів (до 240 акумуляторів в батареї) мають питому потужність 0,9–1,1 кВт/кг. Характерні приклади: батарея фірми Panasonic з 240 призматичних акумуляторів ємністю 6,5 А·год має потужність 1080 Вт/кг, батарея фірми Maxvell з циліндричних акумуляторів ємністю 3,4 А·год – 870 Вт/кг, батарея фірми Varta 1100 Вт/кг за 20°C і 500 Вт/кг за – 25°C. Термін служби батареї фірми Varta становить 2400 циклів при 100 % глибині розряду, 5000 циклів – при 80 %-вій, 78000 циклів – при 12 %-вій, 255000 циклів – при 5 %-вій та 360 000 циклів – при 4 %-вій глибині розряду.

Зарядка Ni–MH акумулятора. Напрацювання (кількість розрядно–зарядних циклів) і термін їхньої служби Ni–MH акумулятора значною мірою визначаються умовами експлуатації. Напрацювання знижується зі збільшенням глибини і швидкості розряду. Напрацювання залежить від швидкості заряду і способу контролю його закінчення. Залежно від типу Ni–MH акумуляторів,

режиму праці та умов експлуатації акумулятори забезпечують від 500 до 1000 розрядно–зарядних циклів при глибині розряду 80 % і мають термін служби від до 5 років.

Задля більш надійної роботи Ni–MH акумулятора протягом гарантованого терміну слід дотримуватися рекомендацій і інструкції виробника. Найбільшу увагу слід приділити температурному режиму. Бажано уникати перерозрядів (нижче 1,0 В) та короткі замикання. Рекомендується використовувати Ni–MH акумулятори за призначенням, уникати поєднання бувших у використанні та нових акумуляторів, не припаювати безпосередньо до акумулятора дроти або інші частини.

Нікель–металгідридні акумулятори чутливіші до перезаряду, ніж Ni–Cd. Перезаряд може призвести до тепловому розгону. Зарядка зазвичай проводиться струмом $I_z=0,1 Q$ впродовж 15 годин. Компенсаційний підзаряд проводять струмом $I_z=0,01–0,03 Q$ впродовж 30 годин і більше. Прискорений (за 4–5 годин) і швидкий (впродовж години) заряди можливі для Ni–MH акумуляторів, які мають високоактивні електроди. При таких зарядах процес контролюється за зміною температури T та напруги U або іншими параметрами. Швидкий заряд застосовується, наприклад, для Ni–MH акумуляторів, що живлять ноутбуки, стільникові телефони, електричні інструменти, хоча у ноутбуках і стільникових телефонах нині переважно використовують литій–йонні і литій–полімерні акумулятори. Рекомендується також триступінчастий спосіб заряду: перший етап швидкого заряду ($1Q$), заряд зі швидкістю $0,1Q$ впродовж 0,5–1 год для заключній підзарядки, і заряд зі швидкістю $0,05–0,02 Q$ як компенсаційна підзарядка. Інформації про методи заряду Ni–MH акумуляторів зазвичай міститься у інструкціях фірми–виробника, а рекомендований струм зарядки зазначений на корпусі акумулятора. Зарядна напруга U_z при $I_z=0,3–1,0 Q$ лежить у інтервалі 1,4–1,5 В. Через виділення кисню на позитивному електроді, кількість електрики переданої при заряді (Q_z) більше розрядної ємності (Q_p). У цьому віддача по

ємності ($100 Q_p/Q_3$) становить 75–80 % та 85–90 % відповідно для дискових і циліндричних Ni–MH акумуляторів.

Контроль заряду і розряду. Щоб не допустити перезаряду Ni–MH акумуляторних батарей можна застосовувати такі методи контролю заряду з відповідними датчиками, встановлюваними в акумуляторні батареї чи зарядні пристрої:

- метод припинення заряду по абсолютній температурі T_{\max} . Температура батареї постійно контролюється під час процесу заряду, а під час досягнення максимального значення швидкий заряд переривається;

- метод припинення заряду за швидкістю зміни температури T/t . При застосуванні цього крутість температурної кривої акумуляторної батареї постійно контролюється під час процесу заряду, а коли цей параметр стає вище точно встановленого значення, заряд переривається;

- метод припинення заряду по негативній зміні напруги $\rightarrow U$. Наприкінці заряду акумулятора під час здійснення кисневого циклу починає підвищуватися його температура, приводячи до зменшення напруги;

- метод припинення заряду по максимальному часу заряду t ;

- метод припинення заряду по максимальному тиску P_{\max} .

Використовується зазвичай, у призматичних акумуляторах великих ж розмірів та ємності. Рівень припустимого тиску в призматичному акумуляторі залежить

його конструкції і знаходиться в інтервалі 0,05–0,8 МПа;

- метод припинення заряду по максимальній напрузі U_{\max} . Застосовується для відключення заряду акумуляторів з великим внутрішнім опором, що з'являється наприкінці терміну служби через брак електроліту або за зниженої температури.

При застосуванні методу T_{\max} акумуляторна батарея може бути перезаряджена, якщо температура довкілля знижується, або батарея може мати простий недостатньо заряду, якщо температура довкілля значно підвищується. Метод T/t може застосовуватися дуже ефективно для припинення заряду при низьких температурах довкілля. Але якщо його застосувати при вищих

температурах, то акумулятори всередині акумуляторних батарей будуть нагріватись до небажано високих температур доти, поки не буде досягнуто значення T/t для відключення. Для певного значення T/t може бути отримана велика ємність за більш низької температури довкілля, аніж за вищої температури. На початку заряду акумуляторної батареї (як і наприкінці заряду) відбувається швидке підвищення, що може спричинити до передчасному відключення заряду при застосуванні методу T/t . Щоб не допустити цього розробники зарядних пристроїв використовують таймери початкової затримки спрацьовування датчика при методі T/t .

Метод $\rightarrow U$ ефективно припинення заряду при низьких температурах довкілля, а чи не при підвищених температурах. У цьому сенсі метод нагадує метод T/t . Задля більшої припинення заряду у випадках, коли непередбачені обставини перешкоджають нормальному переривання заряду, рекомендується також можуть використовувати контроль по таймеру, регулюючому тривалість операції заряду (метод t) [12].

Отже, до швидшого заряду акумуляторних батарей нормованими струмами $0,5-1,0 Q$ за температур $0-50$ °C доцільно застосовувати одночасно методи T_{max} (з температурою відключення $50-60$ °C залежно від конструкції акумуляторів і батарей), $\rightarrow U$ ($>5-15$ мВ на акумулятор), t (зазвичай щоб одержати 120 % номінальною ємності) і U_{max} (1,6–1,8 В на акумулятор). Замість методу $\rightarrow U$ можна використовувати метод T/t ($1-2$ °C/хв) з таймером початкової затримки (5–10 хв).

Після завершення швидкого заряду акумуляторної батареї, в зарядних пристроях передбачають переключення їх уподзаряд нормованим струмом $0,1 Q-0,2 Q$ протягом визначеного часу.

Для Ni–MH акумуляторів категорично не рекомендується заряд при постійному напрузі, оскільки може відбутися «тепловий вихід із ладу» акумуляторів. Це обумовлено тим, що наприкінці заряду відбувається підвищення струму, який пропорційний різниці між напругою електроживлення і напругою акумулятора, а напруга акумулятора наприкінці

заряду знижується через підвищення температури. За низьких температур швидкість заряду має бути зменшена. Інакше кисень не встигне рекомбінувати, що сприятиме зростанню тиску в акумуляторі. Для експлуатацію за таких умов рекомендують Ni–MH акумулятори з високопористими електродами.

Переваги й недоліки Ni–MH акумуляторів. Значне збільшення питомих енергетичних параметрів не єдина перевага Ni–MH акумуляторів перед Ni–Cd акумуляторами. Відмова від кадмію означає також перехід до більш екологічно чистих виробництв. Легше вирішується й проблема утилізації поламаних акумуляторів. Ці переваги Ni–MH акумуляторів визначили швидше зростання обсягів їх виробництва в усіх провідних світових акумуляторних компаній у порівнянні з Ni–Cd акумуляторами. У Ni–MH акумуляторів немає «ефекту пам'яті», властивого Ni–Cd акумуляторам через утворення нікелату в негативному кадмієвому електроді. Проте ефекти, пов'язані з перезарядом оксидно–нікелевого електрода, зберігаються.

Зменшення разрядної напруги, бачимо при частих і довгих перезарядках як Ni–MH так і в Ni–Cd акумуляторах, можливо усунути при періодичному здійсненні кількох розрядів до 1,0 В. Такі розряди досить проводити кожного місяця. Проте нікель–металгідридні акумулятори поступаються нікель–кадмієвим, які вони покликані замінити, за деякими експлуатаційним характеристикам:

- Ni–MH акумулятори ефективно працюють у вузькому інтервалі робочих струмів, що пов'язані з обмеженою десорбцією водню металгідридного електрода за дуже високих швидкостей розряду;

- Ni–MH акумулятори мають вузький температурний діапазон експлуатації: велика частина їх непрацездатна за нормальної температури нижче мінус 10 °С і вище +40 °С, хоча у окремих серіях акумуляторів коригування рецептур забезпечило розширення температурних меж;

- протягом заряду Ni–MH акумуляторів виділяється більше теплоти, аніж при заряді Ni–Cd акумуляторів, з метою попередження перегріву батареї з Ni–MH акумуляторів у процесі швидкого заряду і/або значного перезаряду в

них встановлюють термо–запобіжники чи термо–реле, які володіють на стінці однієї з акумуляторів у частині батареї;

– Ni–MH акумулятори мають підвищений саморазряд, що визначається неминучістю реакції водню, розчиненої в електроліті, з позитивним оксидно–нікелевим електродом (але, завдяки використанню спеціальних сплавів негативного електрода, вийшло досягти зниження швидкості саморазряду до величин, близьких до показників для Ni–Cd акумуляторів;

– небезпека перегріву при заряді однієї з Ni–MH акумуляторів батареї, і навіть переполюсування акумулятора меншою ємністю при розряді батареї, зростає неузгодженістю параметрів акумуляторів внаслідок тривалого циклування, тому створення батарей з понад 10 акумуляторів категорично не рекомендується усіма виробниками;

– втрати ємності негативного електрода, які мають місце у Ni–MH акумуляторі при розряді нижче 0 В, необоротні, що висуває жорсткіші вимоги добору акумуляторів в батареї і контролю процесу розряду, ніж у випадку використання Ni–Cd акумуляторів, зазвичай рекомендується розряд до 1 В/ак в батареях незначного напруження і до 1,1 В/ак у батареї із 7–10 акумуляторів.

Як зазначалося раніше, деградація Ni–MH акумуляторів визначається, передусім, зниженням при циклюванні сорбуючої здібності негативного електрода. У циклі заряду–розряду відбувається зміна обсягу кристалічною ґраткою сплаву, що зумовлює утворення тріщин і наступної корозії при реакції

електролітом. Утворення продуктів корозії наприклад із поглинанням кисню і водню, у результаті зменшується загальна кількість електроліту і підвищується внутрішній спротив акумулятора. Слід зазначити, що характеристики Ni–MH акумуляторів істотно залежать від сплаву негативного електрода й технології обробки сплаву підвищення стабільності її складу та структури. Це змушує виготовлювачів акумуляторів уважно ставитися у виборі постачальників сплаву, а споживачів акумуляторів – у виборі компанії–виробника [10].

Стандарти та позначення НМ–акумуляторів. Відповідно до стандартів Міжнародної електрохімічної комісії IEC 61436 і IEC 61951–2 циліндричні НМ–акумулятори позначають літерами HR, призматичні – літерами HF та дискові – літерами HB. Після літер для циліндричних НМ–акумуляторів вказують через дробову риску діаметр і висота акумулятора в міліметрах (округлена до цілого в більшу сторону), а призматичних – ширина, товщина і висота. Наприклад, HR15/51, HF15/09/49. Для дискових акумуляторів вказують через дробову риску діаметр і висота, у мм, із використанням розмірності в 1/10 мм. Наприклад, дисковий акумулятор діаметром 15,6 мм заввишки 6,4 мм позначається як HB 156/064. Зазначимо найважливіші вимоги до НМ–акумуляторів за цими стандартами:

– режим заряду нормованим струмом 0,1 Q впродовж 16 год за нормальної температури (20±5) °C;

– тривалість розряду за нормальної температури (>20±5)°C нормованим струмом 0,2 Q до напруги 0,9 В не менше 42 хвилини для циліндричних і призматичних НМ–акумуляторів і щонайменше 35 хв для дискових;

– термін служби може бути щонайменше 500 циклів;

Дані стандарти не встановлюють вимог до НМ–акумуляторам при підвищених температурах та за температур нижче 0 °C.

Зберігання та експлуатація Ni–MH акумуляторів. Перш ніж розпочати експлуатацію нових Ni–MH акумуляторів слід пам'ятати, що їх необхідно попередньо «розгойдати» для максимальної ємності. Тому бажано мати зарядний пристрій, здатний розряджати акумулятори. Установіть зарядку на мінімальний струм й зарядіть акумулятор, та відразу розрядіть його, натиснувши відповідну кнопку на зарядном пристрої. Якщо такого пристрою під руками немає, можна просто «навантажити» акумулятор на повну потужність і зачекати допоки він розрядиться. Може знадобитися 2–5 таких циклів, залежно від тривалості та температури зберігання на складі й у магазині. Найчастіше умови зберігання далекі від ідеальних, тому багатократне тренування буде найкраще.

Для найефективнішої та найпродуктивнішої роботи акумулятора протягом тривалого часу, його потрібно й надалі, наскільки можна, повністю розряджати (рекомендується ставити пристрій на зарядку тільки тоді, як він відключвся через розряд батареї) і заряджати акумулятор, щоб уникнути появи «ефекту пам'яті» та зменшення життя акумулятора. Для поновлення повної ємності акумулятора, також потрібно проводити тренування. Ефект пам'яті можна усунути також розрядкою великим струмом (в 2–3 рази вище номінального).

Перше й найпростіше правило правильної зарядки будь-якого акумулятора – використання того зарядного пристрою (далі ЗП), який продавалося в комплекті (наприклад, мобільного телефону), або того, де умови заряду відповідають потребам виробника акумуляторів (наприклад, для пальчикових Ni–MH акумуляторів). У кожному разі краще купувати акумулятори і ЗП, рекомендовані виробником. Кожна фірма має технології виробництва та особливості експлуатації акумуляторів. Перед використанням акумуляторів та ЗП необхідно уважно ознайомитися з усіма інструкціями й іншими інформаційними матеріалами.

Найпростіші ЗП зазвичай входять у комплект поставки. Такі ЗП, зазвичай, доставляють користувачам мінімум занепокоєння: виробники телефонів намагаються узгодити технологію заряду з усіма можливими типами акумуляторів, виділені на роботи з цією маркою апарату. Це означає, що й пристрій розрахований працювати з Ni–Cd, Ni–MH і Li–Ion акумуляторами, це ЗП однаково ефективно буде заряджати всі перелічені вище акумулятори, навіть, якщо вони різної ємності [16].

Розрізняють повільні, швидкі й імпульсні ЗП. Відразу варто зазначити, що розмежування це дуже умовно і від фірми–виробника акумуляторів. Підхід до проблеми зарядки приблизно наступний: фірма розробляє різні типи акумуляторів під різні застосування й встановлює кожному за типу рекомендації й вимоги стосовно найсприятливішим методам заряду. Через це

однакові по зовнішнім виглядом (розмірам) акумулятори можуть вимагати застосування різних методів заряду.

«Повільні» і «швидкі» ЗП різняться за швидкістю заряду акумуляторів. Перші заряджають акумулятор струмом, рівним приблизно $1/10 Q$ від номінального, час заряду становить 10–12 годин, у своїй, зазвичай, не контролюється стан акумулятора, що ні дуже добре (повністю й частково виряджені акумулятори повинні заряджатися у різних режимах). «Швидкі» заряджають акумулятор струмом буде в діапазоні від $1/3$ до 1 від величини номіналу. Час заряду 1–3 години. Дуже часто двохрежимний ЗП, реагуюче зміну напруги на клеммах акумулятора у процесі зарядки. Спочатку заряд накопичується в «швидкісному» режимі, коли напруга сягає певного рівня, швидкісна зарядка припиняється, і апарат перетворюється на повільний режим зарядки. Саме через такі ЗП ідеальні для Ni–Cd і Ni–MH акумуляторів. Зараз найпоширеніші ЗП, використовують технологію імпульсної зарядки. Зазвичай, їх можна використовуватиме всіх типів акумуляторів. Особливо ці ЗП добре підходять для продовження терміну експлуатації Ni–Cd акумуляторів, бо руйнуються кристалічні утворення активної речовини (зменшується «ефект пам'яті») у процесі експлуатації. Проте задля акумуляторів з великим «ефектом пам'яті» застосування тільки імпульсного способу заряду недостатньо — необхідний глибокий розряд (відновлення) за спеціальним алгоритмом, щоб зруйнувати великі кристалічні утворення. Звичайні ЗП, і з функцією розряду, на це нездатні. Це можна зробити на сервісній службі з допомогою спеціального устаткування.

Зберігання. Якщо вже ви купили акумулятор і збираєтеся негайно його використовувати, то, вам краще ознайомитися з правила зберігання Ni–MH батарей. Насамперед, акумулятор потрібно вийняти з апарату і подбати про захист від впливу вологи і високих температур. Не можна дозволяти сильного зниження напруги на акумуляторі внаслідок саморозряду, тобто при тривалому зберіганні батарею необхідно періодично заряджати.

Не можна зберігати акумулятор за високої температури, це прискорює деградацію активних матеріалів всередині акумулятора. Наприклад, стала експлуатація і збереження при 45°C призведе до зменшення кількості циклів Ni-MH акумулятора приблизно за 60%. За зниженої температури умови зберігання найкращі, але відзначимо, що саме для зберігання, оскільки віддача енергії при мінусових температурах у будь-яких акумуляторів падає, а заряджати взагалі не можна. Збереження при низьких температурах зменшить саморазряд (наприклад, можна покласти в холодильник, але й у жодному разі над морозильник).

Окрім температури, на термін служби акумулятора істотно впливає ступінь його заряду. Оптимальний ж варіант – зарядити акумулятор перед зберіганням на 40 %. Після тривалого зберігання рекомендується провести ті самі дії, що і для нового акумулятора.

Виробники й перспективність Ni-MH акумуляторів. Відповідно до досліджень, проведених Avicenne Development (Франція), у 2005 р. обсяг випуску Ni-MH-акумуляторів (1621 млн шт.) вже перевершив обсяг випуску НК-акумуляторів (1170 млн шт.). Лідером із виробництва Ni-MH – акумуляторів була фірма SANYO (56 %). У Росії її би серійний випуск Ni-MH- акумуляторів освоїли АТБТ «Завод МЕЗОН» (циліндричні акумулятори чотирьох типорозмірів) і ВАТ «АК Ригель» (циліндричний акумулятор типорозміру АА, призматичні і дискові акумулятори) [12].

Завдяки підвищенню обсягів випуску Ni-MH-акумуляторів та зниження ціни використовуваних матеріалів, нині ціни за 1 А·год НК- і Ni-MH-акумуляторів практично зрівнялися.

Утилізація. Нікель-металгідридні акумулятори – екологічно чисті, позаяк них відсутні токсичні і шкідливі елементи, такі як кадмій, свинець і ртуть. Це є одним із основних причин поширення Ni-MH-акумуляторів. Нікель-металгідридні акумулятори, фізичні розміри яких є так само, як і в НК-акумуляторів, природно, збирають по закінченні експлуатації разом із НК-акумуляторами. Хоча Ni-MH-акумулятори не містять кадмію, їх спалювання чи поховання на звалищах видається доцільним через високого в них вмісту важких металів. Автоматичне відділення ПМ– від НК-акумуляторів, наприклад, за принципом розрізнення їх густини, є важким. Тому ПМ– і НК–

аккумулятори піддаються спільній утилізації з метою вилучення, передусім, кобальту і нікелю (іноді вилучають і рідкісноземельні метали). Нині роботи з отримання Co, Ni і рідкісноземельних металів з Ni-MH-аккумуляторів проводять з допомогою процесу гідроелектрометалургії [5].

Літій-йонні аккумулятори

Сьогодні найбільшого поширення набувають полімерні літій-йонні аккумулятори (Li-ion). Ідея їхнього створення появилася ще у 1912 р., але бажаного результату на протязі багатьох досягнути не вдавалося. Сьогодні все більшого поширення набувають літієві батареї. Літій давно вабив до себе розробників, в першу чергу, тим, що такі елементи мають підвищену напругу, і, залежно від матеріалу другого електрода, вона складає величину від 1,5 до 3,6 В. У перших літієвих елементах струми були невеликі, і елементи в основному призначалися для пристроїв з малим споживанням. Сьогодні Li-ion-аккумулятори стали повноправними джерелами енергії і по піковій потужності не поступаються своїм конкурентам.

Основні переваги літієвих елементів наступні:

– можливість одержання більш високої напруги (для 3,6 В замість одного літієвого треба взяти три нікель-металогідридних елемента по 1,2 В і з'єднати їх послідовно);

– малий саморозряд не більше 5% на місяць (близько 20 % для Ni-MH);

– значна питома енергоємність на одиницю ваги, понад 100 Вт·год/кг (60 для Ni-MH).

За останнім пунктом поза всякою конкуренцією виявляється нова розробка – Li-полімерні батареї. У батареях вміщено велику кількість енергії. Випадково замкнувши контакти, ви можете замкнутити батарею, що небезпечно. Тому для зберігання запасних батарей випускають спеціальні чохла. Будь-які герметичні аккумулятори дуже не люблять перезарядки, при цьому у них значно підвищується внутрішній тиск і температура. При сильному перевищенні тиску в сучасних батареях спрацьовує спеціальний клапан, але це скоріше вже

аварійний варіант, ніж робочий. Дані про температуру часто використовують для контролю процесу зарядки і корекції залишкової ємності батареї. Телефон та зарядні пристрої, природно, коректно заряджають акумулятори та, зрозумівши, що зарядка закінчена, припиняють подавати в нього зайві ампер-години, і перезарядка повністю виключається при використанні відповідних та справних зарядних пристроїв. Немає необхідності розряджати або заряджати сучасні батареї повністю. Зарядку можна починати і закінчувати при будь-якому рівні розрядженого батареї.

техніці мобільної телефонії сьогодні в основному застосовують літій-йонні та нікель-металогідридні акумулятори. Їх виготовляють взаємозамінними, і при бажанні можна один і той же телефон експлуатувати з різними типами акумуляторів. Розробники електроніки перейшли на 3 контактні батареї і жорстко закладають на одноелементні Li-ion або батарею з трьох Ni-MH-елементів. За питомої енергоємності літієві випереджають Ni-MH. На морозі батареї втрачають частину своєї ємності. Особливо мороз небезпечний для розряджених батарей. Ціна літієвих акумуляторів майже в два рази вище, ніж металогідридних (для батарей однакової ємності і напруги). Порівнюючи акумулятори, що застосовують в мобільних телефонах, можна констатувати – габарити літієвих на даний момент приблизно вдвічі менше. Імовірність протікання електроліту в обох типів зведена до мінімуму насамперед тим, що їх корпус не є активним елементом (тобто не бере участі в електрохімічних реакціях). Літій-йонний акумулятор (англ. Lithium-ion battery, скорочено Li-ion) — тип електричного акумулятора, широко розповсюджений

побутовій електроніці. Перший літій-йонний акумулятор розробила корпорація Sony в 1991 р.

літій-йонному акумуляторі накопичення заряду відбувається за рахунок міграції іонів літію між катодом і анодом, розділених електролітом. Матеріалом катода служить кераміка зі значним вмістом літію (наприклад, LiCoO_2), в якій іони літію завдяки малим розмірам доволі рухливі. Матеріалом анода зазвичай служить графіт, в який іони літію можуть проникати й інтеркалюватися між шарами. При накладенні постійної напруги іони літію виходять із анода, проходять через електроліт й осідають в графіті, заряджаючи його. При

відключенні напруги в електроліті утворюється подвійний шар, який не дозволяє іонам перебігти назад. Розрядка відбувається практично тільки за рахунок електричного струму через зовнішнє коло [6]. Характеристики:

- енергетична густина: 110 ... 200 Вт·год/кг;
- внутрішній опір: 150 ... 250 мОм (для батареї 7,2 В);
- число циклів заряд/розряд до втрати 20 % ємності: 500—1000;
- час швидкого заряду: 2–4 години;
- допустимий перезаряд: дуже низький;
- саморозряд при кімнатній температурі: 7 % на рік;
- напруга максимальна в елементі: 4,18..4,20 В (повністю заряджений);
- напруга мінімальна: 2,5–2,75 В(повністю розряджений);
- струм навантаження відносно ємності (Q);
- піковий: більше 2 Q;
- найбільше допустимий: до 1 Q;
- діапазон робочих температур: мінус 20 – +60 °С;
- обслуговування: не регламентується.

Спочатку в якості від'ємних пластин застосовували кам'яновугільний кокс, надалі став застосовуватися графіт. У якості позитивних пластин використовують оксиди літію з кобальтом або марганцем. При заряді літій-йонних акумуляторів перебігають наступні реакції:

на позитивних пластинах:



на від'ємних пластинах:



При розряді протікає зворотна реакція.

Недоліки. Акумулятори Li-ion схильні вибухового руйнування при перезаряді та / або перегріві. Для боротьби з цим явищем усі побутові акумулятори забезпечуються вбудованої електронної схемою, яка запобігає

перезаряду і перегріву внаслідок занадто інтенсивного заряду. За необережного поводження можуть мати більш короткий життєвий цикл у порівнянні з іншими типами акумуляторів. Глибокий розряд повністю виводить з ладу літій-йонний акумулятор.

Оптимальні умови зберігання Li-ion-акумуляторів досягають при 40%-вому заряді від ємності акумулятора при температурі близько 5°C. При цьому низька температура є більш важливим фактором для малих втрат ємності при довготривалому зберіганні. Середній термін зберігання (служби) літєвого АКБ складає в середньому 36 місяців, хоча може коливатися в інтервалі від 24 до 60 місяців. Суворі умови зарядки літій-йонних акумуляторів ускладнюють їх використання в альтернативній енергетиці. Це пов'язано з тим, що вітрогенератори і сонячні панелі не в змозі забезпечити постійний струм на всьому протязі циклу заряду.

Старіння. Літєві акумулятори старіють, навіть якщо не використовують. Літій-полімерні і літій-йонні акумулятори знижують ємність, на відміну від нікелевих і нікель-метал-гідридних, під впливом заряду. Чим більше заряд акумулятора і температура при його зберіганні, тим менше термін його служби. Зберігати їх краще зарядженими на 40–50%, і температурі 0–1 °C. Перезаряд, як і перерозряд, «випалює» ємність акумулятора.

Літій-полімерний акумулятор – досконаліший різновид літій-йонного акумулятора. Використовується переважно в портативній техніці, приблизно з 1996 року. Винайдений у Bellcore. Переваги такого різновиду акумуляторів:

- низька вартість (у тому числі виробництва);
- мала вага;
- висока густина енергії;
- стійкіші до фізичних ушкоджень;
- екологічно безпечні;
- можуть приймати різноманітні гнучкі форми;
- низький саморозряд.

Недоліки:

- не призначені для роботи за низьких температур;**
- низькі струми віддачі.**

Можливість заміни рідкого органічного розчинника на полімерний при якому повинна знизитись ймовірність його витікання, і збільшитись безпечність роботи літій іонного акумулятора вивчалась з самого початку комерціалізації цих джерел струму. В основі ідеї літій–полімерного акумулятора (Li-pol) лежить явище переходу деяких полімерів у напівпровідниковий стан в результаті вживлення у них іонів електроліту. Провідність полімерів за таких умов зростає більше ніж на порядок. Основні дослідження направлені на пошук полімерних електролітів, теоретично можлива густина енергії в таких акумуляторів у декілька разів більше ніж у літій–йонних.

До теперішнього часу розроблені і серійно виготовляють літєві джерела струму із електролітами, які можуть бути розділені на три групи:

- сухі полімерні електроліти (на основі поліетиленоксиду, в який вводять різні солі літію).**
- гель–полімерні електроліти, які утворюються при вживленні в полімер (або суміш полімерів) із солями літію пластифікатора–розчинника;**
- неводні розчини солей літію, сорбовані у мікропористій полімерній матриці.**

У порівнянні із рідкими електролітами у літій–йонних акумуляторах, полімерні електроліти мають меншу провідність, яка значно знижується при температурах нижче нуля. Сучасні літій–полімерні акумулятори мають питомі характеристики порівнянні із літій йонними. Але завдяки відсутності рідкого електроліту вони є більш безпечні ніж літій–йонні. Вони компактні і можуть бути виконані будь–якої конфігурації. Робочі густини струму у них незначні, і електричні характеристики значно погіршуються при зниженні температури через кристалізацію полімеру. Літій–полімерні акумулятори є як із літій–йонним електролітом, так і з анодом із металічного літію. Досягнуті густини струму та розширення температурного інтервалу використання дозволяє

використовувати ці акумулятори у мобільних телефонах, ноутбуках та іншій цифровій техніці. Із появою літій–полімерних акумуляторів товщиною всього 1 мм відкриваються нові можливості щодо мініатюризації радіоелектронних пристроїв. Іноді для зниження внутрішнього опору літій–полімерних батарей

використовують добавки гелевого електроліту. Більшість сучасних батарей є гібридами літій-йонних і літій-полімерних акумуляторів із добавками селенового електроліту. У літій-полімерних акумуляторах замість сепаратора використовують твердий електроліт.

За ціною, у перерахунку на одиницю ємності літій полімерні акумулятори коштують стільки ж, як і Ni-MH.

Виробники. На сьогодні є декілька великих фірм-виробників літій-полімерних акумуляторів. Лідером за кількістю випущених акумуляторів і одним із найкращих за якістю є Kokam. Також відомі Thunder Power, I-Rate, E-Tec, і Tanic. Асортимент ємності акумуляторів досить широкий – від 50 до 3000 мА·год. Для одержання більших ємностей використовують паралельне з'єднання акумуляторів. За формою усі батареї плоскі. Як правило, їх товщина менше самої короткої сторони більше ніж у 3 рази, і виводи роблять із короткої сторони у вигляді плоских пластин [18].

Компанія I-Rate швидкозарядних акумуляторів поки що не випускає, і їх акумулятори мають одну особливість: один із електродів у них алюмінієвий, і паяти його проблематично. Це робить їх незручними при самостійному складанні батареї. Акумулятори E-Tec – дещо середнє, вони не заявлені як швидкозарядні, але їх струм розряду вище, ніж у звичайних – 5–7Q.

Лідерами за популярністю є Kokam і Thunder Power, причому Kokam в основному використовують у легких і середніх моделях, а Thunder Power на середніх, великих і гігантських (більше 10 кг!). Очевидно, це обумовлено ціною наявністю в асортименті потужних зборок – до 30 В і 8 А·год ємністю. Далі йдуть Tanic і E-tec, а от про I-rate згадок мало. Platinum Polymer популярний чомусь тільки в Америці, причому використовують його майже виключно на повільних слоуфлаєрах.

Заряд літій-полімерних акумуляторів. Заряд акумуляторів здійснюють за досить простим алгоритмом – заряд від джерела постійної напруги при 4,20 В/елемент із обмеженням струму в 1Q. Заряд вважається завершеним, коли струм впаде до 0,1–0,2 Q. Після переходу у режим стабілізації напруги при струмі в 1 Q акумулятор набирає приблизно 70–80 % ємності. Для повного заряду необхідний час близько 2-х годин. До зарядного пристрою висувають досить жорсткі вимоги до точності підтримання напруги в кінці заряду – не гірше 0,01 В/елемент.

Із представлених на ринку зарядних пристроїв можна виділити два основних типи – прості, не «компютерні» зарядні пристрої, в ціновій категорії 10–40 \$, призначені тільки для літєвих акумуляторів, і універсальні – в ціновій категорії 120–400 \$, призначені для різних типів акумуляторів, в тому числі і для LiPo і Li-Ion. Перші, як правило, мають тільки світлодіодну індикацію заряду, кількість елементів і струм у них виставляють перемичками. Перевага таких зарядних пристроїв – низька ціна. Головний недолік – деякі з них не вміють правильно показувати закінчення заряду. Вони показують лише момент переходу від режиму стабілізації струму до режиму стабілізації напруги, що складає приблизно 70–80 % ємності. Для повного закінчення заряду необхідно ще зачекати 30–40 хвилин. У іншій групі зарядних пристроїв можливості набагато ширші, як правило, вони всі показують напругу, струм і ємність (мА·год), яку акумулятор «прийняв» у процесі заряду, що дозволяє більш точно визначати, наскільки заряджений акумулятор [18].

Експлуатація і заходи безпеки. Можна з упевненістю сказати, що літій– полімерні акумулятори самі «ніжні» акумулятори із існуючих, тобто вимагають обов'язкового виконання декількох нескладних, але обов'язкових правил, через невиконання яких трапляється або пожежа, або вихід з ладу акумулятора. Ось вони у порядку зменшення небезпеки:

Заряд до напруги, що перевищує 4,20 В/елемент.

Коротке замикання акумулятора.

Розряд струмами, що перевищують рекомендовані або нагрівають акумулятор вище 60 °С.

Розряд нижче напруги 3,00 В/елемент.

Нагрів акумулятора вище 60°С.

Розгерметизація акумулятора.

Зберігання у розрядженому стані.

Невиконання перших трьох пунктів призводить до пожежі, всіх інших – до повної або часткової втрати ємності.

На сьогодні існує непорозуміння, викликане маркетинговим підходом. Представлені на ринку літій–полімерні акумулятори насправді є звичайними літій–йонними акумуляторами у пластиковому корпусі. Технічно вони відрізняються лише зовнішньою формою та оболонкою (так званий pouch–bag формат). Реальні літій–полімерні акумулятори через свої надзвичайно низькі характеристики не були представлені для продажу на ринку, хоча через їх перспективні переваги роботи по їх дослідженню та розробці проводяться і надалі.

Оригінальний тип батарей, що називалися «літій–полімерні», технологічно були подальшим розвитком звичайних літій–йонних акумуляторів та літієвих батарей. Головною відмінністю було використання щільного полімерного електроліту (англ. solid polymer electrolyte, SPE), наприклад, поліетиленгліколю, поліакрилонітрилу, оргскла (поліметилметакрилат) або полівініліденфториду, замість електроліту з солями літія (наприклад, LiPF_6), що містяться у органічному розчиннику таких як етиленкарбонат ($(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_2\text{CO}$), диметилкарбонат або диетилкарбонат ($\text{OC}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$).

Твердий електроліт може бути поділений на три наступних види: сухий, гелевий та пористий. Сухий електроліт був першим, що використовувався у прототипах батарей у 1978 році Мішелем Армандом та у 1985 році компаніями ANVAR, Elf Aquitaine та Hydro Quebec. Із 1990 року кілька організацій, зокрема такі як Mead та Valence з США та GS Yuasa з Японії, розробили акумулятори з гелевим полімерним електролітом. У 1996 р. компанія Bellcore оголосила про створення літій–полімерного акумулятора із використанням пористого твердого полімерного електроліту.

Паралельно до розвитку «полімерного електроліту» термін «літій–полімерний акумулятор» почав використовуватись для звичайних літій–йонних акумуляторів у гнучкому корпусі–«мішечку» (англ. pouch bag). Приблизний час появи таких акумуляторів на ринку побутової електроніки був 1995 р [16].

Літієві акумулятори зі справжнім полімерним електролітом. Хоча назва «літій–полімерні» застосовується переважно до літій–йонних акумуляторів у гнучкому корпусі (англ. pouch format), що містить рідкий електроліт існують також і акумулятори зі справжнім полімерним

електролітом, які, тим не менш, так і не були комерціалізовані та досі є темою досліджень. Прототипами таких акумуляторів можна вважати ті, що є проміжними між традиційними літій-іонними та повністю пластиковими акумуляторами (англ. solid-state lithium-ion battery).

Простіший підхід – це використання полімерної матриці з полівініліденфториду або поліакрилонітрилу, заповненою гелем зі звичайними солями та розчинниками (наприклад, згадана вище LiPF_6 у етиленкарбонаті, диметилкарбонаті або диетилкарбонаті). Ніші згадує, що Sony розпочала розробки літій-іонних акумуляторів з гелевим полімерним електролітом у 1988 р., ще до комерціалізації звичних на сьогодні акумуляторів з рідким електролітом у 1991 р. У той час вважалось, що полімерні акумулятори є найбільш перспективними та те, що вони стануть незамінними. З часом цей тип акумуляторів був виведений на ринок у 1998 р. Однак Скорсаті аргументує, що, за умови суворого дотримання термінології, заповнені гелем мембрани не можна вважати «справжніми» полімерними електролітами, радше гібридними системами, де електроліт у рідкій фазі утримується у полімерній матриці. Хоча ці електроліти і можуть бути сухими на дотик, вони все одно мають у собі від 30 % до 50 % рідкого розчинника. Із огляду на таку позицію питання визначення «полімерного акумулятора» залишається відкритим.

Інший термін, що застосовується у літературі для даної системи включає назву «гібридний полімерний електроліт» (англ. hybrid polymer electrolyte), у якому слово «гібрид» позначає комбінацію полімерної матриці, рідкого розчинника та солі. Ця система подібна до тої, що розробили Bellcore у 1996, що мала назву «пластиковий» літій-іонний акумулятор (англ. PLiON) та була комерціалізована у 1999 р. Щільним полімерним електролітом може бути, наприклад, суміш літій-біс-(флорсульфоніл)іміду (LiFSI) з високомолекулярним поліетиленгліколем, чи високомолекулярним політриметил карбонатом (PTMC). Ефективність таких електролітів зазвичай вимірюється в півелементній конфігурації (англ. half-cell configuration) з використанням як другого електрода металічного літію, створюючи систему подібну до літійової батареї, але також виконують тести з типовими катодними матеріалами для літій-іонних акумуляторів, таких як LiFePO_4 . Інший підхід до створення акумулятора з полімерними електролітом

полягає у використанні неорганічної іонної рідини, наприклад, 1-бутил-3-метилімідазоліум тетрафлороборат як пластифікатора в мікропористій полімерній матриці з поліметилметакрилату.

Термін служби літій-полімерного акумулятора. У середньому такі акумулятори витримують близько 800–900 циклів зарядки. Даний показник є скромними на тлі сучасних аналогів, але навіть не цей фактор можна розглядати як визначальний ресурс елемента. Справа у тому, що такі акумулятори схильні інтенсивному старінню незалежно від характеру експлуатації. Тобто, навіть якщо батарея зовсім не використовується, її ресурс буде скорочуватися. Причому не має значення, це літій-йонний акумулятор або літій-полімерний елемент. Усі джерела живлення, що базуються на літієвої основі, характеризуються даним процесом. Істотну втрату в обсязі можна помітити вже через рік після придбання. Через 2–3 роки деякі батареї і зовсім виходять з ладу. Але багато залежить від виробника, оскільки всередині сегмента теж є відмінності в якості виконання акумулятора. Аналогічні проблеми притаманні й елементів NiMH, які піддаються старінню при різких температурних коливаннях.

Літій-полімерний акумулятор має дещо інші умови експлуатації ніж літій-йонний, так як він володіє сухим і твердим електролітом. Ідеальною температурою для його роботи є 60–100 °C. Тому такий енергоносіє став ідеальним варіантом для джерел резервного живлення в регіонах з жарким кліматом. Їх спеціально поміщають в теплоізоляційний корпус з вбудованими нагрівальними елементами з живленням від зовнішньої мережі [18].

Недоліки літій-полімерних акумуляторів. Окрім проблем із швидким старінням, такі акумулятори потребують додаткової системи захисту. Пов'язано це з тим, що внутрішнє напруження на різних ділянках може призвести до перегорання. Тому використовується особлива схема стабілізації, що запобігає перегрівання і перезаряді. Ця ж система має й інші недоліки. Головним з них є обмеження струму. Але, з іншого боку, додаткові захисні схеми роблять літій-полімерний акумулятор безпечнішим. Відмінність від йонного у плані вартості теж має місце.

Полімерні батареї коштують дешевше, але ненабагато. Їх вартість також підвищується через впровадження електронних захисних схем.

Застосування літій-йонних і літій-полімерних акумуляторів:

- Трьохелементний літій-полімерний акумулятор 1300 мА·год, 11,1 В встановлений на радіокерованій моделі літака.
- Портативні пристрої: мобільні телефони і смартфони, ноутбуки та планшети, цифрові фотоапарати і відеокамери, електронні сигарети, портативні ігрові консолі і ліхтарики.
- Електроінструменти: Літій-йонні батареї використовують в акумуляторних дрелях, шліфувальних машинах, електропилках і т. д.;
- Електричні транспортні засоби: через свою низьку вагу літій-йонні батареї використовують для зберігання енергії у електромобілях, велосипедах тощо.
- Широко застосовують в різноманітних радіокерованих моделях як джерело енергії, значно потіснивши двигуни внутрішнього згорання

2.6.3. Гелеві і AGM акумулятори

Для того, щоб досягти герметичності і стійкості, без необхідності в обслуговуванні акумуляторів застосовують дві різні технології: GEL (Gelled Electrolite) і AGM (Absorbent Glass Mat). Обидві технології забезпечують рекомбінацію газів для збереження об'єму електроліту і його «зв'язування» для уникнення витікання.

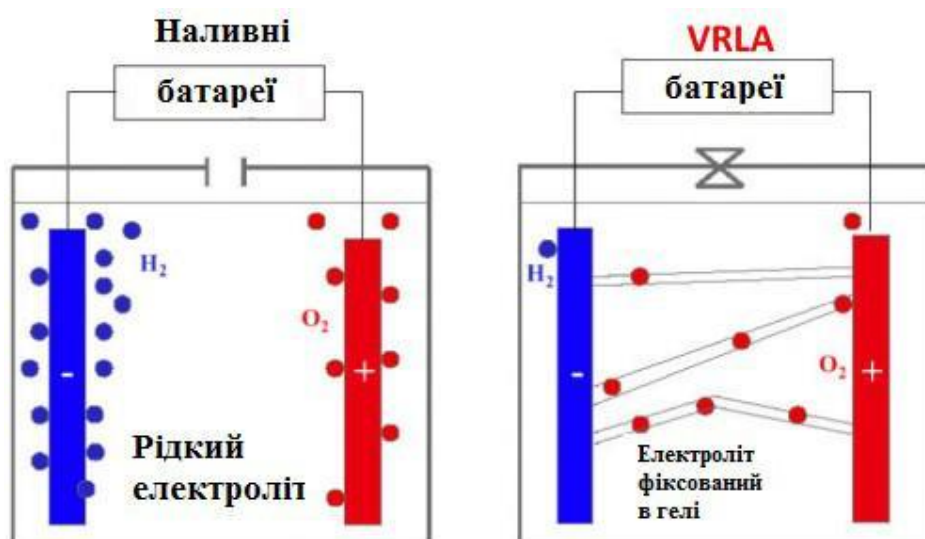


Рис. 2.19. Схематичні відмінності між гелевими і AGM акумуляторами

гелевих акумуляторах рідкий електроліт доведений до желеподібної, рідкої консистенції шляхом додавання в нього сполук кремнію. У результаті електроліт не витікає при струшуванні і при незначних пошкодженнях корпусу. Ця технологія з'явилася першою, саме тому герметичні необслуговувані акумулятори називають гелевими. Завдяки в'язкому стану в гелевих акумуляторах відбувається рекомбінація газів:

– У результаті хімічної реакції вода у акумуляторі розпадається на водень і кисень.

– Йони водню і кисню залишаються у замкненому просторі акумулятора і, рухаючись по мікропорам і тріщинам в гелі, відновлюють початковий об'єм електроліту.

– Вода всмоктується гелем, відновлюється початковий об'єм електроліту. Підсумку ми маємо акумулятор, у який не потрібно доливати воду, оскільки вона практично не випарюється. Крім того, не відбувається газовиділення, тому акумулятор може використовуватися в житлових приміщеннях.

Гелеві акумулятори. На сьогоднішній день гелеві акумулятори є одним з найбільш популярних і перспективних джерел живлення. Сучасні виробники АКБ зробили крок далеко вперед і наділили нові пристрої живлення гідними перевагами. Гелеві акумулятори відрізняються більшою ємністю, високими показниками вихідного заряду, а також відмінними технічними характеристиками. У зв'язку з тим, що гелеві акумулятори багато у чому перевершують звичні аналоги, даний вид АКБ все частіше використовується власниками транспортних засобів.

Незважаючи на те що характеристики гелевих акумуляторів продовжують вражати автомобілістів, будова самого АКБ також залишається схожою із звичним свинцевого–кислотним акумулятором. Все ж, гелевий акумулятор має кілька особливостей, які й пояснюють характерні переваги. Так само як і у кислотно–свинцевому акумуляторі, гелевий акумулятор має у складі пластини та електроліт. Але, характерним відміну гелевих акумуляторів є стан електроліту. Як відомо, в свинцевих акумуляторах

електроліт рідкий. Як стає зрозуміло з назви в сучасних АКБ електроліт знаходиться у вигляді гелю. Даного стану електроліту можна домогтися декількома способами. Однією з найбільш популярних є методика виробництва гелевих АКБ при якій необхідний стан одержують шляхом додавання у робочий склад частинок кремнію. Також нерідко можна зустріти електроліти на основі скловолокна. У даній конструкції використовують спеціальний наповнювач, який складається з скловолокна. У такому випадку оптимальна консистенція виходить завдяки фізичній дії, в той час як інші технології передбачають використання хімічних реакцій [16].

Аналогічні методики з'явилися багато років тому, але отримали активне застосування тільки з моменту освоєння космічного простору. Гелевіакумулятори, із принципово новим видом електроліту стали відповідати всім вимогам. Явним недоліком звичайних акумуляторних батарей був електроліт у рідкому вигляді. Такі акумуляторні батареї не відповідали вимогам польоту, оскільки електроліт в ході використання міняв свою густину і нерідко витікав. Тому почався активний розвиток гелевих акумуляторів, які мали найбільш підходящі характеристики.

Однією із явних переваг гелевих АКБ, є однакова продуктивність у будь-якому положенні. Завдяки гелевому електроліту батарею можна перевертати. Також гелева батарея є більш безпечною і екологічною. У разі порушення герметичності батареї, електроліт не буде витікати із корпусу. У складі звичної акумуляторної батареї знаходиться свинець і сірчана кислоти, які постійно взаємодіють у ході експлуатації. У результаті тривалого використання кислота вивірюється, а на її місці утворюється вода. У ході експлуатації звичної батареї, рідкий електроліт виділяє велику кількість газу, що робить даний вид АКБ менш практичним. У той час як, гелевий електроліт не пропускає газ за поверхню корпусу АКБ. Газ затримується у парах гелю, та не виходить назовні, зберігаючи безпеку власника.

Оболонка такого акумулятора повністю герметична, та не вимагає окремого догляду. Даний параметр робить батарею більш безпечною та дозволяє функціонувати у будь-якому положенні. Навіть при пошкодженні

корпусу АКБ, електроліт збережеться у складі оболонки. У такому випадку, даний вид АКБ несприйнятливий до зміни температурних умов. Також можна відзначити, що даний вид батарей не боїться масштабних розрядів. Акумуляторна батарея має більшу кількість резервів. Гелеві акумулятори при дотриманні умов використання мають досить тривалий термін експлуатації. Як відомо, для того щоб вивести гелевий акумулятор з ладу, необхідно значною мірою порушити умови використання або піддати корпус батареї серйозним механічним пошкодженням.

Але, незважаючи на ряд переваг, такий тип акумуляторів має характерні недоліки. Перше що необхідно відзначити, гелевий акумулятор поганопереносить перезаряд. Це є одним з найбільш вразливих місць даного акумулятора. У разі перезарядження, термін експлуатації гелевого акумулятора скорочується в кілька разів. У зв'язку з цим виникають серйозні вимоги до стану бортової електроніки транспортного засобу на якому буде використовуватися даний вид акумуляторної батареї. Для збереження терміну експлуатації гелевою батареєю, генератор автомобіля повинен знаходитися в хорошому стані, у той час як натяг ременя приводу генератора повинен відповідати нормі.

Саме чутливість до перезаряду не дозволяла використовувати гелевий акумулятор на транспортному засобі раніше. Але, сучасні виробники в чому збільшили продуктивність і безпеку акумуляторної батареї, що дозволяє використовувати її для живлення бортової мережі автомобіля сьогодні і отримувати максимальну продуктивність. Також в ході розвитку автомобілебудування збільшилися якість та безпека бортової мережі транспортного засобу, що робить використання сучасних батарей повністю безпечним.

Незважаючи на чутливість до перезаряду, розглянутий вид АКБ спокійно ставиться до масштабних розрядів. Навіть у випадку, якщо напруга акумулятора падає до 10 В, батарея відпрацьовує термін експлуатації і не виходить з ладу. Справа у тому, що навіть при критичному розряді електроліт не випаровується, і

відповідно пластини не зазнають окиснення. Тому навіть за мінімальної напруги АКБ прослужить 1500 циклів заряду і розряду.

Відносно недавно стали застосовувати спіральну компоновку акумуляторної батареї. При такій конструкції АКБ пластина виконується у вигляді спіралі, в той час як, у її центрі знаходиться сепаратор з електролітом. Характерні переваги гелевих акумуляторів, роблять їх практично незамінними для транспортних засобів що беруть участь у перегонах, а також для автомобілів, які експлуатують у складних погодних умовах. Завдяки сталості розрядного струму і надійності в експлуатації, така батарея послужить відмінним джерелом живлення. У зв'язку з тим, що даний вид батареї не виділяє газу, АКБ можна спокійно розміщувати прямо у салоні транспортного засобу. Таким чином, можна знизити кількість проводки, підвищивши безпеку бортової мережі транспортного засобу. Звичайно, одним з найбільш поширених недоліків сучасної акумуляторної батареї є висока ціна. При виборі акумулятора, варто віддавати свою перевагу перевіреним виробникам.

AGM акумулятори. У AGM акумуляторах простір між пластинами заповнений скловолокнистими матами, які вбирають в себе електроліт. Завдяки цьому досягається практично така ж мета, що у гелевих: електроліт не витікає та у порах наповнювача відбувається рекомбінація газів, тобто така ж необслуговувана герметична батарея, як і гелева. Хіба що при пошкодженні корпусу електроліт витече пошкодить розташоване поряд обладнання.

Використання наноматеріалів у електродних композиціях літійових джерел струму

Застосування матеріалу з розвинутою питомою поверхнею ($50\text{--}500\text{ м}^2/\text{г}$) та нанорозмірними структурними одиницями відкрило нову сторінку в розробленні активних наноматеріалів для катодів літійових та літій-йонних джерел живлення.

Концептуальний підхід до можливості застосування наноматеріалів у літєвих джерелах струму (ЛДС) здійснений авторами, що пропонують розглядати вплив на експлуатаційні характеристики ЛДС як «істинних» розмірних ефектів (зміни фізичних властивостей наноструктурованого матеріалу порівняно з об'ємним), так і «побічних» (збільшення питомої поверхні для зразка з частинками нанометричного масштабу та ріст його реактивної здатності до літію). Виявлено, що основним фактором, який визначатиме електрохімічні властивості наноструктурованих КМ, є зміна кінетики іонного і електронного транспорту. Різке зменшення довжини дифузійних шляхів дозволяє представити механізм накопичення іонів

нанодисперсному Н–матеріалі, як формування шарів близьких за властивостями до сорбційних та передбачити релаксаційний характер процесу впровадження.

Удосконалення існуючих та розробка нових методів отримання нанодисперсних оксидів металів інтенсифікувала апробацію їх застосування в гальванічних елементах. Зокрема, було виявлено, що нанорозмірність частинок орторомбічного MnO_2 впливає на інтеркаляцію іонів літію для матеріалу з середнім розміром частинок 1 нм ступінь впровадження становить $0,5 Li^+$ /моль, у той час як при розмірах 10 нм – $0,05 Li^+$ /моль. Встановлено факт накопичення катіонів поблизу поверхні, тобто для таких наночастинок MnO_2 відносний вміст іонів Mn^{4+} на поверхні становить до 50 %, тоді як для частинок з розмірами близько 10 нм цей вміст не перевищує 5 %. Такі структурні особливості зменшують ймовірність дифузійного проникнення Li^+ у КМ, проте водночас збільшують можливість поверхневої іммобілізації іонів Li^+ при відсутності змін об'єму Н–матеріалу в процесі інтеркаляції / деінтеркаляції. Додаткові перспективи відкриваються при застосуванні в якості електродних матеріалів ЛДС наноструктур з певним типом морфології (одно– та багат шарові сфери, трубки, дроти, стержні, пластинки, складні форми), структурним впорядкуванням, наявним розподілом та геометрією пор. Такі матеріалами отримують великі переваги при застосуванні не тільки в ЛДС, але

як каталізатори, сенсори газів, матеріали для фотовольтаїки тощо. Зокрема, застосування нанотрубок і нанодротів TiO_2 (діаметр 40–60 нм, довжина – до декількох мікрон) в якості матриці для інтеркаляції літію,

відкриває можливість отримання сполук впровадження $\text{Li}_{0.91}\text{TiO}_2$ (питома енергія $305 \text{ A} \cdot \text{год/кг}$) при потенціалах $1,5\text{--}1,8 \text{ В}$ відносно металічного літію із збереженням питомої ємності при циклюванні [16].

Одним із способів збільшення питомої енергії електродного матеріалу є застосування систем, структурні одиниці яких представляють собою кластери об'єднання окремих наночастинок. Більшість методів отримання наноструктурованих матеріалів базуються на застосуванні темплатів – полімерних чи неорганічних матриць (оксиди кремнію чи алюмінію, вуглецеві наноструктури), які містять впорядковані масиви мікро-, мезо- та макропор. Варто зазначити, що при використанні такого матеріалу в якості компонента електродної композиції ЛДС, пористість матеріалу веде до покращення його електронно іонних транспортних характеристик для іонів Li^+ , збільшення відносного об'єму активного матеріалу, який приймає участь у процесі струмотворення через збільшення площі інтерфейсу електрод / електроліт. При переході від субмікро до нанорозмірних частинок електродного матеріалу підвищення питомої ємності здійснюється в основному внаслідок збільшення числа поверхневих позицій для імобілізації іонів літію. Водночас розмір пор повинен відповідати розміру молекул електроліту та враховувати його фізико хімічні характеристики. Вирішення цієї проблеми лежить у площині контрольованого отримання наноматеріалів, розподіл пор за розмірами для яких характеризується кількома максимумами.

Переваги застосування наноструктурованих електродних матеріалів у технології конструювання ЛДС: можливість релаксації напруг, які виникають в процесах інтеркаляції / деінтеркаляції літію, що веде до кращої стабільності при циклюванні; протікання процесів / реакцій, неможливих для об'ємного матеріалу, що спричинюватиме оборотність процесів впровадження / екстракції іонів літію в електродний матеріал; збільшення площі контакту електрод / електроліт, що обумовлює збільшення швидкостей процесу заряд / розряду; зменшення дифузійних відстаней транспорту електронів, що визначатиме можливість застосування матеріалів з низькою електронною провідністю. Можливість оптимізації роботи матеріалу через контроль форми та розміру частинок має певні недоліки: збільшення ймовірності процесів

взаємодії між електродом і електролітом через ріст площі поверхні, що веде до саморозряду, зменшення кількості циклів і коротшого терміну служби ЛДС; агломерація часток, що приводить до нижчих питомих енергій на одиницю об'єму; використання складніших і дорожчих методів отримання.

Таким чином, комплексне дослідження змін основних фізико хімічних властивостей об'ємних фаз при переході їх у наностан дозволяє реалізувати високу (у ряді випадків унікальну) ефективність використання наноструктурованих систем і гібридних матеріалів на основі оксидів 3d елементів у процесах іонного і електронного обміну для створення джерел струму з рекордною питомою ємністю, максимальними значеннями енергії Гібса системи в процесі перебігу струмотворчих реакцій та високою кулонівською ефективністю