

УДК 54-126
МРНТИ 31.00.00
DOI 10.37238/1680-0761.2023.89(1).25

¹Карипуллова М.Р.*, ²Сулейменова Б.С.

¹М.Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан

²әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

*Корреспондент-авторы: beqqazym@mail.ru

ПВДФ НЕГІЗІНДЕ ҚАТТЫ КОМПОЗИТТІ ПОЛИМЕРЛІ ЭЛЕКТРОЛИТТЕР ЖАСАУДА ТОЛТЫРҒЫШТАР ТАҢДАУ

Аңдатпа. Қазіргі кезде альтернативті тоқ көздері үшін құрамында литий тұздары бар матрица ретінде полимер алынған қатты полимерлі электролиттер алу қызығушылық тудыруда. Осы мақсатта жұмыста иондық өткізгіштігі жоғары полимерлі электролиттер алынып, қаттама құрамының өзгеруіне байланысты композициялық полимерлі электролиттердің қасиеттері зерттелінді. Зерттеу барысында әртүрлі толтырғыштар негізде 8 түрлі құрамды КПЭ (ПВДФ–ПЭГ–LiF, ПВДФ–ПВП–LiF, ПВДФ–ПЭГ–Li₂SO₄, ПВДФ–ПВП–Li₂SO₄, ПВДФ–ПЭГ–NaCl, ПВДФ–ПВП–NaCl, ПВДФ–ПВП–Na₂SO₄, ПВДФ–ПЭГ–Na₂SO₄) алынды, алынған қаттамалардың қалыңдығы өлшеніп, электрохимиялық қасиеті зерттелінді. Иондық өткізгіштігі жоғары көрсеткішті келесі құрамды мембрана көрсетті: ПВДФ–ПЭГ–NaCl $\sigma = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$;

Алынған қатты полимерлі қаттамалардың морфологиялық (СЭМ әдісімен) және термогравиметриялық (ТГА) әдістермен беттік қабатын және термиялық қасиеттерін зерттеуге болады. Сонымен қатар алынған нәтижелерді литийлі химиялық тоқ көздері өндірісінде қолдануға болады.

Кілт сөздер: полимерлі электролит; иондық өткізгіштік; толтырғыштар; полимерлі матрица; батарея; термиялық тұрақтылық.

Кіріспе

Қазіргі таңда энергияның жетіспеушілігі үлкен мәселе тудырып отыр. Оның себебі Жер тұрғындарының санының артуынан, әлемдік экономика дамуы және отын ресурстарының шектеулі болуы сияқты бірнеше факторларға негізделген. Сонымен қатар дәстүрлі қайта қалпына келмейтін энергия көздері жаһандық жылыну, ластағыш заттардың эмиссиясы, табиғатты ақылсыз қолдану сияқты экологиялық сипатта мәселе туындатады. Осы аталған жағдайлар әлемге жаңа альтернативті энергия көздерін іздеу, табу жағдайын талап етіп отыр. Қазақстанда қайта қалпына келетін энергия көздерінің мәні зор, өйткені еліміздің біршама аудандарында (әсіресе оңтүстік) энергиямен жабдықтау тиімсіздігі - электр энергиясының жетіспеушілігінен болып табылады. Осыған қарамастан еліміз жел, күн және су энергетикасын тиімді қолдануда барлық мүмкіндіктерге ие, алайда алынған энергияны сақтауға қатысты мәселе туындайды. Бұл жағдайда альтернативті энергетика және литийлі тоқ көздерін дамыту аталған мәселені шешуге ықпал ете алады.

Бүгінгі күні әлем металдық литий анодынан және екіншілік литийлі тоқ көзі - литий-ионды аккумуляторлар (ЛИА) арқылы жаппай ЛТК өндіруді жүзеге асыруда. ЛТК және ЛИА жетілдірудің негізгі бағыты толыққанды қатты фазалы тоқ көздерін дамыту болып табылады. Осы мақсатта қазіргі уақытта қолданылатын сұйық және гель электролиттерін ауыстыруға қабілетті, тиімді қатты полимерлі электролиттік жүйелерді зерттеу өзекті болып табылады.



КПЭ-нің негізгі артықшылықтары-жақсартылған иондық өткізгіштігі, механикалық қасиеттері, электролит/электрод интерфейсында үлкен химиялық тұрақтылығы мен жұқа, берік және серпімді пленкалар түрінде композиттерді алу мүмкіндігі болып табылады [1, б.33-40]. Қазіргі уақытта полимерлік электролиттердегі полимерлі матрицада орналасқан литий тұздарына көбірек назар аударылуда [2, б.98-104]. Кейбір полимерлі электролиттердің кемшіліктері көбінесе литий иондарының өткізгіштігінен асып түсетін жоғары аниондық өткізгіштік болып табылады [3, б.366]. Сондықтан литий тұзының аниондары полимер тізбегіне егілген бірполяры литий өткізгіштігі бар полимерлі электролиттердің жаңа буыны жасалды [4, б.8]. Бұл литийде пассивті пленканың пайда болуын болдырмайды және LiV электрохимиялық өнімділігін жақсартады [5, б.4]. Полимер матрицасын таңдау КПЭ қалыптастырудың негізгі факторы болып табылады. Полимерлі электролиттер өндірісінде қолданылатын полимерлер аз ғана өткізгіштікке ие (10^{-12} - 10^{-10} Ом⁻¹·см⁻¹) және оқшаулағыш болып табылады [6, б.349-354]. КПЭ полимері үшін Li⁺ үйлестіре алатын, тұздың диссоциациялануын жеңілдететін жоғары электронды тығыздықтағы гетероатомдар болуы керек. Әдебиеттерде полиэтилен оксиді (ПЭО), полиакрилонитрил (ПАН), полиметилметакрилат (ПММА) және поливинилиденфторид (ПВДФ) сияқты полимерлер жиі қолданылады [7, б.26]. Соңғы уақытқа дейін ПЭО олардың ішіндегі ең танымалы болды. Бұл оның литий иондарына қатысты жоғары үйлестіру қабілетіне және литий электродына қатысты тұрақтылығына байланысты [8, б.122]. Алайда, қажетті иондық өткізгіштік (10^{-3} - 10^{-4} Ом⁻¹·см⁻¹) тек 80-1000°C жоғары температурада және 10^{-7} - 10^{-8} Ом⁻¹·см⁻¹ бөлме температурасында көрінеді. ПАН негізіндегі композиттер иондық өткізгіштіктің жақсарғанын көрсетті. 10^{-3} Ом⁻¹·см⁻¹ қоршаған орта температурасында үлкен беріліс коэффициенті 0,6 және электрохимиялық тұрақтылық <4,5 В дейін, бірақ, екіншіше орай, мұндай жүйе литий анодының пассивациясын тудырады. ПММА мен КПЭ-нің негізгі кемшілігі-механикалық беріктіктің жеткіліксіздігі. Қазіргі уақытта ең перспективалы КПЭ матрицасы ПВДФ болып табылады. Салыстырмалы түрде $\epsilon = 8,4$ құрайтын жоғары диэлектрлік өткізгіштік литий тұздарының иондалуын қамтамасыз етеді және заряд тасымалдаушы концентрациясының жоғарылауына ықпал етеді. Сонымен қатар, полимер күшті электронды акцепторлық топтардың арқасында анодпен үйлесімді [9, б.76-81]. Сонымен қатар ПВДФ негізіндегі КПЭ жақсы механикалық беріктікке, термиялық тұрақтылыққа, пленка түзу қабілетіне және электролиттің жоғары сіңу жылдамдығына ие [10, б.2659-2678]. Осылайша жүргізілген әдеби шолу нәтижелері аталған жұмыстың өзектілігін, маңыздылығын көрсетеді.

Тәжірибелік бөлім

Жұмысты жүргізу барысында келесідей материалдар мен реактивтер қолданылды: н-метилперриллидонда ерітілген 20%-дық поливинилиденфторид ерітіндісі; полиэтиленгликоль (ПЭГ), поливинилпироллидон (ПВП), LiF; Li₂SO₄; NaCl; Na₂SO₄ тұздары. Барлық реактивтер «ХТ» маркалы болып табылады.

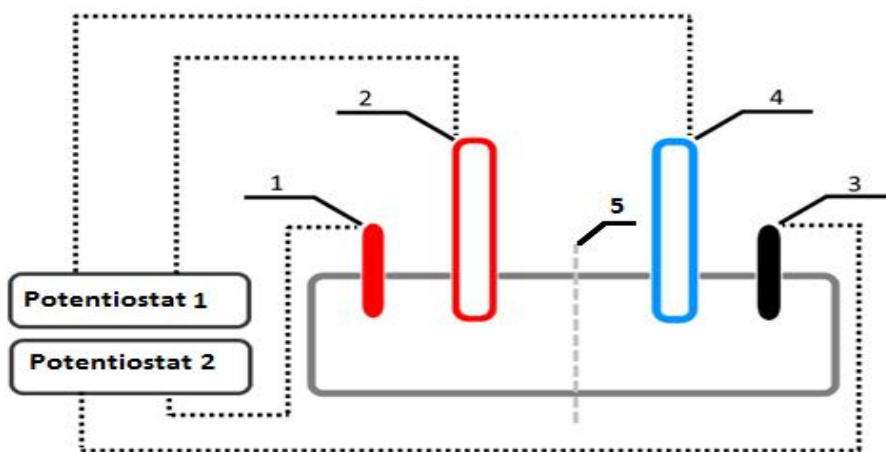
Алынған қабықшалардан еріткіштер мен ылғалды жою мақсатында термиялық өңдеу үшін ШС-80-01 МК СПУ кептіру шкафы пайдаланылды. Толтырғыш бөлшектерін полимер ерітіндісінің көлемінде біркелкі тарату үшін Heidolph MR Hei-Standard жылытуы бар магнитті араластырғышы пайдаланылды. Электрохимиялық өлшемдер бөлме температурасында AUTOLAB-30 компьютерлік басқару станциясы бар потенциостат-гальваностат құрылғысында жүргізілді. Композициялық полимерлі электролит мембраналарының иондық өткізгіштігін анықтау барысында олардың қалыңдығын өлшеу қажет. Ол үшін бөлік саны 0,01 мм тең микрометр қолданылды. Композициялық мембраналар полимердің органикалық ерітіндісін дайындап, кейін еріткіштің толық булануы үшін 3 сағат кептіргіш шкафта кептірілуі арқылы алынды. Полимердің органикалық ерітіндісі келесідей дайындалды: 3 мл н-метилперриллидонда ерітілген 20%-дық ПВДФ ерітіндісі, 0,1 г мөлшерде ПЭГ/ПВП және осы мөлшерде әр түрлі толтырғыштар қосылды. Алынған масса жылытуы бар магнитті

араластырғыштың қарқынды жұмыс жасауы негізінде 1 сағат шамасында ерітілді. Толтырғыштар ретінде LiF , Li_2SO_4 , NaCl , Na_2SO_4 қолданылды. 1-суретте КПЭ дайындау барысы схема түрінде көрсетілген.



1-сурет - Композитті қабықшаларды алу схемасы

Литий иондары бойынша полимерлі электролиттердің иондық өткізгіштігін анықтау үшін схемасы суретте бейнеленген арнайы ұяшықта өлшеулер жүргізілді. Иондық өткізгіштікті анықтайтын ұяшық екі тефлон тығыздағышының арасында тығыздалған, ортасында полимерлік мембрана орналасатын екі тефлон камерасынан тұрады. Екі камераның жұмыс кеңістігіне электролит толтырылды және электродтар орналастырылды. Электролит ретінде $0,5\text{M LiCl}$ және NaNO_3 ерітіндісі алынды. Электрод ретінде жұмысшы платина электроды қолданылды. Иондық өткізгіштікті анықтайтын жұмысшы ұяшық 2-суретте көрсетілген.



1 – жұмысшы платина электроды; 2, 4 – салыстырмалы хлор - күміс электроды;
3 – көмекші платина электроды; 5 – КПЭ

2-сурет - Сулы электролиттегі КПЭ иондық өткізгіштігін анықтауға арналған электрохимиялық ұяшық схемасы



Полимерлі мембраналардың иондық өткізгіштігін анықтау үшін Потенциостат Elins P8 электрохимиялық әмбебап қондырғысы пайдаланылды. Гальваностатикалық импульстік әдіс синтезделген полимерлі матрицаның көлемдік кедергісін анықтау үшін таңдап алынды, себебі осы әдіспен электрод/электролит шекарасындағы кедергінің үлесін қоспағандағы полимерлі мембрананың кедергісін бағалауға болады. Гальваностатикалық импульстік әдіс біздің уақыттағы зерттелген импеданс спектроскопиясына негізделген әдістермен салыстырғанда түбегейлі жаңа болып табылады. Қазіргі кезде жаңа әдістеме бойынша әдістер әзірлеу және оны тереңдетіп зерттеу жұмыстары жүргізілуде.

Алынған полимерлі мембраналардың иондық өткізгіштігі сол мембрананың қалыңдығын және жұмысшы көлемін (тефлон тығыздамаларының көлденең қимасы) ескере отырып алынған мембрананың көлемдік кедергісі бойынша есептелінді. Мембраналардың көлемдік кедергісі гальваностатикалық импульстік әдіс арқылы сулы электролитте анықталынды. Өлшеу бөлме температурасында жүргізілді, термометр көрсеткіші 25°C болды.

Есептеу әдісімен полимерлі мембраналардың иондық өткізгіштігінің мәндері есептелді. Есептеулер Ом заңына негізделінді:

$$R = \frac{\Delta E}{I} \quad (1)$$

мұндағы R - тізбектің сыртқы элементтерінің кедергісі, Ом;

ΔE - тізбек кернеуі, В;

I - тоқ күші, А.

Иондық өткізгіштігі келесі (2) формула бойынша есептелінді:

$$S = \frac{l}{R \times \sigma} \quad (2)$$

мұндағы σ - иондық өткізгіштігі, Ом⁻¹см⁻¹;

l - мембрана қалыңдығы, см;

S-жұмыс көлемі, барлық мембрана үшін 1,77 см² тең.

Нәтижелер мен талқылау

Химиялық тоқ көздеріне арналған электролиттерге қойылатын талаптарға, соның ішінде литийлі тоқ көздеріне арналған электролит пен электродтар арасында литий иондарының қажетті деңгейде тасымалдау жылдамдығын сақтауы және кедергіні жоғалтуды азайту мақсатында жеткілікті иондық өткізгішке ие болуы шарт. Жоғары иондық өткізгіштігі бар композициялық полимерлі электролиттердің алынуын талдау үшін бірқатар мәселелерді қарастыру қажет болды, соның ішінде:

1. Полимерлі электролиттер құрамын толтырғыштарды алмастыра отыра синтездеу арқылы анықтау;
2. Толтырғыштарды түрлендіру арқылы композициялық полимерлі электролиттердің тиімді құрамын алу;
3. Алынған полимерлі қабықшалардың электрохимиялық және морфологиялық қасиеттерін зерттеу.

Композиттерді синтездеу әдісі

Полимерлі электролиттің тиімді құрамын анықтау үшін бірнеше толтырғыштар пайдаланылып, құрамы 8 түрлі КПЭ жұқа қабықшалары синтезделініп алынды. КПЭ синтезі жүргізілген мембраналардың белгіленуі мен құрамының матрицасы 1-кестеде келтірілген.

1-кесте - Синтезделіп алынған композиттердің құрамы және белгіленуі

№	Негізгі полимер	Қосымша полимер	Толтырғыш
1	ПВДФ	ПЭГ	LiF
2			Li_2SO_4
3			NaCl
4			Na_2SO_4
5	ПВП	ПВП	LiF
6			Li_2SO_4
7			NaCl
8			Na_2SO_4

КПЭ алу әдісі бойынша полимердің толтырғыш бөлшектерімен ерітіндісі бөлшектерді біркелкі үлестіруге арналған жылытуы бар магниттік араластырғышпен қарқынды араластырылды, бірақ мембрананы қарастыру кезінде мембрананың ортасында, яғни, электрохимиялық қасиеттерін зерттеу аймағында, бөлшектердің көп бөлігі шоғырланғаны байқалды. Байқалған заңдылық араластыру кезіндегі ортадан тепкіш күштердің жұмыс істеу әсерінен пайда болып, және кептіру кезінде біраз уақытқа дейін басылмауының нәтижесінде пайда болады деп болжанды. Өйткені, бұл заңдылық барлық композитте көрініс тапты және қайталау кезінде түзетулер енгізілмеді. Композит құрамына кіретін компонент бөлшектері ірілеу болған жағдайда қосымша механикалық ұсақтау процесі жүргізілді. Нәтижесінде мембрана алу барысында компоненттердің жақсырақ еруі байқалды.

Алынған полимерлі электролит 3-суретте көрсетілген. Әр түрлі қалыңдықтағы ақ-сары түсті, серпімді полимерлі қабықшалар алынды.

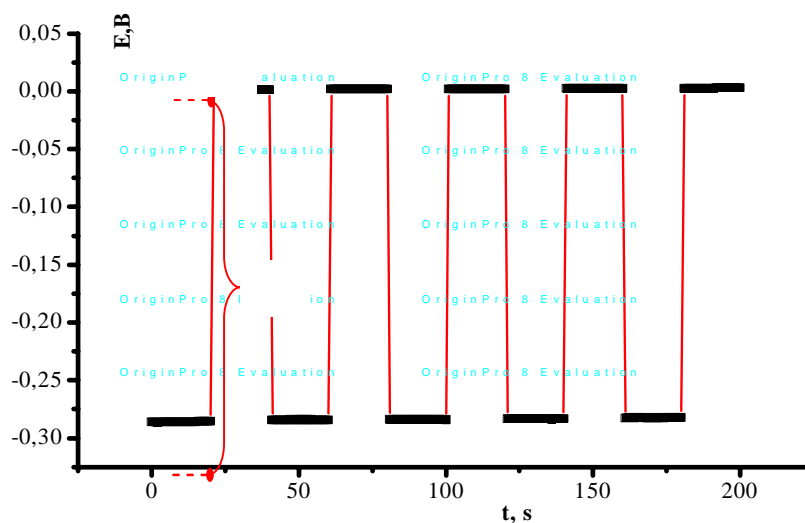
Әрі қарай, алынған КПЭ қабықшаларының литий иондарына қатысты иондық өткізгіштігі зерттелінді.



3-сурет - КПЭ қабықшалары

Композициялық полимерлі электролиттердің иондық өткізгіштігін зерттеу

Синтезделген полимерлі қабықшалардың иондық өткізгіштігін анықтау үшін алынған нәтижелерді өңдеу «Elins P8» қондырғысында түсірілген импульстік гальваностатикалық қисықтары арқылы жүргізілді, және ORIGIN 8 бағдарламасында сақталынды. Импульстік гальваностатикалық қисықтарды түсіріп алғаннан кейін импульстің басталуы мен аяқталуы кезіндегі потенциалдардың тік секірісі бойынша омдық кернеудің төмендеуі анықталынды. Суретте көрінгендей омдық және фарадейлік құраушылар қисықтарының шыңдары жазық (тегіс) болғандықтан мембрананы тұрақты, ал нәтижелерді сенімді деп санауға болады. Ол үшін мембрана поляризация және релаксацияның бірнеше цикліне өткізілді және поляризациялық ток тығыздығы артып отырды (4-сурет).

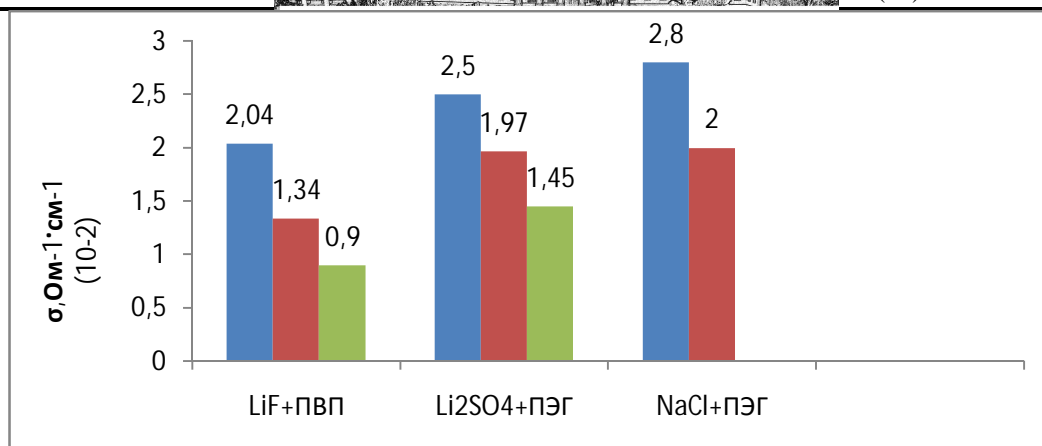


4-сурет - Сулы электролитте алынған полимерлік мембрананың импульстік гальваностатикалық қисығы

2-кестеде полимерлі мембрананың иондық өткізгіштігін анықтау үшін есептеулер көрсетілген. 4-суретте көрсетілгендей, нәтижелердің аппроксимациясы омдық потенциалдың секірісі мен тоқ тығыздығы тәуелділігінде графикалық әдіспен жүзеге асырылды.

2-кесте - КПЭ иондық өткізгіштігін есептеу

Толтырғыш	$l, \text{см}$	$I, \text{А}$	$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$	$\Delta E, \text{В}$	$R, \text{Ом}$	$\sigma, \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ (10^{-2})
ПВДФ+LiF+ПВП	0,0038	-0.2	-0.351	-0.330	-0.021	0.105	2.04
		-0.15	-0.355	-0.331	-0.024	0.16	1.34
		-0.1	-0.353	-0.331	-0.022	0.22	0.9
ПВДФ+Li ₂ SO ₄ +ПЭГ	0,0049	-0.2	-0.353	-0.331	-0.022	0.11	2.5
		-0.15	-0.349	-0.328	-0.021	0.14	1.97
		-0.1	-0.346	-0.327	-0.019	0.19	1.45
ПВДФ+NaCl+ПЭГ	0,0057	-0.2	-0.367	-0.344	-0.023	0.115	2.8
		-0.15	-0.367	-0.343	-0.024	0.16	2.0



5-сурет - Өртүрлі толтырғышы бар КПЭ иондық өткізгіштіктерінің салыстырмалы гистограммасы

5-суретте бөлме температурасында синтезделген 3 түрлі толтырғыш материалы бар КПЭ иондық өткізгіштіктері шамалары салыстырылды. Суретте көрініп тұрғандай ең жоғары көрсеткішті ПВДФ+NaCl+ПЭГ толтырғышы қосылған КПЭ көрсетті, оның иондық өткізгіштігі $2,8 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ тең болды. Одан кейін $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ өткізгіштігімен Li_2SO_4 +ПЭГ қосылған КПЭ болды.

Қорытынды

Сонымен, жұмыс барысында әртүрлі толтырғыштар негізде 8 түрлі құрамды (ПВДФ–ПЭГ–LiF, ПВДФ–ПВП–LiF, ПВДФ–ПЭГ–Li₂SO₄, ПВДФ–ПВП–Li₂SO₄, ПВДФ–ПЭГ–NaCl, ПВДФ–ПВП–NaCl, ПВДФ–ПВП–Na₂SO₄, ПВДФ–ПЭГ–Na₂SO₄) КПЭ алынды;

1. Ең жоғары көрсеткішті келесі құрамды мембрана көрсетті: ПВДФ–ПЭГ–NaCl-иондық өткізгіштігі $\sigma = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$.

2. Алынған қатты полимерлі қаптамалардың морфологиялық (СЭМ) және термогравиметриялық (ТГА) әдістермен беттік қабатын және термиялық қасиеттерін зерттеуге болады.

3. Алынған нәтижелерді литийлі химиялық тоқ көздері өндірісінде қолдануға болады.

ӘДЕБИЕТ

[1] Мухаметова Л.Р. Инновации в области накопления энергии, энергетического оборудования, технологий / Л.Р. Мухаметова, И.Г. Ахметова, В.Стриелковский. – 2019. – Том 21, № 46. – С. 33-40.

[2] Гедири А. Возобновляемые источники энергии — новая энергетическая революция / А. Гедири // Вестник Российского университета Дружбы народов. Серия: Экономика. – 2021. – Том 29, № 1. – С. 98-104.

[3] Ментбаева А. Ультратонкое глиносодержащее послойное разделительное покрытие повышает производительность литий-серных аккумуляторов / Ментбаева А., Сухишвили С., Найзакараев М., Батыргали Н., Сейтжан З., Бакенов З. // *Electrochimica Acta*. – 2021. – Т. 366. – С. 137-154.

[4] Ли Б. Новый иерархически пористый сепаратор, модифицированный полипиррольной сферой, для литий-серных аккумуляторов / Ли Б., Сунь З., Чжао Ю., Бакенов З. // *Полимеры*. – 2019. – Том 11. – С. 8.

[5] Ли Ю. Разработка высокоэффективного композитного сепаратора из цеолита/полиимида для литий-ионных аккумуляторов / Ли Ю., Ван Х., Лян Дж., Ву К., Сюй Л., Ван Дж. // *Полимеры*. – 2020. – Том 12. – С. 4.



[6] Косова Н.В. Высокодисперсные катодные материалы для литий-ионных аккумуляторов, полученные методом механической активации / Н.В. Косова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2004. – № 12. – С. 349-354.

[7] Ли Пин Т. Разработка твердых полимерных электролитов для электрохимических устройств. Молекулы / Ли Пин Т., Мохд Х.Б., Абдул К. А. – 2021. – 26 (21): 6499.

[8] Вэй З. Улучшение электропроводности твердого полимерного электролита путем зернового риформинга. Наноразмерное разрешение 15 / Вэй З., Рен Ю., Ван М. – 2020. – С. 122.

[9] Андреев О.Л. Композитные литийпроводящие полимерные электролиты на основе сополимера PVDF- GFP и твердого электролита $Li_{1.3}Al_{0.3}Ti_{1.7}(PO_4)_3$ / Андреев О.Л., Дружинин К.В., Ро С.В. // Электрохимическая энергетика. – 2009. – № 2. – С. 76-81.

[10] Цинцзян Юй. Последние достижения в области композитных твердополимерных электролитов для полностью твердотельных литий-металлических батарей / Цинцзян Юй., Кэчэн Дж., Цуйлин Юй., Сяньцзинь Ч., Чуаньцзянь Ж., И Яо., Бинь Цзян., Хуэйцзинь Лонг. *Chinese Chemical Letters*. V. 32, выпуск 9. – 2021. – С. 2659-2678.

REFERENCES

[1] Mukhametova, L.R., Akhmetova, I.G., Strielkovsky, V. (2019). *Innovacii v oblasti nakoplenija jenergii, jenergeticheskogo oborudovanija, tehnologij* [Innovations in the field of energy storage, Power Equipment, Technology]. 21.4, 33-40. [in Russian].

[2] Gediri, A. (2021). *Vozobnovljaemye istochniki jenergii - novaja jenergeticheskaja revoljucija* [Renewable energy sources - a new energy revolution], *Vestnik Rossijskogo universiteta Druzby narodov. Serija: Jekonomika - Bulletin of the Peoples Friendship University of Russia. Series: Economy*. 29.1, 98-104. [in Russian].

[3] Mentbayeva, A., Sukhishvili, S., Naizakarayev, M., Batyrgali, N., Seitzhan, Z., Bakenov, Z. (2021). *Ul'tratonkoe glinosoderzhashhee poslojnoe razdelitel'noe pokrytie povyshaet proizvoditel'nost' litij-sernyh akkumuljatorov* [Ultrathin clay-containing layer-by-layer separator coating enhances performance of lithium-sulfur batteries] // *Electrochimica Acta*. 366. 137454. [in Russian].

[4] Li, B., Sun, Z., Zhao, Y., Bakenov, Z. (2019). *Novyj ierarhicheski poristyj separator, modificirovannyj polipirrol'noj sferoj, dlja litij-sernyh akkumuljatorov* [A Novel Hierarchically Porous Polypyrrole Sphere Modified Separator for Lithium-Sulfur Batteries] // *Polimery - Polymers*. 11.8. [in Russian].

[5] Li, Y., Wang, X., Liang, J., Wu, K., Xu, L., Wang, J. (2020). *Razrabotka vysokoeffektivnogo kompozitnogo separatora iz ceolita/poliimida dlja litij-ionnyh akkumuljatorov* [Design of a high performance zeolite/polyimide composite separator for lithium-ion batteries] // *Polimery - Polymers*. 12. 4. [in Russian].

[6] Kosova, N. V. (2004). *Vysokodispersnye katodnye materialy dlja litij-ionnyh akkumuljatorov, poluchennye metodom mehanicheskoj aktivacii* [Highly dispersed cathode materials for lithium-ion batteries obtained using mechanical activation] // *Himija v interesah ustojchivogo razvitija- Chemistry in the interests of sustainable development*. 12, 349-354. [in Russian].

[7] Li, Ping T., Mohd, H.B., Abdul, K. A. (2021). *Razrabotka tverdyh polimernyh jelektrolitov dlja jelektrohimicheskikh ustrojstv* [Development on Solid Polymer Electrolytes for Electrochemical Devices] *Molekuly - Molecules*. 26 (21): 6499. [in Russian].

[8] Wei, Z., Ren, Y., Wang, M. et al. (2020). *Uluchshenie jelektroprovodnosti tverdogo polimernogo jelektrolita putem zernovogo riforminga* [Improving the Conductivity of Solid Polymer Electrolyte by Grain Reforming]. *Nanorazmernoe razreshenie - Nanoscale Res Lett* 15, 122. [in Russian].

[9] Andreev, O.L., Druzhinin, K.V., Roh, S.W. (2009). *Kompozitnye litijprovodjashhie polimernye jelektrolity na osnove sopolimera PVDF- GFP i tverdogo jelektrolita*



Li1.3Al0.3Ti1.7(PO4)3 [Composite lithium—conducting polymer electrolytes based on PVDF-GFP copolymer and solid electrolyte Li1.3Al0.3Ti1.7(PO4)3] // Jelektrohimicheskaja jenergetika - Electrochemical power engineering. 2, 76-81. [in Russian].

[10] Qingjiang, Yu., Kecheng, J., Cuiling, Yu., Xianjin, Ch., Chuanjian, Zh., Yi, Yao., Bin, Jiang., Huijin, Long. (2021). *Poslednie dostizhenija v oblasti kompozitnyh tverdopolimernyh jelektrolitov dlja polnost'ju tverdotel'nyh litij-metallicheskih batarej [Recent progress of composite solid polymer electrolytes for all-solid-state lithium metal batteries] Chinese Chemical Letters. V. 32. Issue 9, 2659-2678. [in Russian].*

Карипуллова М.Р., Сулейменова Б.С.

ВЫБОР НАПОЛНИТЕЛЕЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТВЕРДЫХ КОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ПВДФ

Аннотация. В настоящее время интерес для альтернативных источников тока представляет получение твердых полимерных электролитов, из которых получен полимер в виде матрицы, содержащей соли лития. С этой целью в работе были получены полимерные электролиты с высокой ионной проводимостью и изучены свойства композитных полимерных электролитов в связи с изменением состава упаковки. В ходе исследования были получены 8 различных составов КПЭ (ПВДФ–ПЭГ–LiF, ПВДФ–ПВП–LiF, ПВДФ–ПЭГ–Li₂SO₄, ПВДФ–ПВП–Li₂SO₄, ПВДФ–ПЭГ–NaCl, ПВДФ–ПВП–NaCl, ПВДФ–ПВП–Na₂SO₄, ПВДФ–ПЭГ–Na₂SO₄) на основе различных наполнителей, были измерены толщины полученных пленок и изучены электрохимические свойства. Показатель высокой ионной проводимости показал мембрана следующего состава: ПВДФ–ПЭГ–NaCl $\sigma = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$;

Морфологическими (метод СЭМ) и термогравиметрическими (ТГА) методами можно исследовать поверхностный слой и термические свойства полученных твердых полимерных покрытий. Также полученные результаты могут быть использованы при производстве литиевых химических источников тока.

Ключевые слова: полимерный электролит; ионная проводимость; наполнители; полимерная матрица; аккумулятор; термическая стабильность.

Karipullova Malika, Suleimenova Balnur

THE CHOICE OF FILLERS IN THE MANUFACTURE OF SOLID COMPOSITE POLYMER ELECTROLYTES BASED ON PVDF

Annotation. Currently, the production of solid polymer electrolytes, from which a polymer in the form of a matrix containing lithium salts is obtained, is of interest for alternative current sources. For this purpose, polymer electrolytes with high ionic conductivity were obtained and the properties of composite polymer electrolytes were studied in connection with the change in the composition of the packaging. During the study, 8 different compositions of KPE were obtained (PVDF–PEG–LiF, PVDF–PVP–LiF, PVDF–PEG–Li₂SO₄, PVDF–PVP–Li₂SO₄, PVDF–PEG–NaCl, PVDF–PVP–NaCl, PVDF–PVP–Na₂SO₄, PVDF–PEG–Na₂SO₄) based on of various fillers, the thicknesses of the resulting films were measured and the electrochemical properties were studied. The indicator of high ionic conductivity was shown by the membrane of the following composition: PVDF-PEG-NaCl $\sigma = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$;

Morphological (SEM) and thermogravimetric (TGA) methods can be used to study the surface layer and thermal properties of the obtained solid polymer coatings. Also, the results obtained can be used in the production of lithium chemical current sources.

Keywords: polymer electrolyte; ionic conductivity; filler; polymer matrix; battery; thermal stability.