

АККУМУЛЯТОРНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ БУРОВОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ И КАРОТАЖНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

© Г.Г. Войков, 2026

Г.Г. Войков

ООО НПО «Свободная Энергия», Россия, Томск



Электронный адрес: voikov@freepower.pro

Введение. В настоящее время для электропитания систем буровой телеметрии и каротажного оборудования, работающего при температурах до +150...200 °С, применяются батареи из непerezаряжаемых (первичных) литий-тионилхлоридных источников тока. Но они имеют ряд недостатков: стоимость; взрывоопасность; экологическую опасность; производятся в недружественных странах. Работа посвящена разработке аккумуляторных систем электропитания, которые практически лишены перечисленных недостатков, и направлена на укрепление российского технологического суверенитета в нефтегазовой отрасли.

Цель. С целью внедрения аккумуляторных технологий для решения задач автономного электропитания систем буровой телеметрии и каротажного оборудования как способа минимизации перечисленных негативных факторов работы со стандартными литий-тионилхлоридными батареями нами были проведены исследования применимости различных аккумуляторных систем в исследуемой области и выполнена разработка перезаряжаемых (вторичных) батарейных блоков для выбранного оборудования.

Материалы и методы. Основной метод решения данной задачи заключается в проведении комплексных испытаний химических источников тока (ХИТ) различных химических систем. В рамках решения экономической части задачи целесообразно рассматривать перезаряжаемые ХИТ (аккумуляторы), таким образом, испытания предварялись всесторонним исследованием мирового рынка выпускаемых элементов.

Результаты. Исследования проводились, с одной стороны, с целью поиска оптимального соотношения следующих факторов: ёмкость — термостойкость — безопасность — доступность поставок элементов; и удовлетворения эксплуатационным требованиям оборудования — с другой. По совокупности результатов четырехлетних испытаний наилучшее сочетание параметров было зафиксировано у элементов химической системы LiFePO_4 (литий-железофосфатные элементы) одного из китайских производителей. Таким образом, нами был разработан ряд опытных образцов аккумуляторных батарей из выбранных элементов и проведено опытно-эксплуатационное тестирование в реальных условиях.

Заключение. Полученные результаты разработки аккумуляторных систем на основе литий-железофосфатных элементов позволяют говорить о возможности преодоления недостатков существующей практики применения литий-тионилхлоридных источников тока. В особенности речь идет о значительном повышении безопасности производства и эксплуатации, а также о более чем 10-кратной экономической выгоде, связанной с многократным использованием перезаряжаемых батарей.

Ключевые слова: LFP, IFR, LiFePO_4 , литий-железофосфатные аккумуляторы, литий-тионилхлорид, высокотемпературные источники тока, аккумуляторная батарея, буровая телеметрия, каротаж

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Войков Г.Г. Аккумуляторные решения задач автономного электропитания для систем буровой телеметрии и каротажного оборудования. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2026;11(1):111–117. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2026-11-1-111-117>

Статья поступила в редакцию 05.12.2025

Принята к публикации 19.01.2026

Опубликована 30.03.2026

BATTERY-BASED SOLUTIONS FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY FOR MEASUREMENT WHILE DRILLING AND LOGGING EQUIPMENT

Grigoriy G. Voikov

RPA “Free Power”, RF, Tomsk

E-mail: voikov@freepower.pro

Introduction. Presently, non-rechargeable (primary) lithium-thionyl chloride batteries are used for MWD and logging equipment operating at temperatures up to +150...200 °C. However, these batteries have a list of disadvantages: cost; explosion hazard; environmental hazard; unfriendly countries of origin. This work is devoted to the development of battery-based power supply systems which have virtually no drawbacks and aim to strengthen Russia's technological sovereignty in oil and gas industry.

Objective. The aim is to implement battery technologies for autonomous power supply of MWD and logging equipment as a way to minimize the aforementioned drawbacks for standard lithium-thionyl chloride batteries. We have explored the possibility of using various battery systems in the studied area and developed rechargeable (secondary) battery packs for the selected equipment.

Materials and methods. The primary method is the comprehensive testing of chemical cell of various chemical systems. As for the economic aspects, it is expedient to consider rechargeable cells (batteries). So the testing was preceded by a comprehensive research of the manufactured cells global market.

Results. The research was conducted to find the optimal ratio of the following factors: capacity, heat resistance, safety, and cell supplies availability on one hand, and to meet the equipment operational requirements — on the other hand. Based on the four years testing results the best combination of parameters was found for LiFePO_4 cells (lithium iron phosphate cells) from a Chinese manufacturer. Thus, we developed a series of prototype batteries using the selected elements and conducted real-world testing for them.

Conclusion. The results obtained in the LiFePO_4 battery systems development allow to overcome the shortcomings of the current practice of using lithium-thionyl chloride cells. Especially, this includes a significant improvement in production and operational safety, as well as more than 10-fold economic benefit associated with the rechargeable batteries repeated using.

Keywords: LFP, IFR, LiFePO_4 , lithium iron phosphate batteries, lithium-thionyl chloride, high-temperature power sources, battery, MWD, logging

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

For citation: Voikov G.G. Battery-based solutions for autonomous power supply for measurement while drilling and logging equipment. PRONEFT. Professionally about oil. 2026;11(1):111–117. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2026-11-1-111-117>

Manuscript received 05.12.2025

Accepted 19.01.2026

Published 30.03.2026

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для электропитания систем буровой телеметрии и каротажного оборудования, работающего при температурах до +150...200 °С, применяются батареи из непerezаряжаемых (первичных) литий-тионилхлоридных источников тока. Это связано с особенностями данной химической системы: производимые элементы при указанных рабочих температурах обладают высокой устойчивостью к ударным и вибрационным нагрузкам; они имеют максимальную плотность энергии (количество энергии, приходящееся на единицу объема или массы) из всех общепромышленных химических систем. Но данный устоявшийся подход имеет ряд существенных недостатков:

элементов и, в свою очередь, является высокотехнологичным дорогим неразборным изделием;

- элементы имеют высокую плотность энергии и содержат активные химические вещества, что влечет за собой высокую взрывопожароопасность. Взрывы и возгорания литий-тионилхлоридных элементов служат причиной многих утрат оборудования и несчастных случаев;
- литий-тионилхлоридным элементам и батареям присвоен класс опасности, и при обращении с ними имеют место значительные риски и расходы при транспортировке, хранении и утилизации, возникающие при обеспечении мер безопасности и экологических требований;
- в настоящее время в России имеют место сложности в поставках элементов для производства батарей, т.к. качественные литий-тионилхлоридные элементы производятся только в США, Канаде и Республике Корея.

ДЛЯ СОЗДАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВЫ ГЕНЕРАТОРАМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ, КОТОРЫЕ ТРАДИЦИОННО ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СИСТЕМ БУРОВОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ И КАРОТАЖНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РАЗРАБОТАНЫ ЭКОНОМИЧЕСКИ ВЫГОДНЫЕ И БОЛЕЕ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОНОМНОГО ПИТАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЛИТИЙ-ЖЕЛЕЗОФОСФАТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

- качественные высокотемпературные литий-тионилхлоридные элементы имеют высокую стоимость, что усугубляется однократным использованием, не только самих элементов, но и всей батареи, которая может содержать большое количество

ЦЕЛЬ

Данная разработка направлена на поиск решения задач по электропитанию рассматриваемого оборудования на базе других химических источников тока с целью минимизировать перечисленные негативные факторы работы со стандартными литий-тионилхлоридными батареями, а также на укрепление российского технологического суверенитета в нефтегазовой отрасли.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основной метод решения данной задачи состоял в поиске химических источников тока (ХИТ) различных химических систем и проведении их комплексных испытаний. В рамках решения экономической составляющей данной задачи целесообразно рассматривать перезаряжаемые ХИТ (аккумуляторы). Достижению поставленных целей в ООО НПО «Свободная Энергия» служит собственная лаборатория, оснащенная необходимыми исследовательскими приборами и оборудованием с возможностью расширения приборной базы за счет привлечения специального оборудования потенциально заинтересованных заказчиков. В рамках работы требовалось подобрать оптимальное решение по соотношению следующих факторов:

- **ёмкость:** по данным буровых компаний, батарея должна иметь не менее 50–60% от ёмкости литий-тионилхлоридных батарей. Данный параметр ёмкости уже может быть применим для телеметрического оборудования при бурении неглубоких скважин. При этом подразумевается, что если буровая задача требует использования более 50% ёмкости литий-тионилхлоридных батарей, то обоснованным является применение существующих технологий на базе первичных литий-тионилхлоридных элементов;
- **термостойкость:** по данным заказчиков, 80–90% буровых работ как минимум в Западной и Восточной Сибири производятся при температуре в скважинах +60...90 °С. Соответственно основной диапазон поиска мы сосредоточили на элементах с работоспособностью до +100 °С.
- **безопасность:** в процессе бурения и эксплуатации вероятны значительные физические воздействия на батарею, от неправильного обращения персонала до предельных ударных нагрузок при бурении и воздействия давления бурового раствора при разгерметизации батарейного отсека. Элементы должны подвергаться воздействию ассоциированных предельных нагрузок с целью выявления моделей, не подверженных взрывам и возгораниям.
- **доступность:** ХИТ должны быть, в идеале, российского производства или являться продукцией стран, входящих в БРИКС. В данном случае основной поиск сосредоточился на продукции предприятий Китая ввиду их разнообразного предложения на рынке.

Поиск положительных результатов для разработчика был стимулирован заданными эксплуатационными критериями и основывался на следующих моментах:

- снижение температурных критериев с +150 до +100 °С и снижение критериев по ёмкости в 2 раза (до 50% от ёмкости литий-тионилхлорида) позволило расширить сегменты поиска ХИТ;
- на имеющемся у разработчика большом практическом опыте проведения испытаний с различными аккумуляторами и имеющейся базе знаний по практике эксплуатации различных ХИТ.

Отрицательный результат поиска означал бы необходимость разработки специальных ХИТ с нуля, что в настоящих условиях развития технологий в России представляется нереальным.

МИРОВОЙ ОПЫТ РЕШЕНИЯ ДАННОГО ВОПРОСА

В мировой практике ведется активный поиск различных химических источников тока для применения в автономном электропитании. Широкий обзор проводимых исследований представлен в работах [1–4]. В то же время следует отметить, что основной поток исследований сосредоточен на разработке аккумуляторных батарей для массовых потребителей (смартфоны, ноутбуки, инструменты, автомобили). Системы буровой телеметрии и каротажного оборудования относятся к более узкому сегменту потребителей, что существенно ограничивает интересы научной общественности к новым разработкам в этой области. Из современных исследований по данной теме можно привести работы [5, 6].

Компания SAFT (Франция) разработала и производила до 2020 года литий-ионные аккумуляторы VL32600-125 с рабочей температурой до +125 °С. Но они имели ёмкость, составляющую 30–35% от ёмкости литий-тионилхлоридных батарей, что не отвечало минимальным критериям применения данных элементов для питания телеметрических систем. Соответственно они применялись для оборудования геофизических исследований скважин. В настоящий момент сняты с производства, их модификация на предмет увеличения ёмкости не проводится.

У компании Tadiran (Германия) в ассортименте имеются литий-ионные аккумуляторы с рабочей температурой до +135 °С, но их ёмкость ещё меньше и критериям применения они также не удовлетворяют.

В настоящее время данная задача в мире не решена. Применение литий-тионилхлоридных перезаряжаемых батарей является



Рис. 1. Образец из LiFePO_4 после воздействия.
Предоставлено автором
Fig. 1. The sample of LiFePO_4 sell after the impact.
Prepared by the author

базовым вариантом обеспечения электропитания для телеметрических систем.

Настоящее масштабное исследование является уникальным, и реализованный за ним проект призван изменить положение вещей в данной сфере.

В данной работе проводились исследования образцов следующих химических систем:

- 1) NiMh (никель-металлогидридные);
- 2) ICR (литий-кобальтовые);
- 3) IMR (литий-марганцевые);
- 4) INR (литий-никель-марганцевые);
- 5) NMC (литий-никель-марганец-кобальт-оксидные);
- 6) LFP, IFR, LiFePO_4 (литий-железофосфатные);
- 7) LTO (литий-титанатные);
- 8) NCA (литий-никель-кобальт-алюминий-оксидные).

Исследования проводились с целью поиска оптимального соотношения факторов:

ёмкость — термостойкость — безопасность — доступность поставок. По совокупности результатов испытаний наилучшее сочетание параметров было зафиксировано у элементов химической системы LiFePO_4 (литий-железофосфатные).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Приведем следующие основные результаты исследований найденного нами лучшего образца.

1. Безопасность

Исследование на безопасность проводилось методом фиксации реакции элемента на проникающее воздействие проводящего элемента (прокол гвоздём). Положительная реакция: отсутствие взрыва и возгорания. На **рис. 1** представлен элемент после проведения испытания.

2. Емкость: составляет 15-16 А·ч (50-60% от емкости литий-тионилхлоридных батарей). Типоразмер элемента 32140 (DD). Измерения проводились на специализированном зарядно-разрядном оборудовании Neware (мировой лидер в данной сфере). На **рис. 2** приведен внешний вид оборудования.

3. Рабочая температура эксплуатации: до +100 °С.

Исследования проводились в термокамерах с различной температурой (см. **рис. 2**). Экспериментальные данные по фактическому ресурсу элементов приведены на **рис. 3**. В данном случае ресурс — это зависимость ёмкости элементов от рабочей температуры и количества циклов разряда. Каждая точка на графике — физическая ёмкость после 24-часового разряда при соответствующей температуре испытаний. Последующий заряд



Рис. 2. Измерительное оборудование Neware. Предоставлено автором
Fig. 2. Measuring equipment Neware. Prepared by the author

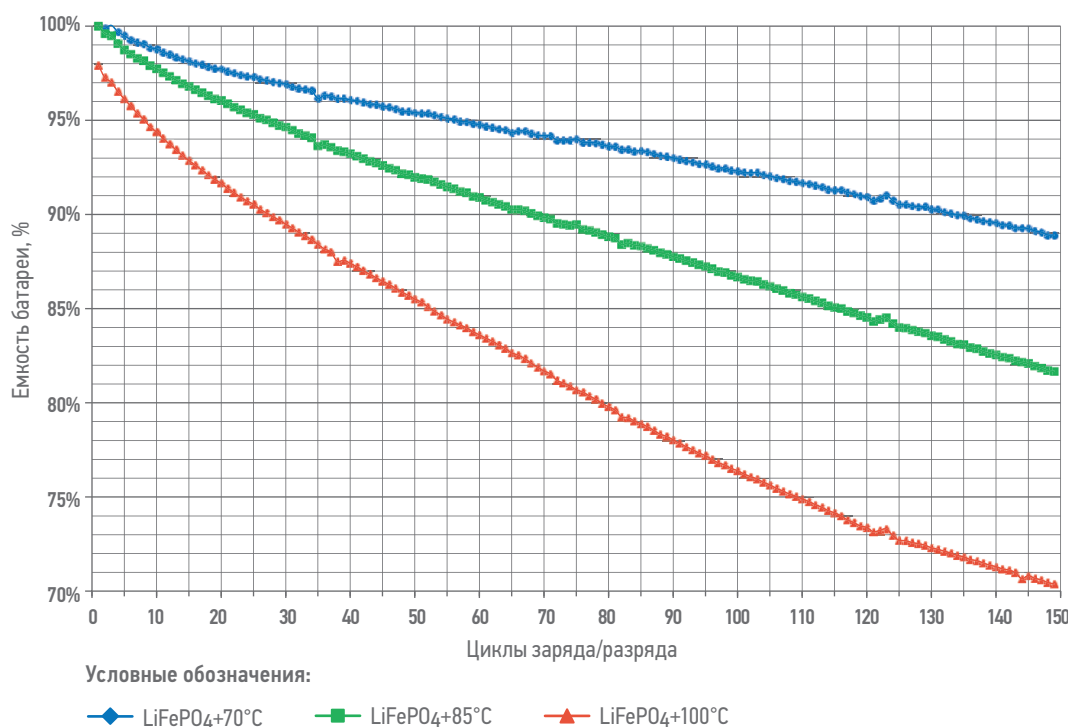


Рис. 3. Сравнение фактического ресурса элементов различных типоразмеров. Предоставлено автором
Fig. 3. Comparison of different size cells actual recourse. Prepared by the author

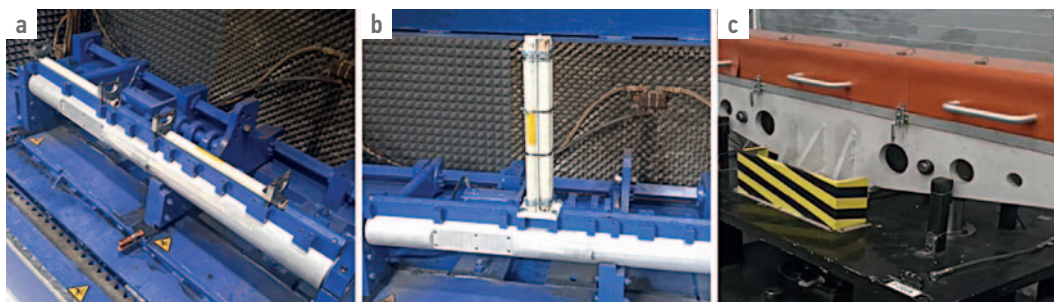


Рис. 4. Стенды для испытаний на механические воздействия: (а) для ударных испытаний на 100G в перпендикулярной плоскости, (б) для ударных испытаний на 100G по оси, (с) для проведения ударных испытаний 10G при высоких температурах. Предоставлено автором

Fig. 4. Mechanic impact test benches: (a) for drop test under 100G in perpendicular plane, (b) for drop test under 100G axially (c) for drop test under 10G under high temperature. Prepared by the author

производится при комнатной температуре. Общая продолжительность финальных непрерывных испытаний на ресурс — 1,5 года. Батарея считается работоспособной при падении емкости до 70% от первоначальной. Оценочное количество циклов (часов работы):

- +100 °C — 150 циклов (3 600 часов);
- +85 °C — 200...250 циклов (5 000 часов);
- +70 °C — 300...350 циклов (7 500 часов);
- +60 °C и меньше — более 400 (10 000 часов);

4. Стойкость к механическим воздействиям
Проверялась стойкость к следующим механическим воздействиям:

- 3 000 ударов с перегрузкой 100G при комнатной температуре;
- 10 000 ударов с перегрузкой 10G при температуре +100 °C.

Исследования проводились в двух плоскостях на специальном испытательном оборудовании (см. рис. 4, а–с). Элементы показали хорошую стойкость, изменений технических характеристик не зафиксировано.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аккумуляторы с рабочими температурами до +100 °C и ёмкостью, составляющей 50–60% от стандартных батарей, могут найти применение для питания телеметрического и геофизического оборудования при работах на неглубоких и негорячих скважинах. Исследования показали, что литий-железофосфатные элементы являются одними

из самых безопасных. Опасность взрыва и возгорания отсутствует. Результат максимально разрушительного теста на прокол литий-железо-фосфатного аккумулятора показал, что вследствие больших токов короткого замыкания значительно повышается температура, о чём свидетельствует спеченная термоусадочная оболочка, но не происходит взрыва и возгорания элемента.

Батарея оснащена термодатчиками и пленочными нагревательными элементами, что позволяет перед зарядом в условиях открытого воздуха и отрицательных температур проводить предварительный нагрев батареи. Контроль температуры также позволяет избежать зарядки ещё горячего аккумулятора после работы в скважине.

Балансировка элементов батареи производится комплексными методами, с помощью внешнего зарядного устройства (ЗУ) и встроенного в батарею микроконтроллера; В процессе работы системы «аккумулятор — зарядное устройство» измеряются и отображаются следующие данные о состоянии батареи, позволяющие принимать решения о её работоспособности:

- текущий процент заряда и выходное напряжение;
- фактическая ёмкость и процент её снижения с начала эксплуатации (деградация);
- уровень дисбаланса элементов по ёмкости и напряжение на каждом элементе;
- история эксплуатации с привязкой к шкале реального времени (напряжение, ток, ёмкость, температура).

Рабочие разрядные токи литий-железо-фосфатных элементов в 5–10 раз больше, чем у литий-тионилхлоридных, что позволяет обеспечить более стабильный уровень

напряжения батарей, снизить влияние импульсных токов и других факторов.

Для экономии расхода энергии реализована функция «отложенный старт»: в сопроводительном программном обеспечении для конкретной батареи устанавливается интервал времени, по прошествии которого батарея включится и обеспечит оборудование электропитанием.

При сбалансированности энергетики батарей и телеметрической системы аккумуляторы могут стать альтернативой генераторам электропитания, особенно при осложнениях бурения (например, при поглощении).

Преимущества использования аккумуляторных батарей:

- 1) повышение независимости от высокотехнологичной импортной комплектации;
- 2) прямая экономическая выгода (от 10 до 40 раз);
- 3) значительное повышение безопасности эксплуатации;
- 4) минимизация затрат на организацию логистики (особенно вертолётной);
- 5) минимизация затрат на хранение батарей;
- 6) минимизация затрат на утилизацию батарей.

Аккумуляторные батареи данного типа в настоящий момент проходят опытную эксплуатацию в ряде отечественных компаний.

Результатом внедрения данной технологии автономного питания систем телеметрии должно стать значительное сокращение применения первичных литий-тионилхлоридных батарей, что, в свою очередь, влечет за собой более чем 10-кратную экономическую выгоду, значительное повышение безопасности производства, сокращение регламентированных затрат на транспортировку, хранение и утилизацию.

Список литературы

1. Нулова 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
2. Grey C.P., Hall D.S. Prospects for lithium-ion batteries and beyond — a 2030 vision // Nat. Commun., 2020, vol. 11, pp. 6279–6282. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19991-4>.
3. Zubi G., Dufo-Lopez R., Carvalho M., Pasaoglu G. The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives // Renewable Sustainable Energy Rev., 2018, vol. 89, pp. 292–308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.002>
4. Kim T., Song W., Son D.-Y., Ono L. K., Qi Y. Lithium-ion batteries: Outlook on present, future, and hybridized technologies // J. Mater. Chem. A, 2019, vol. 7, pp. 2942–2964. <https://doi.org/10.1039/c8ta10513h>
5. Davide Andrea. Lithium-Ion Batteries and Applications. A Practical and Comprehensive Guide to Lithium-Ion Batteries and Arrays, from Toys to Towns; 2020 Artech House 685 Canton Street Norwood, MA 02062.
6. Turksay A., Teke A., Alkaya A. A comprehensive overview of the DC-DC converter-based battery charge balancing methods in electric vehicles // Renew. Sustain. Energy Rev. 2020, vol. 133, pp. 10274.

References

1. Kulova T. L., Skundin A. M. Problems of development of lithium-ion batteries all over the world and in Russia. *Electrochemical Energetics*, 2023, vol. 23, no. 3, pp. 111–120. (In Russ.) <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2023-23-3-111-120>, EDN: LQUIWI.
2. Grey C. P., Hall D. S. Prospects for lithium-ion batteries and beyond — a 2030 vision. *Nat. Commun.* 2020, vol. 11, pp. 6279–6282. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19991-4>.
3. Zubi G., Dufo-Lopez R., Carvalho M., Pasaoglu G. The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2018, vol. 89, pp. 292–308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.002>

4. Kim T., Song W., Son D.-Y., Ono L. K., Qi Y. Lithium-ion batteries: Outlook on present, future, and hybridized technologies. *J. Mater. Chem. A*. 2019, vol. 7, pp. 2942–2964. <https://doi.org/10.1039/c8ta10513h>
5. Davide Andrea. Lithium-Ion Batteries and Applications. A Practical and Comprehensive Guide to Lithium-Ion Batteries and Arrays, from Toys to Towns; 2020 Artech House 685 Canton Street Norwood, MA 02062.
6. Turksoy A., Teke A., Alkaya A. A comprehensive overview of the DC-DC converter-based battery charge balancing methods in electric vehicles, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2020, vol. 133, pp. 110274.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTION

Г.Г. Войков — автор идеи и разработки, подготовил материалы и текст статьи. Согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Grigoriy G. Voikov — author and developer of the concept, prepared materials and the text of the article. Accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Григорий Геннадьевич Войков — директор, ООО НПО «Свободная Энергия»
634012, Россия, г. Томск, ул. Щорса, д. 2а.
e-mail: voikov@freepower.pro

Grigoriy G. Voikov — CEO, RPA "Free Power"
2A, Schorsa str., 634012, Tomsk, Russia.
e-mail: voikov@freepower.pro