

FTAMP 61.69.35: 31.15.33.

А. Қонаров¹ – негізгі автор, ©
Б. Мырзахметов², А. Рапиков³, А. Даулетбай⁴

¹PhD, қауымдас. профессор, ^{2,4}PhD, ³Зерттеуші технолог

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0001-9352-8602> ²<https://orcid.org/0000-0002-6828-0649>³<https://orcid.org/0009-0001-0100-0956> ⁴<https://orcid.org/0000-0003-0157-1449>^{1,2,3,4}Назарбаев Университеті,

Астана қ., Қазақстан

¹aishuak.konarov@nu.edu.kz<https://doi.org/10.55956/PXTX1347>

ГИБРИДТІ МЫРЫШ-ИОНДЫ АККУМУЛЯТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН ИННОВАЦИЯЛЫҚ ГИДРОГЕЛЬ ЭЛЕКТРОЛИТТЕР

Аңдатпа. Электр көліктері мен жаңартылатын энергия көздеріне сұраныстың артуы литий-ионды батареяларға деген қажеттілікті күшейтті. Алайда, өндірістің жоғары құны мен қауіпсіздік мәселелері баламалы энергия сақтау жүйелерін зерттеуді талап етеді. Бұл зерттеу шеңберінде гибриді сулы мырыш-ионды аккумуляторларға арналған гидрогель электролиттерінің синтезі мен қасиеттері қарастырылды. Гидрогельдер электролит және сепаратор ретінде қолданылып, олардың құрылымдық тұрақтылығы мен иондық өткізгіштігі зерттелді. Полимерлі айкаса байланыстардың әсері мен сутектік байланыстарының реттелуі арқылы гидрогельдердің электрохимиялық тұрақтылығы 2 В-қа дейін арттырылды. Сынақ нәтижелері гидрогельдердің төмен температуралық ортада да тиімді жұмыс істейтінін көрсетті. Бұл зерттеу гидрогель электролиттерін жетілдіру арқылы қауіпсіз әрі тиімді аккумуляторлар әзірлеуге мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: гидрогель, мырыш-ионды аккумулятор, иондық өткізгіштік, электрохимиялық тұрақтылық, энергия сақтау жүйелері, аккумулятор қауіпсіздігі.



Қонаров, А. Гибриді мырыш-ионды аккумуляторларға арналған инновациялық гидрогель электролиттер [Мәтін] / А. Қонаров, Б. Мырзахметов, А. Рапиков, А. Даулетбай // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №2(88). – Б.156-164. <https://doi.org/10.55956/PXTX1347>

Кіріспе. Электр көліктеріне деген сұраныстың артуы және жаңартылатын энергия көздеріне жаһандық көшу энергия сақтау жүйелерінің, әсіресе литий-ионды батареялардың (ЛИБ) маңыздылығын айтарлықтай арттырды [1,2]. Литий – жер қыртысында сирек кездесетін әрі қайта қалпына келмейтін элемент болғандықтан, оның аккумулятор өндірісінде кеңінен қолданылуы шикізат құнының өсуіне алып келеді. Дегенмен, ЛИБ жоғары энергия сыйымдылығы, жеңіл салмағы және ұзақ қызмет ету мерзімі арқасында кеңінен қолданылады. Алайда бұл технология бірнеше маңызды мәселелерге тап болуда. Олардың бірі – өндіріс шығындарының жоғарылығы, себебі литий ылғалға сезімтал болғандықтан, төмен ылғалдылықтағы арнайы өндіріс жағдайларын қажет етеді. Сонымен

қатар, жанғыш органикалық электролиттердің қолданылуы батареялардың өрт қаупін арттырып, қауіпсіздікке елеулі қатер төндіреді.

Осы мәселелерді шешу мақсатында балама металл иондарымен (Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} , Zn^{2+} және т.б.) үйлескен сулы электролиттер ұсынылған [3,4]. Олардың ішінде гибриді сулы мырыш-ионды аккумуляторлар перспективалы энергия сақтау шешімі ретінде қарастырылуда. Сулы электролиттерді пайдалану өндіріс процесін жеңілдетіп, қауіпсіздікті арттырады. Сонымен қатар, мырыш – арзан, тұрақты және мол таралған анод материалы, оның жоғары теориялық сыйымдылығы ($820 \text{ mA} \cdot \text{сағ} \cdot \text{г}^{-1}$ және $5855 \text{ mA} \cdot \text{сағ} \cdot \text{см}^{-3}$) [5] және төмен тотығу-тотықсыздану потенциалы ($-0,763 \text{ В}$, стандартты сутегі электродына қатысты (ССЭ)) бар. Алайда, бұл жүйенің кең таралуына бірнеше факторлар кедергі келтіруде, олардың қатарында электролиттің ағу қаупі, мырыш дендриттерінің түзілуі, коррозия және электрохимиялық тұрақтылық терезесінің (ЭТТ) тарлығы ($1,23 \text{ В}$, ССЭ-на қатысты) және жанама реакциялар. Бұл кемшіліктердің басым бөлігі электролит құрамына байланысты болғандықтан, оларды электролиттік инженерия арқылы шешуге болады [6-10].

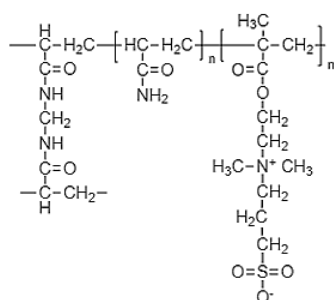
Электролиттік инженерияның перспективалы бағыттарының бірі – «су-тұз» қағидатына негізделген әдіс. Бұл әдіс тұз концентрациясын жоғарылату арқылы су молекулаларын тұрақтандырып, ЭТТ-ты шамамен 3 В -қа дейін кеңейтуге мүмкіндік береді. Дегенмен, жоғары концентрациядағы тұздың қажеттілігі жүйенің жалпы құнын арттырып, иондық өткізгіштікті төмендетеді [11-15]. Осы шектеулерді еңсеру мақсатында зерттеушілер гидрогель электролиттерін ұсынды. Бұл материалдар судың мөлшерін реттеу және иондық тасымалды бақылау арқылы тиімді балама ретінде қарастырылады.

Гидрогельдер – үш өлшемді полимерлі желі түзетін және химиялық немесе физикалық байланыстар арқылы құрылымданған материалдар [16,17]. Олар аккумуляторларда қолданылу үшін бірқатар артықшылықтарға ие: арзан, экологиялық қауіпсіз, электролиттің ағу қаупін төмендетеді, химиялық және механикалық тұрақтылыққа ие. Сонымен қатар, гидрогельдер бір уақытта сепаратор мен электролит рөлін атқара алады, бұл судың мөлшерін азайтып, ЭТТ кеңейтуге және функционалдық түрлендіруге (өзін-өзі қалпына келтіру, икемділік, механикалық беріктік және т.б.) мүмкіндік береді.

Гидрогельдер көлденең байланысқан полимер тізбектері мен ұсталып қалған судан тұратын 3D желілік құрылымға ие. Айқастыра байланысу дәрежесі олардың механикалық және электрохимиялық қасиеттерін айқындайды. Жоғары дәрежелі айқастыра байланысқан гидрогельдер механикалық беріктігі жоғары болғанымен, серпімділігі төмендейді. Керісінше, айқастыра байланысу дәрежесі төмен гидрогельдер жоғары икемділікке ие, бірақ құрылымдық тұрақтылығы төмендеуі мүмкін [18]. Гидрогельдердің синтезі көбінесе физикалық немесе химиялық айқастыра байланысу арқылы жүзеге асырылады. Поливинил спирті (ПВС) негізіндегі гидрогельдер физикалық байланыстар арқылы түзіледі, ал полиакриламид (ПАА) және полиакрил қышқылы (ПАК) негізіндегі гидрогельдер химиялық айқастыра байланысу арқылы байланысады [19,20]. Гомополимерлердің химиялық байланысуы арқылы сополимерлер түзіліп, олардың электрохимиялық және механикалық сипаттамалары жақсарады.

Зерттеу шарттары мен әдістері. Айқаса байланысқан полимер акриламидтен (АА), [2-(метакрилоилокси) этил] диметил-(3-сульфопропил) (DMAPS) және N, N'-метиленбисакриламидтен (МБА) тұрады. АА және

DMAPS мономерлер, ал МБА айқастырғыш агент болып табылады. Айқаса байланысқан полимердің құрылымы 1-суретте көрсетілген. Көлденең байланысқан полимер гель электролиті сепаратор ретінде де, электролит ретінде де пайдалануға арналған. Ол теріс (анод) және оң (катод) электродтар арасында орналасады. Сепаратор ретінде ол электродтардың тікелей жанасуын болдырмайды, ал электролит ретінде иондардың бір электродтан екіншісіне немесе электродтан электролитке және керісінше өтетін ортаны қамтамасыз етеді. АА амидтік тобы, DMAPS-тің катиондық және аниондық топтары жоғары иондық өткізгіштікті және көлденең байланысқан полимер гель электролитінде суды ұстаудың күшті қабілетін қамтамасыз етеді. Жоғары иондық өткізгіштігінің арқасында өнертабыс электрохимиялық реакцияның жоғары қайтымдылығына және гидрофильді құрылымда судың сақталуына байланысты жоғары электрохимиялық тұрақтылыққа ие.



Сурет 1. Айқаса байланысқан полимердің құрылымы

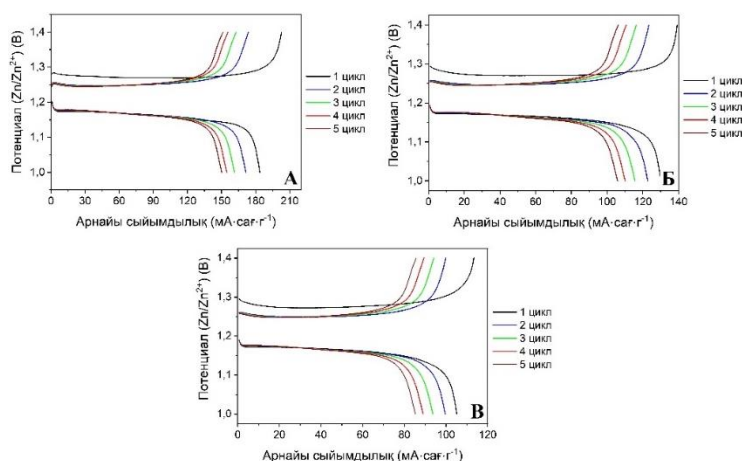
DMAPS-АА гидрогелінің синтезі. 1 г АА мономер ұнтағы және 1 г DMAPS мономер ұнтағы 8 мл ионсыздандырылған суға қосылды және толық ерігенше араластырылды. Содан кейін ерітіндіге 0,001 г айқастырғыш қосылып, ерітілді. Ерітінді еріген оттегіні кетіру үшін кем дегенде 30 минут бойы үздіксіз араластыра отырып, таза аргонмен мұқият үрленді. Содан кейін ерітіндіге аммоний персульфатының бос радикалды полимерленуінің инициаторынан 0,005 г қосылып, ерітілді және соңғы ерітінді 25°C-тан аспайтын температурада 1 сағат бойы араластырылды. Содан кейін, бөлме температурасында ультрадыбыстық сулы моншада 15 минут газсыздандырылды. Газсыздандырылған ерітінді қалыңдығы 0,5 мм шыны қалыпқа құйылып, 60°C температурада 3 сағат ұсталды. Алынған айқаса байланыстырылған сополимерлі гель ауада кептіріліп, кептірілген қабықша алынды да, одан әрі ол электролит ерітіндісіне 24 сағатқа батырылды.

ПВС-АА гидрогелінің синтезі. Массалық үлесі 2% және 4% ПВС алдымен толық ерігенше кемінде 2 сағат қатты араластыру кезінде 75°C ионсыздандырылған суда дисперстелді, содан кейін бөлме температурасына дейін салқындатылды. Осыдан кейін ерітіндіге 0,1 масса% (АА-ға қатысты) айқастырғыш зат қосылып, ерітілді. Ерітіндідегі еріген оттегін кетіру үшін кем дегенде 30 минут бойы үздіксіз араластыра отырып, таза аргонмен мұқият тазартылды. Содан кейін ерітіндіге аммоний персульфатының бос радикалды полимерленуінің инициаторы 0,5% (АА-ке қатысты) шамада қосылып, ерітілді және соңғы ерітінді 25°C-тан аспайтын температурада 1 сағат бойы араластырылды. Газсыздандырылған ерітінді қалыңдығы 0,5 мм шыны қалыпқа құйылып, 60°C температурада 3 сағат ұсталды. Содан кейін гидрогель 2 сағат бойы -25°C-қа дейін мұздатылып, содан кейін кем дегенде 12 сағат бойы бөлме температурасында ерітілді. Өңдеуден кейін физикалық

қос желілі гидrogель алынды. Алынған сополимерлі гeль ауада кeптiрiлiп, кeптiрiлгeн қабықша алынды, содан кейiн ол электролит ерiтiндiсiне 24 сағатқа батырылды.

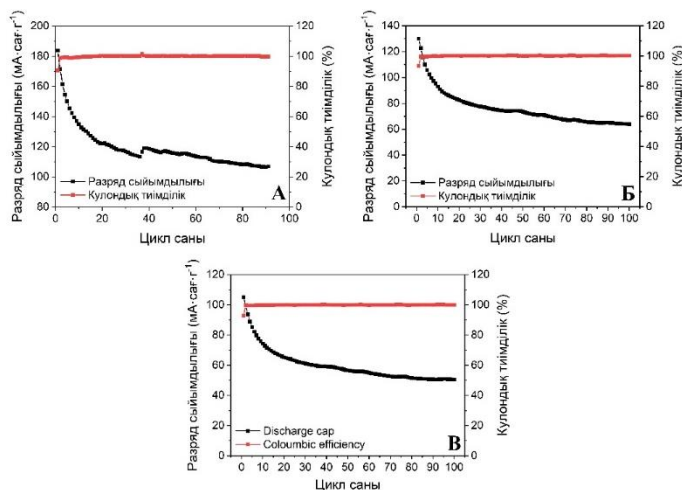
Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Бұл Сополимерлі гeль электролитті сiңiргeннeн кейiн полимердiң берiктiгi төмендeдi. Бұл мәселенi шешу үшiн гидrogельдiң айкаса байланысу дәрежесiн өзгeрту туралы шешiм қабылданды. Осылайша, МБА дәрежесi бар гидrogельдер 2, 3 және 4 есe өстi.

Сополимерлер бастапқы 5 цикл үшiн ұқсас асқын потенциалдарды көрсеттi, бiрақ бастапқы қуаттары бiрдей емес (2-сурет). А(МВAx2) үлгiсi үшiн 1-шi цикл разрядының сыйымдылығы $180 \text{ mA}\cdot\text{сaғ}\cdot\text{г}^{-1}$, Б(МВAx3) – $132 \text{ mA}\cdot\text{сaғ}\cdot\text{г}^{-1}$, В(МВAx4) – $107 \text{ mA}\cdot\text{сaғ}\cdot\text{г}^{-1}$.



Сурет 2. Гидрогель сополимерінің заряд/разряд профилі: А – МВAx2, Б – МВAx3, В – МВAx4

А, Б және В үлгілерінің 1-циклдері үшін кулондық тиімділік тиісінше 90,58%, 93,39% және 92,76% құрады (3-сурет).

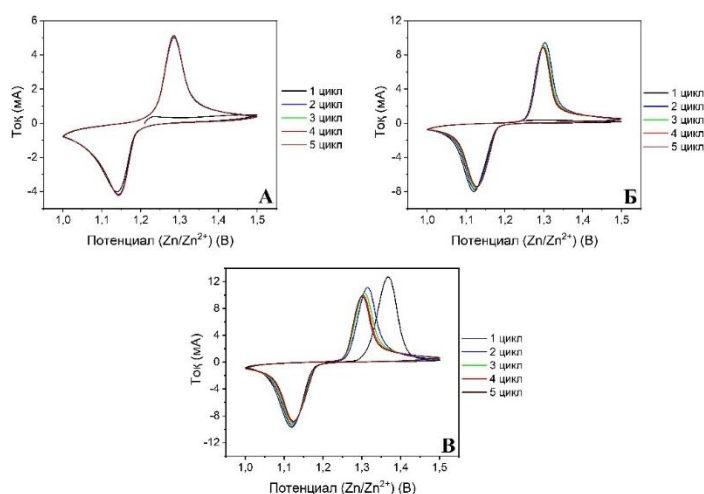


Сурет 3. Кулондық тиімділік: А – МВAx2, Б – МВAx3, В – МВAx4

Циклдің жүру кезеңінде барлық жүйелер кулондық тиімділіктің бiрдей үлгiсiн көрсеттi. Процесс барысында батареяның зарядсыздану (разрядталу)

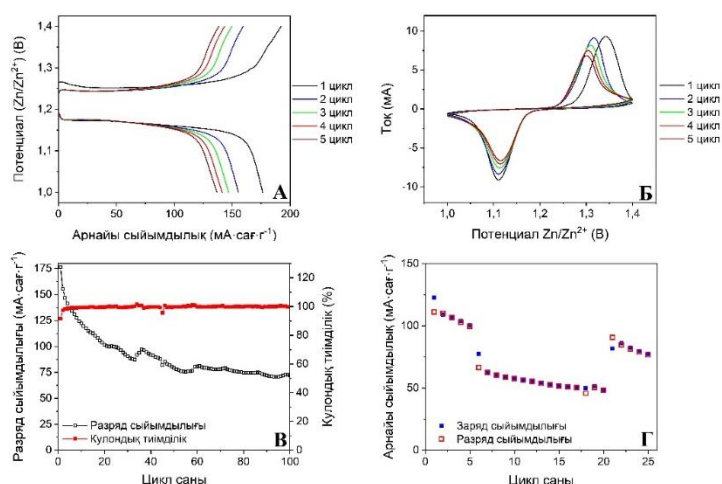
кисығы ауытқып, бірінші жағдайда анықталғандай, сыйымдылық аздап артты. Б және В үлгілері үшін 40 циклден кейін жазық аймақ байқалды. А, Б және В гидрогельдері бар батареялардың сыйымдылығы тиісінше 60%, 49% және 47% құрады. Бұл сынақтар айқаса байланыстыру агентінің мөлшерін белгілі бір мәнге өзгертуге болатынын және содан кейін өнімділіктің нашарлауы байқалатындығын көрсетеді.

Тотығу дәрежесі әртүрлі гидрогельдердің циклдік вольтметриялық сынағы тотығу (1,3 В) және тотықсыздану (1,1 В) шыңдарының тұрақты жағдайын көрсетті (4-сурет). Үлгілер арасындағы жалғыз айырмашылық тоқта, яғни айқаса байланысу деңгейі жоғары болған сайын, катодтық/анодтық ток та жоғары болады.



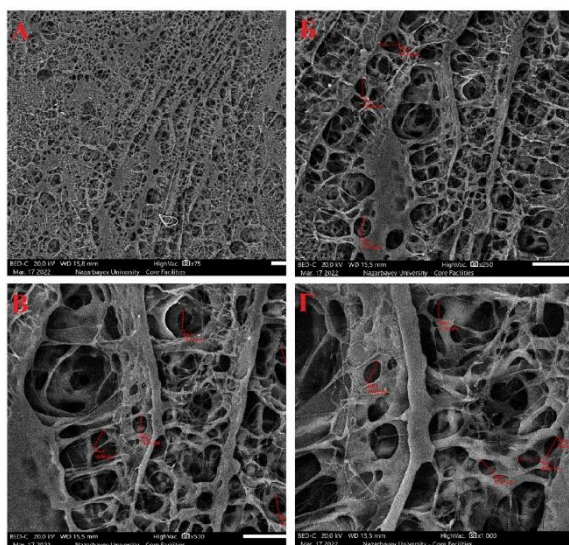
Сурет 4. Циклдік вольтметрия сынағы: А – МВАх2, Б – МВАх3, В – МВАх4

ПВС-АА гидрогелі қос желіге байланысты жақсы механикалық қасиет көрсетті. Бастапқы зарядтау/разряд циклдері 0,07 В және 170 мА·сағ·г⁻¹ теориялық мәнге сәйкес меншікті сыйымдылықтың поляризациясын көрсетті (5А-сурет). Кулондық тиімділік цикл кезінде шамамен 100% құрады, бұл жүйенің қайтымдылығын көрсетті (5В-сурет) Мән жазық аймағына жеткенше 30 циклден кейін ауытқу кезеңі болды. 100 циклден кейін сыйымдылықты сақтау 45% құрады. Гидрогельдің қасиеттерін көрсету үшін С-шамасы сынағы да жүргізілді. Заряд/разряд жылдамдық шамасының қабілеттілік сынағы 5Г-суретте көрсетілгендей әртүрлі токтарда өлшенді. Бастапқы сыйымдылығы 124 мА·сағ·г⁻¹, содан кейін бастапқы ток жылдамдығын қайтарғаннан кейін 98 мА·сағ·г⁻¹. С жылдамдығын 0,5С-тен 2С-ге өзгерту сыйымдылықтың екі есе азаюына әкелді. Токтың одан әрі 10С-ге дейін ұлғаюымен қуаттың шамалы төмендеуін байқауға болады. Гидрогельдің циклдік вольтметриялық сынағы қалпына келтіру (1,1 В) шыңдарының тұрақты жағдайын көрсетті, бірақ бұрынғы тотығу шамамен 1,35 В құрады, ол келесі циклдер бойынша 1,3 В қалыпты жағдайға аздап ауысты.



Сурет 5. ПВС-АА [2:10] ТЕМЭД сынағы: А – Заряд/разряд профилі, В – циклдік вольтметрия, С – Кулондық тиімділік, D – С-шамасы.

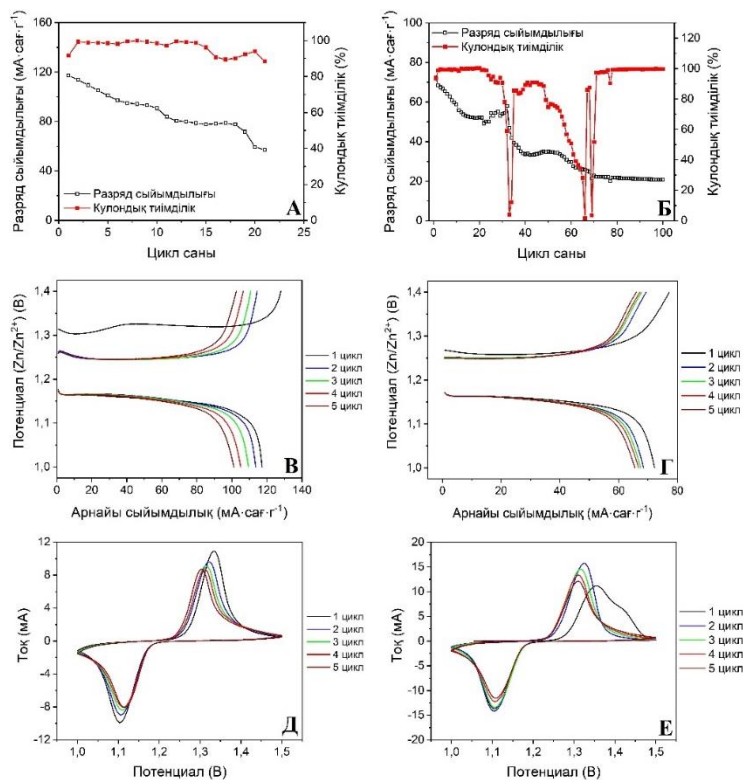
Гидрогель беті СЭМ бақылауымен зерттелді. Гидрогельдің беті өте кеуекті екенін 6-суреттен көруге болады. Кеуек мөлшері 3 мкм-ден 32 мкм-ге дейін өзгереді. Сондай-ақ, АА және ПВС талшықтары арасында айтарлықтай айырмашылық бар. Композицияда акриламид басым болғандықтан, кеуектердің негізгі бөлігінде олар көбірек байқалады. Бұл кезде ПВС талшықтары АА құрылымына жұқа талшық түрінде орналасқан. Бұл қос айқаса байланысудың пайда болуын көрсетеді.



Сурет 6. Әртүрлі үлкейтудегі СЭМ кескіндері

Алдыңғы нәтижелерге сүйене отырып, осы мономерлермен тәжірибелер жалғастырылды. Атап айтқанда, электролиттің су молекулаларын қоршау үшін мұздату/еріту цикл саны көбейтілді. Төменде 7-суретте 3 және 5 мұздату/еріту циклдері бар батарея өнімділігі сынақтарының нәтижелері берілген. 7А-суретте 3 рет өңделген гель бар аккумулятордың циклдік өнімділігі көрсетілген, оның бастапқы сыйымдылығы $118 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$.

20 зарядтау/разряд циклінен кейін сыйымдылықтың бастапқы мәнінің жартысына дейін төмендеуі байқалады. 5 рет мұздату/еріту жүргізілген геледен жасалған ұяшық үшін (7Б-сурет), бірінші цикл 70 $\text{mA}\cdot\text{сaғ}\cdot\text{r}^{-1}$ сыйымдылық мәнін берді.



Сурет 7. Батарея өнімділігінің сынақтары: А, В, Д – 3 мұздату/еріту циклі;
Б, Г, Е – 5 мұздату/еріту циклі

Батареялардың негізгі айырмашылығы үш рет өңделген жағдайда поляризация (7В,Г-сурет) сандарынан сәл төмен. Сонымен қатар, циклдік өнімділік 5 рет өңделген геледің үлкен кедергіге және нашар адгезияға ие екенін көрсетеді. 5 рет мұздатылған геледен жасалған ұяшықтың циклдік өнімділігі кулондық тиімділіктің ауытқуын көрсетеді. Бұл жоғары айқаса байланыстыруға байланысты төмен адгезияны көрсетуі мүмкін. Екі ұяшық үшін де циклдік вольтамметрия қисықтары 0,2 В артық потенциалы бар қатаң орналасқан тотықсыздандырғыш жұпқа ие (7Д,Е-сурет).

Қорытынды. Бұл зерттеу аясында гомо-гидрогельдер мен сополимерленген гидрогельдер синтезделіп, олардың электрохимиялық қасиеттері зерттелді. Гидрогельдер аккумуляторларда электролит және сепаратор ретінде перспективалы балама бола алатыны анықталды. Оңтайлы құрылым ретінде ПВС-АА (2-10) композициясы таңдалды. Сонымен қатар, электролиттің құрамын оңтайландыру бойынша қосымша жұмыстар жүргізілді. Нәтижелер көрсеткендей, молекулааралық сутегі байланыстарын басқару арқылы сутек бөлінуді басуға болады, бұл жоғары кернеулерде гидрогельдердің тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді. Өткізілген сынақтар гидрогельдің 2 В кернеуге дейін тұрақты жұмыс істейтінін және төмен температуралық ортада (-0°C) қолдануға болатындығын көрсетті.

Әдебиеттер тізімі

1. Armand M., Tarascon J.M. Building better batteries // *Nature*. – 2008. – No. 451. – P. 652-657.
2. Konarov A., Voronina N., Jo J.H., Bakenov Z., Sun Y.-K., Myung S.-T. Present and Future Perspective on Electrode Materials for Rechargeable Zinc-Ion Batteries // *ACS Energy Letters*. – 2018. – No. 3(10). – P. 2620-2640.
3. Yan J., Wang J., Liu H., Bakenov Z., Gosselink D., Chen P. Rechargeable hybrid aqueous batteries // *Journal of Power Sources*. – 2012. – No. 216. – P. 222-226.
4. Ayyanusamy P., Tharani S.D., Alphonse R., Minakshi M., Sivasubramanian R. Synthesis of Amorphous Nickel-Cobalt Hydroxides for Ni-Zn Batteries // *Chemistry – A European Journal*. – 2024. – No. 30 (59). – P. e202402325.
5. Ma L., Schroeder M.A., Borodin O., Pollard T.P., Ding M.S., Wang C., Xu K. Realizing high zinc reversibility in rechargeable batteries // *Nature Energy*. – 2020. – No. 5(10). – P. 743-749.
6. Li A., Li J., He Y., Wu M. Toward stable and highly reversible zinc anodes for aqueous batteries via electrolyte engineering // *Journal of Energy Chemistry*. – 2023. – No. 83. – P. 209-228.
7. Li H., Guo S., Zhou H. Recent advances in manipulating strategy of aqueous electrolytes for Zn anode stabilization // *Energy Storage Materials*. – 2023. – No. 56. – P. 227-257.
8. Fan L., Hu X., Jiao Y., Cao L., Xiong S., Gu F., Wang S. Advances of designing effective and functional electrolyte system for high-stability aqueous Zn ion battery // *Chemical Engineering Journal*. – 2024. – No. 479. Article 147763.
9. Gao X., Yang J., Xu Z., Nuli Y., Wang J. Recent progress of aqueous and organic/aqueous hybrid electrolytes for low-temperature rechargeable metal-ion batteries and supercapacitors // *Energy Storage Materials*. – 2023. – No. 54. – P. 382-402.
10. Minakshi M. Lithium intercalation into amorphous FePO₄ cathode in aqueous solutions // *Electrochimica Acta*. – 2010. – No. 55(28). – P. 9174-9178.
11. Chao D., Qiao S.-Z. Toward High-Voltage Aqueous Batteries: Super- or Low-Concentrated Electrolyte? // *Joule*. – 2020. – No. 4(9). – P. 1846-1851.
12. Zhang T., Yan T., Shan G., Cao X., Anqiang P., Fang G., Jiang Z., Shuquan L. Fundamentals and perspectives in developing zinc-ion battery electrolytes: A comprehensive review // *Energy & Environmental Science*. – 2020. – No. 13. – P. 4625-4665.
13. Qi R., Tang W., Shi Y., Teng K., Deng Y., Zhang L., Zhang J., Liu R. Gel Polymer Electrolyte toward Large-Scale Application of Aqueous Zinc Batteries // *Advanced Functional Materials*. – 2023. – No. 33. Article 2306052.
14. Li X., Wang D., Ran F. Key approaches and challenges in fabricating advanced flexible zinc-ion batteries with functional hydrogel electrolytes // *Energy Storage Materials*. – 2023. – No. 56. – P. 351-393.
15. Vandeginste V., Wang J. A Review of the Synthesis of Biopolymer Hydrogel Electrolytes for Improved Electrode–Electrolyte Interfaces in Zinc-Ion Batteries // *Energies*. – 2024. – No. 17(2). – P. 310.
16. Liu S., Zhong Y., Zhang X., Pi M., Wang X., Zhu R., Cui W., Ran R. Highly Deformable, Conductive Double-Network Hydrogel Electrolytes for Durable and Flexible Supercapacitors // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2022. – No. 14(13). – P. 15641-15652.
17. Chan C., Wang Z., Li Y., Yu H., Fei B., Xin J. Single-Ion Conducting Double-Network Hydrogel Electrolytes for Long Cycling Zinc-Ion Batteries // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2021. – No. 13(26). – P. 30594-30602.
18. Rakhman D., Batyrbekuly D., Myrzakhmetov B., Zhumagali K., Issabek K., Sultan-Akhmetov O., Umirov N., Konarov A., Bakenov Z. Polyacrylamide-based hydrogel electrolyte for modulating water activity in aqueous hybrid batteries // *RSC Advances*. – 2024. – No. 14(54). – P. 40222-40233.
19. Ji C., Wu D., Liu Z., Mi H., Liao Y., Wu M., Cui H., Li X., Wu T., Bai Z. Natural Polysaccharide Strengthened Hydrogel Electrolyte and Biopolymer Derived Carbon

- for Durable Aqueous Zinc Ion Storage // ACS Applied Materials & Interfaces. – 2022. – No. 14(20). – P. 23452-23464.
20. Wang Y., Nian G., Kim J., Suo Z. Polyacrylamide hydrogels. VI. Synthesis-property relation // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. – 2023. – No. 170. – P. 105099.

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің BR21882402 мақсатты зерттеу бағдарламасы «Жасыл экономика үшін жаңа материалдық технологиялар мен энергия сақтау жүйелерін дамыту» аясында қаржыландырылды.

Материал редакцияға 18.03.25 түсті, 27.05.25 қабылданды.

А. Қонаров¹, Б. Мырзахметов¹, А. Рапиков¹, А. Даулетбай¹

¹Назарбаев Университет, г. Астана, Казахстан

ИННОВАЦИОННЫЕ ГИДРОГЕЛЕВЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ ЦИНК-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Аннотация. Рост спроса на электротранспорт и возобновляемые источники энергии усилил потребность в литий-ионных батареях. Однако высокая стоимость производства и проблемы безопасности требуют изучения альтернативных систем хранения энергии. В рамках данного исследования рассмотрены синтез и свойства гидрогелевых электролитов для гибридных водных цинк-ионных аккумуляторов. Гидрогели использовались в качестве электролита и сепаратора, а их структурная стабильность и ионная проводимость были исследованы. За счет влияния поперечных полимерных связей и регулирования водородных связей электрохимическая стабильность гидрогелей была повышена до 2 В. Результаты испытаний показали, что гидрогели эффективно работают даже при низких температурах. Данное исследование открывает возможности для разработки безопасных и эффективных аккумуляторов за счет совершенствования гидрогелевых электролитов.

Ключевые слова: гидрогель, цинк-ионный аккумулятор, ионная проводимость, электрохимическая стабильность, системы накопления энергии, безопасность аккумулятора.

A. Konarov¹, B. Myrzakhmetov¹, A. Rapikov¹, A. Dauletbay¹

¹Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan

INNOVATIVE HYDROGEL ELECTROLYTES FOR HYBRID ZINC-ION BATTERIES

Abstract. The growing demand for electric transport and renewable energy sources has increased the need for lithium-ion batteries. However, the high production cost and safety concerns necessitate the study of alternative energy storage systems. This study explores the synthesis and properties of hydrogel electrolytes for hybrid aqueous zinc-ion batteries. Hydrogels were used as both the electrolyte and separator, and their structural stability and ionic conductivity were investigated. By influencing cross-linked polymer networks and regulating hydrogen bonds, the electrochemical stability of hydrogels was enhanced up to 2 V. Test results demonstrated that hydrogels operate efficiently even at low temperatures. This research paves the way for the development of safe and efficient batteries through the improvement of hydrogel electrolytes.

Keywords: hydrogel, zinc-ion battery, ionic conductivity, electrochemical stability, energy storage systems, battery safety.