

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

---

№ 1 (2026)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

---

<https://doi.org/10.48081/BGQF1934>

**Бас редакторы – главный редактор**

Талипов О. М.

*доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)*

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошекков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шерьязов С. К.	<i>т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)</i>
Искакова З. С.	<i>технический редактор</i>

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/BGQF1951>

**\*А. О. Жанпейісова<sup>1</sup>, Е. А. Сарсенбаев<sup>2</sup>,  
А. С. Тлешова<sup>3</sup>, А. С. Әбілдаева<sup>4</sup>, А. А. Омарова<sup>5</sup>**

<sup>1,2</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

<sup>3,4</sup>М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті,  
Қазақстан Республикасы, Тараз қ.;

<sup>5</sup>Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5040-428X>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8887-1171>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4594-5265>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3752-5607>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5663-4414>

\*e-mail: [Ayzhan.zhanpeisova@mail.ru](mailto:Ayzhan.zhanpeisova@mail.ru)

## **КҮН ЖӘНЕ ЖЕЛ ЭНЕРГЕТИКАСЫ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ЛИТИЙ-ИОНДЫ АККУМУЛЯТОРЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖОЛДАРЫ**

*Қазіргі таңда жаңғыртылатын энергия көздерін пайдалану – әлемдік энергетикалық өтпелі кезеңнің стратегиялық бағыты болып табылады. Әсіресе күн және жел энергетикасы секторы тұрақсыздық пен маусымдық ауытқуларға бейім болғандықтан, энергияны тиімді әрі ұзақ мерзімді сақтау мәселесі өзекті сипатқа ие. Осы тұрғыдан алғанда, жоғары өнімді литий-ионды аккумуляторлар – энергияны жинақтау және тұрақтандырудың негізгі шешімі ретінде кеңінен қарастырылуда.*

*Бұл мақалада литий-ионды аккумуляторлардың тиімділігін арттыруға бағытталған заманауи ғылыми-техникалық тәсілдер талданады. Негізгі назар аккумулятордың анод және катод материалдарын жетілдіруге, атап айтқанда графиттің орнына кремнийді, ал кобальт негізді материалдарды экологиялық таза баламалармен алмастыруға аударылады. Сонымен қатар энергия тығыздығын арттыру, электролиттердің термиялық*

*тұрақтылығын қамтамасыз ету және заряд/разряд циклдарының ұзақтығын көбейту мәселелері қарастырылады.*

*Мақалада сондай-ақ литий-ионды аккумуляторлардың жаңғыртылатын энергия көздерімен интеграциялану ерекшеліктері мен техникалық шектеулері нақты мысалдар арқылы сипатталады. Зерттеу нәтижелері аккумулятор технологияларын жетілдіру жаңғыртылатын энергияның тұрақты әрі сенімді жұмысын қамтамасыз етіп, экологиялық қауіпсіз энергия сақтау жүйелерін қалыптастыруға мүмкіндік беретінін көрсетеді.*

*Осылайша, литий-ионды аккумуляторлар – болашақтағы төмен көміртекті энергетика жүйесінің ажырамас элементі ретінде қарастырылады.*

*Кілтті сөздер: Литий-ионды аккумуляторлар, жаңғыртылатын энергия көздері, күн энергетикасы, жел энергетикасы, энергия сақтау жүйелері, анод және катод материалдары.*

## **Кіріспе**

Қазіргі заманда энергетика саласында болып жатқан жаһандық өзгерістер мен климаттың өзгеруіне байланысты туындаған экологиялық проблемалар жаңғыртылатын энергия көздерін (күн, жел, геотермалдық, биомасса және т.б.) кеңінен қолдануға алып келді. Өсіресе күн мен жел энергетикасы – қолжетімділігі, қоршаған ортаға зиян келтірмейтіндігі және сарқылмайтын табиғи ресурс ретінде болашағы зор бағыттар саналады.

Алайда жаңғыртылатын энергия көздерінің негізгі кемшілігі – энергия өндірісінің тұрақсыздығы. Мысалы, күн энергиясы тек күндізгі уақытта, ал жел энергиясы желдің жылдамдығына байланысты өндіріледі. Осыған байланысты энергияны тиімді әрі ұзақ мерзімді сақтау қажеттілігі туындайды. Бұл мәселенің шешімі ретінде әртүрлі энергия сақтау жүйелері қарастырылуда, олардың ішінде ең кең таралғаны – литий-ионды аккумуляторлар [1].

Литий-ионды аккумуляторлар жоғары энергия тығыздығына, ұзақ қызмет ету мерзіміне және қайталама зарядталу мүмкіндігіне ие. Дегенмен, қазіргі қолданыстағы аккумуляторлар жүйелері әлі де бірнеше техникалық шектеулерге ие: зарядталу/разрядталу циклдарының шектеулілігі, температура тұрақсыздығы, материалдық шығындылық және қауіпсіздік мәселелері. Осы проблемаларды шешу арқылы литий-ионды аккумуляторларды жетілдіру жаңғыртылатын энергия көздерін тиімді пайдалану мүмкіндігін арттырады.

Литий-ионды аккумуляторларды жетілдіру – жаңғыртылатын энергия жүйелерінің тұрақты жұмыс істеуі мен кеңінен таралуының басты алғышарттарының бірі. Бұл зерттеу практикалық тұрғыдан келесі мәселелерді шешуге мүмкіндік береді [2]:

– Жаңғыртылатын энергия көздерінен алынған артық энергияны ұзақ мерзімді және сенімді түрде сақтау;

– Күн және жел электр станцияларының жұмысын тұрақтандыру;

– Жоғары температура мен төмен температура жағдайында аккумуляторлардың қауіпсіздігін арттыру;

– Энергия сақтау жүйелерінің техникалық және экономикалық тиімділігін жақсарту;

– Қазақстанда және басқа елдерде баламалы энергетиканы кеңінен енгізуге негіз болу.

Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері энергия сақтау саласындағы өндірістік компаниялар мен инженерлерге, энергетика саясатын жасаушы мамандарға, ғылыми-техникалық мамандар мен студенттерге пайдалы болуы мүмкін.

Бұл зерттеудің басты мақсаты – күн және жел энергетикасы жүйелерінде қолданылатын литий-ионды аккумуляторлардың техникалық сипаттамаларын жақсарту жолдарын зерттеу және олардың энергия сақтау тиімділігін арттыру мүмкіндіктерін ғылыми тұрғыда негіздеу.

### **Материалдар мен әдістері**

Бұл зерттеуде литий-ионды аккумуляторлар күн және жел энергетикасы жүйелерінде энергия сақтау құралы ретінде қарастырылады. Нақты зерттеу объектісі ретінде әртүрлі анод және катод материалдарынан жасалған литий-ионды аккумуляторлар үлгілері алынған, сондай-ақ олардың термиялық және заряд/разряд сипаттамалары салыстырмалы түрде талданған [3].

Қолданылған материалдар:

Зерттеу барысында келесі негізгі материалдар мен компоненттер пайдаланылды:

Анод материалдары:

– Графит (дәстүрлі);

– Кремний-негізді анод (жетілдірілген нұсқа).

Катод материалдары:

– Литий-кобальт оксиді (LiCoO<sub>2</sub>);

– Литий-темір-фосфат (LiFePO<sub>4</sub>);

– Литий-никель-марганец-кобальт оксиді (NMC, LiNiMnCoO<sub>2</sub>).

Электролиттер:

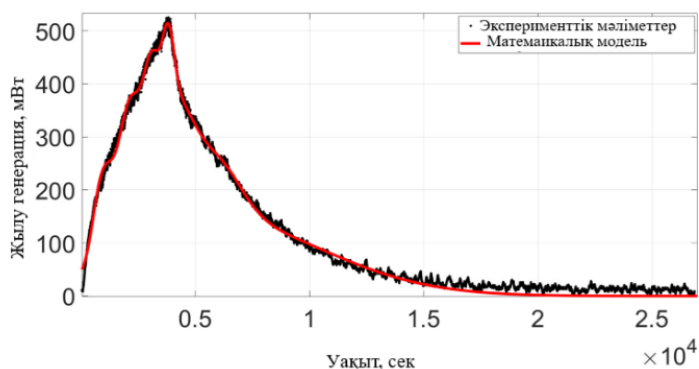
– Сұйық органикалық электролиттер (LiPF<sub>6</sub> тұздары негізінде);

– Жаңа буындағы қатты электролиттер (зертханалық жағдайда).

Бөліп тұратын сепараторлар.

Жылу оқшаулағыш қабықшалар (термиялық тұрақтылықты зерттеу үшін).

1-суретте литий-иондық аккумуляторлар үшін жылу өндіру үлгісі көрсетілген. Литий-ионды аккумуляторды термиялық модельдеу сәтті орындалды, бұл батарея ұяшығының теріс қойындысының жанындағы аймақ зарядсыздандыру процесі кезінде ең жоғары температураны сезінді.



1-сурет – Жылу генерациясының уақытқа тәуелділігін сипаттайды [4]

1-ші суретте, жылу генерациясы (ЖГ) бастапқыда тез өседі. Графиктің басында ЖГ мәні 0-ден 500 мВт-қа дейін күрт көтеріледі. Бұл жүйеде бастапқыда үлкен жылу бөлінуін көрсетеді (мүмкін химиялық реакцияның басталуы немесе батарея разряды басталған сәт).

Максимум нүкте. Шамамен 5000 секундқа ( $0.5 \times 10^4$ ) келгенде жылу генерациясы максимумға жетеді (~510 мВт). Кейін жылу біртіндеп азаяды. Уақыт өте келе жылу генерациясы экспоненциалды түрде төмендейді, бұл жүйенің суынуын немесе реакция баяулауын сипаттайды.

Модель мен деректердің сәйкестігі жақсы болып келеді. Қызыл сызық (модель) пен кара нүктелер (эксперимент) бір-біріне өте жақын, бұл модельдің дәлдігін көрсетеді.

### **Зерттеу әдістері**

1) Зертханалық сынақтар

Зерттеу үлгілері арнайы аккумуляторлық тестілеу жабдықтарында сынақтан өткізілді:

Заряд/разряд циклдары

– Әр аккумулятор 0.5С, 1С және 2С токтарымен 100 цикл бойы зарядталып/разрядталды.

– Әр циклдан кейінгі сыйымдылық, тиімділік (%) және ішкі қарсылық көрсеткіштері өлшенді.

Термиялық тұрақтылықты сынау

Аккумуляторлар 25 °С, 45 0С және 60 °С температурада сынақтан өткізілді.

Температураның әсері энергия сыйымдылығына және деградация жылдамдығына талдау жасалды.

Энергия тығыздығын есептеу

– равиметриялық (Вт·сағ/кг) және көлемдік (Вт·сағ/л) тығыздықтары анықталды.

– Өртүрлі материалдар арасындағы салыстырмалы тиімділік көрсеткіштері есептелді.

2) Моделдеу әдістері

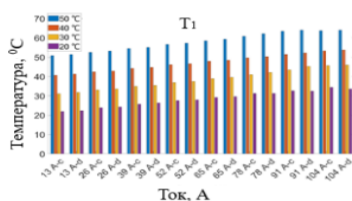
– MATLAB/Simulink бағдарламасы арқылы литий-ионды аккумуляторлардың күн және жел энергия жүйелеріне интеграциялануы модельденді.

– Энергия өндірудің ауытқымалы графигі негізінде аккумулятордың тиімділігі, заряд/разряд жылдамдығы және сақтау тұрақтылығы есептелді.

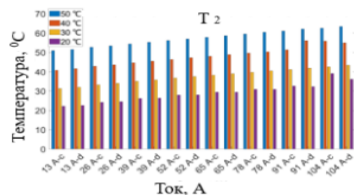
3) Салыстырмалы талдау

– Зерттеу нәтижелері қазіргі қолданылып жүрген аккумулятор үлгілерімен салыстырылды.

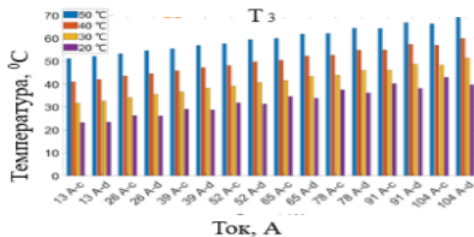
- Жаңа материалдар мен жетілдірілген конфигурациялармен алынған нәтижелер техникалық және экономикалық тұрғыдан бағаланды.



a)



б)



в)

2-сурет – Жүйенің температураға және тоққа байланысты өзгеруі

Жүйе бастапқы температурасы артқан сайын (мысалы, 20 °C – 50 °C), кейбір сынақтарда жылу генерациясы да артады. Әсіресе кейбір шарттарда (мысалы, 10А-9.5С – 50 °C кезінде өте үлкен жылу мөлшері байқалады ). Бұл жылу мөлшері ток пен температура жоғары болғанда, және температура артқанда көбірек болатынын көрсетеді [5;6;7].

Бұл 3 график – әртүрлі температуралық нүктелерде (Т1, Т2, Т3) өлшенген нәтижелер. Бұл нүктелер батарея немесе құрылғының әртүрлі жерлеріндегі температураны білдіреді.

2-а, суретте температура жоғары тоқтарда көбірек артады. 50 °C бастапқы температурада соңғы температуралар да ең жоғары. Бұл нүкте, шамамен, батарея беті немесе бетке жақын аймақта болуы мүмкін.

2-б, суретте температура Т1-ге ұқсас бағытта өзгереді, бірақ сәл төмен мәндер көрсетіледі. Бұл – орта аймақ болуы мүмкін (не бет пен ортаның арасында).

2-в, суретте температура Т1-ге ұқсас бағытта өзгереді, бірақ сәл төмен мәндер көрсетіледі. Бұл – орта аймақ болуы мүмкін (не бет пен ортаның арасында).

Сонда ток жоғарылаған сайын температура мен жылу мөлшері артады. Жоғары температурада жүйе көбірек жылу бөледі.

Жылу генерациясының негізгі көзі – жұмыс істеп тұрған батареядағы ішкі процестер:

$$Q_{жалты} = Q_{Джоуль} + Q_{қайт-ды} + Q_{қайт-з} \quad (1)$$

мұндағы,  $Q_{Джоуль}$  – Джоульдік жылу;

$Q_{қайт-ды}$  – қайтымды жылу;

$Q_{қайт-з}$  – қайтымсыз жылу.

Джоульдік жылу – ол ішкі қарсылық әсерінен туындайды:

$$Q_{\text{Джоуль}} = I^2 \cdot R_{\text{ишк}} \quad (2)$$

мұндағы,  $I$  – ток, А;

$R_{\text{қайт-ды}}$  – батареяның ішкі кедергісі (Ом). Ол температураға тәуелді болуы мүмкін.

$$R_{\text{ишк}}(T) = R_0 \cdot e^{\beta \frac{1}{T}} \quad (3)$$

Қайтымды жылу – Электрохимиялық реакциядағы энтропиялық өзгеріске байланысты:

$$Q_{\text{қайт-ды}} = I \cdot T \cdot \left( \frac{\partial E}{\partial T} \right) \quad (4)$$

мұндағы,  $T$  – температура, К;

$E$  – ашық тізбекті кернеу;

$\left( \frac{\partial E}{\partial T} \right)$  – температураға тәуелді кернеудің өзгерісі (энтропиялық

коэффициент).

Жалпы жылу генерация теңдеуі:

$$Q_{\text{генер}} = I^2 \cdot R_{\text{ишк}} + I \cdot T \cdot \left( \frac{\partial E}{\partial T} \right) \quad (5)$$

Температураның уақыт бойынша өзгерісі (жылу таралуы) – бұл генерацияланған жылу жүйе ішінде қалай тарайтынын сипаттайды.

Жылу таралу теңдеуі:

$$\rho \cdot c_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q_{\text{генер}} \quad (6)$$

мұндағы,  $\rho$  – тығыздық, кг/м<sup>3</sup>;

$c_p$  – меншікті жылу сыйымдылығы, Дж/(кг×К);

$k$  – жылу өткізгіштік, (Вт/(м×К));

$T$  – температура, К;

$Q_{\text{генер}}$  – жоғарыда анықталған генерация жылуы, (Вт/м<sup>3</sup>).

Сонда, тиімділікті арттыру үшін жылуды басқару жолдары:

1) Жылу өткізгіштігі жоғары материалдар қолдану. Электрод, ток жинағыш, сыртқы қабық сияқты бөліктерде жылу өткізгіш материалдар қолдану (мысалы, мыс, алюминий, графит). Бұл жылудың тез тарауына көмектеседі.

2) Жылу тарату жүйелерін қолдану:

- Сұйықтықпен салқындату;
- Ауа арқылы салқындату;
- Фазалық ауысу материалдары.

Бұл жүйелер батарея температурасын оптималды диапазонда ұстап тұрады (әдетте 20–40 °С).

3) Батареяны дұрыс орналастыру. Пакет ішіндегі батареялар арасында жылу аралығын сақтау. Қызған батарея бөліктерінен жылудың таралуын болдырмау үшін тепе-тең симметриялы орналастыру.

4) Жылуды аз тудыратын жұмыс режимдері. Өте жоғары заряд/разряд жылдамдығы көп жылу шығарады. Пайдалану кезінде ақылды басқару жүйелері, температураға қарап автоматты ток шектеу болады.

### **Нәтижелер және талқылау**

#### **1) Заряд/разряд циклдарының нәтижелері.**

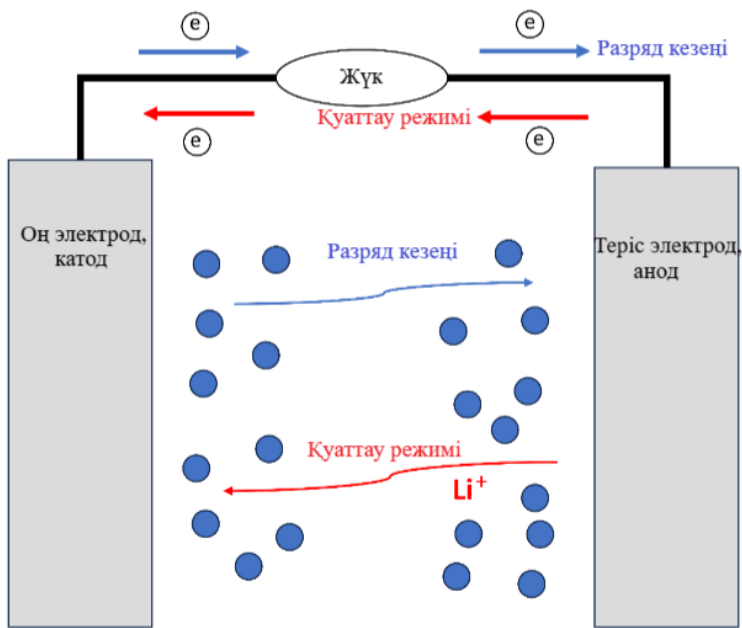
Зертханалық сынақтар нәтижесінде литий-ионды аккумуляторлардың әртүрлі анод және катод материалдары негізінде жасалған үлгілерінің заряд/разряд тиімділігі мен циклдық тұрақтылығы анықталды.

Графит-анодты аккумуляторлар 100 циклдан кейін бастапқы сыйымдылықтың ~85 %-ын сақтап қалды.

Кремний-анодты аккумуляторлар жоғары бастапқы энергия сыйымдылығын көрсетті, алайда 100 циклдан кейін сыйымдылықтың тек ~75 %-ы ғана сақталды, бұл материалдың құрылымдық тұрақсыздығымен байланысты.

Катод материалдарының ішінде  $\text{LiFePO}_4$  термиялық тұрақтылығы мен қауіпсіздігі жағынан үздік нәтиже көрсетті, бірақ энергия тығыздығы төмен (160 Вт·сағ/кг).

$\text{LiNiMnCoO}_2$  негізіндегі аккумуляторлар – жоғары энергия тығыздығы (200–250 Вт·сағ/кг) және салыстырмалы тұрақты циклдық жұмыс көрсетті.



3-сурет – Литий-ионды аккумулятордың жұмыс принципін зарядтау) және разряд кезеңдері

3-суретте көрсетілгендей, литий-ионды батарея үш негізгі бөліктен тұрады:

Оң электрод – катодтан;

Теріс электрод – анодтан;

Электролит және сепаратор – литий иондарының ( $\text{Li}^+$ ) қозғалысын қамтамасыз етеді, бірақ электрондарды өткізбейді.

Сыртқы тізбекте жүк жалғанған, яғни батарея қуат беріп тұр немесе қуатталып жатыр.

Разряд кезеңінде Литий иондары ( $\text{Li}^+$ ) анодтан – катодқа қарай электролит арқылы қозғалады. Электрондар ( $e^-$ ) сыртқы тізбекпен теріс электродтан оң электродқа қарай ағады (электр тогы пайда болады). Бұл процесте құрылғы (жүк) энергия алады. Ал қуаттау режимінде, яғни зарядтау режимінде батарея сыртқы қуат көзінен зарядталады (мысалы, ток көзіне қосылған). Онда сыртқы ток көмегімен литий иондары катодтан – анодқа өтеді. Электрондар да сыртқы

тізбекпен оң электродтан – теріс электродқа ағады. Бұл кезде иондар мен электрондар қайта анодта жиналып, батарея «қор жинайды».

Катод пен анод комбинациясы тұрақтылық пен қуаттылық арасындағы тиімді компромиссті көрсетеді [8].

## 2) Температуралық тұрақтылық нәтижелері.

Заряд/разряд процесі 20 °С, 40 °С және 50 °С температурада өткізілді (2-сурет):

20 °С жағдайда барлық аккумуляторлар қалыпты жұмыс режимінде жоғары тиімділік көрсетті (92–97 %).

40 °С температурада кейбір үлгілерде ішкі қарсылықтың артқаны байқалды, бірақ жалпы өнімділік төмендеген жоқ.

50 °С температурада  $\text{LiCoO}_2$  катоды бар аккумуляторлар қызу мен газ бөліну нәтижесінде қауіпсіздік шектерінен асты. Ал  $\text{LiFePO}_4$  және қатты электролит негізіндегі үлгілер тұрақты жұмыс істеді.

Температураның жоғарылауы аккумулятордың ішкі химиялық процестерін жылдамдатады, бұл энергия жоғалуына және қауіпсіздік қатеріне алып келеді. Жоғары температурада жұмыс істеуге ең қолайлы –  $\text{LiFePO}_4$  катодтары және қатты электролиттер [9].

## 3) Энергия тығыздығының талдауы

№	Материал комбинациясы	Энергия тығыздығы, Вт×сағ/кг	Цикл тұрақтылығы, % (100 циклдан кейін)
1	$\text{LiFePO}_4$	160	90
2	Кремний	270	75
3	$\text{LiCOO}_2$	200	80

Энергия тығыздығы бойынша кремний үлгілері көшбасшы болса да, олардың циклдық тұрақтылығы төмен. Ал  $\text{LiFePO}_4$  комбинациясы қауіпсіздік пен ұзақ қызмет мерзімі жағынан тиімді.

## 4) Моделдеу нәтижелері (күн және жел энергетикасымен интеграция)

MATLAB/Simulink бағдарламасында жасалған модель негізінде күн мен жел энергетикасы көздеріне аккумуляторларды қосқанда келесі нәтижелер алынды:

– Аккумуляторларсыз жүйеде өндірілген энергияның 30–45 %-ы пайдаланылмай, желіге немесе тұтынушыға жетпей қалды (энергия шығыны жоғары).

– Литий-ионды аккумуляторлар қосылғанда артық энергияның 85–90 %-ы тиімді түрде жиналып, қажет кезде тұтынушыға берілді.

– Жүйе тиімділігі аккумулятор сыйымдылығы мен разряд/заряд жылдамдығына тікелей тәуелді болды.

Литий-ионды аккумуляторлар желілік және күн энергетикасындағы энергия тұрақсыздығын төмендетуге мүмкіндік береді. Дегенмен, энергия сақтау сыйымдылығы мен ұзақ мерзімді сенімділік – негізгі шектеуші факторлар.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, литий-ионды аккумуляторлар жаңғыртылатын энергия көздерімен біріктірілген жүйелерде энергияны сенімді түрде сақтау мен қайта таратуға мүмкіндік береді. Алайда олардың тиімділігін арттыру үшін келесі бағыттарда жұмыстар қажет:

- Жаңа анод/катод материалдарын зерттеу және өндіріске енгізу;
- Температуралық төзімділікті жақсарту (әсіресе ыстық климатқа бейімделу үшін);
- Қауіпсіздік деңгейін арттыру (отқа төзімді электролиттер, қысым реттегіш жүйелер);
- Батареяны қайта өңдеу және экологиялық әсерін азайту.

### **Қорытынды**

Бұл зерттеуде күн және жел энергетикасы жүйелерінде литий-ионды аккумуляторларды тиімді қолдану және олардың техникалық сипаттамаларын жетілдіру мәселелері қарастырылды. Жаңғыртылатын энергия көздерінің тұрақсыздығына байланысты энергияны тиімді әрі ұзақ мерзімді сақтау – қазіргі энергетика саласының өзекті мәселелерінің бірі. Литий-ионды аккумуляторлар бұл мәселенің негізгі шешімі ретінде кеңінен қолданылып келе жатқанымен, олардың қуаттылығы, термиялық тұрақтылығы және циклдық сенімділігі әлі де жетілдіруді қажет етеді [10].

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей:

Анод және катод материалдарының таңдауы аккумулятордың энергия тығыздығы мен қызмет мерзіміне тікелей әсер етеді. Катодтар мен кремний анодтары жоғары энергия тығыздығын көрсетсе де, олардың ұзақ мерзімді тұрақтылығы төмен. Ал  $\text{LiFePO}_4$  комбинациясы тұрақтылық пен қауіпсіздік жағынан анағұрлым тиімді.

Температуралық тұрақтылық тұрғысынан қарағанда,  $\text{LiFePO}_4$  катодтары және қатты электролиттер жоғары температурада қауіпсіз жұмыс істеуге бейім.

Моделдеу нәтижелері литий-ионды аккумуляторларды күн және жел энергетикасы жүйелеріне қосу арқылы энергияны сақтау тиімділігін 85–90 %-ға дейін арттыруға болатынын көрсетті.

Энергия сақтау жүйелерінің жалпы тиімділігі аккумулятордың сыйымдылығы, заряд/разряд жылдамдығы және материал сапасына байланысты.

Осылайша, литий-ионды аккумуляторларды жетілдіру жаңғыртылатын энергия көздерін тиімді пайдалануға, энергия жүйелерінің сенімділігін

арттыруға және экологиялық тұрғыдан таза энергетикалық инфрақұрылым қалыптастыруға жол ашады.

### Пайдаланылған деректер тізімі

1 **Назаров, А. Б.** Жаңғыртылатын энергия көздеріндегі энергия сақтау жүйелері // Энергетика және ресурстар. – 2021. – № 3(45). – Б. 24–30.

2 **Әбдіғаппарова, Л. Ж., Төлеуова, Г. Н.** Литий-ионды аккумуляторлар және олардың экологиялық аспектілері // ҚазҰУ хабаршысы. Химия сериясы. – 2022. – № 2(78). – Б. 58–65.

3 **Goodenough, J. B., Kim, Y.** Challenges for Rechargeable Li Batteries // Chemistry of Materials. – 2010. – Vol. 22, No. 3. – P. 587–603. – <https://doi.org/10.1021/cm901452z>

4 **Madani, S. S., Schaltz, E., Knudsen Kær, S.** Heat Loss Measurement of Lithium Titanate Oxide Batteries under Fast Charging Conditions by Employing Isothermal Calorimeter // Batteries. – 2018. – № 4. – P. 597.

5 **Шарафутдинов, Р. Р., Кадыров, Э. З.** Аккумуляторлар : Жаңа буын материалдары және олардың энергетикадағы рөлі // Энергетика России. – 2020. – № 6. – С. 18–25.

6 BloombergNEF. Battery Price Survey 2023 [Electronic resource]. – <https://about.bnef.com> (Access date 01.10.2025).

7 **Шыныбеков, Е. Ж.** Қазақстандағы жаңартылатын энергия көздерін сақтау технологиялары // Энергетика және машина жасау. – 2023. – № 1. – Б. 10–17.

8 International Renewable Energy Agency (IRENA). Innovation Outlook : Smart Charging for Electric Vehicles. – Abu Dhabi : IRENA, – 2019. – 72 p.

9 **Бастрон, А. В.** Ветроэнергетика Красноярского края. – Красноярск : Красноярский гос. аграрный университет, 2015. – 252 с.

10 **Мартьянов, А. С.** Исследование алгоритмов управления и разработка контроллера ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения. Дисс.на соиск.уч.степ.канд.техн.наук. – Челябинск, 2016. – 174 с.

### References

1 **Nazarov, A. B.** Jangyrtlyatyn energia kozderindegi energia saqtaw juieieleri [Energy storage systems in renewable energy sources] [Text] // Energetika jane resurstar. – 2021. – № 345. – P. 24–30.

2 **Abdigapparova, L. J., Toleuova, G. N.** Liti-iondy akumulatorlar jane olardyn ekologialyq aspektleri // [Lithium-ion batteries and their environmental aspects] [Text] // QazUU habarshysy. Himia seriasy. – 2022. – № 278. – P. 58–65.

3 **Goodenough, J. B., Kim, Y.** Challenges for Rechargeable Li Batteries // Chemistry of Materials. – 2010. – Vol. 22. – No. 3. – P. 587–603. – <https://doi.org/10.1021/cm901452z>

4 **Madani, S. S., Schaltz, E., Knudsen Kær, S.** Heat Loss Measurement of Lithium Titanate Oxide Batteries under Fast Charging Conditions by Employing Isothermal Calorimeter. – Batteries. – 2018. – № 4. – P. 597.

5 **Şarafutdinov, R. R., Kadyrov, E. Z.** Akumulatorlar: Jana buyn materialdary jäne olardyn energetikadagy roli. [Batteries: new generation materials and their role in energy] ,[Text] // Energetika Rosii .– 2020. – № 6. – P. 18–25.

6 BloombergNEF. Battery Price Survey 2023. [Electronic resource]. – <https://about.bnef.com> (Access date 01.10.2025).

7 **Şynbekov, E. J.** Qazaqstandagy janartylatyn energია kozderin saqtau tehnologialary [Renewable energy storage technologies in Kazakhstan] [Text] // Energetika jane maşına jasau. – 2023. – №1. – P. 10–17.

8 International Renewable Energy Agency (IRENA). Innovation Outlook: Smart Charging for Electric Vehicles. – Abu Dhabi : IRENA, 2019. – 72 p.

9 **Bastron, A. V.** Vetroenergetika Krasnoiarского kraia [Wind power industry of the Krasnoyarsk Territory] [Text]. – Krasnoiarск: Krasnoiarски gos. agrarnyi universitet, 2015. – 252 p.

10 **Martyanov, A. S.** İssledovanie algoritmov upravleniia i razrabotka kontrolera vetroenergeticheskoi ustanovki s vertikalnoi osü vrašeniia [Research of control algorithms and development of a controller for a wind turbine with a vertical axis of rotation] [Text]. – Diss.na soisk.uch.step.kand.tehn.nauk. – Cheläbinsk, 2016. – 174 p.

08.10.25 ж. баспаға түсті.

13.11.25 ж. түзетулерімен түсті.

27.02.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

\**A. O. Жанпейісова<sup>1</sup>, E. A. Сарсенбаев<sup>2</sup>, A. C. Тлешова<sup>3</sup>,  
A. C. Әбілдаева<sup>4</sup>, A. A. Омарова<sup>5</sup>*

<sup>1,2</sup>Қазақський национальнй исследовательскй  
технический университет имени К. И. Сатпаева,  
Республика Қазақстан, г. Алматы;

<sup>3,4</sup>Таразский университет имени М. Х. Дулати,  
Республика Қазақстан, г. Тараз;

<sup>5</sup>Евразийский национальнй университет имени Л. Н. Гумилева,  
Республика Қазақстан, г. Астана.

Поступило в редакцию 08.10.25.

Поступило с исправлениями 13.11.25.

Принято в печать 27.02.26.

## **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В СОЛНЕЧНЫХ И ВЕТРОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

*В настоящее время использование возобновляемых источников энергии является стратегическим направлением мирового энергетического переходного периода. В частности, поскольку сектор солнечной и ветроэнергетики подвержен нестабильности и сезонным колебаниям, проблема эффективного и долгосрочного хранения энергии носит актуальный характер. В этом смысле высокопроизводительные литий-ионные аккумуляторы широко рассматриваются как основное решение для накопления и стабилизации энергии.*

*В этой статье анализируются современные научно-технические подходы, направленные на повышение эффективности литий-ионных аккумуляторов. Основное внимание уделяется совершенствованию анодных и катодных материалов аккумуляторов, в частности замене кремния вместо графита и кобальтовых материалов экологически чистыми альтернативами. Также рассматриваются вопросы увеличения плотности энергии, обеспечения термической стабильности электролитов и увеличения продолжительности циклов заряда/разряда.*

*В статье также описываются особенности и технические ограничения интеграции литий-ионных аккумуляторов с возобновляемыми источниками энергии на конкретных примерах. Результаты исследования показывают, что совершенствование аккумуляторных технологий позволит сформировать экологически безопасные системы хранения энергии, обеспечивая стабильную и надежную работу возобновляемой энергии.*

*Таким образом, литий-ионные аккумуляторы рассматриваются как неотъемлемый элемент будущей низкоуглеродной энергетической системы.*

*Ключевые слова: Литий-ионные батареи, возобновляемые источники энергии, солнечная энергия, ветроэнергетика, системы хранения энергии, анодные и катодные материалы.*

\*A. O. Zhanpeyisova<sup>1</sup>, E. A. Sarsenbaev<sup>2</sup>, A. S. Tleshova<sup>3</sup>,  
A. S. Abildqayeva<sup>4</sup>, A. A. Omarova<sup>5</sup>

<sup>1,2</sup> K. I. Satpaev Kazakh National Research Technical University,  
Republic of Kazakhstan, Almaty;

<sup>3,4</sup> M. H. Dulati Taraz University,  
Republic of Kazakhstan, Taraz;

<sup>5</sup> L. N. Gumilyov Eurasian National University,  
Republic of Kazakhstan, Astana.

Received 08.10.25.

Received in revised form 13.11.25.

Accepted for publication 27.02.26.

## WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF LITHIUM-ION BATTERIES IN SOLAR AND WIND ENERGY SYSTEMS

*Currently, the use of renewable energy sources is a strategic direction of the global energy transition period. In particular, since the solar and wind energy sector is subject to instability and seasonal fluctuations, the problem of efficient and long-term energy storage is urgent. In this sense, high-performance lithium-ion batteries are widely considered as the main solution for energy storage and stabilization.*

*This article analyzes modern scientific and technical approaches aimed at improving the efficiency of lithium-ion batteries. The main focus is on improving the anode and cathode materials of batteries, in particular, replacing silicon instead of graphite and cobalt materials with environmentally friendly alternatives. The issues of increasing energy density, ensuring the thermal stability of electrolytes and increasing the duration of charge/discharge cycles are also considered.*

*The article also describes the features and technical limitations of integrating lithium-ion batteries with renewable energy sources using specific examples. The results of the study show that the improvement of battery technologies will make it possible to form environmentally safe energy storage systems, ensuring stable and reliable operation of renewable energy.*

*Thus, lithium-ion batteries are considered as an integral element of the future low-carbon energy system.*

*Keywords: Lithium-ion batteries, renewable energy, solar energy, wind energy, energy storage systems, anode and cathode materials.*

Теруге 13.03.2026 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

28.54 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. Ж. Шокубаева

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4523

Сдано в набор 13.03.2026 г. Подписано в печать 31.03.2023 г.

Электронное издание

28.54 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. Ж. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4523

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)