

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF THE RECHARGEABLE DEVICES

Dimitrov Atanas, Burgas Free University, atanas@bfu.bg

Toshkov Angel, Burgas Free University, angel@bfu.bg

Jelev Janislav, Burgas Free University, jelev@bfu.bg

Monova-Jeleva Maria, Burgas Free University, mariaj@bfu.bg

Abstract: In the article are analyzed and presented various advanced technologies used in the construction of traction batteries and devices suitable for electric drives. The main design features of the most common types of batteries: nickel-cadmium, nickel metal-hydride, lithium-ion, lithium-polymer and lead batteries are reviewed. Also materials from which are built battery cells and electrochemical processes occurring during charging and discharging of the battery cells are discussed. For each particular type of technology are given the typical parameters as the main advantages and disadvantages.

Keywords: batteries, electrochemical processes, nickel-cadmium, nickel metal-hydride, lithium-ion, lithium-polymer, lead batteries, traction batteries.

АНАЛИЗ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АКУМУЛАТОРНИ УСТРОЙСТВА

Атанас Димитров, Бургаски свободен университет, atanas@bfu.bg

Ангел Тошков, Бургаски свободен университет, angel@bfu.bg

Янислав Желев, Бургаски свободен университет, jelev@bfu.bg

Мария Монова-Желева, Бургаски свободен университет, mariaj@bfu.bg

Резюме: В статията са анализирани и представени различните съвременни технологии, използвани при изграждането на тягови акумулаторни батерии и устройства, подходящи за електрозадвижвания. Разгледани са конструктивните особености на най-разпространените типове батерии: никел-кадмиеви, никел метал-хидридни, литиево-йонни, литиево полимерни и оловни, материалите от които са изградени акумулаторните клетки, както и електрохимичните процеси възникващи при заряд и разряд в клетките на батериите. За всеки конкретен тип технология са посочени типичните параметри, както и основните предимства и недостатъци.

Ключови думи: акумулаторни батерии, електрохимични процеси, никел-кадмий, никел метал-хидрид, литий-йон, литий-полимер, оловни, тягови.

ИСТОРИЯ НА ВЪЗНИКВАНЕ НА БАТЕРИИТЕ

Едно от най-значителните и иновативни открития за последните 400 години безспорно е електричеството. Практическата му употреба започва късно, някъде в средата на 19 век, като употребата му е доста ограничена. Като пример за първоначалната му употреба може да се посочи малкия светещ мост над река Сена по времето на световната експозиция в Париж през 1900 година. Ранните методи за генериране на електричество се базирали на статичният заряд. През 1660 год. Otto von Guericke създава първата електрическа машина, състояща се от голяма сфера изработена от сяра. След потъркването ѝ, тя е привличала малки пера парченца хартия, като по този начин Guericke е успял да докаже, че искрите, които се генерирани имат електрически характер.

„Електрическият пистолет” е първото предложение за използването на електричеството. Той е изобретен от Alessandro Volta (1745-1827) и е представлявал буркан изпълнен с метан, в който е влизал електрически проводник. При подаването на електрическа искра към проводника, буркана е избухвал. Предложението на Volta е да се използва това явление за осъществяването на комуникация на големи разстояния. Той е предложил да се опъне метална жица, крепена върху дървени стълбове от Комо до Милано в Италия. Краят на жицата е щял да бъде поставен в буркан с метанов газ и при подаване на електрическа искра е щяло да се предаде един бит информация. По разбираеми причини този вид комуникация никога не е бил осъществен.

През 1791 година, докато е работил в университета в Болоня, Luigi Galvani открива, че мускулите на жабата се свиват при докосване с метален обект. Този феномен е известен, като „животинско електричество”, което в последствие се е оказало грешка и оборено.

Подтикнат от тези експерименти Volta започва серия от експерименти, използвайки цинк, олово и желязна ламарина за положителни електроди и мед, сребро, злато или графит за отрицателни електроди. През 1800 год. Volta открива, че при използването на определени течности като проводяща среда се генерира електродвижещо напрежение при осъществяването на химическата реакция между течността и електродите. Това негово откритие е довело до изобретяването на първата галванична клетка, която в днешно време е по-известна с названието батерия. Volta открива също, че при свързването на няколко такива галванични клетки последователно, напрежението върху тях нараства.

През същата година Volta разкрива откритието си за неизчерпаем източник на електричество пред кралското общество в Лондон, като експериментите не са били ограничени само до показване на единични искри за части от секундата, а са демонстрирали едно продължително наличие на електрически ток.

Франция е една от първите нации, които официално признава откритията на Volta и го канят да изнесе поредица от лекции във Френския национален университет, чийто член по това време е и Наполеон Бонапарт.

Нови открития се правят и от сър Humphry Davy-откривателя на газения фенер за миньорите, когато инсталира най-голямата и най-мощната електрическа батерия в Кралския двор в Лондон. Той свързва батерията с електроди от дървени въглища, като по този начин успява да възпроизведе първата електрическа светлина.

Най-важните проучвания на сър Davu са в областта на електрохимията. Новооткритата галванична клетка и експериментите на Galvani запалват интересът му и той започва да тества какво влияние оказват химикалите върху произвеждането на електричество. През 1800 год. той открива, че при преминаването на електрически ток през някои видове разтвори, тези разтвори се разлагат. Този процес е наречен *Електролиза*. Сър Davu установява, че напрежението, което се генерира е пряко свързано с реакцията между метала и електролита, който използва. Така разбира, че процесите в галваничната клетка и тези в електролита са от един и същ характер.

През 1802 год. д-р William Cruickshank създава първата електрическа батерия, предназначена за масово производство. Той нарежда няколко квадратни листа от мед, запоени в краищата им със същите по големина цинкови листи. Така запоените листа са поставени в продълговата дървена кутия и запечатана с цимент. След което кутията е напълнена с електролит или разводнен киселинен разтвор. Електродите са били здраво закрепени в канали, като по този начин е било възможно свързването с външни консуматори.

Третия метод за генериране на електричество е открит значително по-късно- електричество посредством магнитно поле. През 1820 год. André-Marie Ampère (1775-1836), забелязва, че проводниците по които тече електрически ток или се привличат или отблъскват.

През 1831 год. Michael Faraday (1791-1867), демонстрира как меден диск, който поставен и завъртян в силно магнитно поле може да осигури постоянен ток. Faraday асистирайки на сър Davu и неговия изследователски екип, успява да докаже, че напрежение се генерира до тогава, докато има движение между намотката и постоянния магнит. Така е изобретен електрическият генератор. Установява се, че процесът е обратим, в следствие на което се изобретява електрическият двигател. Малко след това са открити и развити трансформаторите, посредством които е станало възможно преобразуването на електричеството до необходимото по големина напрежение. През 1833 год. Faraday установява фундаменталния за електрохимията закон на Faraday, който описва количествените промени, които настъпват в следствие на процесите в една електролитна клетка.

През 1836 год. английският химик John F. Daniell разработва усъвършенствана батерия, осигуряваща по дълго време ток, отколкото устройството на Volta. До този момент всички батерии са били съставени само от една клетка, която не е можела да бъде презаредена. През 1859 год. френският физик Gaston Planté изобретява първата презареждаема батерия. Тази нова батерия се е базирала на взаимодействието на оловото с киселини. Взаимодействие, което се използва и до днес.

Към края на 19 век се създават първите гигантски генератори и трансформатори. Изгражда се електропроводна мрежа, благодарение на която електричеството става достъпно за човечеството под формата на светлина, топлина и двигателна сила. В началото на 20 век употребата на електричеството допълнително се развива. Изобретява се електронната лампа, използвана за генерирането на сигнали, звук и тяхното усилване. Малко след това се изобретява и радиото, което прави възможна безжичната комуникация.

През 1899 шведът Waldmar Jungner изобретява никелово-кадмиевата батерия, която използва за положителен електрод никел, а за отрицателен-кадмий. Две години по късно Едисон създава алтернативна батерия, като заменя кадмия с желязо. Поради високите цени

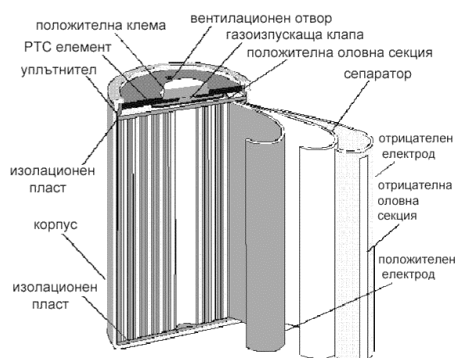
на сухите батерии в сравнение с оловнокиселинните употребата им е била доста ограничена.

С изобретяването на синтерования електрод през 1932 година от Shlecht и Ackermann, значително се подобряват експлоатационните параметри на този вид батерии. Става възможно използването им там където се изисква значително по-голям товарен ток и дълготрайност. Така никелово-кадмиева батерия, която познаваме и днес става достъпна, когато Neumann успява напълно да запечата една клетка през 1947 година.

От тук нататък, човечеството става подвластно на електричеството – продукт без който днешният технологичен напредък не би бил възможен. С увеличаване нуждата от мобилност на хората, батериите първо са се приспособили за автомобилната промишленост, след това за портативната и преносима техника и най-накрая за безжичните устройства.

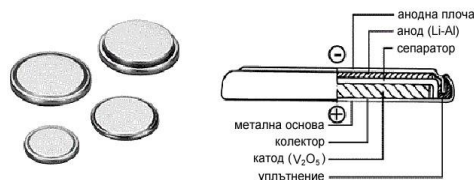
КОНСТРУКТИВЕН ДИЗАЙН НА НАЙ-ЧЕСТО СРЕЩАНИТЕ БАТЕРИИ

Първоначално е разработена цилиндричната батерия (Фиг. 1).



Фиг. 1. Устройство на цилиндрична батерия

Запечатаните цилиндрични батерии са най- често използваните след втората световна война. Цилиндричното пакетиране продължава да бъде най-широко използваното заради факта, че е: лесно е за произвеждане, предлага висока енергийност и предоставя добра механична стабилност. Цилиндърът има способността да удържа силни вътрешни налягания. Типичните приложения са безжичната комуникация, био-медицински инструменти, хранващи прибори и приложения, които не изискват много малки размери. Повечето конфигурации на никел-кадмия са реализирани в цилиндрични батерии. Популярност е придобил дизайна „18650“ на литий-йонните батерии, където („18“ показва диаметърът, а „650“ дължината в *mm*). Конфигурациите, базирани на оловото също са често срещани. Цилиндричните батерии са снабдени с вентилиращ механизъм, за да се освободи налягането, породено при крайни условия като, прекомерен заряд (*overcharge*). Продължаващите изисквания за все по-малък и по-компактен дизайн на батерията наложи появата, през 1980-те години, на батерия с формата на метален диск (Фиг. 2).



Фиг. 2. Батерия с форма метален диск

Този тип батерии бяха разработени, за да се намали размера им и подобри компактността. Незареждаемите батерии намират приложение в часовниците, слухови апарати и в поддържащи паметта устройства.

Батериите, които могат да се презареждат са най-често на никелова основа и намират приложение в по-стари безжични телефони, био-медицински устройства и промишлени инструменти. Този тип батерии не са снабдени с вентилационен отвор.

В началото на 1990-те години се появи призматичната батерия (Фиг. 3), като отговор на изискването на потребителите за по-гъвкава геометрия. Призматичните батерии са си запазили сериозно място в семейството на литиевите батерии. А полимерните версии са изключително с призматична форма. Не съществува определен стандарт за размера им, по-скоро, призматичните батерии са направени по поръчка за клетъчни телефони и други елементи с високи изисквания.



Фиг. 3. Батерия с призматична форма

Представянето на батерия с нова съвременна, компактна форма, наподобяваща “кесия” през 1995 год. направи сериозен пробив в дизайна на батериите (Фиг. 4).

Вместо използване на скъпи метални приложения и стъкло-метални корпуси, тук се внедрява топлоизолационно фолио. Електрическите контакти се състоят от водещи показалци от станиол, които са споени към електродите и запечатани към материалът на „кесията“.



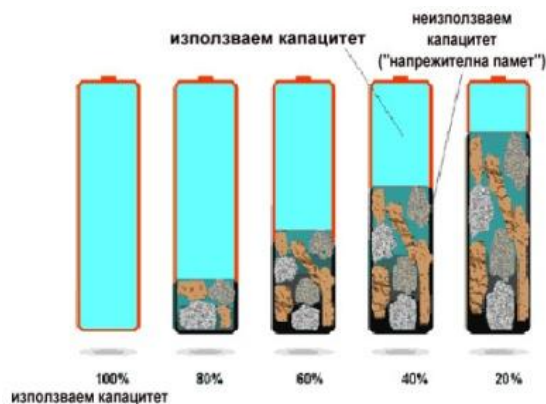
Фиг. 4. Компактна батерия тип „кесия“

Нестандартната форма, позволяваща внедряването на продукта на всевъзможни места, покачва процента на ефективност на компактността на батерията до 95%, който е най-висок в сравнение с останалите типове батерии. Тези батерии се използват изключително на базата на лития а главното им приложение е в клетъчните телефони.

ВИДОВЕ БАТЕРИИ. ОСОБЕНОСТИ. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ.

Многообразието при батериите безспорно е голямо, породено предимно от изграждащите ги химични елементи, с цел получаването на максимална ефективност и дълъг живот. Като пример за най-широко разпространените могат да се посочат оловно-киселинните (Lead-Acid), никел-кадмиеви (Ni-Cd), никел-метал хидридни (Ni-MH), никел-цинкови (Ni-Zn), цинково-бромни ($Zn-Br_2$), цинково-въглеродни, на натриева основа ($Na-NiCl_2$, Na-S), на литиева основа, литиево-йонни (Li-ion), литиево-полимерни (Li-polymer), литиево-метални (Li-metal) и др.

За някои батерии е характерен един сериозен недостатък, т.нар. “напрежителна памет” (Фиг. 5)



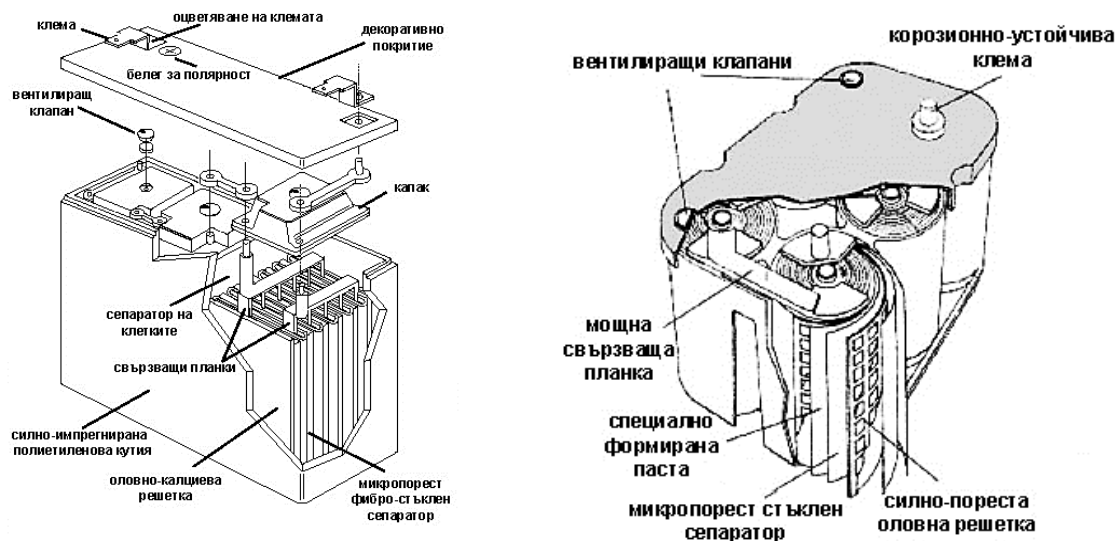
Фиг. 5. Напрежителна памет в акумулаторните батерии

Това са кристални образувания, формиращи се след многократни непълни разреждания и последващи ги зареждания, като по този начин батериите значително намаляват своя капацитет. За да се избегнат подобни загуби, качествените зарядни устройства

първоначално разреждат до край батерията и едва тогава се превключват на режим "Заряд".

АКУМУЛАТОРИ. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

За разлика от батериите, акумулаторите са част от т.нар. химични източници на ел. енергия, които преобразуват химическата енергия на различни вещества в електрическа. Част, от тази група на химичните източници, са и галваничните елементи. Галваничният елемент, както и акумулатора, се състоят от електролит и електроди поместени в корпус, като електродите са потопени в електролита. Съществуват различни конструкции, най-често използваните са с плоски плочи потопени в електролит (Фиг. б.а) или със спираловидно навити клетки (Фиг. б.б).



Фиг. 6. Видове конструкции на съвременните АБ

Електролитът представлява воден разтвор на основи, киселини или соли, като осигурява добра проводяща среда между химически активните вещества (електродите). При потапяне на електродите в електролита, на граничния слой се създава разлика в потенциалите. Ако двата електрода са изработени от различни материали или се поставят в различни електролити между тях възниква потенциална разлика и тя е толкова по голяма колкото по-положителен е зарядът на единия електрод и по-отрицателен зарядът на другия електрод.

За разлика от галваничните елементи, при които е възможно превръщането на химическата енергия в електрическа, но не и обратното, при акумулаторите химичните процеси протичат двупосочно.

Бързите темпове, с които се разраства автомобилният парк в световен мащаб, непрекъснато увеличаващата се цена на петрола и налагането на все по-големи мерки от правителствата за ограничаването на вредните емисии отделяни от конвенционалните превозни средства, постави нови предизвикателства пред автомобилната промишленост.

Предприетите действия от страна на производителите доведоха до разработването на алтернативни транспортни средства, в които двигателите с вътрешно горене (ДВГ) имат второстепенна роля, или биват изцяло заменени от електродвигатели. Все по-често се говори за пълната електрификация на превозните средства [12, 35] и това ще наложи разработването на нови източници на енергия от една страна и доусъвършенстването на вече съществуващите технологии от друга. Към днешна дата, голямото разнообразие на енергийни източници предназначени за електро-задвижване [2, 8, 12, 14, 15, 19, 22, 25, 26, 31-34, 37-40, 45, 46] е продиктувано от специфичните изисквания [8, 15, 18, 19, 27, 43] и разнообразните приложни области на електро-мобилната техника [2, 15].

Най-общо казано, критериите на които трябва да отговарят съвременните тягови акумулаторни батерии (ТАБ) са:

да имат максимално голяма специфична (Wh/kg) и енергийна плътност(Wh/L);

голяма електрическа плътност - (W/kg);

дълъг живот без допълнително обслужване;

относително голям работен температурен диапазон (-30 ÷ 65°C);

малко време за презареждане;

голям брой цикли заряд-разряд;

малък саморазряд;

малко тегло и габарити;

ниска себестойност;

да са конструирани от безопасни за човека суровини;

минимално влияние върху околната среда и възможност за рециклиране.

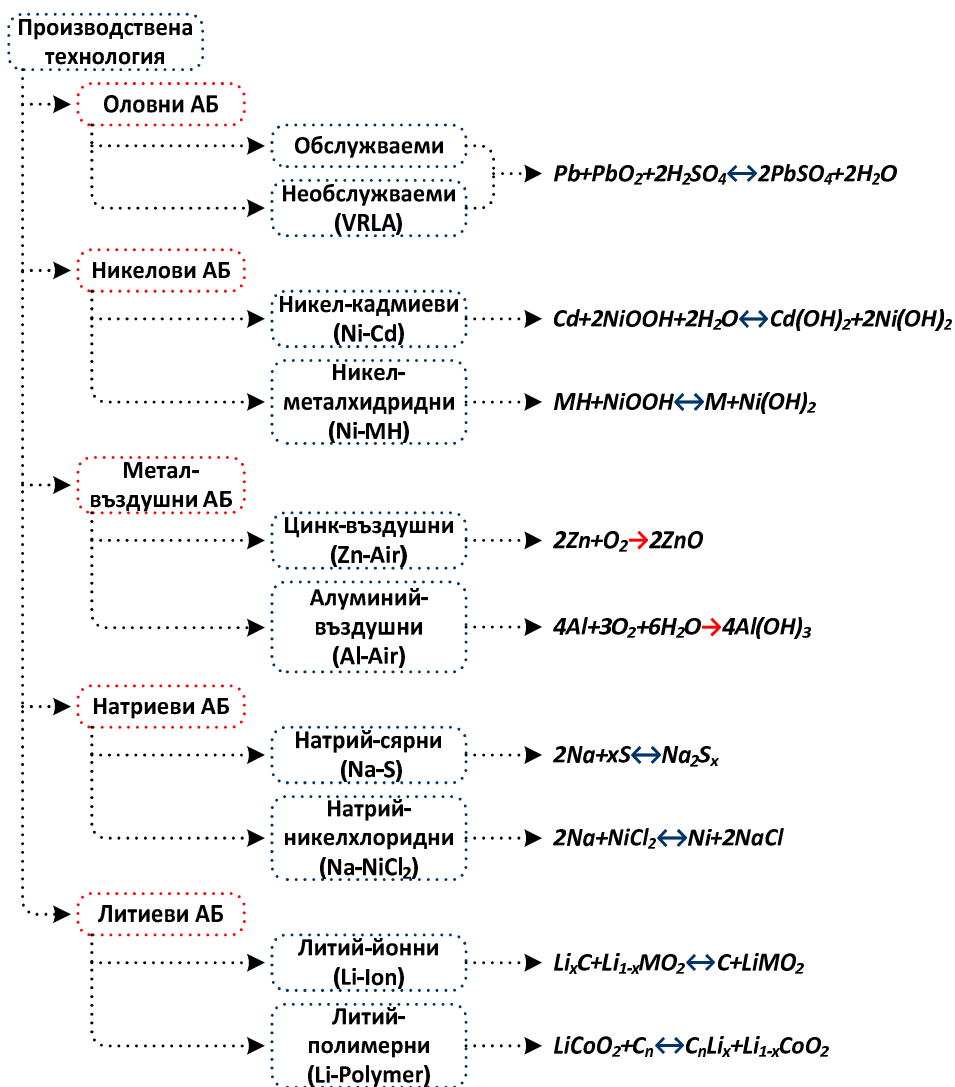
На *Фиг. 7* са показани петте основни технологии за производство на съвременни ТАБ удовлетворяващи до голяма степен по-горе посочените критерии. Показани са също и съответните химични реакции в АБ настъпващи при заряд и разряд на батериите. От гледна точка на химичните реакции внимание трябва да се обърне на метал-въздушните батерии при които те са еднопосочни, т.е. възстановяването на изразходваният капацитет става чрез замяна на електродите, а не по електричен път.

Характерно за натриевите акумулаторни батерии е, че правилното протичане на химичните реакции в акумулаторната клетка става при много висока температура 400 ÷ 700 °C за натрий-сярните и 275 ÷ 350 °C за натрий-никел-хлоридните АБ [14, 39, 45]. Това налага необходимостта от прецизен температурен контрол, използването на материали с висока температура на топене (керамични композити), които реагират слабо при резки промени на температурата [14] и осигуряване на повишена противопожарна защита в електро-мобилната система.

През последните години, търсенията на инженерите в областта електро-мобилната индустрия и използването на натриевите АБ доведоха до разработването на нови концепции, за използването на натрий-никел-хлоридните батерии, в комбинация с горивни клетки с твърд електролит, окисляващи се при т.н. междинна температура (500 ÷ 800°C) [14]. Според *Brett, Aguiar и др.* [14], подобна комбинация обединява предимствата на двете технологии и може да осигури автономност на превозното средство за не по-малко от 24 часа, без това до доведе до промени в архитектурата на превозното средство. Според авторите, предложената от тях концепция може да задоволи енергийните потребности на повечето лекотоварни превозни средства, като утвърдителен отговор ще се получи едва,

след като се направят допълнителни изследвания за производителността на горивните клетки при нестандартни режими на работа.

Към настоящият момент най-бурно технологично развитие се наблюдава при литиевите АБ.



Фиг. 7. Видове производствени технологии и съответните типове АБ

Като сравнително нов химически източник на ток (ХИТ), те търпят непрекъснати промени, целящи повишаване на капацитета, специфичната мощност, броя цикли заряд-разряд и сигурността им. Непрекъснато се анонсират нови открития в областта на катодните материали [13, 28, 29] и електролити [20, 22], водещи до повишаване на капацитета, специфичната мощност, броя на циклите заряд-разряд и сигурността на батериите. Огромен скок относно безопасността на литиевите АБ бе постигнат със създаването на литий-полимерните АБ, в които течният електролит е заменен със сух гелообразен полимер, явяващ се едновременно с това и изолатор между положителният и отрицателен електрод [15, 40, 44]. Заради голямата си енергийна плътност и висок

електрохимичен потенциал, са сочени за фаворитът на електро-мобилната индустрия. За да отговорят обаче на изискванията на USABC(The U.S. Advanced battery Consortium) за енергиен източник пригоден за използването му в електромобили, трябва да имат енергийна плътност по-голяма от 300Wh/L, живот по-голям от 1000 цикъла на заряд-разряд и време за презареждане от 3÷6 часа.*Salameh u Kim*[10,44], са провели изследване на 100Ah литий-полимерна батерия при температури от -20 ÷ 40°C, както по време на заряд, така и при разряд. Въпреки доминираща пред останалите видове батерии по плътност, авторите стигат до заключението, че производителността на батерията при температури под точката на замръзване е по-малка, което изисква допълнителното им загряване. Контролирането на температурата е един от основните проблеми, асоциирани с литий-полимерните АБ и се обуславя от факта, че при прегряване могат да предизвикат пожар и експлозия [35]. При използването им, трябва много стриктно да се спазват препоръките на производителите, и да се съблюдават всички мерки за безопасна експлоатация и рециклиране заради наличието на някои канцерогенни елементи като кобалта в LiCoO₂електродите. На този етап, масовото внедряване на литиевите АБ в електромобилите все още предстои. От официалното им пускане на пазара през 1992 година от компанията Sony[43], през годините, множество автомобилни компании проявяват интерес, но все още високата производствена цена, оскъпяваща двойно, дори тройно цената на превозното средство възпрепятства широката им употреба.

Повече от век течните оловно-киселинни батерии са основния източник на енергия при резервно или основно хранене, както и за задвижване най-вече на електрокари. С напредване на технологиите през последния век се появяват заместители на оловно-киселинните батерии - оловно-киселинни батерии позволяващи регулация чрез специална клапа (VRLA батерии). С увеличаване на необходимостта от такива батерии, най-вече за задвижване, се увеличава и необходимостта от по-голяма енергийна плътност. Предимство на тези батерии е много малката нужда от поддръжка.

Течните оловно-киселинни батерии имат нужда от поддръжка през известно време, която се състои в допълване с дестилирана вода. Водата се добавя във всяка от отделните клетки на батерията през специален отвор. Тези батерии обикновено имат живот до около 20 години, но е възможно да се използват и до 40 години. Дизайна на тези батерии се състои в наличието на отрицателни пластини от олово (или оловна сплав) пресовани между положителни пластини отново от олово (или оловна сплав) с калций или антимон като добавка. Използва се специален разделител – микропорест материал, който позволява химичната реакция да протече без да има контакт между електродите. Негативните и отрицателните пластини се поставят с помощта на активен материал – оловен оксид (PbO₂) и понякога оловен сулфат (PbSO₄). Този материал осигурява голяма повърхност за запазване на електрохимическа енергия. Всички положителни пластини са свързани заедно и са прикрепени към положителната клема. По същия начин са свързани и отрицателните пластини и са прикрепени към отрицателната клема. Комбинациите от пластини се поставят в полипропиленова кутия. След това се поставя капак на който са разположени отвори с капачки за добавяне на вода. Поставя се и отвор за хидрометър. Тези елементи са залепени така че да формират непронускаемо покритие. Така получената кутия се запълва с електролит с относително тегло 1.215. Този електролит обикновено е комбинация от сярна киселина (H₂SO₄) и дестилирана вода. При заряд или разряд в батерията протича електрохимичен процес. Така се създава напрежение на клемите. Този процес се основава на принципа от електрохимията, при който между два различни метала (положителните и отрицателните пластини) съществува потенциална разлика. По време на

заряд, водата в електролита се разгражда. Кислородът се отделя при положителните пластини, докато водородът се отделя при отрицателните пластини. Отделянето на кислорода и водорода води до около 30% рекомбинация, което определя ефективността на батерията. При VRLA батериите този процент е около 95-99%. Съществуват два вида VRLA батерии – такива използващи гел и такива използващи абсорбираща стъклена подложка (AGM батерии). AGM батерията е доста подобна на течната батерия, също като нея използва метални пластини. Има обаче няколко разлики. Относителното тегло на използвания електролит е сравнително по-високо. Другата разлика е, че се използва стъклена подложка, която абсорбира и задържа свободния електролит, наподобявайки гъба. Тази подложка също така осигурява електрическа изолация между положителните и отрицателните пластини. Колкото по-дебела е стъклена подложка, толкова по-голяма е възможността за абсорбиране на електролита, което предотвратява възможността за изсъхване на батерията. Друга съществена разлика е наличието на специална клапа, която не позволява на кислорода да излезе от батерията при разлагането на дестилираната вода. При другия вид VRLA батерии се използва гел технологията. При формиране на електролитната комбинация се добавя силиций в чиста форма, образувайки киселинен гел. Когато този гел изсъхне се образуват пукнатини. Тези пукнатини в киселинния гел са полезни и спомагат за по-доброто разпространение на кислорода между положителните и отрицателните пластини. И тук се използва клапа за предотвратяване изпускането на кислород.

ОЛОВНИ АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

Оловните акумулаторни батерии (ОАБ) са едни от най-разпространените батерии в днешно време. В зависимост от предназначението си те се делят на стартерни, тягови и стационарни. В автомобилната индустрия най-голямо приложение са намерили стартерните и тягови батерии. Задачата на стартерните батерии е да осигурят необходимият ток за стартиране на двигателя на автомобила и захранване с енергия електрическите консуматори, когато двигателя не работи. По начина си на функциониране стартерните акумулаторни батерии (САБ) трябва да могат да осигурят голям ток за много кратък интервал от време, т.е. да функционират за дълъг период от време при малък разряд. Това налага да имат много малко вътрешно съпротивление, което се постига с намаляване дебелината на плочите, типа на изолатора между тях и начина на свързване на отделните клетки.

За разлика от тях, тяговите оловни акумулаторни батерии (ТОАБ) трябва да осигурят необходимата енергия за задвижване на превозното средство, при разряд на батерията до 20% от номиналния и капацитет. Осигуряването на такъв дълбок разряд се постига с промяна в конструкцията на клетките на батерията, количеството на активния материал и плътността на електролита [2, 15, 39, 40, 45]. Конструктивно плочите на ТОАБ биват намазни и панцерни (броневи тип), като срокът на експлоатация на батерията достига до 500 цикъла заряд– разряд за първия тип и до 1800 цикъла за втория тип. Разликата между намазните и панцерните батерии се състои в конструкцията на положителните плочи, като при вторите активният материал е поместен в синтетични тръбички, които го предпазват от изпадане и по този начин се увеличава срока на служба на батерията [45]. Активният материал на положителните плочи е оловен диоксид (PbO_2), а на отрицателните - гъбесто олово (Pb). Напрежението в отделните клетки се получава чрез електролиза на воден

разтвор на сярна киселина, като плътността на електролита за пълно заредена батерия зависи от температурата [2, 15].

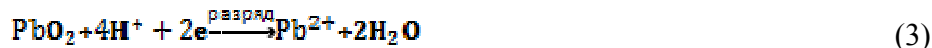
При разряд на батерията, активният материал на положителните и отрицателни плочи се превръща в оловен сулфат (PbSO₄). Процесът е обратим и химическите реакции протичащи в една клетка на ТОАБ са:

Разряд на батерията:

Отрицателни плочи:



Положителни плочи:



Заряд на батерията:

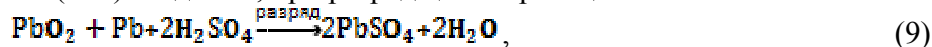
Отрицателни плочи:



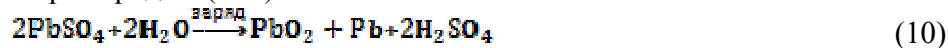
Положителни плочи:



От (1÷3) следва че, при разряд цялата реакция е:



а при заряд от (5÷8) е



От (9) става ясно че, разреждането на батерията е съпроводено с отделяне на вода, т.е. намаляване концентрацията на електролита, което води от една страна до понижаване напрежението на клетките и е основната причина за корозирането им. При заряд (10), когато по-голяма част от оловният сулфат се преобразува отново в оловен диоксид и гъбесто олово и напрежението на отделните клетки нарасне над 2.39V (напрежението на газоотделяне), започва презареждане на клетките, съпроводено с отделянето на водород и кислород. В клапанно-регулираните АБ, тази фаза е известна, като кислороден цикъл (**oxygen cycle**) или газова фаза [3–7, 16, 17]. По време на газовата фаза изразходването на водата в батерията води до съответното понижаване на нивото на електролита и повишаване на концентрацията му, над нормираната. Проблемът с изразходването на вода до голяма степен е решен при клапанно-регулираните оловни АБ (КРОАБ), при които отделеният от положителните плочи кислород преминава през газовите канали на АГМ сепаратора, достига повърхността на отрицателните плочи, реагира с отделеният водород и химически и/или електро-химически формира вода в съответствие с реакции (11) и (12) [3, 16, 17]:



Типичните параметри на една оловна акумулаторна батерия са:

Напрежение на клетка – 2.1V;
Специфична мощност – 200W/kg;
Специфична енергия – 35Wh/kg;
Енергийна плътност – 80Wh/L;
Работен температурен диапазон – -20 ÷ 50°C;
Брой цикли заряд – разряд – 800.

Традиционните оловно-кисели акумулаторни батерии (ОКАБ) все по-често отстъпват пред усъвършенстваните херметични клапанно-регулирани оловни АБ, при които необходимостта от допълнително обслужване е сведена до минимум. Изследвания [1] сочат, че по производителност тези батерии дори надминават производителността на Ni-MH батерии. За своето изследване *Cooper u Moseley* [1] са използвали **UltraBattery** – оловна батерия с конвенционални положителни плочи от оловен диоксид (PbO₂) и хибридна структура за отрицателните плочи състояща се от гъбесто олово и въглероден кондензаторен електрод. Доказателството за високата надеждност и ефективност на тази хибридна структура са изминатите 100 000 мили за 9 месеца, дори при такива тежки условията на работа, каквито са режимите в хибридните автомобили. Надеждността на клапанно регулираните оловни АБ се потвърждава и в направеното от *Soares u др.*[9] изследване върху факторите влияещи върху живота на батериите при тяхното съхранение в продължение на една година. Подложените на тест от тях батерии са включвали батерии, както с течен електролит и стъкло-влакнести изолатори (AGM), така и с електролит под формата на гел, а отправна точка е била температурата на съхранение. На базата на получените резултати *Soares u др.* стигат до извода, че при съхранение между 20 ÷ 30°C батериите могат да се съхраняват без да се налага периодичното им обслужване. ТОАБ са намерили приложение предимно в товароподемната техника (електрокари) и все по-често за задвижване на подводници [11]. Успешно се използват за задвижване на голф колички, електрически мотопеди, автоматизирани системи за придвижване и електро и хибридни автомобили от малкия и среден клас. Основните предимства на ТОАБ са:

Добре усвоена технология;

Налични са в различни размери и обем на капацитета, практически няма ограничение в обема на капацитета;

Относително добър температурен диапазон;

Електрически ефективни – добра възвращаемост на изразходения капацитет;

Голяма стойност на напрежението на отделните клетки;

В зависимост от технологията могат да са необслужваеми или имат непретенциозно обслужване;

Лесна индикация на степента на зареденост;

Най-ниска себестойност в сравнение с останалите технологии;

Лесно рециклиране на отделните клетки.

Недостатъци на ТОАБ:

Малка енергийна плътност;

При дълъг период на съхранение в разрежено състояние настъпва необратима поляризация в електродите (сулфатизация);
 Трудно се произвежда за капацитети по малки от 1Ah;
 Възможно е отделяне на водород в зависимост от технологията на изготвяне и експлодиране;
 Наличие на арсен в конструкцията на решетъчните плочи с антимон;
 Температурно зависими – при неправилна употреба или заряд е възможна загуба на капацитет;
 Корозирание на активните плочи в следствие на химичните реакции;
 Обемисти и тежки;
 Съдържат вредни за околната среда съставки.

НИКЕЛ–КАДМИЕВИ БАТЕРИИ

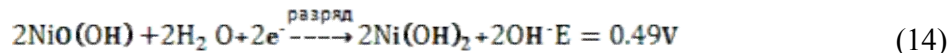
Никел – кадмиевите акумулаторни батерии (NiCd) са от групата на алкалните батерии [11, 21, 42]. Тези акумулатори се характеризират с голяма механична якост, дълъг срок на работа, работа при ниски температури и бърз заряд. Положителните плочи се състоят от никелов хидрооксид (NiO(OH)) с добавка на графит, а отрицателните от гъбест кадмий (Cd) с добавка на желязо. За електролит се използва воден разтвор на калиева основа (KOH) с относителна плътност $1,19 \div 1,21$ към който, се добавя литиева основа (LiOH) – 35гр./л. Тя увеличава вътрешното съпротивление на АБ, но по този начин се постига по - дълготрайна работа на акумулатора и увеличава с около 34 - 37% зарядните му способности. Работната температура на този вид електролит е между -15 и +40°C. За по - ниски температури (до -40°C) се ползва електролит от калиева основа с по - голяма плътност, а за по - високи температури (до +60°C) се използва електролит с натриева основа (NaOH) с относителна плътност $1,17 \div 1,19$ с прибавка 15 гр./л. литиева основа. Химичните реакции протичащи в една клетка на батерията са:

Разряд на батерията:

Отрицателни плочи:



Положителни плочи:

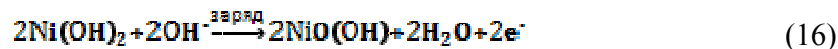


Заряд на батерията:

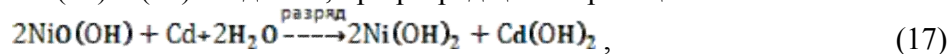
Отрицателни плочи:



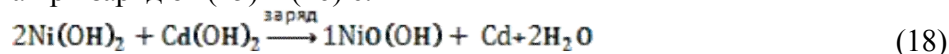
Положителни плочи:



От (13) и (14) следва че, при разряд цялата реакция е:



а при заряд от (15) и (16) е:



И тук подобно на оловните АБ, при заряд, преобразуването на активният материал $\text{Ni}(\text{OH}_2)$ в никелов хидрооксид $\text{NiO}(\text{OH})$ води до режим на презареждане на отделните плочи, водещо до отделянето на водород от отрицателните плочи и кислород от положителните плочи. Типичните параметри на никел – кадмиевите батерии са:

Напрежение на клетка – 1.35V;
Специфична мощност – 260W/kg;
Специфична енергия – 35Wh/kg;
Енергийна плътност – 80Wh/L;
Работен температурен диапазон – $-40 \div 60^\circ\text{C}$;
Брой цикли заряд – разряд – 1000.

Никел-кадмиевите АБ са от групата на алкалните батерии и са първите масово произвеждани ТАБ. В сравнение с останалите, максималният им разряден ток може да достигне 20 пъти номиналният им капацитет и имат най-кратко време за заряд [23, 24, 45]. Те са играели значителна роля до втората световна война, но заради високото отделяне на водород и относително ниската си специфична мощност са отстъпили мястото си на никел метал-хидридните батерии [2, 25, 26, 36]. Днес все още намират приложение, като захранващ източник на портативните ел. инструменти, в мобилните комуникации и все по рядко се използват за тягови приложения. Предимства на NiCd АБ:

Дълъг живот (голям брой цикли заряд – разряд);
Налични са в различни размери;
Електрически и физически устойчиви;
Надеждни са (не дефектират внезапно);
Дълъг живот на съхранение независимо от степента на зареденост;
Непретенциозно обслужване;
Възможност за бърз заряд;
Добра товароносимост в целият им работен температурен диапазон.

Недостатъци на NiCd АБ:

Относително ниска енергийна плътност;
Запомнящ ефект – необходимост от периодично пълно разреждане за предотвратяване намаляването на капацитета;
Токсични са – съдържат кадмий;
По-скъпи са в сравнение с оловните АБ;
Относително висок процент на саморазряд.

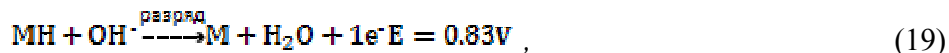
НИКЕЛ МЕТАЛ –ХИДРИДНИ БАТЕРИИ

Никел метал – хидридните (NiMH) акумулаторни батерии са наследник на никел-водородните акумулаторни батерии и вече са си извоювали място в автомобилната индустрия, като основен източник на енергия в хибридните и PHEV (Plug-hybrid electric vehicle) автомобили. Подобно на NiCd батерии, активният материал на положителните им плочи е никелов хидрооксид ($\text{NiO}(\text{OH})$), докато активният материал на отрицателните им плочи представлява метална сплав на материали, като лантан (La), церий (Ce), празеодим (Pr), ванадий (V), титан (Ti), хром (Cr), цирконий (Zr), неодим (Nd), никел (Ni), кобалт (Co), манган (Mn) и алуминий (Al), с микропореста структура която има способността да

задържа водородните атоми, като по този начин при определена температура и налягане се създават метал-хидридни съединения, които в термодинамично отношение са много по-стабилни от оксидите. За електролит най-често се използва 30% воден разтвор на калиева основа (KOH) с добавка на около 17 гр./л. литиева основа LiOH, подобряваща зарядната способност на никеловият хидрооксид NiO(OH) и потискаща газообразуването. Химичните реакции протичащи в една клетка са обратими при заряд и разряд и са:

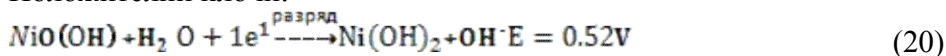
Разряд на батерията:

Отрицателни плочи:



където М представя метал - хидридна сплав.

Положителни плочи:

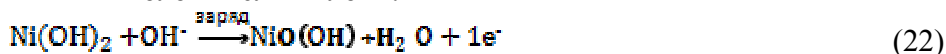


Заряд на батерията:

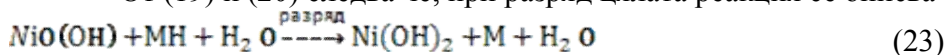
Отрицателни плочи:



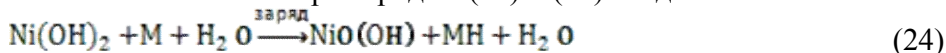
Положителни плочи:



От (19) и (20) следва че, при разряд цялата реакция се описва с:



Респективно при заряд от (21) и (22) следва:



Типичните параметри на никел метал-хидридните батерии са:

Напрежение на клетка – 1.35V;

Специфична мощност – 850W/kg;

Специфична енергия – 65Wh/kg;

Енергийна плътност – 260Wh/L;

Работен температурен диапазон – -30 ÷ 65°C;

Брой цикли заряд – разряд - 900.

Както бе споменато NiMH АБ са предпочитаният избор на водещи в електро-мобилната индустрия компании и вече се използват при производството на автомобили като: *General Motors EV1, Honda EV Plus, Ford Ranger EV, ToyotaPrius, Honda Insight, Ford Escape Hybrid, Chevrolet Malibu Hybrid, и Honda Civic Hybrid*. Ni-MH батерии непрекъснато се развиват. Основният аспект за тяхното подобрене е увеличаване на специфичната им мощност и повишаване на ефективността им при работа в широк температурен диапазон. Влиянието на температурата и ефекта от дългият период на презареждане върху производителността на Ni-MH батерии е изследван от *Hu и др.*[41]. Изследванията са показали, че презареждането за дълъг период от време води до деградиране на отрицателните електроди изразено в образуването на метални оксиди по тях. Също така са установили че при температури между 50 ÷ 60°C производителността на батерията значително намалява. *Fetcenko, Ovshinsky и др.*[30] показват че, при вграждане в структурата на електродите различни никелови сплави, съизмерими с атомните размери,

специфичната мощност на батерията значително се увеличава, достигайки 340W/kg при -30°C и 1990W/kg при нормална работна температура. Авторите са постигнали и отлична производителност при 65°C (нарастване от 36 ÷ 85%) по време на заряд на батериите при използването на кобалтово обогатени, бедни на цинк катоди, които спомагат потискането на отделянето на кислород. Независимо от очевидният прогрес, живота и производителността на Ni-MH батерии е в тясна връзка с електрохимичните свойства на металните сплави акумулиращи водородните атоми. В [36] *Bäuerlein* и др. установяват, че температурната стабилност и корозивната устойчивост на клетките на батериите силно се влияе от химическата композиция и морфологичната структурата на тези сплави, особено при голям разряден ток. Това налага подборът на материалите за електроди да е много прецизен и го обвързва изцяло с областта на приложение. Предимства на NiMH АБ:

Дълъг живот;

По-голям капацитет с 30 ÷ 40% в сравнение със стандартните NiCd батерии;

Херметически запечатани – не изискват допълнително обслужване;

Не съдържат кадмий;

Възможност за бърз заряд;

Дълъг живот на съхранение независещ от степента на зареденост;

По-малък запомнящ ефект в сравнение с NiCd АБ.

Недостатъци на NiMH АБ:

Товароносимостта им не е толкова добра, колкото на NiCd АБ – най-дълъг живот имат при разряд с 0.2 ÷ 0.5C;

Висока цена на отрицателните плочи;

По-сложен алгоритъм за зареждане в сравнение с NiCd АБ;

Отделят повече топлина при заряд;

Висок процент на саморазряд – с около 50% по голям от NiCd АБ;

Производителността им намалява, когато се съхраняват при повишени температури;

С около 20% са по-скъпи от NiCd АБ.

ЛИТИЙ – ЙОННИ АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

Принципа на действие на литий-йонните акумулаторни батерии се базира на обмяната на литиеви йони между положителните и отрицателни плочи на акумулаторната клетка. Активният материал на положителните плочи е метален оксид, като най-често това е кобалтов (LiCoO_2) или никелов (LiNiO_2) оксид или материал с тунелна структура, като мангановия (LiMn_2O_4) оксид, разположени върху алуминиев електрод. Отрицателните плочи са изградени от въглерод диоксид (CO_2) под формата на графит или кокс разположени върху меден електрод. Електролитът на Li-ion АБ е литиева сол разтворена в органичен разтворител, като етилен карбонат-диметил карбонат. Характерното за този тип акумулатори е, че трансфера на литиевите йони става само при разряд или заряд, което обуславя много малък процент на саморазряд. Химичните реакции протичащи в клетката при заряд и разряд са:

Разряд на батерията:

Отрицателни плочи:



(25)

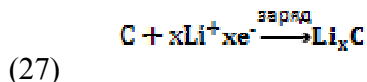
Положителни плочи:



където М замества металният оксид, а х е коефициент изразяващ моларното количество на отдадените токоносители.

Заряд на батерията:

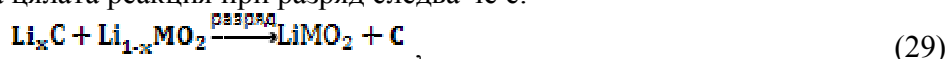
Отрицателни плочи:



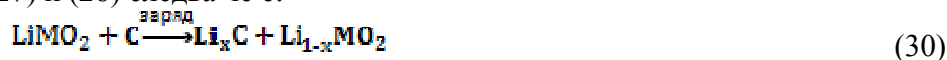
Положителни плочи:



От (25) и (26) за цялата реакция при разряд следва че е:



а при заряд от (27) и (28) следва че е:



Типичните параметри на литий – йонните батерии са:

Напрежение на клетка – 3.6V;

Специфична мощност – няма данни;

Специфична енергия – 150Wh/kg;

Енергийна плътност – 400Wh/L;

Работен температурен диапазон – -20 ÷ 45°C;

Брой цикли заряд – разряд - 400.

Предимства на Li-ion АБ:

Херметически запечатани – не се налага допълнително обслужване;

Дълъг живот;

Широк работен температурен диапазон;

Дълъг живот на съхранение;

Малък саморазряд;

Възможност за бърз заряд;

Добра товароносимост;

Голяма специфична и енергийна плътност;

Няма запомнящ ефект.

Недостатъци на Li-ion АБ:

Висока производствена цена – с около 40% по-висока от цената на NiCd и NiMH АБ;

Загуба на капацитет при високи температури;

Загуба на капацитет при презареждане;

Необходимост от схема за защита по напрежение и ток;

Висока вероятност от изтичане на електролит при нарушаване целостта на батерията.

ЛИТИЙ-ПОЛИМЕРНИ АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

Литий-полимерните акумулаторни батерии се базират на литий-йонната технология, като основната разликата се състои в замяната на течния електролит със сух, повишаващ надеждността на батерията и намаляващ опасността от запалване и експлозия. Подобно на литий-йонните батерии, за активен материал на положителните плочи най-често се

използва кобалтов оксид и неговите легирани деривати (LiCoO₂), никелов (LiNiO₂) и манганов (LiMn₂O₄) оксид. С повишена поглъщателна способност е ванадиевият оксид (Li₃V₆O₁₃), който може да погълне до 8 литиеви атома. За отрицателните плочи се използва микро шуплест графит. Химичните реакции протичащи в клетка с кобалтов оксид при заряд и разряд са:

Разряд на батерията:

Отрицателни плочи:



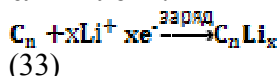
Положителни плочи:



където x е коефициент изразяващ моларното количество на отдадените токоносители.

Заряд на батерията:

Отрицателни плочи:



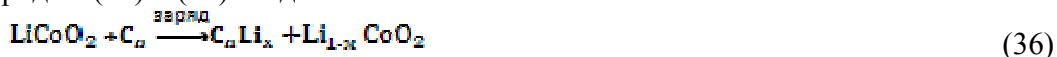
Положителни плочи:



От (31) и (32) за цялата реакция при разряд следва че е:



а при заряд от (33) и (34) следва че е:



Типичните параметри на литий – полимерните батерии са:

- Напрежение на клетка – 3.6V;
- Специфична мощност – няма данни;
- Специфична енергия – 140Wh/kg;
- Енергийна плътност – 300Wh/L;
- Работен температурен диапазон – -20 ÷ 60°C;
- Брой цикли заряд – разряд - 600.

Литий-полимерните АБ на този етап основно намират приложение в любителският радио моделизъм, в преносимите компютри, портативни устройства и мобилните комуникации заради малкият си размер, тегло и гъвкава форма. Използването им като хранващ източник в електромобилната индустрия все още не е рентабилно заради високата им производствена цена, което ще направи цената на превозното средство непроставаема.

Предимства на Li-polymer АБ:

- Намалени размери в сравнение с Li-ion АБ;
- Възможност за гъвкав дизайн;
- Малко тегло;
- Малък саморазряд;
- Възможност за производство във форма според изискванията на потребителя;
- По-устойчиви са на презареждане в сравнение с Li-ion АБ;
- Използват сух електролит и няма опасност от теч при механична повреда.

Недостатъци на Li-polymer АБ:

Висока технологична цена;
 По-малка енергийна плътност в сравнение с Li-ion АБ;
 Голямо вътрешно съпротивление;
 Увеличено време за зареждане в сравнение с Li-ion АБ.

Сравнение на параметрите на по-горе разгледаните батерии е дадено в Табл. 1.

Параметър	Тип на тяговата акумулаторна батерия					
	Оловно-кисела АБ	Никел-кадмиева АБ	Никел-метал хидридна АБ	Литий-йонна АБ	Литий-полимерна АБ	
Условно обозначение	Pb	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Li-polymer	
Конструкция на батерията	Клетъчна	Клетъчна	Клетъчна	Клетъчна	Клетъчна	
Напрежение на клетка при покой, V	2.1	1.35	1.35	3-4	3-4	
Напрежение на клетка при натоварване ¹ , V	1.98	1.20	1.20	3-4	3-4	
Теоретичен специфичен капацитет ² , Ah/kg	120	181	178	-	105	
Теоретична енергийна маса ² , Wh/kg	252	244	240	-	400	
Специфична енергийна маса ¹ , Wh/kg	35	35	65	150	140	
Енергийна плътност ¹ , Wh/L	80	80	260	400	300	
Специфична мощност ³ , W/kg	200	260	850	-	-	
Допустим разряден ток, А	Пиков	5C	20C	20C	>2C	>2C
	типичен	0.2C	1C	≤0.5C	≤1C	≤1C
Работен температурен диапазон, °C	-20 ÷ 50	-40 ÷ 60	-30 ÷ 65	-20 ÷ 45	-20 ÷ 60	
Време за презареждане, h	8 ÷ 24	1 ÷ 16	1 ÷ 2	2.5	3	
Степен на саморазряд ⁴ , %	3	10	30	<3.5	<2.5	
Брой цикли заряд-разряд ⁵	800	1000	900	400	600	

Табл. 1 Сравнение на основните параметри на видовете АБ

Забележка:

¹ Стойностите се отнасят за разряд с големина на тока $I=C/5$, където C е капацитета на батерията.

²Стойностите се базират на електрохимичните реакции в клетките и масата на активния материал.

³ Стойностите се отнасят за краткотраен импулсен разряд.

⁴При температура на околната среда 20°.

⁵Стойностите се отнасят за разряд на батерията до 80% от капацитета и с големина на тока $I=C/5$.

ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Уповавайки се на по-горе казаното може да се заключи, че най-добро съотношение, маса-енергийна плътност, дава литиевата технология. Този показател е особено важен в случаите, когато се изисква енергийният източник да е с малки размери и тегло, каквито са изискванията на съвременната електро-мобилна индустрия. Въпреки това високата им производствена цена е основната причина тези батерии да са на второ място след Ni-MH АБ. За разлика от горните два типа батерии, атрактивността на оловните батерии, се основава на ниската им цена, добре усвоена производствена технология и надеждността, която предлагат. Тенденциите в повишаването на капацитета и усъвършенстването им, дават индикации, че тези батерии ще се използват и за години напред. Не винаги, сочените като, най-големи недостатъци (тегло и габарити) са в ущърб на тази технология. В електро-подемната мобилна техника тези недостатъци са трансформирани в явно преимущество, което дава основание да се търсят по-ефективни методи за възстановяването на изразходваният им капацитет и реформирането на активният материал на плочите.

REFERENCES

- [1] A. Cooper and P. Moseley, "VRLA Batteries Match the Performance of NiMH Batteries in Power-Assist Hybrids," Hybrid and Eco-Friendly Vehicle Conference, 2008, IET HEVC 2008, IEEE, 2008, pp. 1-4.
- [2] A. Kiehne, H, Battery technology handbook - second edition, Marcel Dekker Inc, 2003.
- [3] A. Kirchev and D. Pavlov, "Influence of temperature and electrolyte saturation on rate and efficiency of oxygen cycle in VRLAB," Journal of Power Sources, vol. 162, 2006, pp. 864-869.
- [4] A. Kirchev, A. Delaille, F. Karoui, M. Perrin, E. Lemaire, and F. Mattera, "Studies of the pulse charge of lead-acid batteries for PV applicationsPart III. Electrolyte concentration effects on the electrochemical performance of the positive plate," Journal of Power Sources, vol. 179, 2008, pp. 808-818.
- [5] A. Kirchev, A. Delaille, M. Perrin, E. Lemaire, and F. Mattera, "Studies of the pulse charge of lead-acid batteries for PV applicationsPart II. Impedance of the positive plate revisited," Journal of Power Sources, vol. 170, 2007, pp. 495-512.
- [6] A. Kirchev, F. Mattera, E. Lemaire, and K. Dong, "Studies of the pulse charge of lead-acid batteries for photovoltaic applicationsPart IV. Pulse charge of the negative plate," Journal of Power Sources, vol. 191, 2009, pp. 82-90.
- [7] A. Kirchev, M. Perrin, E. Lemaire, F. Karoui, and F. Mattera, "Studies of the pulse charge of lead-acid batteries for PV applicationsPart I. Factors influencing the mechanism of the pulse charge of the positive plate," Journal of Power Sources, vol. 177, 2008, pp. 217-225.
- [8] A.F. Burke, "Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles," Proceedings of the IEEE, vol. 95, 2007, pp. 806-820.

- [9] A.P. Soares, M.F. Rosolem, L.A. Soares, G.R. dos Santos, P.T. Frare, R.F. Beck, and V.T. Arioli, "Storage impact in VRLA batteries life," INTELEC 2008 - 2008 IEEE 30th International Telecommunications Energy Conference, IEEE, 2008, pp. 1-8.
- [10] B.G. Kim, F. Tredeau, and Z.M. Salameh, "Performance evaluation of lithium polymer batteries for use in electric vehicles," 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, IEEE, 2008, pp. 1-5.
- [11] B.P. McGrath, D.G. Holmes, P.J. McGoldrick, and A.D. McIver, "Design of a Soft-Switched 6-kW Battery Charger for Traction Applications," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 22, 2007, pp. 1136-1144.
- [12] C. Ashtiani, R. Wright, and G. Hunt, "Ultracapacitors for automotive applications," Journal of Power Sources, vol. 154, 2006, pp. 561-566.
- [13] C. Robillard, "Lithium-metal-polymer batteries," IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005, IEEE, 2005, pp. 1207-1211.
- [14] D. Brett, P. Aguiar, N. Brandon, R. Bull, R. Galloway, G. Hayes, K. Lillie, C. Mellors, C. Smith, and A. Tilley, "Concept and system design for a ZEBRA battery–intermediate temperature solid oxide fuel cell hybrid vehicle," Journal of Power Sources, vol. 157, 2006, pp. 782-798.
- [15] D. Linden and T.B. Reddy, Handbook of batteries - third edition, McGraw – Hill, 2001.
- [16] D. Pavlov, "Thermal phenomena during operation of the oxygen cycle in VRLAB and processes that cause them," Journal of Power Sources, vol. 158, 2006, pp. 964-976.
- [17] D. Pavlov, B. Monahov, A. Kirchev, and D. Valkovska, "Thermal runaway in VRLAB—Phenomena, reaction mechanisms and monitoring," Journal of Power Sources, vol. 158, 2006, pp. 689-704.
- [18] E. Karden, P. Shinn, P. Bostock, J. Cunningham, E. Schoultz, and D. Kok, "Requirements for future automotive batteries – a snapshot," Journal of Power Sources, vol. 144, 2005, pp. 505-512.
- [19] E. Karden, S. Ploumen, B. Fricke, T. Miller, and K. Snyder, "Energy storage devices for future hybrid electric vehicles," Journal of Power Sources, vol. 168, 2007, pp. 2-11.
- [20] F. Croce, S. Sacchetti, and B. Scrosati, "Advanced, lithium batteries based on high-performance composite polymer electrolytes," Journal of Power Sources, vol. 162, 2006, pp. 685-689.
- [21] H. Cha, Q. Tang, and F.Z. Peng, "Development of High Power DC-DC Converter for Metro Vehicle System," APEC 07 - Twenty-Second Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, IEEE, 2007, pp. 1613-1618.
- [22] H. Venkatesetty and Y. Jeong, "Recent advances in lithium-ion and lithium-polymer batteries," Seventeenth Annual Battery Conference on Applications and Advances. Proceedings of Conference (Cat. No.02TH8576), IEEE, 2002, pp. 173-178.
- [23] I. Buchmann, "Understanding your batteries in a portable world. Article on battery choice and how to maximize service life," Fourteenth Annual Battery Conference on Applications and Advances. Proceedings of the Conference (Cat. No.99TH8371), IEEE, 1999, pp. 369-373.
- [24] I. Buchmann, Batteries in a portable world – a handbook on rechargeable batteries for non – engineers, second edition, Cadex Electronics Inc, 2001.
- [25] J. McDowall, "Conventional battery technologies-present and future," 2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No.00CH37134), IEEE, 2000, pp. 1538-1540.
- [26] J. McDowall, "Substation battery options-present and future," 1999 IEEE Transmission and Distribution Conference (Cat. No. 99CH36333), IEEE, 1999, pp. 518-522 vol.2.

- [27] J. Nelson and W. Bolin, "Basics and advances in battery systems," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 31, 1995, pp. 419-428.
- [28] J. Wang, Z. Sun, and X. Wei, "Performance and characteristic research in LiFePO₄ battery for electric vehicle applications," 2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, IEEE, 2009, pp. 1657-1661.
- [29] L. De Jonghe and S. Visco, "High specific power lithium polymer rechargeable battery," Proceedings of 11th Annual Battery Conference on Applications and Advances, IEEE, 1996, pp. 163-165.
- [30] M. Fetcenko, S. Ovshinsky, B. Reichman, K. Young, C. Fierro, J. Koch, A. Zallen, W. Mays, and T. Ouchi, "Recent advances in NiMH battery technology," Journal of Power Sources, vol. 165, 2007, pp. 544-551.
- [31] M. Mastragostino and F. Soavi, "Strategies for high-performance supercapacitors for HEV," Journal of Power Sources, vol. 174, 2007, pp. 89-93.
- [32] M. Saakes, R. Woortmeijer, and D. Schmal, "Bipolar lead-acid battery for hybrid vehicles," Journal of Power Sources, vol. 144, 2005, pp. 536-545.
- [33] M. Soria, F. Trinidad, J. Lacadena, A. Sánchez, and J. Valenciano, "Advanced valve-regulated lead-acid batteries for hybrid vehicle applications," Journal of Power Sources, vol. 168, 2007, pp. 12-21.
- [34] O. Hasvold, N. Storkersen, S. Forseth, and T. Lian, "Power sources for autonomous underwater vehicles," Journal of Power Sources, vol. 162, 2006, pp. 935-942.
- [35] P. Balakrishnan, R. Ramesh, and T. Prem Kumar, "Safety mechanisms in lithium-ion batteries," Journal of Power Sources, vol. 155, 2006, pp. 401-414.
- [36] P. Bauerlein, C. Antonius, J. Löffler, and J. Kumpers, "Progress in high-power nickel-metal hydride batteries," Journal of Power Sources, vol. 176, 2008, pp. 547-554.
- [37] P. Van Den Bossche, F. Vergels, J. Vanmierlo, J. Matheys, and W. Vanautenboer, "SUBAT: An assessment of sustainable battery technology," Journal of Power Sources, vol. 162, 2006, pp. 913-919.
- [38] R. Spotnitz, "Advanced EV and HEV Batteries," 2005 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, IEEE, 2005, pp. 334-337.
- [39] S. Dhameja, Electric vehicle battery systems, Newnes, 2001
- [40] T.R. Crompton, Battery reference book – third edition, Newnes, 2000.
- [41] W. Hu, M. Geng, X. Gao, T. Burchardt, Z. Gong, D. Noréus, and N. Nakstad, "Effect of long-term overcharge and operated temperature on performance of rechargeable NiMH cells," Journal of Power Sources, vol. 159, 2006, pp. 1478-1483.
- [42] W. Li, Y. Zheng, W. Li, Y. Zhao, and X. He, "A smart and simple PV charger for portable applications," 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2010, pp. 2080-2084.
- [43] Y. Nishi, K. Katayama, J. Shigetomi, and H. Horie, "The development of lithium-ion secondary battery systems for EV and HEV," Thirteenth Annual Battery Conference on Applications and Advances. Proceedings of the Conference, IEEE, 1998, pp. 31-36.
- [44] Z.M. Salameh and B.G. Kim, "Advanced lithium polymer batteries," 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting, IEEE, 2009, pp. 1-5.
- [45] И. Евтимов, Р. Иванов, and Б. Ангелов, "Акумулаторни батерии за електромобили и хибридни автомобили," Научни трудове на русенския университет - 2009, vol. 48, 2009, pp. 82-88.

[46] С. Гишин and К. Боев, "Изследвания и изпитания на акумулаторни батерии за транспорта," XVII Международна Научна Конференция "ТРАНСПОРТ 2007", Механика Транспорт Комуникации, 2007, pp. 27-32.

ИНФОРМАЦИЯ ЗА РАЗРАБОТКАТА

Разработката е част от работата по проект финансиран по финансова схема за подкрепа на иновативни предприятия от Националния иновационен фонд за 2014 г.

Заглавие на проекта: "Оценка на техническата и икономическа осъществимост на разработката на зарядни системи за бърз индивидуален поелементен основен и изравнителен заряд на акумулаторни батерии за електрокари, електромобили, автомобили, соларни, енергийни, информационни и електронни системи".

Изпълнител - "Всестранна кооперация Конверт" - Перник

СЪДЪРЖАНИЕ

АНАЛИЗ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АКУМУЛАТОРНИ УСТРОЙСТВА _____	33
История на възникване на батериите _____	34
Конструктивен дизайн на най-често срещаните батерии _____	36
Видове батерии. Особености. Общи сведения. _____	38
Акумулатори. Общи сведения _____	39
Оловни акумулаторни батерии _____	43
Никел–кадмиеви батерии _____	46
Никел метал –хидридни батерии _____	47
Литий – йонни акумулаторни батерии _____	49
Литий-полимерни акумулаторни батерии _____	50
Изводи и Заключение _____	53
References _____	53
Информация за разработката _____	56
Разработката е част от работата по проект финансиран по финансова схема за подкрепа на иновативни предприятия от Националния иновационен фонд за 2014 г. _____	56
Съдържание _____	56

Автори:

Dimitrov Atanas, Burgas Free University, atanas@bfu.bg

Toshkov Angel, Burgas Free University, angel@bfu.bg

Jelev Janislav, Burgas Free University, jelev@bfu.bg

Monova-Jeleva Maria, Burgas Free University, mariaj@bfu.bg

2015 г.