

Электрохимическая энергетика. 2026. Т. 26, № 2. С. 69–74

*Electrochemical Energetics*, 2026, vol. 26, no. 2, pp. 69–74

<https://energetica.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1608-4039-2026-26-2-69-74>, EDN: LRHXMN

Научная статья

УДК 541.136

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТОДА ЛИТИЕВОГО АККУМУЛЯТОРА

М. А. Бешкарев, А. А. Зацепин, И. А. Пуцьлов, С. Е. Смирнов<sup>✉</sup>

*Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

*Россия, 111250, г. Москва, Красноказарменная ул., д. 14*

**Бешкарев Михаил Александрович**, аспирант, BeshkarevMA@mpei.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9433-2097>

**Зацепин Алексей Александрович**, аспирант, ZatsepinAA@mpei.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0165-2636>

**Пуцьлов Иван Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры химии и электрохимической энергетике, putsylov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4905-9914>

**Смирнов Сергей Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор кафедры химии и электрохимической энергетике, sesmirnov53@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5493-4197>

**Аннотация.** Исследовано влияние структурных параметров катодов литиевых аккумуляторов на их характеристики. Для объяснения полученных результатов была применена макрокинетическая модель электрода, с использованием которой проведено математическое моделирование процесса разряда электрода. Для описания структуры электрода использовалась модель вложенных шаров. Данные, полученные при моделировании, хорошо согласуются с практическими результатами испытаний электродов, что доказывает необходимость целенаправленной оптимизации размеров частиц, составляющих катод.

**Ключевые слова:** катод, структура, параметр, аккумулятор, литий, модель

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FSWF 2026-0005 (Соглашение – № 075-03-2026-532 от 16 января 2026 г.) в сфере научной деятельности на 2026–2028 гг.

**Для цитирования:** Бешкарев М. А., Зацепин А. А., Пуцьлов И. А., Смирнов С. Е. Влияние структурных параметров на характеристики катода литиевого аккумулятора // Электрохимическая энергетика. 2026. Т. 26, № 2. С. 69–74. <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2026-26-2-69-74>, EDN: LRHXMN

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

## Influence of structural parameters on characteristics of lithium battery cathode

M. A. Beshkarev, A. A. Zatsepin, I. A. Putsylov, S. E. Smirnov<sup>✉</sup>

*National Research University “MPEI”*

*14 Krasnokazarmennaya St., Moscow 111250, Russia*

**Mikhail A. Beshkarev**, BeshkarevMA@mpei.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9433-2097>

**Alexey A. Zatsepin**, ZatsepinAA@mpei.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0165-2636>

**Ivan A. Putsylov**, putsylov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4905-9914>

**Sergey E. Smirnov**, sesmirnov53@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5493-4197>

**Abstract.** The influence of the structural parameters of lithium battery cathodes on their characteristics has been studied. To explain the results obtained, a macrokinetic model of the electrode was applied, and mathematical simulation of the electrode discharge process was conducted. The nested ball model was used to describe the electrode structure. The data obtained during simulation are in good agreement with the practical results of electrode testing, which confirms the need for targeted optimization of the particle sizes in the cathode.

**Keywords:** cathode, structure, parameter, battery, lithium, model

**Acknowledgments.** The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of State Assignment No. FSWF 2026-0005 (Agreement No. 075-03-2026-532 dated January 16, 2026) in the field of scientific activity for 2026–2028.

**For citation:** Beshkarev M. A., Zatsepin A. A., Putsylov I. A., Smirnov S. E. Influence of structural parameters on characteristics of lithium battery cathode. *Electrochemical Energetics*, 2026, vol. 26, no. 2, pp. 69–74 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2026-26-2-69-74>, EDN: LRHXMN

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## ВВЕДЕНИЕ

Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) приобретают все большую популярность в различных отраслях народного хозяйства – в приборостроении, медицинской, фото-, теле- и бытовой технике. Также они используются на железнодорожном, водном и воздушном транспорте, в космической и военной технике [1–3]. В последнее время сфера применения ЛИА расширилась до использования в аккумуляторных электроподстанциях, получивших наименование систем накопления электроэнергии, на которые возлагаются следующие задачи: они должны покрывать дефицит электроэнергии, способствовать более оптимальному её распределению по электросети, поддерживать конкретные параметры в определённых диапазонах. Наличие потребителей с различными электрическими параметрами требует производства большого количества вариантов источников тока, поэтому ведётся активное изучение новых перспективных материалов и методов их обработки для создания электрохимических систем с улучшенными характеристиками [4–7]. В настоящее время большое число публикаций посвящены разработке катодных материалов, причем наиболее перспективными считаются материалы на основе фосфатов и оксидов металлов, в особенности никелата лития и фосфата лития-железа [8, 9].

Ранее были проведены исследования для того, чтобы оценить влияние на параметры аккумулятора и его составных частей таких факторов, как температура и токи разряда/заряда [10]. Катод аккумулятора можно характеризовать как многокомпонентный материал (активное вещество, электропроводящая добавка, связующее), свойства которого зависят от параметров отдельных компонентов. Авторами [11] было показана,

что существует взаимосвязь электрохимических и структурных параметров катодов на основе литированных оксидов марганца.

Для повышения энергетической эффективности электродов чрезвычайно актуальным является вопрос о влиянии структурных параметров на их характеристики, что и составляет цель настоящей работы.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для приготовления фосфата лития-железа ( $\text{LiFePO}_4$ ) были выбраны аммоний дигидрофосфат ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ), литий гидроксид водный ( $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) и оксид железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), а для никелата лития ( $\text{LiNiO}_2$ ) – оксид никеля ( $\text{NiO}$ ) и литий гидроксид водный, все реагенты квалификации х. ч. В работе использованы методы синтеза  $\text{LiNiO}_2$  и  $\text{LiFePO}_4$ , включающие в себя механическую активацию прекурсора в процессе пластического деформирования [12, 13].

Для исследований были изготовлены электроды, состоящие из 80% вес. фосфата лития-железа (никелата лития), 10% вес. поливинилиденфторида в качестве связующего и 10% вес. электропроводящей добавки. В качестве растворителя полимера использовали N-метилпирролидон, а в качестве электропроводящей добавки – технический углерод «Термокс» (производитель – Институт проблем переработки углеводородов СО РАН). Процесс смешения проводили на установке УЗ-1 (ООО «Криамид», Россия) в течение 20 мин. Для приготовления электродов был использован намазной метод, включающий несколько операций. Поверхность алюминиевого токоотвода очищали спиртом и высушивали в сушильном шкафу SNOL58/350 при температуре 90°C в течение 10 мин, и после взвешивания на его поверхность наносили слой

активной массы специальной кистью. Затем удаляли N-метилпирролидон в сушильном шкафу в течение 30 мин при температуре 90°C. Полученный образец подпрессовывали на гидравлическом прессе PRD50 давлением 2.5 т/см<sup>2</sup> и взвешивали. На заключительной стадии сушку проводили в вакуумном шкафу UT-4630V при температуре 130°C в течение 8 ч. Полученные образцы имели толщину от 20 до 100 мкм.

Электрохимические исследования электродов проводили при комнатной температуре в трехэлектродной ячейке из фторопласта, сборку которой осуществляли в боксе 6БП1-ОС в атмосфере осушенного аргона [11]. Электроды пропитывали жидким электролитом (раствор 1 м LiPF<sub>6</sub> в смеси этиленкарбонат, диметилкарбонат и этилметилкарбонат), на который накладывали сепаратор марки 7Б (ООО НПО «УФИМ», Россия) и, в завершение, литиевую фольгу. Для обеспечения равномерного распределения электролита в структуре катода и сепаратора ячейку после сборки выдерживали 10 ч при комнатной температуре. Испытания электродов проводили на многоканальном потенциостате-гальваностате Элинс Р-20Х8 (ООО «Элинс», Черноголовка, Россия) в автоматическом режиме по специальной программе.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительные испытания электродов на основе никелата лития и фосфата лития-железа показали, что их разрядные характеристики и емкость существенно зависят от их толщины и гранулометрического состава активного вещества, о чём свидетельствуют приведённые на рис. 1, 2 результаты.

Характер этих кривых практически одинаков, но значение времени, при котором ток становится равным нулю, существенно отличается.

Для интерпретации результатов было проведено математическое моделирование процесса разряда электрода. Положительный электрод аккумулятора включает в себя

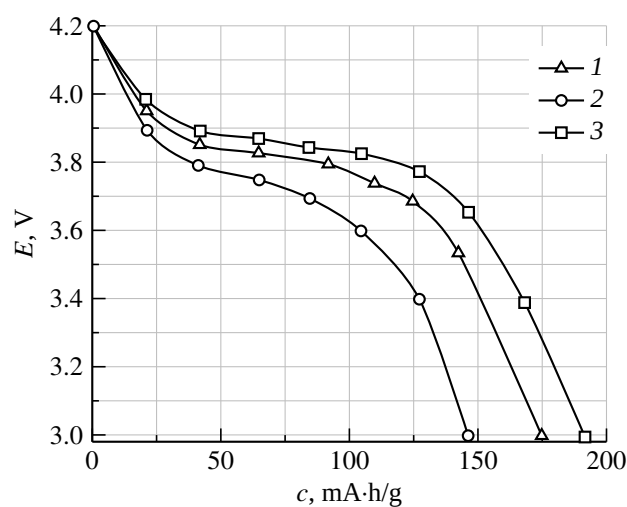


Рис. 1. Разрядные характеристики электродов на основе никелата лития при токе 0.2С. Толщина – 15 мкм. Радиус гранул: 1 –  $r = 65$  нм, 2 –  $r = 30$  нм, 3 –  $r = 80$  нм

Fig. 1. Discharge characteristics of lithium nickelate-based electrodes at the current of 0.2C. The thickness is 15  $\mu\text{m}$ . Granule radius: 1 –  $r = 65$  nm, 2 –  $r = 30$  nm, 3 –  $r = 80$  nm

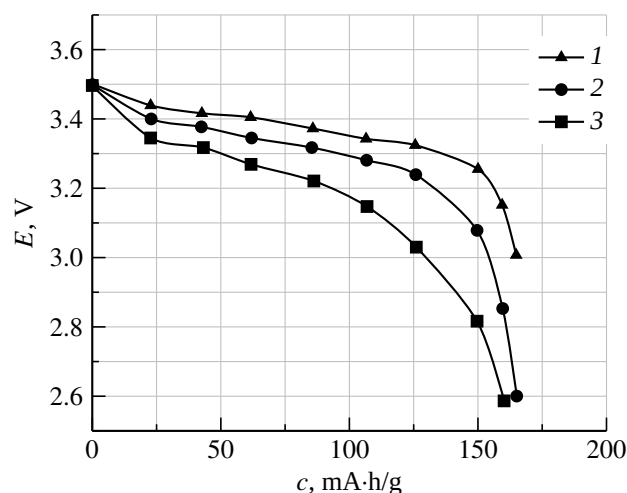


Рис. 2. Разрядные характеристики электродов на основе фосфата лития-железа при токе 0.2С. Толщина – 50 мкм. Радиус гранул: 1 –  $r = 160$  нм, 2 –  $r = 125$  нм, 3 –  $r = 200$  нм

Fig. 2. Discharge characteristics of lithium iron phosphate electrodes at the current of 0.2C. The thickness is 50  $\mu\text{m}$ . Granule radius: 1 –  $r = 160$  nm, 2 –  $r = 125$  nm, 3 –  $r = 200$  nm

твёрдую пористую матрицу и жидкий электролит. Для дескрипции его строения была применена модель вложенных шаров, в соответствии с которой матрица образована

упорядоченным множеством шарообразных гранул фиксированного радиуса [14]. В такой системе изменение параметров происходит по двум координатным осям (толщина электрода, радиус гранулы) и времени. Эта модель ранее была апробирована для описания процессов на электродах на основе литированных оксидов ванадия и марганца, а также фосфата лития-титана [14, 15].

В результате расчетов в системе Matlab были получены временные зависимости габаритного тока электрода (разряд при постоянном потенциале) для различных его толщин и размеров гранул никелата лития (фосфата лития-железа). Интегрирование зависимости позволило вычислить емкость с данным радиусом гранул никелата лития (фосфата лития-железа) и толщиной катода. Рис. 3, 4 являются иллюстрацией зависимости емкости (относительно максимального значения) электрода от его толщины и радиуса гранул. На полях графиков нанесены значения емкостей электродов, рассчитанные на основе экспериментальных разрядных характеристик. Из анализа представленных результатов можно сделать вывод: зависимость емкости электрода от его гранулометрических параметров носит экстремальный характер. Причем с ростом толщины электрода точка максимума смещается в область гранул большего радиуса.

Расчётные значения емкостей электродов соответствуют экспериментальным результатам с погрешностью в диапазоне 10–15%. Расхождение связано с неточностями использованной математической модели, которая не учитывает, например, возникновение в наноразмерной области эффекта поверхностной релаксации гранул никелата лития (фосфата лития-железа) [15, 16].

Максимум емкости объясняется двойственностью влияния размера гранул на параметры электрода: с его ростом увеличивается ток, генерируемый единичной гранулой, и улучшаются условия переноса иона лития в жидкой фазе между гранулами, но при этом происходит уменьшение интегральной поверхности электрода и ухудша-

ются условия диффузии иона лития по твердой фазе [15, 16].

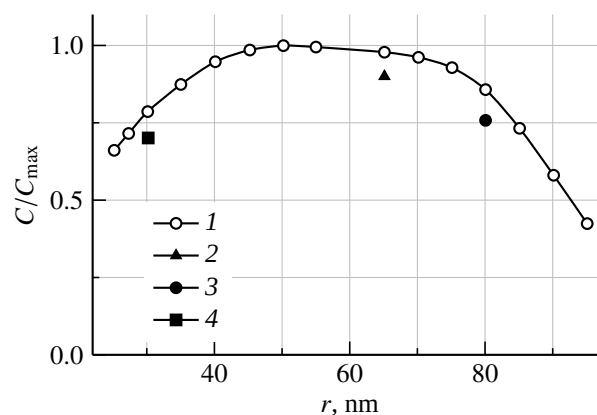


Рис. 3. Расчётная зависимость емкости катода от радиуса гранул никелата лития. Толщина электрода – 15 мкм. 1 – расчетные точки; 2, 3, 4 – экспериментальные точки

Fig. 3. Calculated dependence of cathode capacitance on the radius of lithium nickelate granules. The electrode thickness is 15  $\mu\text{m}$ . 1 – calculation points; 2, 3, 4 – experimental points

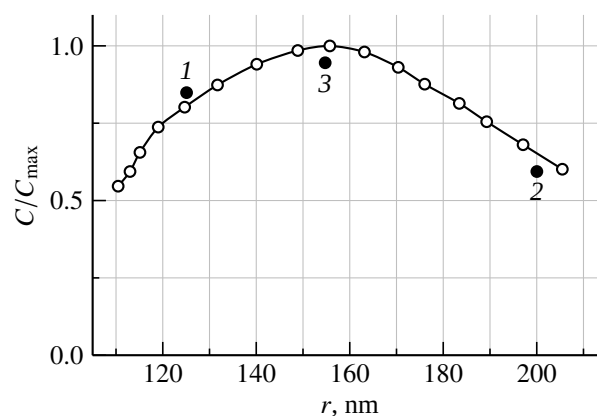


Рис. 4. Расчётная зависимость емкости катода от радиуса гранул фосфата лития-железа. Толщина электрода – 60 мкм. 1, 2, 3 – экспериментальные точки

Fig. 4. Calculated dependence of cathode capacitance on the radius of lithium iron phosphate granules. The electrode thickness is 60  $\mu\text{m}$ . 1, 2, 3 – experimental points

Зависимость емкости электрода от его структурных параметров связана с особенностями протекания электрохимического процесса в пористом электроде. В случае толщины электрода менее 50 мкм внутритранспортные характеристики не критично изменяются при варьировании размера

гранул и основное влияние на емкость оказывают диффузионные процессы в твердой фазе и интегральная поверхность электрода. Так как при уменьшении размера гранул эти факторы способствуют увеличению емкости электрода, то и положение точки максимума перемещается в сторону меньших размеров гранул никелата лития (фосфата лития-железа). Напротив, с ростом толщины электрода преобладающее влияние на величину емкости приобретают процессы переноса в жидкой фазе между гранулами, которые улучшаются с увеличением их размера. В связи с этим максимум емкости электрода реализуется при больших размерах гранул никелата лития (фосфата лития-железа).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разрядные характеристики и емкость катода существенно зависят от его толщины и гранулометрического состава активного материала. По результатам математического моделирования процесса разряда установлено, что зависимость емкости электрода от размеров его гранул имеет характер экстремума. Расчётные данные находятся в соответствии с экспериментальными результатами, что указывает на необходимость выбора оптимального гранулометрического состава фосфата лития-железа и никелата лития для достижения высоких удельных параметров электродов и аккумулятора в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jung J. C.-Y., Sui P.-C., Zhang J. A review of recycling spent lithium-ion battery cathode materials using hydrometallurgical treatments // *Journal of Energy Storage*. 2021. Vol. 35. Id. 102217. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102217>, EDN: JIRRO
2. Chen H., Cong T. N., Yang W., Tan C., Li Y., Ding Y. Progress in electrical energy storage system: A critical review // *Progress in Natural Science*. 2009. Vol. 19. P. 291–312. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.07.014>
3. Hu Y., Armada M., Sánchez M. J. Potential utilization of battery energy storage systems (BESS) in the major European electricity markets // *Applied Energy*. 2022. Vol. 322. Art. 119512. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119512>, EDN: QIMFDT
4. Фатыхов Р. Р., Хантимеров С. М., Сулейманов Н. М. Перспективы применения литий-ионных аккумуляторов в качестве резервных источников питания на электрических станциях // *Вестник КГЭУ*. 2017. № 4 (36). С. 45–53. EDN: XPHWEN
5. Jin Y., Zhao Z., Miao S., Wang Q., Sun L., Lu H. Explosion hazards study of grid-scale lithium-ion battery energy storage station // *Journal of Energy Storage*. 2021. Vol. 42. Art. 102987. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102987>, EDN: QAVDPL
6. Нестеренко Г. Б., Армеев Д. В., Гладков Д. С., Зырянов В. М., Мячина А. В. Исследование эффективности применения системы накопления электрической энергии в составе автономной гибридной энергоустановки для регулирования частоты // *Электроэнергия. Передача и распределение*. 2022. № 6 (75). С. 76–83. EDN: LLFZAI
7. Меньшов В. А., Смирнов С. Е., Иванов П. Д., Пуцылов И. А., Румянцев М. Ю. Исследование эксплуатационных возможностей электрохимических систем накопления электроэнергии // *Промышленная энергетика*. 2025. № 8. С. 11–17. <https://doi.org/10.71759/r44w-1m59>, EDN: ESRKBJ
8. Кулова Т. Л., Скундин А. М. Проблемы развития литий-ионных аккумуляторов в мире и России // *Электрохимическая энергетика*. 2023. Т. 23, № 3. С. 111–120. <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2023-23-3-111-120>, EDN: LQUIWI
9. Титов А. А., Воробьева М. В., Куриева В. В., Гусев А. Л. Перспективные катодные материалы для литий-ионных источников тока: преимущества и недостатки // *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология (ISJAE)*. 2011. № 12 (104). С. 112–126. EDN: NCBQXS
10. Смирнов С. Е., Пуцылов И. А., Бешкарев М. А., Зацепин А. А. Влияние различных факторов на параметры литий-ионных аккумуляторов // *Промышленная энергетика*. 2023. № 5. С. 35–45. <https://doi.org/10.34831/EP.2023.45.75.005>, EDN: UUQRDM
11. Смирнов С. Е., Жорин В. А., Сивцов А. В., Яштулов Н. А., Огородников А. А. Исследование структурных и электрохимических характеристик литированных оксидов марганца // *Электрохимия*. 2003. Т. 39, № 3. С. 276–282. EDN: OOTCFF
12. Способ изготовления активной массы катода литиевого аккумулятора : патент 2815267 Российская Федерация, МПК H01M 4/04 (2006.01) H01M 4/131 (2010.01) H01M 10/052 (2010.01) / Смирнов С. Е., Пуцылов И. А., Зацепин А. А., Жорин В. А. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». № 2023124360 ; заявл. 21.09.2023 ; опубл. 12.03.2024, Бюл. № 8.
13. Способ изготовления активной массы катода литиевого источника тока : патент 2827597 Рос-

сийская Федерация, МПК Н01М 4/139 (2010.01) / Смирнов С. Е., Пуцылов И. А., Бешкарев М. А., Иванов П. Д. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». № 2024105700 ; заявл. 05.03.2024 ; опубл. 30.09.2024, Бюл. № 28.

14. Смирнов С. Е., Комков В. А. Моделирование катодного процесса в литиевом аккумуляторе //

Наукоёмкие технологии. 2004. № 10. С. 14–17.

15. Савостьянов А. Н. Разработка и исследование пленочного литиевого аккумулятора : дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 150 с. EDN: QTILTY

16. Суздаев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М. : Комкнига, 2006. 588 с.

## REFERENCES

1. Jung J. C.-Y., Sui P.-C., Zhang J. A review of recycling spent lithium-ion battery cathode materials using hydrometallurgical treatments. *Journal of Energy Storage*, 2021, vol. 35, id. 102217. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102217>, EDN: JIRRO

2. Chen H., Cong T. N., Yang W., Tan C., Li Y., Ding Y. Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*, 2009, vol. 19, pp. 291–312. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.07.014>

3. Hu Y., Armada M., Sánchez M. J. Potential utilization of battery energy storage systems (BESS) in the major European electricity markets. *Applied Energy*, 2022, vol. 322, art. 119512. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119512>, EDN: QIMFDT

4. Fatikhov R. R., Khantimerov S. M., Suleymanov N. M. Prospects for Using Lithium-Ion Batteries as Backup Power Sources at Electric Power Plants. *Kazan State Power Engineering University Bulletin*, 2017, no. 4 (36), pp. 45–53 (in Russian). EDN: XPHWEH

5. Jin Y., Zhao Z., Miao S., Wang Q., Sun L., Lu H. Explosion hazards study of grid-scale lithium-ion battery energy storage station. *Journal of Energy Storage*, 2021, vol. 42, art. 102987. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102987>, EDN: QAVDPL

6. Nesterenko G. B., Armeev D. V., Gladkov D. S., Zyryanov V. M., Myachina A. V. Research on the effectiveness of using an electric energy storage system as part of an autonomous hybrid power plant for frequency regulation. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie* [Electric Power, Transmission and Distribution], 2022, no. 6 (75), pp. 76–83 (in Russian). EDN: LLFZAI

7. Menshov V. A., Smirnov S. E., Ivanov P. D., Putsilov I. A., Romyantsev M. Y. Research of operational capabilities of electrochemical systems of accumulation of electric power. *Industrial Power Engineering*, 2025, no. 8, pp. 11–17 (in Russian). <https://doi.org/10.71759/r44w-1m59>, EDN: ESRKBJ

8. Kulova T. L., Skundin A. M. Problems of development of lithium-ion batteries in the world and in Russia. *Electrochemical Energetics*, 2023, vol. 23,

iss. 3, pp. 111–120 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2023-23-3-111-120>, EDN: LQUIWI

9. Titov A. A., Vorobyeva M. V., Kursheva V. V., Gusev A. L. Promising cathode materials for lithium-ion power sources: Advantages and Disadvantages. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2011, no. 12 (104), pp. 112–126 (in Russian). EDN: NCBQXS

10. Smirnov S. E., Putsilov I. A., Beshkarev M. A., Zatsepin A. A. Influence of various factors on the parameters of lithium-ion batteries. *Industrial Power Engineering*, 2023, no. 5, pp. 35–45 (in Russian). <https://doi.org/10.34831/EP.2023.45.75.005>, EDN: UUQRDM

11. Smirnov S. E., Yashtulov N. A., Ogorodnikov A. A., Zhorin V. A., Sivtsov A. V. Structural and electrochemical characteristics of lithiated manganese oxides Russian. *Journal of Electrochemistry*, 2003, vol. 39, no. 3, pp. 247–252 (in Russian). <https://doi.org/10.1023/A:1022863424609>

12. Smirnov S. E., Putsilov I. A., Zatsepin A. A., Zorin V. A. *Sposob izgotovleniy aktivnoy massi katoda litievogo akkumulytora* [Method of manufacturing the active mass of a lithium battery cathode]. Patent RF, no. 2815267, 2024.

13. Smirnov S. E., Putsilov I. A., Beshkarev M. A., Ivanov P. D. *Sposob izgotovleniy aktivnoy massi katoda litievogo istoschnika toka* [Method of manufacturing the active mass of a lithium battery cathode]. Patent RF, no. 2827597, 2024.

14. Smirnov S. E., Komkov V. A. Modeling of the cathode process in a lithium battery. *Naukoemkie tekhnologii* [Science-Intensive Technologies], 2004, no. 10, pp. 14–17 (in Russian).

15. Savostyanov A. N. *Development and Research of a lithium film battery*. Diss. Cand. Sci. (Tech.). Moscow, 2014. 150 p. (in Russian). EDN: QTILTY

16. Suzdalev I. P. *Nanotekhnologiya: fiziko-khimiya nanoklastero, nanostruktur i nanomaterialov* [Nanotechnology: Physical and Chemical Properties of Nanoclusters, Nanostructures, and Nanomaterials]. Moscow, Komkniга, 2006. 588 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 05.03.2026; одобрена после рецензирования 31.03.2026; принята к публикации 21.05.2026; опубликована 30.06.2026  
The article was submitted 05.03.2026; approved after reviewing 31.03.2026; accepted for publication 21.05.2026; published 30.06.2026