

**UOT 621.355**

## LİTİUM ƏSASLI AKKUMULYATOR BATAREYALARININ İNKİŞAF MƏSƏLƏLƏRİ

R.N. NƏBİYEV\*, A.A. ABDULLAYEV\*, Q.İ. QARAYEV\*

Məqalədə, litium əsaslı akkumulyator batareyalarının (AB) istehsalının inkişaf mərhələləri, konstruksiyası və hazırlanma texnologiyalarının xüsusiyyətləri, elektrodlarının və elektrolitlərinin hazırlanmasında istifadə edilən kimyəvi elementlər, kimyəvi tərkibindən aslı olaraq elektrodlarının parametrləri, daxilində gedən kimyəvi reaksiyalar, yüklənmə və boşalma xarakteristikaları, tətbiq sahələri, üstünlükləri və çatışmazlıqları müqayisəli təhlil edilmişdir.

Xüsusi çəki və həcmə görə enerji tutumu göstəricilərinin yüksək olması səbəbindən pilotsuz uçuş aparatlarında (PUA), daşınan elektron qurğularda və s. litium-polimer AB-dən istifadə etməyin üstün tərəfləri müəyyənləşdirilmişdir.

*Açar sözlər: Akkumulyator, batareyalar, litium-ion, litium-polimer, elektrolit, elektrod, yüklənmə, boşalma.*

**Giriş.** Elm və texnikanın sürətlə inkişaf etdiyi bir dövrdə PUA-larda, elektromobillərdə, daşınan radioelektron cihazlarda və elektron qurğularda tətbiq edilən AB-lərin hazırlanma texnologiyası daima təkmilləşir. Keçən əsrin 90-cı illərindən başlayaraq istismarda olanları əvəzləmək məqsədi ilə yeni litium-ion əsaslı AB-lər (LİAB) yaradılmağa başlandı.

Litium əsaslı AB-lərin hazırlanması istiqamətində ilk tədqiqatlar 1912-ci ildə aparılmışdır. Lakin, bu tip AB-lərin elektron cihazlarında kütləvi tətbiqinə 1970-ci illərin əvvəllərində başlanılmış və sonradan, istismarının təhlükəli olması səbəbindən istehsalı bir müddət dayandırılmışdır. 1980-ci illərdə tədqiqatçılara, dolub-boşalması nəticəsində AB-nin istilik dayanıqlığının zəifləməsi, daxili temperaturun ərimə həddinə çatması nəticəsində alışıması, istilik tənzimləmə sisteminin sıradan çıxması nəticəsində elektrodların kimyəvi tərkibinin dəyişməsi, bu zaman zəhərli qazların ayrıldığı məlum oldu [1]. Daha sonra, etibarlılığının az olması səbəbindən metal-litium elektrodlu AB-nin əvəzinə, daha etibarlı və təhlükəsiz LİAB yaradıldı. Beləliklə, yüklənmə və boşalma zamanı temperaturunun artması nəticəsində az da olsa qaz ayrılmasına baxmayaraq, bu tip AB-lərin istehsalına yenidən təkan verildi.

Xüsusi enerji tutumuna görə LİAB-lar alternativləri ilə müqayisədə daha böyük üstünlüyə malikdir. Eləcə də, bir elementdə yaranan gərginliyin qiyməti bu tip AB-lərdə daha yüksəkdir (təxminən 3.6÷4.2 V). Hazırlanma texnologiyasının inkişafı nəticəsində litium əsaslı AB-lərin istismar müddətləri artmışdır.

\* Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası

Litium əsaslı AB-lərdə anod qisminə, metal litium kimyəvi elementindən istifadə edilir. Litium kimyəvi elementi aktiv metallardan biri olub, gümüşü ağ, yüngül, elastik, böyük elektrokimyəvi potensiala (elektromənfiliyə) malik, natrium elementindən möhkəm, qurğuşundan yumşaq və yüksək enerji sıxlığını təmin edən qələvi metaldır. Elementin sıxlığı  $0.543 \text{ q/sm}^3$ -ə bərabərdir. Litium elementinin kimyəvi aktivliyi enerji mənbəyinin hermetik olmasına qoyulan tələbləri artırır və hazırlanma texnologiyasını mürəkkəbləşdirir [2, 4]. Bu da, son nəticədə AB-nin istehsal qiymətinin yüksəlməsinə səbəb olur.

Hazırlanma texnologiyasına görə litium əsaslı enerji mənbələri üç əsas növə ayrılırlar:

- metal litium elektrodlu və maye elektrolit əsaslı AB-lər;
- litium-ion əsaslı AB-lər (LİAB);
- litium-polimer əsaslı AB-lər (LPAB).

**Metal litium anodlu AB-lər.** Boşalma zamanı metal litium anodlu AB-lərdə elektrolit qisminə

istifadə edilən aproton məhlullu litium duzunda gedən prosesi növbəti şəkildə göstərmək olar:



Qeyd edilən məhlulda AB-nin doldurulması və yükün bərpası prosesi dendrit (çox şaxəli) formada baş verir. Bu səbəbdən AB-dən istifadə zamanı yanğın və partlayış təhlükəsinin yaranması ehtimalı artır. Metal litium maye halda olan duz birləşməsinin qarşılıqlı təsirindən yaranan təbəqə ilə örtülmüş olur. Nəticədə mənfi elektrodun səthi, bir-birindən izolyasiya olunmuş və təkrar həll olmayan ayrı-ayrı hissəciklərlə (kapsulalarla) örtülür. Təmiz litiumun digər ərintilərlə, məsələn, litium-alüminiumla əvəz edilməsi AB-nin dolub-boşalması zamanı ərintinin xüsusi həcmnin dəyişməsinə, onun aktiv kütləsinin kövrəkləşməsinə və parçalanaraq dağılmasına gətirən problemlər yaradır. Ərintiyə nisbətən təmiz litiumun potensialının 0.2-0.4 V aşağı olması səbəbindən AB-nin işçi gərginliyi azalır. Litium ərintisində ağır metallardan (qalay, kadmium, qurğuşun) istifadə edilməsi, həcmi dəyişilmə effektinin azalmasına, nəticədə elektrodların xüsusi xarakterik parametrlərinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Bu günə qədər metal litiumun dolub-boşalmasında həllolma-çökmə problemi öz həllini tapmamışdır. Bu səbəbdən də anodunun xüsusi tutumunun yüksək olmasına baxmayaraq yalnız bir neçə şirkət məhdud həcmdə metal elektrodlu litium AB-lər istehsal edir [1].

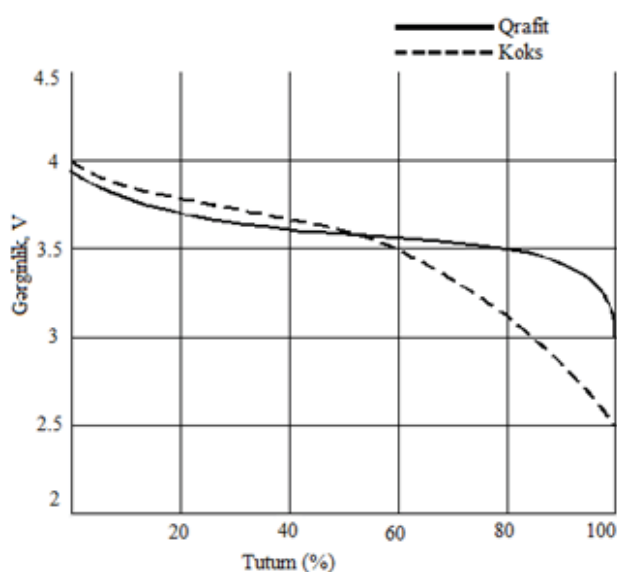
Bu tip AB-lərin müsbət elektrodlarını litium-oksit-kobalt, litium-oksit-nikel və litium-oksit-manqan birləşmələri əsasında hazırlamaq mümkündür. İsrail istehsalı olan və  $0.75 \text{ A*saat}$  nominal cərəyan tutumuna malik, anodu litium, katodu litiumlu marqans şpineli əsaslı silindrik formalı “Taridan” AB-ləri  $125 \div 140 \text{ Vt*saat/kq}$  və ya  $280 \div 314 \text{ Vt*saat/litr}$  xüsusi enerji tutumuna,  $3.3 \div 2.5 \text{ V}$  son boşalma gərginliyinə və təxminən 300 dəfəyə qədər dolub-boşalma imkanına malikdir [20, 28].

**LİAB-lər.** Bu AB-lərin həm müsbət, həm də mənfi elektrodlarının hazırlanmasında litium elementindən istifadə edilir. Mənfi elektrodun hazırlanma materiallarına görə, koks və qrafit əsaslı olmaqla LİAB-lər iki əsas növə bölünür.

Koks,  $950 \div 1100 \text{ }^\circ\text{C}$  temperaturda oksigenin iştirakı olmadan koksan kömüründən alınan, boz rəngli, möhkəm, məsaməli maddədir. O, qrafit karbonun allotropik modifikasiyası olub, bircinsli elementlər sinfinə aid mineraldır və kristallik qəfəsin layları bir-birinə nisbətən müxtəlif cür yerləşə bilən (heksaqonal, triqonal) laylı struktura malikdir. Laylar zəif dalğavarı olub, müstəvi formaya daha yaxındır və karbon atomlarının altıbucaqlı layndan ibarətdirlər. Qrafit karbonun kristalları plastik və nahamardır. Onun Moos şkalasına görə bərkliyi  $1 \div 2$  arasındadır, sıxlığı  $2,1 \div 2,3 \text{ q/cm}^3$ ,

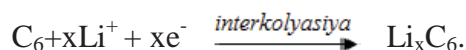
rəngi qara-bozdur, metal parıltıya malikdir. Almazdan fərqli olaraq daha aşağı bərkiyə malikdir, nisbətən yumşaqdır, istiliyin təsiri altında daha da bərkiyir, havasızlıq şəraitində qızdırdıqda ərimir, turşu mühitində həll olur, əl ilə toxunduqda yağlılıq hissi yaradır. Təbii qrafitin tərkibində 10-12 % gil və dəmir oksidi var, sürtünmə zamanı layları qabıqlar şəklində ayrılır. Bu xassədən karandaşlarda istifadə edilir. İstilik keçirmə qabiliyyəti qrafitin növünədən, bazis müstəvilərin nisbi istiqamətindən və temperaturdan asılı olaraq  $278,4 \div 2435 \text{ Vt/m}^2\text{K}$  arasında dəyişir. Qrafit elektrik cərəyanını yaxşı keçirir. Onun monokristalının elektrik keçiriciliyi anizotropdur və keçiriciliyi, bazis müstəvisinə paralel istiqamətdə metala yaxın, perpendikulyar istiqamətdə isə metalın keçiriciliyindən təqribən 10 dəfə aşağıdır. Keçiriciliyin minimal həddi mükəmməl kristal struktur üçün aşağı temperatur oblastında ( $300 \div 1300 \text{ K}$ ) təşkil edir. Ən yüksək elektrik keçiriciliyinə rekristallaşmış qrafit malikdir [1, 3].

Şək.1-də qrafit və koks əsaslı AB-lərin boşalma əyriləri təsvir edilmişdir. Praktiki olaraq koks əsaslı AB-lər enerji tutumu göstəricilərinə görə qrafit əsaslı AB-lərdən geri qalır və bu səbəbdən məhdud sayda istehsalçı şirkətlər tərəfindən istehsal edilirlər [11-13]. Qrafikdən görünür ki, eyni güc tələb olunduqda qrafit əsaslı AB-lər 3 V-a, koks əsaslı AB-lər isə 2.5 V-a qədər boşalır. Daxili müqavimətinin aşağı olması səbəbindən qrafit əsaslı AB-lər, istismar zamanı böyük qiymətə malik cərəyanın verilməsini təmin edə bilər [3]. Daha maili boşalma əyrisinə malik mənfi elektrodu koks əsaslı enerji mənbələri ilə müqayisədə, mənfi elektrodu qrafit əsaslı enerji mənbələri boşalma prosesinin sonunda kəskin gərginlik azalması ilə müşayiət olunan sərbəst boşalma əyrisinə malik olurlar. Koks əsaslı AB-lər qrafit əsaslı AB-lərə nisbətən aşağı boşalma gərginliyi verir. Əksinə, qrafit əsaslı AB-lər koks əsaslı AB-lərə nisbətən yüksək cərəyan toplama qabiliyyətinə malikdir və dolub-boşalma zamanı az qızır. Bu səbəblərdən maksimal tutum əldə etmək məqsədi ilə nominal gərginliyi 3.6 V olan koks elektrodlu və nominal gərginliyi 3.7 V olan qrafit elektrodlu LİAB-lər istehsal edilir.

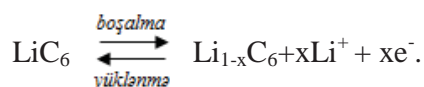


Şək.1. Qrafit və koks əsaslı LİAB-ın boşalma əyriləri

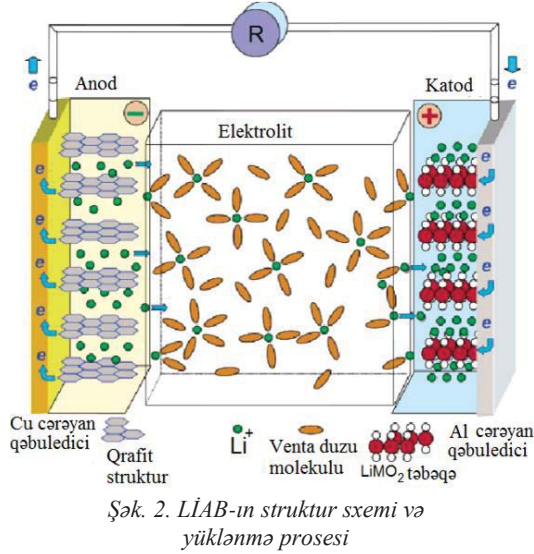
Yüksüz halda hazırlanan LİAB-ları işçi vəziyyətə gətirmək üçün ilk növbədə onları doldurmaq tələb olunur. İlk doldurmada mənfi elektrodun formalaşması baş verir, litium ionları qrafitin daxilində yayılmağa (interkolyasiya prosesi) başlayır:



Boşalma zamanı mənfi elektrodun litium ionları qrafitdən geriyyə (əks istiqamətdə) hərəkətlənilər (deinterkolyasiya) və yüklənmə zamanı isə proses (interkolyasiya) yenidən təkrarlanır:



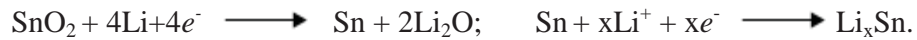
Karbon matrisadan istifadə litiumun katodda dendrid şəkilli bərpa olunma problemini aradan qaldırır. Metal litium anodlu AB-lərdə olduğu kimi, bu halda da dolub-boşalma zamanı xüsusi tutum və enerjinin əhəmiyyətli itkisi yaranır. Nəzəri olaraq  $\text{LiC}_6$  üçün xüsusi tutumun qiyməti 372  $\text{A}\cdot\text{saat}/\text{kq}$  təşkil edir, lakin bu kəmiyyət təmiz litium üçün 3860  $\text{A}\cdot\text{saat}/\text{kq}$ -a bərabərdir.  $\text{LiC}_6$ -nın



tərkibi qrafitin kristal quruluşunun xüsusiyyətləri ilə müəyyən olunur. Belə ki, daxil edilən hər litium atomu qrafitin kristal qəfəsinin laylararası boşluğunda yerləşən karbon halqanın mərkəzinə qarşı müəyyən yer tutur. İnterkalyasiyanın müxtəlif  $x$  dərəcəsinə bir neçə birləşmə -  $\text{LiC}_6$ ,  $\text{LiC}_{12}$ ,  $\text{LiC}_{18}$  və s. aid ola bilər.  $\text{LiC}_6$  birləşməsinin malik olduğu mənfi elektrodun potensialı eyni elektrolitdə metal litiumun potensialından yalnız 0,2 V müsbətdir.

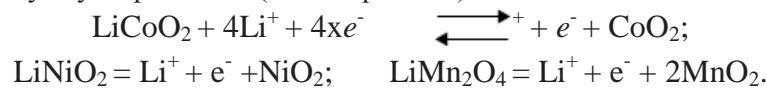
Mənfi elektrod matrisası qismində karbon tərkibdən başqa qalay oksidləri ( $\text{SnO}$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{SnO}_2\text{-TiO}_2$  (10%)), gümüş və onun ərintiləri, kobald fosforid, nanohissəcikli silisiumlu karbon kompozitləri, silisium və karbon nanonaqilləri və nanoboruları istifadə edilir. Qalay oksiddən istifadə

etdikdə litiumun ilkin polyarlaşması nəticəsində katod elektrodunda oksigen qalaydan ayrılır, litium oksidləşir və reaksiyanın sonrakı mərhələsində litium qalay ilə birləşir,  $\text{Li}_x\text{Sn}$  yaranır:



Bu halda  $x$ -in qiyməti kifayət qədər böyük olub 4.4-ə çata bilər. Enerji tutumunun qiyməti 750  $\text{mA}\cdot\text{saat}/\text{qr}$  - a qədər olan  $\text{SnO}_2\text{-TiO}_2$  (10%) elektrodlu AB-lər, birinci 50-60 dəfə tam dolub-boşalmada xüsusi dayanıqlılıq nümayiş etdirir. Növbəti dolub-boşalmalar zamanı enerji tutumunun qiymətinin tədricən azalması halı müşahidə olunur [1, 12]. Xüsusi enerji tutumu 120-140  $\text{A}\cdot\text{saat}/\text{kq}$  olan LiAB-da müsbət elektrodun hazırlanması üçün, əsasən keçid metallarının litiumlu oksidlərindən, məsələn,  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$  və  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  birləşmələrdən istifadə edilir. Müsbət elektrodun işi, AB-nin yüklənməsi zamanı litium oksiddən litiumun deinterkalyasiyası prosesinə (bir istiqamətdə) və boşal-

ması zamanı isə interkalyasiyası prosesinə (əks istiqamətdə) əsaslanır:

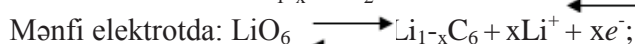
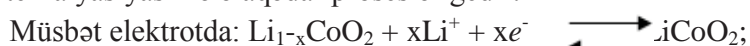


İstehsalçı şirkətlərin hər biri qeyd edilən müxtəlif birləşmələrdən istifadə edir [12]. Dünya bazarının LiAB-lar üzrə əsas təminatçısı olan Yapon şirkətləri yalnız, ən aşağı qütbləşmə və ən yüksək enerji tutumu kimi ən yaxşı xarakteristikalara malik, lakin, zəhərli və digər oksidlərdən təxminən 10 dəfə baha olan  $\text{LiCoO}_2$  istifadə edirlər. Avropa və Amerika şirkətləri,  $\text{LiNiO}_2$  və  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  birləşmələrini iqtisadi və ekoloji cəhətdən daha perspektivli hesab edirlər və bunlara daha çox üstünlük verirlər. İstismar zamanı qeyd edilən birləşmələr aşağı stabillik nümayiş etdirdiyindən tədqiqatçılar yeni katod materiallarının axtarışı məqsədi ilə tədqiqat işlərini (müxtəlif nanomaterialların oksidləri) davam etdirir. LiAB-ın stabil işləmə xüsusiyyətini müəyyən edən əsas amillərdən biri elektrod materiallarının və elektrolitin düzgün seçilməsidir. LiAB-larda elektrolit qismində, əsasən üzvü həlledicilər olan etilenkarbonat və dietilkarbonat əsaslı qarışıqlardan istifadə edilir. Qarışığa, müsbət və mənfi elektrodalarda passiv qatın tərkib hissələrinin kimyəvi

xüsusiyyətlərini, eləcə də elektrolitin keçiriciliyini müəyyən edən müxtəlif litium duzları (məs., LiPF<sub>6</sub>) daxil edilir. Elektrolit, poliolefin maddəli matrisli seperatorun məsamələrində yerləşir (şək. 2). Üzvü elektrolitin zəhərli və tez alışan olması səbəbindən LİAB-da hermetikliyin etibarlılığına yüksək tələb qoyulur. AB-nin sürətlə qızmasının qarşısını almaq üçün 110 °C temperatura qədər qızdıqda faza dəyişikliyinə məruz qalan və məsamələri bağlanan xüsusi seperatordan istifadə edilir. Nəticədə AB-nin daxili müqaviməti artır və enerji tutumu azalır. LİAB-ın elektrokimyəvi sistemini növbəti şəkildə yazmaq olar:



LİAB-ın elektrodlarında boşalma və yükləmə zamanı litium ionlarının qismən interkalyasiyası/deinterkalyasiyası ilə əlaqədar proseslər gedir.



Beləliklə, cərəyan yaradan reaksiya, Li<sup>+</sup> ionlarının müsbət və mənfi elektrodlar arasında məhluldan keçməklə fasiləsiz keçidi ilə (interkalyasiya/deinterkalyasiya) nəticələnir [1, 6-10].

*LİAB-da nanotexnologiyalar.* “Toşiba” şirkətinin istehsalı olan SCİB (Super Charge ion Battery) texnologiyalı Li-ion nano-akkumulyatorlarında (LİNAB) mənfi elektrod qismində bir dəqiqə ərzində 80%-ə qədər yüklənmə imkanına malik litium-titanat nanokristalından istifadə edilir. Bu struktur hesabına xüsusi tutumunun qiymətini artırmaq və AB-ləri 2-3 dəqiqə ərzində tam yükləmək mümkün olur. Ölçüləri cəmi 3.8×62×35 mm olan AB 600 mA\*saat enerji tutumuna malik olur. Yüksək tutuma malik olma və tez yüklənmə xüsusiyyətlərindən əlavə, LİNAB-ın uzun müddət xidmət etmək, 5000 dəfədən artıq dolub-boşalma imkanının olması, eləcə də 1000 dəfə dolub-boşaldıqdan sonra tutumunun təxminən 1%-ni, -40 °C temperaturda işlədikdə isə cəmi 20%-ni itirməsi (-25 °C-də digər tip AB-lərdə bu göstərici 100% olur) kimi müsbət cəhətləri var.

“Matsushita Battery Industrial” Co., Ltd. tərəfindən nanotexnologiya ilə hazırlanmış silindrik nikeloksid katodlu AB-nin enerji tutumu 620 Vt\*saat/litr, fasiləsiz işləmə müddəti 13 saatdır.

“Altairnano” şirkətinin istehsalı olan LİNAB-ın enerji tutumu 35 kVt\*saat və yüklənmə müddəti 10 dəqiqə təşkil edir. Bir dəfə doldurulmuş AB ilə nəqliyyat vasitəsinin yürüş məsafəsi 200 km təşkil edir və göstəriciləri digər AB-ləri 3-4 dəfə üstələyir. Hazırda, elektromobilin yürüş məsafəsini təxminən 400 km-ə qədər artırmağa imkan verən, tutumu 70 kVt\*saat olan bu tip AB-lər hazırlanır. AB-nin anod elektrodunda karbon əvəzinə, xüsusi səthi 100 m<sup>2</sup>/q-a yaxın litium-titanat nanokristalından istifadə edilir. Anodun sahəsinin geniş olması hesabına buraxıla bilən yüklənmə və boşalma cərəyanlarının qiymətini artırmaq mümkündür. Litium-titan birləşməli yeni AB təxminən 20 000 dəfə dolub-boşalma imkanına və az istilik köhnəlməsinə malikdir [1, 2].

Rusiyanın Elmi-Tədqiqat institutlarında LİAB-ların katod materialının hazırlanması üçün müxtəlif nanohissəcik əsaslı (LiV<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, LiCoO<sub>2</sub>, Li<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) yeni üsullar işlənmişdir [11, 17, 18]. Yeni texnologiya mexanokimyəvi aktivləşmə metodunun tətbiqinə əsaslanır. Maddələrin nanodispers vəziyyəti, onlardan yeni katod materialların hazırlanmasına və daha çox enerji saxlama qabiliyyətinə malik birləşmələrin (LiMe<sub>y</sub>Mn<sub>2-y</sub>O<sub>4</sub>, harada ki, Mn = Co, Cr, Ni, Fe) yaradılmasına imkan verir.

*LİAB-ların konstruksiyalarının xüsusiyyətləri.* Digər tip AB-lərdə olduğu kimi bəzi LİAB-lar konstruktiv olaraq silindr və prizma formasında hazırlanırlar [1, 12, 23]. Silindrşəkilli AB-lərdə silindr formalı seperator paketi və elektrodlar, xaricdən polad və ya aliminyum örtük ilə örtülülər. AB-lərin müsbət qütbü izolyasiya olunmuş təbəqədən xaricə çıxarılır. Diametri 18 mm, uzunluğu



650 mm olan silindrik formalı AB-lərin enerji tutumu 1800÷2000 mA\*saat-a qədər, diametri 26 mm olan AB-də isə bu parametr 3200 mA\*saat olur. Prizma formalı AB-lər düzbucaqlı lövhələri bir-birinin üzərində laylı formada yerləşdirməklə hazırlanır və silindrik AB-lərə nisbətən elektrodlarının sıxılma imkanının çətinliyi səbəbindən az sıxılmış olur. Elektrodun təbəqəli yığılmasında qatlama üsulundan istifadə edilən bəzi prizmaşəkilli AB-lərin konstruksiyaları bir qayda olaraq vahid formaya malik olmur. Bu səbəbdən mobil telefon, noutbuk və s. elektron cihazların istehsalçıları, öz qurğularında digər şirkətin AB-lərindən istifadəyə icazə vermir. Rəqəmsal cihazlarda əsasən silindirik konstruksiyaya malik AB-lərdən istifadə edilir. Li-ion əsaslı AB-lərin digər litium birləşməli cərəyan mənbələrindən fərqləndirici xüsusiyyətləri onların tam hermetik olmasıdır. Litium əsaslı AB-lərin (LİAB və LPAB) daha geniş yayılmış forması paket (təbəqəli) konstruksiyalı modelləridir. Plastik örtüklü paket formalı AB-lər yüngül olur və təyinatına uyğun hazırlanır. Bu da, sistemə mənfi təsir göstərən maye elektrolitin sızmasının, ətraf mühətdən AB-yə oksigen və su buxarının düşməsinin qarşısını alır. Oksigen və su buxarı elektrod və elektrolitin hazırlandığı materiallar ilə reaksiyaya girdikdə alışma və partlamaya səbəb olur, AB tamamilə sıradan çıxır.

**LPAB-lər.** LPAB-ları LİAB-dan fərqləndirən əsas cəhət, elektrolitin məsaməli seperator və ion keçiriciliyinə malik polimer elektrolitdən hazırlanmasıdır [2, 9]. LPAB-larda lövhə formalı bərk-quru polimer elektrolitdən istifadə edilir. Böyük cərəyan vermək imkanına malik elektrolit müstəvi formada, kəp sıxılmış halda hazırlanır. Burada ion mübadiləsi polimer elektrolitdə baş verir. Polimer elektrolitin hopdurulmuş şəkildə hazırlanması istehsal prosesini sadələşdirir və təhlükəsiz edir. Tərkibinə daxil olan hər elementin qalınlığının az olması, AB-ni istənilən formaya salmağa və tələb olunan yerdə istifadəsinə imkan verir.

Polimer elektrolitlər hazırlanma texnologiyasına görə 3 qrupa bölünür.

1) Quru polimer elektrolitli LPAB-ların tərkibinə polietilenoksid və litium duzları ( $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{LiBF}_4$ ,  $\text{LiAsF}_6$ ) daxildir, 0.1÷60 °C temperaturda elektrik keçiriciliyi  $10^{-5} \div 10^{-2}$  Sm/m olur. Metal litium anodlu LPAB-lar 100 Vt\*saat/kq-dan çox enerji sıxlığına malik olub, təhlükəsizdir, öz-özünə boşalması zəifdir, konstruksiyası sadədir, lakin elektrod-elektrolit sərhəddində omik müqaviməti böyükdür, qiyməti bahadır, xidmət müddətləri qısadır. Elektrolit sızmasının olmaması səbəbindən polimer layda yüklü zərrəciklərin hermetiklik problemi həll edilmişdir.

2) Gel-polimer elektrolitlər iki növə bölünür:

▪ birincilərin tərkibi - poliakrilonitril/polivinilxlorid + litium duzu + plastifikatorlardan (propilen-karbonat, etilen-karbonat, dimetilkarbonat və s.) ibarətdir və elektrik keçiriciliyi 25 °C temperaturda təxminən 5 Sm/m olur, enerji sıxlıqları təxminən, 155÷160 Vt\*saat/kq və 175÷270 Vt\*saat/litr təşkil edir. Onlar, təxminən 500 dəfə dolub-boşalır, metal litium anoda malikdir;

▪ ikincilərin tərkibi - polivinildenftor + polialkilenqloldiakrilat + litium duzundan ibarətdir və elektrik keçiriciliyi 25 °C temperaturda, təxminən 10.5 Sm/m olur, dolub-boşalma cərəyanı 1÷25 C təşkil edir. Onlar, 70% tutumunu saxlamaqla təxminən 500 dəfə dolub-boşalır, karbon anoda malikdir.

3) Mikroməsaməli (heksaftorpropilenli vinildenftorid sopolimer birləşməsi) elektrolitlərin tərkibinə 0.1-1 mkm ölçülü yuvalara malik məsaməli matrisalı polivinildenftor və litium duzunun susuz məhlulu daxildir. Onlar təxminən, 0.1 Sm/m elektrik keçiriciliyinə, 100-125 Vt\*saat/kq və 200-250 Vt\*saat/litr enerji sıxlığına malikdir və 500-1000 dəfə dolub-boşalır.

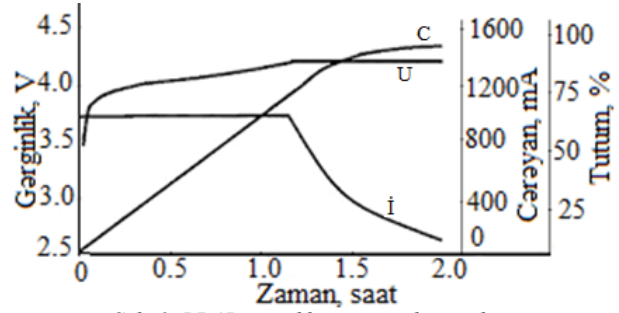
Daxili müqavimətinin yüksək olması səbəbindən keçiricilik qabiliyyətlərinin zəif olması quru

və mikroməsaməli elektrolitlərin çatışmayan cəhətidir. Bu tip elektrolitlər 40°C-dən yuxarı temperaturlarda yaxşı işləyir. Hibrid quruluşa malik Gel-polimer elektrolitli litium AB-lər isə yüksək keçiriciliyə malik olub, qurğuda yerləşmə yerinin formasına uyğun hazırlanır və bu da onlardan miniatur cihazlarda istifadəyə imkan yaradır. LPAB-ı uyğun formada hazırlamaqla, silindrik formalı LİAB ilə müqayisədə 20-30% daha çox enerji sıxlığı əldə etmək mümkündür [1, 2, 9, 12].

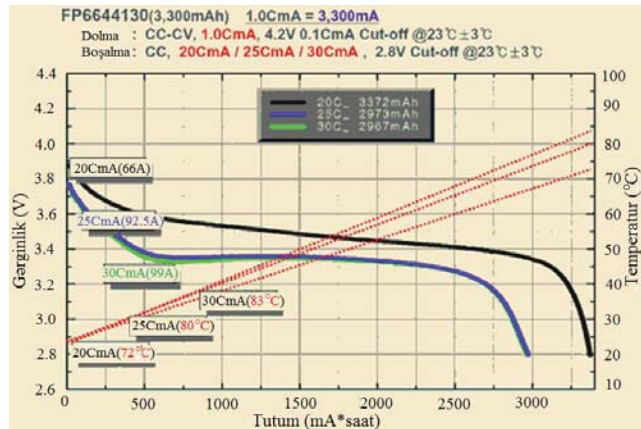
**LPAB-ların yüklənmə prosesi:** Hazırlanma texnologiyalarına görə LPAB-lar, LİAB-lardan fərqlənsə də, onlarda yüklənmə və boşalma prosesləri oxşar gedir. AB əvvəlcə kombinə olunmuş rejimdə 0.2÷1C diapazonunda (adətən 0.7 C qiymətində) sabit cərəyanla 4.1÷4.3 V gərginliyə və nominal tutumun 70÷80 %-nə qədər yüklənir. Sonra, yüklənmə prosesinin ikinci mərhələsi

- sabit gərginlik rejimi başlayır və yüklənmə cərəyanı ilkin qiymətindən 3%-ə qədər aşağı düşür. Yüklənmənin birinci mərhələsi 40 dəqiqə, ikinci mərhələsi 2 saata qədər davam edə bilər. Bəzi növ yüklənmə qurğuları hər 500 saat və ya 20 gündən bir batareyalarda bir elementin gərginliyinin 4.05 V-a qədər azalması halında həmin elementin gərginliyinin 4.2 V-a qədər yüklənməsini nəzarətdə saxlayır. Yüklənmə gərginliyinin 4.3 V qiymətində mənfi elektrodun litiumla metallaşması, müsbət elektroddan isə oksigenin ayrılması prosesi baş verir. Nəticədə AB-nin temperaturu sürətlə artmağa başlayır.

İstismar zamanı təhlükəsizliyi artırmaq məqsədi ilə AB-nin qapağının alt tərəfində müsbət temperatur əmsalına, müqavimətin artması ilə reaksiya verən və daxili qazların təzyiqinin normadan artıq olduğu halda katodla müsbət çıxış arasında elektrik əlaqəsini kəsən, eləcə də normadan artıq yüklənmə və qızma nəticəsində qısaqapanma halının yaranmasının qarşısını almaq üçün elektron qoruyucu sistemi quraşdırılır. Uzun müddət yüklənmədik də LPAB tam boşalır və bir elementdə olan gərginlik 2.5 V-dan aşağı düşür. Bu halda, AB-nin boşalma gərginliyinə nəzarət edən, eləcə də hər elementin gərginliyinin 2.5 V-a qədər azalması nəticəsində yükü dövrədən ayıran - dərin boşalmadan qoruma sistemi tətbiq edilir. Bir elementin gərginliyinin 2.5 V qiymətindən işləməyə başlayan əksər yüklənmə qurğularında AB-ni işçi vəziyyətə gətirmək və yükləmək üçün üç pilləli bərpaedici doldurma əməliyyatı tövsiyyə olunur: AB-ni 0.02C cərəyanla 2.8 V-a, 0.05C cərəyanla 3.2 V-a və sonda 4.2 V-a qədər yükləmək lazımdır. Şək. 3-də LPAB-ın tipik yüklənmə xarakteristikası göstərilmişdir [1, 12, 14]. Oksid əsaslı LPAB-ların böyük cərəyan vermə, dolub-boşalma, aşağı öz-özünə boşalma göstəriciləri digər tip AB-lərdən iki dəfəyə qədər yüksəkdir. İki il istismar edildikdə digər AB-lərdən fərqli olaraq LPAB-lar tutumunun təxminən 80%-dən çoxunu saxlayır. Bütün



Şək. 3. LPAB-ın yüklənmə xarakteristikası



Şək. 4. LPAB-ların dolub-boşalma sayının boşalma cərəyanından və temperaturdan asılılıq ayrılması

AB-lər kimi LPAB-lar da köhnəlməyə məruz qalır. Köhnəlmə AB-nin istismar temperaturundan və onun yüklənmə səviyyəsindən birbaşa aslıdır. İstismar edilmədən saxlanıldıqda, zaman keçdikcə LPAB-ların tutumunun azalması müşahidə olunur. Köhnəlmə prosesinin zəiflədilməsi üçün AB-ni 40% doldurulmuş halda +15°C-dən artıq olmayan temperaturda saxlamaq tələb olunur. Bu şərtlər daxilində bir il saxlanıldıqda, AB tutumunun 5%-ə qədərini itirə bilər. Bu səbəbdən AB-lərin tərkibinə daxil olan hər elementin dolub-boşalma gərginliyinə nəzarət etmək, xüsusi tənzimləyicilərdən istifadə etmək və qoruyucu sxem quraşdırmaq tələb olunur. Bu da AB-nin qiymətinin yüksəlməsinə səbəb olur [15, 16].

*Boşalma əyriləri.* Şək. 4-də “FlightPower” şirkətinin istehsalı olan güclü LPAB-ların boşalma zamanı boşalma cərəyanının (C-batareyanın nominal tutumu) qiymətindən aslı olaraq gərginlik – tutum – temperatur xarakteristikaları verilmişdir. Qrafikdən görünür ki, AB-nin enerji tutumunun qiyməti işçi gərginliyin qiymətinə mütənəsb olaraq azalır. Eyni effekt 10°C-dən aşağı temperaturda boşalma zamanı yaranır. Aşağı temperaturlarda gərginlik tez düşür [1, 12, 17, 26-28].

*Litium əsaslı AB-lərin inkişaf istiqamətləri.* Yüksək kompaktlıq, elastiklik və s. xüsusiyyətləri ilə əlaqədar olaraq litium əsaslı AB-lərin istehsal texnologiyaları və tətbiq sahələri genişlənir. Hal-hazırda LPAB-ları əvəz edə bilən, təkmilləşmiş (mənfi 40 °C temperaturda işləyən) yeni litiumfosfat AB-lər (LFAB) istehsal edilir. Bu AB-lərin işçi temperaturunun yuxarı həddi müsbət elektrodun hazırlandığı materialın (əsasən kobalt) tərkibinin ekzotermik ayrılmasından və mənfi elektrod/elektrolit sərhəddində fazalararası laylarda gedən elektrokimyəvi proseslərdən aslıdır. Layların dağılması prosesi isə elektrolitin əsasını təşkil edən duzların kimyəvi tərkibindən və temperaturdan bir başa aslı olub,  $\text{LiBF}_4 < \text{LiPF}_6 < \text{LiCF}_3\text{SO}_3 < \text{Li}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2$  sıralamasına uyğundur.

Fərqli elektrokimyəvi tərkibə malik anodlu AB-lər hazırlayan “Sion Power Corporation” və “PolyPlus Battery Company” şirkətlərin istehsal etdikləri Li/S əsaslı AB-lərdə cərəyanın 2.1 A\*saat qiymətində enerji tutumu 420 Vt\*saat/kq və ya 520 Vt\*saat/litr olur [19, 21, 22]. Belə ki, “Elektromobil”-lərdə 400÷500 °C işçi temperaturda zəhərli olmayan maye elektrolitli Li/FeS<sub>2</sub> tipli AB-lərdən istifadə edilir. Onlar 420 Vt\*saat/kq enerji tutumuna malikdir və qiymətləri ucuzdur. Hal-hazırda “İnerl” şirkəti tərəfindən bu tip AB-lərin 90÷130 °C və daha aşağı temperaturlarda işləyən polimer elektrolitli növləri hazırlanmışdır [10]. Litium-tionil-xlorid, litium-poli-ftor-karbon və litium-dioksid-marqans kimyəvi tərkibli AB-lər daha perspektivli enerji mənbələridir. Belə ki, litium-tionil-xlorid elektrokimyəvi tərkibli AB-lər 500÷1200 Vt\*saat/dm<sup>3</sup> enerji tutumuna, 5÷10 il enerji saxlamaq müddətinə, 3.3÷3.5 V yükləmə gərginliyinə və -40...+50°C temperaturlarda işləmək xüsusiyyətlərinə malikdir. Litium-poli-ftor-karbon və litium-dioksid-marqans tərkibli AB-lər üçün bu göstəricilərin qiyməti, uyğun olaraq 300÷800 Vt\*saat/dm<sup>3</sup>, 3÷10 il, 2÷2.6 V və -20...+40 °C təşkil edir.

*Litium əsaslı AB-lərin çatışmazlıqları:*

- istifadə edilmədikdə köhnəlməyə meyilli olması; köhnəlmə prosesinin istismara başlama müddətindən deyil, istehsal tarixindən başlaması;
- digər tip AB-lər ilə müqayisədə qiymətinin baha olması;
- LPAB-nin mexaniki zədələnməyə, həddindən artıq yüklənməyə və temperatur dəyişməsinə qarşı həssas olması, həmçinin qısaqapanma səbəbindən alışma ehtimalının yaranması. Eləcə də, dərin boşalma AB-nin tutumunun azalmasına (elektrolitin oksidləşməsi), daxili müqavimətinin artmasına səbəb olur və təkrar yükləmə zamanı enerjinin tam toplanmasına mane olur. Bu hal bir neçə dəfə təkrarlandıqda 2÷3 ildən sonra AB tamamilə istismara yararsız hala düşür.

*Litium əsaslı AB-lərin üstünlükləri:*



- PUA-da və digər daşınan qurğularda güc və enerji mənbələri qismində istifadə edilməsi;
- uzun müddətli xidməti və dolub-boşalma sayının çoxluğu (zəmanətli 1000-dən artıq);
- ehtiyat enerji saxlamaq və geniş temperatur diapazonunda işləmə qabiliyyəti;
- öz-özünə boşalma cərəyanının minimal olması (otaq temperaturunda ilə 3%-ə qədər);
- bir elementdə gərginliyin yüksək (3.6÷4.2 V) olması;
- konstruktiv olaraq müxtəlif formada hazırlanmasının mümkün olması (LPAB);
- elementlərin qalınlıqlarının çox nazik olması (LPAB-da təxminən 1 mm);
- elastik formada hazırlanma imkanının (LPAB) olmasıdır.

*Litium əsaslı AB-lərdən istifadə və saxlama zamanı təhlükəsizlik qaydaları:* Litium əsaslı AB-lər istismar və yüklənmə rejimlərinə olduqca həssasdır. Bu səbəbdən növbəti təhlükəsizlik qaydalarına riayət etmək tələb edilir [5]:

- AB-nin 4.2 V-dan çox yüklənməsinə və 3 V-dan az boşalmasına;
- AB-də qısaqapanmanın baş verməsinə;
- AB-nin temperaturunun 60 °C-dən çox qızmasına;
- AB-nin hermetikliyinin pozulmasına (LPAB);
- AB-nin boşaldılmış halda saxlanılmasına;
- AB-nin zədələnməsinə və daxilinə hava dolmasına (LPAB) yol verilmir və onu 50÷70 % yüklü vəziyyətdə 30 °C temperaturda saxlamaq tələb edilir.

*Litium əsaslı AB-lərin əsas xüsusiyyətləri və tətbiq sahələri:* bu tip AB-lərdə enerji tutumu 100÷180 Vt\*saat/kq və ya 250÷400 Vt\*saat/litr, gərginlik 3.6÷4.2 V, buraxıla bilən gərginliyin aşağı həddi 2.5÷2 V və işçi temperatur diapazonu (-20...+60) °C arasında dəyişir. Kiçik ölçülü AB-də boşalma cərəyanının qiyməti 2C, güclü AB-lərdə isə bu qiymət təxminən 10÷20 C tərtibdə olur. Bir çox istehsalçılar mənfi 40 °C-də işləyən AB-lər hazırlamışlar.

Litium əsaslı AB-lərin öz-özünə boşalması birinci ayda 4-6 %, sonrakı aylarda isə bu hədd əhəmiyyətli dərəcədə azalaraq ildə 10-20 %-ə çatır. Eyni ölçülü digər AB-lər ilə müqayisədə litium əsaslı AB-lər 20-30 % daha çox enerji tutumuna, az “yaddaş effekti”-nə, tam boşalmanı gözləmədən istənilən vaxt yükləmənin mümkün olması xüsusiyyətlərinə malikdir [5, 11, 16, 18, 25, 26].

Çoxdəfəli istismar xüsusiyyətləri ilə əlaqədar olaraq litium əsaslı AB-lər "adi" və "tez boşalan" olur [1, 8]. Birincilərdən az (mobil telefonlarda, noutbuklarda və s.), ikincilərdən isə böyük cərəyan tələb edilən yerlərdə (PUA-da, hibrid avtomobildə və s.) istifadə edilir.

Cədvəl 1-də litium əsaslı AB-lərin (elektrodun növünə görə fərqlənən müxtəlif kimyəvi tərkibli LİAB-lar və LPAB-ın) əsas göstəriciləri müqayisəli təqdim edilmişdir [3, 11, 24-28].

Cədvəl 2-də LİAB və LPAB-ların texniki və istismar göstəriciləri (xüsusi enerji sıxlığı, dolub-boşalma sayı, təhlükəsizlik, öz-özünə boşalma, tətbiq sahələri və s.) verilmişdir.

**Nəticə.** Daxili müqavimətinin nisbətən aşağı olması, yüksək enerji sıxlığına malik olması, dolub-boşalama sayının çox və qiymətin nisbətən aşağı olması və s. müsbət xüsusiyyətlər LİAB-ların elektromobillərdə, mobil telefonlarda, alətlərdə və s. tətbiqinə imkan yaradır.

Hazırlanması zamanı polimer bərk elektrolitdən istifadə nəticəsində, yüngül, elastik, nazik və istənilən formada hazırlanmasının mümkün olan, ekoloji cəhətdən təhlükəsiz, ani müddətdə böyük cərəyan verə bilən, elementdə gərginliyi yüksək olan, öz-özünə boşalma cərəyanı az olan və daha yüksək xüsusi enerji sıxlığı, güc və istismar göstəricilərinə malik, həmçinin səhra şəraitində istifadə (temperaturun idarə edilməsi mümkün olmadıqda) imkanının və təhlükəsiz istismar xüsusiyyətlərinin olması LPAB-ların PUA-larda və yüksək cərəyan-güc tələb olunan cihazlarda enerji mənbəyi qismində istifadəsini daha məqsəduyğun edir.

Cədvəl 1.

Müxtəlif kimyəvi tərkibli LiAB-ların və LPAB-ın uyğun parametrlərinin müqayisəli təhlili

Nö	Parametr/Tip	LiCoO <sub>2</sub>	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	LiFePO <sub>4</sub>	Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	Li-ion	LiPo
1.	Enerji sıxlığı, (Vt.saət/kq)	150-200	<170	135	85-90	150÷180	150÷260
2.	Enerji sıxlığı, (Vt*saət/dm <sup>3</sup> )	250	-	-	-	260	250÷400
3.	Daxili müqavimət (bir AB-də), (mΩ)	150-300 (7.2 V)	25-75	25-50	-	150-250	200-300
4.	Dolub-boşalma sayı (80%), (dəfə)	500÷1000	1000÷2000	1000÷3000	5000÷8000	500÷1000	300÷800
5.	Tez yüklənmə müddəti, (saat)	2÷3	2÷2.5	2÷3	2÷3	2÷4	2÷4
6.	Optimal boşalma dərinliyi %	85-90	85-90	85-90	85-90	85-90	85-90
7.	Ay ərzində otaq temperatu-runda öz-özünə boşalması, (%)	10	10	10	10	10-dan az olmayaraq	10
8.	Elementdə olan nominal gərginlik, (V)	3.6	3.8	3.3	2.4	3.8	3.6
9.	Elementdə olan mak. gərginlik, (V/element, 1C)	4.2	4.2	3.6	3.3	4.2	4.2
10.	1C cərəyanla boşalma zamanı yaranan gərginlik, (V/element)	2.5÷3.0	2.5÷3.0	2.8	-	2.5÷3.0	2.5÷3.0
11.	Maks. yüklənmə cərəyanı	0,7-1C	0,7-5C	5C	1C	>2C	>2C
12.	Yüklənmə temperaturu, (°C)	0÷45	0÷45	0÷45	0÷45	0÷45	0÷45
13.	İşləmə temperaturu, (°C)	-20÷60	-10÷45	-10÷60	-10÷05	-20÷60	0÷65
14.	İstehsal ili	1991	1996	1999	-	1996	1999
15.	Dəyəri	yüksək	orta	aşağı	yüksək	orta	yüksək

Cədvəl 2.

LiAB və LPAB əsaslı AB-ların texniki və istismar göstəriciləri

Texniki göstəricilər	Li-ion	Li-Pol (Li-ion AB-yə nisbətən)
Xüsusi enerji sıxlığı	yüksək	təxminən iki dəfə çoxdur
Dolub-boşalma sayı	çox	azdır
Maks. yüklənmə cərəyanı (A)	yüksək (≈10C)	yüksək (≈20C)
Boşalma cərəyanı (A)	yüksək	yüksək
Daxili müqaviməti	aşağı	yüksək
Yaddaş effekti	yoxdur	yoxdur
Ölçü seçimi	az seçimli	istənilən formada və ölçüdə hazırlanması mümkündür
Kütlə	nisbətən yüngül	yüngül
Xidmət müddəti	təxminən eynidir	təxminən eynidir
İstifadə edilmədikdə öz -özünə boşalma	az	daha az
Partlama və alışma imkanı	çox yüksək	elektrolit və elektrodlardan kənara sızma yüksək dərəcədə mühafizə olunur
Yüklənmə vaxtı	uzun	nisbətən qısa
Köhnəlmə	ay ərzində 0,1% qədər	az meyilli
Qiyməti	əlçatan	nisbətən baha
Universallıq	aşağı (standart formada hazırlanması istifadəçi tərəfindən model seçimi zamanı səhif etməyə səbəb olur)	istənilən formada istehsal etmək mümkündür
Təhlükəsizlik	istismar zamanı təhlükəlidir	məye elektrolitdən istifadənin hesabına partlama təhlükəsi aşağı olur
Temperatur diapozonu	-20...+50 °C	-20÷+60 °C
Tətbiq sahələri	elektromobillərdə, mobil telefonlarda, alətlərdə və s.	əsasən elektrik-optik cihazlarda, PUA-larda, videomüşahidə kameralarında və s.

## REFERENCES

1. <http://2a3a.ru/li-ion/>. Litij-ionnye (Li-ion) akkumulyatory. Литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы.
2. <http://2a3a.ru/li-po/>. Litij-polimernye akkumulyatory (Li-Po). Литий-полимерные аккумуляторы (Li-Po).
3. <http://docplayer.ru/26436804-Razlichnye-tipy-akkumulyatorov-parametry-defekty-osobennosti-ekspluatatsii.html>. Различные типы аккумуляторов, параметры, дефекты, особенности эксплуатации.
4. **Popova S.S., Denisov A.V., Denisova G.P.** Himicheskie istochniki toka. Litij-ionnye akkumulyatory plenochnoj konstrukcii. Uchebnoe posobie. Saratov 2009. 44 s.  
**Попова С.С., Денисов А.В., Денисова Г.П.** Химические источники тока. Литий-ионные аккумуляторы пленочной конструкции. Учебное пособие. Саратов 2009. 44 с.
5. [http://powerelectronics.com/portable\\_power\\_management/battery\\_charger\\_ics/804PET22li-ion-battery-life.pdf](http://powerelectronics.com/portable_power_management/battery_charger_ics/804PET22li-ion-battery-life.pdf).  
**Fren Hoffard.** Pravilnana ekspluatatsya mozhет prodlit zhizn litij-ionnogo akkumulatora.  
**Френ Хоффард.** Правильная эксплуатация может продлить жизнь литий-ионного аккумулятора.
6. **Kamzin A.S., Bobyl A.V., Ershenko E.M., Terukov E.I., Agafonov D.V., Kudryavcev E.N.** Struktura i elektrohimicheskie harakteristiki katodnyh materialov LiFePO4 dla perezaryazhaemyh Li-ionnyh batarej. Fizika tverdogo tela, 2013, t. 55, vyp. 7. S. 1288-1297.  
**Камзин А.С., Бобыль А.В., Ершенко Е.М., Теруков Е.И., Агафонов Д.В., Кудрявцев Е.Н.** Структура и электрохимические характеристики катодных материалов LiFePO4 для перезаряжаемых Li-ионных батарей. Физика твердого тела, 2013, т. 55, вып. 7. С. 1288-1297.
7. <http://nature-time.ru/2014/06/sravnenie-akkumulyatorov-razlichnyh-tipov/>  
Сравнение аккумуляторов различных типов.
8. **Isidor Buchmann.** "Batteries in a Portable World "by Isidor Buchmann. Akkumulyatory v mire portativnyh ustrojstv. Rukovodstvo po akkumulyatoram dla neinzhenеров. Izdatelstvo: Cadex Electronics Inc. 2011. 36 s.  
Аккумуляторы в мире портативных устройств. Руководство по аккумуляторам для неинженеров. Издательство: Cadex Electronics Inc. 2011. 36 с.
9. **Viktor Avelar, Martin Zaho.** Tehnologii akkumulyatorov dla COD: sravnenie litij-ionnyh (Li-ion) akkumulyatorov so svincovo-kislotnymi akkumulyatorami s regulirujushhim klapanom (VRLA). Informacionnaya statya. Schneider Electric. № 229.  
Виктор Авелар, Мартин Захо. Технологии аккумуляторов для ЦОД: сравнение литий-ионных (Li-ion) аккумуляторов со свинцово-кислотными аккумуляторами с регулирующим клапаном (VRLA). Информационная статья. Schneider Electric. № 229.
10. **Nizhnikovskij E.A.** Istochniki avtonomnogo elektropitaniya dla raboty v ekstremalnyh uslovijah. Rossijskij himicheskij zhurnal "Zh.Ros.Him. Ob-va im. D. I. Mendeleeva", 2006, T. L, №5, s.102-112.  
**Нижниковский Е.А.** Источники автономного электропитания для работы в экстремальных условиях. Российский химический журнал "Ж.Рос.Хим. Об-ва им. Д. И. Менделеева", 2006, Т. L, №5, с.102-112.
11. **Nəbiyev R.N., Qarayev Q.I., Abdullayev A.A.** Pilotsuz uçuş aparatları üçün qida mənbələrinin seçilməsi. Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri. Cild 25, №3, 2018. S. 1-11.
12. **Hrustalev D.A.** Akkumulyatory. M.:Izumrud. 2003. 222 s.  
**Хрусталева Д.А.** Аккумуляторы. М.:Изумруд. 2003. 222 с.
13. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Betehtin\\_A.G](https://ru.wikipedia.org/wiki/Betehtin_A.G). Gruppya ugleroda // Kurs mineralogii: uchebnoe posobie. M.: KDU, 2007. S. 185.-721.  
Бетехтин А.Г. Группа углерода // Курс минералогии: учебное пособие. М.: КДУ, 2007. С. 185-721.
14. **Onishhenko D.V.** Sovremennoe sostojanie voprosa ispolzovaniya, razvitiya i sovershenstvovaniya himicheskix istochnikov toka // Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Issledovano v Rossii». С.1341-1441.  
**Онищенко Д.В.** Современное состояние вопроса использования, развития и совершенствования химических источников тока // Электронный научный журнал «Исследовано в России». С.1341-1441.
15. <http://compress.ru/Article.aspx?id=14438>. Oleg Tatarnikov. Sovremennye akkumulyatory.  
Олег Татарников. Современные аккумуляторы.
16. [http://xn--80adxqwa5e.xn--p1ai/storage\\_batteries](http://xn--80adxqwa5e.xn--p1ai/storage_batteries). Akkumuljatory, osnovnye tipy i harakteristiki.  
Аккумуляторы, основные типы и характеристики.
17. [http://batteryuniversity.com/learn/article/global\\_battery\\_markets](http://batteryuniversity.com/learn/article/global_battery_markets). BU-103: Global Battery Markets
18. **Hyun-Wook Lee, P. Muralidharan, Riccardo Ruffo, Claudio M. Mari, Yi Cui and Do Kyung Kim.** Ultrathin Spinel LiMn2O4 Nanowires as High Power Cathode Materials for Li-Ion Batteries. American Chemical Society. *Nano Lett.* 2010, 10, 3852–3856.
19. **Popovich A.A., Van Cin Shen.** Issledovanie processa poluchenija katodnogo materiala Li2FeSiO4 putem kristallizacii iz amorfnoho sostojaniya // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. 2(171)/2013. С.102-108.  
**Попович А.А., Ван Цин Шен.** Исследование процесса получения катодного материала Li2FeSiO4 путем кристаллизации из аморфного состояния // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2(171)/2013. С.102-108.
20. **Skundin A.M., Brylev O.A.** Nanomaterialy v sovremennyh himicheskix istochnikah toka. Moskovskij Gosudarstvennyj Universitet imeni M.V. Lomonosova. Fakultet nauk o materialah / Metodicheskaja razrabotka k programmam povysheniya kvalifikacii. M. 2011. 44 s.  
**Скундин А.М., Брылев О.А.** Наноматериалы в современных химических источниках тока. Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова. Факультет наук о материалах / Методическая разработка к программам повышения квалификации. М. 2011. 44 с.
21. **Serbinovskij M.J.** Litievye istochniki toka: Konstrukcii, elektrody, materialy, sposoby izgotovleniya i ustrojstva dla izgotovleniya elektrodov. Rostov-na-Donu. Izdatelstvo Rostovskogo universiteta. 2001.78 s.  
**Сербиновский М.Ю.** Литиевые источники тока: Конструкции, электроды, материалы, способы изготовления и устройства для изготовления электродов. Ростов-на-Дону. Издательство Ростовского университета. 2001.78 с.
22. **Skundin A.M., Efimov O.N., Jarmolenko O.V.** Sovremennoe sostojanie i perspektivi pazvitiya issledovaniy litievyyh akkumulyatorov // Uspehi himii 71 (4) 2002. M. 2011. 378-398 s.  
**Скундин А.М., Ефимов О.Н., Ярмоленко О.В.** Современное состояние и перспективы развития исследований литиевых аккумуляторов // Успехи химии 71 (4) 2002. М. 2011. 378-398 с.
23. **Morachevskij A.G., Popovich A.A., Demidov A.I.** Primenenie litiya, ego splavov i soedinenij v himicheskix istochnikah toka (k 25-letiyu nachala proizvodstva litij-ionnyh akkumulyatorov) // Metallurgiya i materialovedenie. Nauchno-tehnicheskie vedomosti

SPbGPU. 1(238)/2016. 65-79 s.

**Морачевский А.Г., Попович А.А., Демидов А.И.** Применение лития, его сплавов и соединений в химических источниках тока (к 25-летию начала производства литий-ионных аккумуляторов) // *Металлургия и материаловедение. Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 1(238)/2016. 65-79 с.

24. **Gruzdev A.I.** Metodicheskie podhody k ocenke stepeni zaryazhennosti litij-ionnyh akkumulatornyh batarej // *Voprosy elektromexaniki* T. 149. 2015. 39-43 s.

**Груздев А.И.** Методические подходы к оценке степени заряженности литий-ионных аккумуляторных батарей // *Вопросы электромеханики* Т. 149. 2015. 39-43 с.

25. <http://electric-wheels.ru/batterie/chem-otlichaetsya-li-ion-akkumulyator-ot-li-pol#1>.

Что luchshe: litij-ionnyj ili litij-polimernyj akkumulyator?

Что лучше: литий-ионный или литий-полимерный аккумулятор?

26. <http://www.modelka.kiev.ua> Batarei: Litij-Fosfat protiv Litij-Polimera.

Батареи: Литий-Фосфат против Литий-Полимера.

27. **Rykovanov A., Romyancev S., Belyaev S.** Sovremennye Li-ion akkumulatory. Tipy i konstrukcija // *Komponenty i tehnologii*, 2013. № 11. S. 111–118.

**Рыкованов А., Румянцев С., Беляев С.** Современные Li-ion аккумуляторы. Типы и конструкция // *Компоненты и технологии*, 2013. № 11. С. 111–118.

28. **Novikov A.V., Burmistrov A.V.** Istoricheskiy obzor, sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya akkumulatornyh batarej. Novaya nauka: Istoriya stanovleniya, sovremennoe sostoyanie, perspektivy razvitiya: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (13 aprelya 2016 g, g. Saratov). V 2 ch. Ch.2 - Ufa: MСII OMEGA SAJNS, 2016. – S.43-60.

**Новиков А.В., Бурмистров А.В.** Исторический обзор, современное состояние и перспективы развития аккумуляторных батарей. Новая наука: История становления, современное состояние, перспективы развития: сборник статей Международной научно-практической конференции (13 апреля 2016 г, г. Саратов). В 2 ч. Ч.2 - Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2016. – С.43-60.

---

## ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Р.Н. НАБИЕВ, А.А. АБДУЛЛАЕВ, Г.И. ГАРАЕВ

В статье сравнительно проанализированы и обобщены этапы развития производства литиевых аккумуляторных батарей (АБ), их конструкции и технологии изготовления, химические элементы, используемые при изготовлении электродов и электролитов, параметры электродов в зависимости от химического состава, химические реакции, протекающие в них, характеристики зарядки и разрядки, области применения, преимущества и недостатки.

Выявлены преимущества использования литий-полимерных батарей в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), носимых и других электронных устройствах, поскольку их энергетические емкости по удельному весу и объему выше других.

**Ключевые слова:** аккумулятор, батареи, литий-ионный, литий-полимерный, электролит, электрод, зарядка, разрядка.

## DEVELOPMENT STAGES OF LITHIUM BATTERIES

R.N. NABIYEV, A.A. ABDULLAYEV, Q.I. QARAYEV

The article comparatively analyzed and summarized the stages of development of the production of lithium rechargeable batteries (AB), their designs and manufacturing technology, the chemical elements used in the manufacture of electrodes and electrolytes, the parameters of the electrodes depending on the chemical composition, chemical reactions occurring in them, charging and discharging characteristics, applications, advantages and disadvantages.

Due to the fact that the energy capacity by specific gravity and volume are higher, the advantages of using lithium-polymer batteries in unmanned aerial vehicles (UAVs), wearable and other electronic devices have been identified.

**Keywords:** accumulator, batteries, lithium-ion, lithium-polymer, electrolyte, electrode, charging, discharging.

---

*Redaksiyaya daxil olub:* 19.03.2019

*Tamamlama işlərindən sonra:* 13.09.2019

*Nəşrə qəbul edilib:* 20.09.2019