

Раздел 2. «Машиностроение, технологические машины и транспорт, строительство»

FTAMP 35.23.26
ЭОЖ: 62.93

DOI [10.53002/032](https://doi.org/10.53002/032)

А.С.Кошмаганбетова, С.Ж.Кабикенов

*Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды,
Қазақстан
(E-mail: aizhan_150985@mail.ru, sapargk@mail.ru)*

Электромобильдерге арналған батарея технологиясы. Мәселелер мен перспективалар

Қазіргі таңда көлік саласындағы электрлендіру трендтері экологиялық таза энергия көздеріне бетбұрысты көрсетеді. Электромобильдердің дамуы батарея технологияларына байланысты болып отыр, әсіресе литий-күкірт (Li-S) аккумуляторларына деген қызығушылық артып келеді. Бұл батареялар жоғары энергия тығыздығымен, ұзақ қызмет ету мерзімімен және экологиялық қауіпсіздігімен ерекшеленеді. Алайда олардың кең таралуы әлі де техникалық қиындықтарға байланысты шектелуде ма полисульфидтердің миграциясы, дендриттер түзілуі және жоғары температурадағы қауіпсіздік мәселелері. Мақалада Li-S батареяларының артықшылықтары мен кемшіліктері, олардың құрылымы мен жұмыс принциптері, сондай-ақ болашақта қолдану әлеуеті қарастырылады.

Түйінді сөздер: электромобильдер, литий-күкірт батареялары, энергия тығыздығы, аккумулятор, экологиялық қауіпсіздік, жаңартылатын энергия, полисульфид, дендриттер, батарея технологиясы, энергия сақтау.

Кіріспе

Көлік саласының дамуындағы қазіргі тенденциялар экологиялық таза және тұрақты энергия көздеріне деген қызығушылықтың артып келе жатқанын көрсетеді, олардың арасында электромобильдер (ЭМ) жетекші орын алады. Көлікті электрлендіруде айтарлықтай прогреске қарамастан, электромобильдердің кең таралуын шектейтін негізгі мәселелердің бірі олардың бір батарея зарядындағы ауқымы болып қала береді. Бұл сипаттама пайдаланудың ыңғайлылығына да, дәстүрлі көліктен электромобильге ауысу туралы шешім қабылдауға да әсер етеді.

Қазіргі уақытта батарея технологиясының жетістіктеріне және зарядтау станциясының инфрақұрылымының өсуіне қарамастан, сапар ауқымын ұлғайту қажеттілігі өзекті болып қала береді. Бұл аккумулятордың шектеулі сыйымдылығы, жұмыс кезінде энергияның жоғалуы, сондай-ақ сыртқы жағдайлардың (температура, жер бедері, жүргізу стилі) әсері сияқты әртүрлі факторларға байланысты. Электромобильдердің техникалық сипаттамаларын жақсартуға ғана емес, сонымен қатар олардың пайдалану параметрлерін нақты жағдайда оңтайландыруға мүмкіндік беретін тиімді және жан-жақты шараларды әзірлеу маңызды.

Әдістер мен материалдар

Мақалада техникалық аспектілер (батареяларды оңтайландыру, энергияны басқару жүйелері) және операциялық нұсқаулар, соның ішінде сыртқы факторлардың әсері және жүргізушілердің мінез-құлқы қарастырылады, олар бір зарядта сапар ауқымын айтарлықтай жақсарты алады.

Жаңа аккумулятор материалдарын зерттеу маңызды тақырып болып табылады, өйткені олар электромобиль батареяларының сыйымдылығын, беріктігін және қауіпсіздігін айтарлықтай арттырады және олардың құнын төмендетеді.

Қытайлық General New Energy (GNE) компаниясы литий-күкірт (Li-S) аккумуляторының прототипін 700 ватт/сағ / кг энергия тығыздығымен ұсынды, бұл литий-ионды батареялардың мүмкіндіктерінен үш есе жоғары. Литий-күкірт батареялары қауіпсіз, тапшы материалдары аз,

Раздел 2. «Машиностроение, технологические машины и транспорт, строительство»

сонымен қатар ауқымы мен қауіпсіздігін арттырады. GNE зерттеушілері осындай батареялардың өнімділігі мен тұрақтылығына қатысты көптеген техникалық мәселелерді шешіп, технологияны коммерцияландыруға дайындалуда.

Компанияның негізгі мақсаты-энергетика саласындағы экологиялық таза және тұрақты шешімдерді әзірлеу және өндіру. Негізгі назар көміртегі шығарындыларын азайтуға және тұрақты энергия көздеріне көшуге бағытталған. 2025 жылға қарай GNE күн және жел нарығындағы позициясын нығайта отырып, өз жұмысын едәуір кеңейтті.

Күкіртті катод ретінде, ал литий металды анод ретінде пайдаланатын литий-күкірт батареялары дәстүрлі литий-ионды аккумуляторларға перспективалы балама болып табылады. Теориялық тұрғыдан литий-күкірт батареялары энергия тығыздығына 2600 Вт·сағ/кг дейін жетуі мүмкін, бұл олардың литий-иондық аналогтарынан бес есе артық. Сонымен қатар, күкірт кең таралған, арзан және экологиялық таза материал болып табылады, бұл литий-күкірт батареяларына шығындар мен тұрақтылыққа артықшылық береді.

GNE зерттеушілері он жылдан астам уақыт ішінде негізгі техникалық мәселелерді шеше отырып, Li-S батарея технологиясында көптеген жетістіктерге жетті. Мысалы, топ наноматериал жабындары мен электролит қоспаларын қолдана отырып, күкірт өткізгіштігі мен иондардың тасымалдануын жақсартты. Олар сондай-ақ батареяның қызмет ету мерзімін де, оның қауіпсіздігін де жақсартатын жаңа электролиттік материалдарды әзірледі.

Зерттеудің басқа бағыттары:

- полисульфидтерді ұстау әдістерін әзірлеу;
- дендриттердің пайда болуын болдырмау үшін литийде қорғаныс қабатын қалыптастыру;
- сұйық немесе қатты арналары бар арнайы электролиттерді құрастыру.

Тәуекелдерге келетін болсақ, INERIS ұлттық өнеркәсіптік орта және тәуекелдер институты жақында жүргізген зерттеуде күкірт негізіндегі оң электродты пайдалану белгілі бір жағдайларда (мысалы, температураның жоғарылауы) белгілі бір улы H_2S (онай тұтанғыш) және SO_2 газдарының ықтимал түзілуіне әкелуі мүмкін екендігі атап өтілді [1].

Сондай-ақ, Li-S батареясының температурасы қауіпсіз жұмыс ауқымында қалуы үшін батареяны басқарудың сенімді жүйесін жасау ұсынылады. Екінші жағынан, литий металының болуы ішкі қысқа тұйықталу қаупі бар дендриттердің пайда болуына және өсуіне ықпал етеді, бірақ материалдарды таңдау арқылы дендриттердің пайда болуын және өсуін болдырмауға және/немесе кейбір компоненттердің жанғыштығын төмендетуге болады [2].

Литий күкірт батареяларының негізгі артықшылықтары.

Литий күкірт батареяларының (Li-S) негізгі артықшылықтары олардың бірегей сипаттамалары мен бірқатар қолданбалар үшін әлеуеті болып табылады:

1. Жоғары энергия тығыздығы. Li-S батареялары батареялардың барлық түрлерінің ішіндегі ең жоғары энергия тығыздығына ие. Бұл олардың көптеген басқа батарея технологияларына қарағанда масса бірлігіне көбірек энергия сақтауға қабілетті екенін білдіреді. Жоғары энергия тығыздығы оларды электр машиналары мен портативті құрылғылар сияқты жоғары энергия сыйымдылығы маңызды қосымшалар үшін өте қолайлы етеді.

2. Ұзақ қызмет ету мерзімі. Li-S батареялары ұзақ қызмет етуге уәде береді. Бұл олардың сыйымдылығын айтарлықтай жоғалтпай көптеген заряд және разряд циклдарын көтеру қабілетіне байланысты. Олар сондай-ақ «жадтын» пайда болуымен байланысты мәселелерге төзімді (толық емес зарядсызданғаннан кейін сыйымдылықты жоғалту әсері), бұл батареялардың кейбір басқа түрлері үшін проблема болып табылады.

3. Температуралық жағдайларға жақсы төзімділік. Li-S батареялары төмен және жоғары мәндерді қоса алғанда, кең температура диапазонында тұрақты жұмыс істей алады. Бұл оларды әртүрлі климаттық жағдайларда және әртүрлі салаларда, соның ішінде ғарышта және авиацияда қолдануға жарамды етеді.

4. Төмен уыттылық және экологиялық қауіпсіздік. Батареялардың кейбір басқа түрлерімен салыстырғанда, Li-S батареялары аз уытты және экологиялық таза болып саналады, өйткені олардың құрамында кобальт сияқты ауыр металдар жоқ. Бұл қоршаған ортаға және адам денсаулығына ықтимал жағымсыз әсерлерді азайтады.

Раздел 2. «Машиностроение, технологические машины и транспорт, строительство»

5. Жаңартылатын көздерден энергияны сақтау мүмкіндігі. Li-S батареялары күн батареялары мен жел генераторлары сияқты жаңартылатын көздерден энергияны сақтауда шешуші рөл атқара алады. Олардың жоғары энергия тығыздығы және ұзақ қызмет ету мерзімі оларды жаңартылатын көздердің тұрақсыздығын шешуге көмектесетін энергияны сақтау жүйелерінде қолдануға тартымды етеді.

Тұтастай алғанда, Li-S батареялары сенімді және тиімді энергияны сақтауды қажет ететін әртүрлі салалар үшін перспективалық шешім болып табылады. Олардың бірегей сипаттамалары мен аккумуляторлық технологияларды жақсарту әлеуеті болашақта тұрақты және экологиялық таза энергия көздерін дамытуға ықпал етуі мүмкін.

Литий күкірт батареяларының кемшіліктері

Бірқатар артықшылықтарға қарамастан, литий күкірт батареяларының (Li-S) кейбір кемшіліктері мен шектеулері бар, оларды ескеру қажет:

1. Циклдік және өзін-өзі босату мәселелері. Li-S батареялары ұзақ мерзімді циклдік мәселелерге бейім. Бірнеше зарядтау және разряд циклдарынан кейін олар сыйымдылығын жоғалтуы мүмкін, бұл олардың қызмет ету мерзімін шектейді. Сонымен қатар, Li-S батареялары өздігінен разрядтың жоғары деңгейіне ие, яғни олар пайдаланылмаған жағдайда да таусылуы мүмкін.

2. Шөгінділердің пайда болу проблемалары. Зарядтау және разряд циклдары процесінде анодта артық литий шөгінділері пайда болуы мүмкін, бұл батареяның өнімділігін төмендетеді және қысқа тұйықталуды тудыруы мүмкін.

3. Жетілдіру қажеттілігі. Li-S батарея технологиясы әлі де белсенді зерттеу және әзірлеу сатысында. Бұл технологияның толық әлеуетін жүзеге асыру үшін сипатталған кемшіліктерді жою және техникалық қиындықтарды жеңу қажет.

4. Температура жағдайындағы шектеулер. Li-S батареялары төмен температурада жақсы өнімділікке ие болғанымен, жоғары температурада олар газ түзілуі және термиялық ыдырау сияқты мәселелерге тап болуы мүмкін.

Осы кемшіліктерге қарамастан, Li-S батарея технологиясын жетілдіру және аталған шектеулерді жеңу мақсатында белсенді зерттеулер мен әзірлемелер жалғасуда.

Батареялардың осы түрлерінің арасындағы айырмашылықтарды түсіну нақты талаптар мен қосымшаларға байланысты ең қолайлы шешімді таңдау үшін маңызды.

1. Энергия тығыздығы-батареяның масса бірлігіне қанша энергия сақтай алатынын анықтайды.

2. Қызмет ету мерзімі-бұл батареяның өнімділігі төмендегенге дейін өтуі мүмкін заряд пен разряд циклдарының саны.

3. Өзін – өзі разрядтау-пайдаланылмаған кезде де батареяның қаншалықты тез таусылатынын анықтайды.

4. Жад эффектісі-батареяның зарядын «есте сақтау» қабілетіне жатады.

5. Уыттылық және экологиялық қауіпсіздік – батареяның қоршаған ортаға әсерін ескереді.

6. Жұмыс температурасы-батареялар тиімді жұмыс істей алатын температура диапазонын көрсетеді.

7. Жылдам зарядтау-батареяның жылдам зарядтау қабілетін көрсетеді.

1 - кесте

Li-S батареяларын батареяның басқа түрлерімен салыстыру

Параметр	Li-ion	LiPo	Li-S	Ni-Cd	Ni-MH	Pb-Acid
Энергия тығыздығы (Вт / кг)	Жоғары	Өте жоғары	Жоғары	Төмен	Орташа	Төмен
Қызмет ету мерзімі (циклдар)	300-1000+	300-1000+	Перспективалы жоғары	1000+	300-500+	200-800+
Өздігінен разряд (айына)	Төмен	Төмен	Орташа	Жоғары	Жоғары	Жоғары
Жад әсері	Жоқ	Жоқ	Жоқ	Иә	Иә	Иә
Уыттылық	Жоғары	Жоғары	Жоғары	Орташа	Орташа	Төмен

Раздел 2. «Машиностроение, технологические машины и транспорт, строительство»

Экологиялық қауіпсіздік	Жоғары	Жоғары	Жоғары	Орташа	Орташа	Төмен
Жұмыс температурасы (°C)	-20-дан +60-қа дейін	-20-дан +50-ге дейін				
Өнімділікті зарядтау	Иә	Иә	Иә	Жоқ	Жоқ	Жоқ

Литий күкірт батареялары: жұмыс принципі

Литий-күкірт батареялары (Li-S) литий-ионды аккумуляторлармен байланысты, бірақ дизайны мен химиялық процестері бойынша айтарлықтай ерекшеленеді. Литий батареяларының бұл түрі оң электрод ретінде қолданылады күкірт, ал литий металы теріс электрод ретінде қолданылады. Литий күкірт элементі келесі принцип бойынша күкіртті пайдаланып литийдің қайтымды түрленуіне негізделген:

анод реакциясы: $16\text{Li} \rightarrow 16\text{Li}^+ + 16\text{e}^-$

катод реакциясы: $\text{S}_8 + 16\text{e}^- \rightarrow 8\text{S}^{2-}$

жалпы реакция: $16\text{Li} + \text{S}_8 \rightarrow 8\text{Li}_2\text{S}$ ($E^\circ = 2.24 \text{ В}$)

Батареяның теориялық потенциалы реакция энтальпиясына негізделген $E^\circ = 2.24 \text{ в}$ ретінде есептеледі ($\Delta_r G^\circ$ (25°C температурада) = -432.57 кДж/моль [Li₂S]). Теориялық сыйымдылығы 1167 матч/г (Li₂S), нәтижесінде алынған теориялық энергия тығыздығы 2613 Вт/кг (Li₂S) құрайды. Бұл мән әдеттегі жүйелерге қарағанда бірнеше есе жоғары. Әдебиеттерде катодтық реакцияның өзі жиі сипатталады, сондықтан онда көрсетілген сыйымдылық әдетте күкіртке жатады. Ол 1672 мАч/г (S) құрайды.

Қорытынды

Литий-күкірт (Li-S) батареялары аккумуляторлық шешімдер әлемінде перспективалы технологияны ұсынады. Жоғары энергия тығыздығымен, ұзақ қызмет ету мерзімімен және аккумуляторлардың басқа түрлеріне тән кейбір шектеулерді жою мүмкіндігімен Li-S батареялары болашақ энергетикалық жүйелердің негізгі құрамдас бөлігі болуға барлық мүмкіндіктерге ие.

Li-S батареяларының негізгі артықшылықтары олардың жоғары энергетикалық тиімділігін, құрылғылардың салмағы мен көлемін азайту мүмкіндігін, оларды күн энергиясында және ғарыштық қолданбаларда пайдалануды қамтиды. Дегенмен, көптеген артықшылықтарға қарамастан, Li-S батареяларының қосымша зерттеулер мен әзірлемелерді қажет ететін циклдік және қауіпсіздік мәселелері сияқты кемшіліктері де бар.

Li-S батареяларының өнімділігі мен сенімділігін арттыруда полисульфидтердің иммобилизациясын қамтамасыз ететін және электр өткізгіштігін жақсартатын металл нанокластерлер маңызды рөл атқарады. Олардың осы батареяларды оңтайландырудағы рөлі осы саладағы зерттеулердің маңызды бөлігі болып табылады. Кәдімгі энергия көздерінен айырмашылығы, LiS аз көлем мен салмақта көбірек энергияны сақтап қана қоймайды, сонымен қатар қызып кету және тұтану қаупін азайтып, қауіпсіздікті арттырады.

Әдебиеттер тізімі

1. Э. Джутон, К.Рейн, В.Совант-Мойно, Ф.Орсини, К.Сабер, С.Бача, О.Бету, Э.Лабуре; Электромобиль: устройство, принцип работы, инфраструктура; ДМК Пресс, 153 стр., Москва 2022.
2. Rapport detude n° DRA-19-180147-00590A, Batteries haute densite energetique au Li-S: differences avec la technologie Li-ion, evaluation des risques et mise en securite, Lecocq Amandine, Bordes Arnaud, INERIS 2019.

Раздел 2. «Машиностроение, технологические машины и транспорт, строительство»

А.С.Кошмаганбетова, С.Ж.Кабикенов

Технологии аккумуляторов для электромобилей: проблемы и перспективы.

В настоящее время тенденции электрификации в транспортной отрасли отражают переход к экологически чистым источникам энергии. Развитие электромобилей напрямую связано с технологиями аккумуляторов, особенно растёт интерес к литий-серным (Li-S) батареям. Эти аккумуляторы отличаются высокой энергетической плотностью, длительным сроком службы и экологической безопасностью. Однако их широкое распространение по-прежнему ограничено рядом технических проблем – миграцией полисульфидов, образованием дендритов и вопросами безопасности при высоких температурах. В статье рассматриваются преимущества и недостатки Li-S батарей, их структура и принцип работы, а также потенциал применения в будущем.

Ключевые слова: электромобили, литий-серные батареи, энергетическая плотность, аккумулятор, экологическая безопасность, возобновляемая энергия, полисульфид, дендриты, аккумуляторные технологии, хранение энергии.

A.S. Koshmangabetova, S.Zh. Kabikenov

Battery technologies for electric vehicles: challenges and prospects

Currently, electrification trends in the transportation sector reflect a shift toward environmentally friendly energy sources. The development of electric vehicles depends largely on battery technologies, with increasing interest in lithium-sulfur (Li-S) batteries. These batteries are characterized by high energy density, long service life, and environmental safety. However, their widespread adoption is still limited by technical challenges – such as polysulfide migration, dendrite formation, and safety concerns at high temperatures. This article explores the advantages and disadvantages of Li-S batteries, their structure and operating principles, as well as their future application potential.

Keywords: electric vehicles, lithium-sulfur batteries, energy density, battery, environmental safety, renewable energy, polysulfide, dendrites, battery technology, energy storage.

References

1. Djuton E., Rain K., Sovant-Moyno V., Orsini F., Saber K., Bacha S., Betu O., Labure E. Electric Vehicle: Design, Operating Principle, Infrastructure. – Moscow: DMK Press, 2022. – 153 p.
2. Lecocq Amandine, Bordes Arnaud. Study Report No. DRA-19-180147-00590A: High-Energy Density Li-S Batteries – Differences with Li-ion Technology, Risk Assessment and Safety Measures. – INERIS, 2019.