УДК 621.355

Колмогоров Алексей Геннадьевич,
к.т.н., доцент, зав. кафедрой автоматизации технологических процессов,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: atp@angtu.ru
Рууз Алексей Владимирович,
студент гр.АТП-24, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: ruuz@mail.ru

ВЫБОР АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА

Kolmogorov A.G., Ruuz A.V.

SELECTION OF STORAGE BATTERIES FOR UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY OF A PRIVATE HOUSE

Аннотация. Рассмотрены основные типы аккумуляторных батарей, применяемых в системах бесперебойного электроснабжения индивидуальных жилых домов. Дана краткая характеристика технологий и отмечены их ограничения. Особое внимание уделено литий-железо-фосфатным аккумуляторам ($LiFePO_4$): описаны их конструкция, преимущества использования и требования к эксплуатации. Показано, что $LiFePO_4$-аккумуляторы обеспечивают высокий уровень безопасности, продолжительный срок службы и минимальные эксплуатационные расходы. Приведены рекомендации по выбору аккумуляторной батареи в зависимости от особенностей режима работы дома.

Ключевые слова: бесперебойное питание, аккумуляторная батарея, $LiFePO_4$, частный дом, резервное питание, безопасность, эффективность.

Abstract. The article discusses the main types of batteries used in uninterruptible power supply systems for individual residential buildings. It provides a brief overview of the technologies and highlights their limitations. Special attention is given to lithium iron phosphate batteries ($LiFePO_4$), including their design, advantages, and operational requirements. The article demonstrates that $LiFePO_4$ batteries offer high safety levels, long service lives, and minimal maintenance costs. The article also provides recommendations for selecting the right battery based on the specific requirements of the building's operation.

Keywords: uninterruptible power supply, storage battery, $LiFePO_4$, private house, backup power, safety, efficiency.

Обеспечение бесперебойного электроснабжения частного дома невозможно без правильно выбранного накопителя энергии. Рынок предлагает несколько типов аккумуляторных батарей (АКБ), каждый из которых имеет свои сильные и слабые стороны. Цель данной работы – кратко охарактеризовать доступные варианты и обосновать выбор литий-железо-фосфатной технологии ($LiFePO_4$) как наиболее подходящей для использования в большинстве частных домовладений.

При выборе АКБ для источника бесперебойного питания (ИБП) важно понимать, в каком режиме она будет эксплуатироваться:

- буферный режим – батарея почти всё время находится полностью заряженной. Её разряжают редко (например, несколько раз в год) и используют лишь малую часть энергии (не более 20–30% от полной ёмкости). В таком ре-

жиме свинцово-кислотные (AGM/GEL) аккумуляторы служат 3–5 лет, а $LiFePO_4$ – гораздо дольше;

- циклический режим – батарею регулярно разряжают – используя половину или даже до 80% её энергии, а потом снова полностью заряжают. Так бывает при частых и долгих отключениях света или в системах с солнечными панелями. В таком режиме свинцово-кислотные быстро выходят из строя (выдерживают всего 300–800 таких циклов), а $LiFePO_4$ выдерживают 3000–8000 циклов;
- смешанный режим – сочетает черты буферного и циклического. Батарея большую часть времени стоит подзаряженной, но при длительных авариях на линии её приходится разряжать, до момента восстановления напряжения в сети. Это самый частый вариант для домашнего ИБП [1].

Краткий обзор типов аккумуляторов.

1. Свинцово-кислотные (AGM, GEL). Недорогие, необслуживаемые. AGM – хорошо подходит для мощных потребителей, так как может быстро отдавать много энергии. GEL – служит дольше, даже при частых сильных разрядах, но важно не перезаряжать его, иначе он выйдет из строя. Недостатки: малый ресурс (3–5 лет в щадящем режиме), теряют ёмкость на морозе, требуют замены каждые 1–2 года [3].

2. Никель-кадмиевые (Ni-Cd). Надёжны, работают от –40 до +60°C, не боятся полного разряда, выдерживают до 2000 циклов. Недостатки: эффект «памяти», токсичность кадмия, высокий саморазряд (10% за сутки), большой вес.

3. Никель-металлгидридные (Ni-MH). Экологичны, ёмкость на 30–40% выше, чем у Ni-Cd, слабый эффект памяти. Недостатки: саморазряд до 30% в месяц, сложность зарядки, 500–1000 циклов.

4. Литий-железо-фосфатные ($LiFePO_4$). Наиболее перспективны для использования в домашних ИБП. Высокая термическая стабильность, нет риска возгорания. Ресурс: 3000–8000 циклов, что в 5–10 раз выше свинцово-кислотных. Стабильное напряжение при разряде. Недостатки: чуть большие масса и габариты по сравнению с другими литий-ионными (NMC), требуется подогрев для зарядки на морозе, чуть выше цена [3].

Основные параметры аккумуляторов для ИБП (12 В, ≈ 100 А·ч) приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что $LiFePO_4$ значительно превосходит свинцово-кислотные батареи по удельной энергии, допустимой глубине разряда и ресурсу, уступая лишь в начальной стоимости. Однако при длительной эксплуатации более высокая цена $LiFePO_4$ окупается за счёт многократно большего срока службы.

Таблица 1

Сравнение параметров аккумуляторных батарей для систем бесперебойного питания

Параметр	AGM (свинцово-кислотный)	GEL (свинцово-кислотный)	$LiFePO_4$ (литий-железо-фосфатный)	NMC (литий-кобальт-марганцевый)
Номинальное напряжение, В	12	12	12,8	11,1
Удельная энергия, Вт·ч/кг	30–50	30–40	90–120	150–220
Допустимая глубина разряда, %	50	60	80–100	80
Количество циклов (при 80% разряда)	300–500	500–800	3000–8000	1000–2000
Номинальный ток заряда, C	0,1–0,2C	0,1–0,2C	0,5–1,0C	0,5–1,0C
Диапазон рабочих температур, °C	–20…+50	–20…+55	–10…+60	–10…+55
Саморазряд в месяц, %	3–5	1–3	1–2	2–4
Относительная стоимость, у.е./Вт·ч	0,15–0,25	0,20–0,30	0,40–0,60	0,35–0,55
Безопасность (склонность к тепловому разгону)	высокая	высокая	очень высокая	средняя

Проблема подделок на рынке $LiFePO_4$ достигла огромного масштаба: распространены ячейки Grade B (заводской брак), восстановленные после эксплуатации, или откровенные фальсификаты. Качественная ячейка должна иметь идеально ровную геометрию, металлическую лазерную гравировку, а не наклеенную этикетку, и заводскую упаковку из плотного картона с амортизирующими вкладышами.

Типовая призматическая ячейка $LiFePO_4$ ёмкостью 100 А·ч имеет размеры примерно 130×36×200 мм и весит около 2,0–2,3 кг. Ячейка на 280 А·ч – примерно 200×70×280 мм, масса 5,0–5,5 кг. Удельная энергия на уровне 90–120 Вт·ч/кг, что в 2–3 раза лучше свинцово-кислотных батарей. У оригинальных ячеек внутреннее сопротивление (IR) составляет 0,3–0,5 МОм для типовой ёмкости 100–280 А·ч; повышенное сопротивление указывает на деградацию или использование старых пластин. Также недобросовестные продавцы часто завышают ёмкость, наклеивая маркировку на ячейки меньшей ёмкости.

Проверка QR-кода на корпусе ячейки – важнейший инструмент контроля подлинности. Все оригинальные $LiFePO_4$ ячейки имеют металлическую лазерную маркировку Data Matrix длиной 24 бита, расположенную вблизи силовых

выводов. Расшифруем пример кода (рисунок 1) и опишем, что означает каждый символ (рисунок 2).

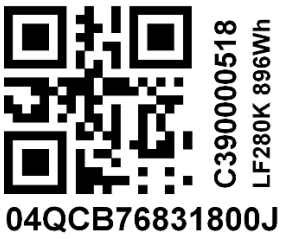


Рисунок 1 – Пример защитного QR-кода $LiFePO_4$ ИБП

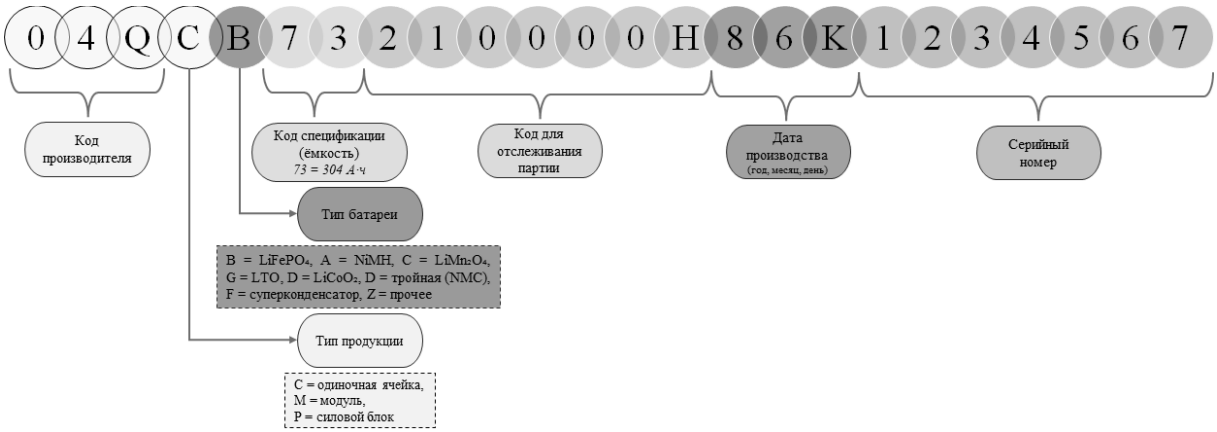


Рисунок 2 – Расшифровка защитного QR-кода

QR-код состоит из нескольких блоков информации:

1. Код производителя (Manufacturer Code) (X1–X3) – идентифицирует производителя. Пример: «04Q» соответствует «EVE Power».

2. Код типа продукта (Product Type Code) (X4) – указывает тип продукта:

- C – одиночная батарея (Single battery);
- M – модуль батареи (Battery Module);
- P – силовой блок (Power Battery Pack).

3. Код типа батареи (Battery Type Code) (X5) – определяет химический состав или тип батареи:

- B – батарея $LiFePO_4$;
- D – батарея $LiCoO_2$;
- A – никель-металлогидридные батареи (NiMH batteries);
- D – тернарная батарея (Ternary Battery);
- C – батарея $LiMn_2O_4$;
- F – суперконденсатор (Super-Capacitor);
- G – батарея LTO;
- Z – другие типы батарей (Others Battery).

4. Код спецификации (ёмкость) (Specification Code) (X6–X7) – содержит технические характеристики, например, «73:304ah» (ёмкость 304 А·ч).

5. Код для отслеживания партии (Traceback Code) (X8–X14) – используется для отслеживания партии или производственного процесса.

6. Дата производства (Production Date) (X15–X17) – указывает дату выпуска батареи.

7. Серийный номер (Serial Number) (X18–X24) – уникальный идентификатор конкретной батареи.

Основной объём рынка литий-железо-фосфатных ячеек приходится на китайских производителей. На территории Российской Федерации сформировался ряд производителей $LiFePO_4$ аккумуляторных систем. АО «Лиотех» (Ленинградская область) осуществляет серийный выпуск литий-железо-фосфатных аккумуляторов по технологии LFP/C, включая полный цикл от синтеза катодного материала до сборки батарей; предприятие оснащено современным производственным комплексом и строит вторую площадку в ОЭЗ «Новоорловская». Компания «ПК ТОР» (г.Верхняя Пышма) специализируется на разработке и производстве тяговых $LiFePO_4$ аккумуляторов и энергосистем полного цикла для электротехники; ресурс собственных батарей превышает 3000 циклов при глубине разряда 80%. STARK LITHIUM (г.Рязань) серийно выпускает литиевые аккумуляторные батареи для ИБП и стационарного применения, производственная мощность предприятия превышает 100 млн А·ч в год; в планах – ввод нового корпуса для увеличения выпуска. АО «Энергия» (г.Елец) после технического перевооружения производит литий-железо-фосфатные аккумуляторы и является единственным в России производителем полного цикла источников тока; её дочерняя компания Advanced Energy выпускает $LiFePO_4$ АКБ для электротранспорта и спецтехники. Компания «НЭТЕР» также разрабатывает и производит литий-железо-фосфатные аккумуляторные системы для стационарного хранения энергии и ИБП. Также на рынке присутствуют инжиниринговые компании, такие как LITJET (производитель $LiFePO_4$ и натрий-ионных аккумуляторов) и «ВольттБак» (г.Москва), занимающиеся сборкой батарей и сервисным обслуживанием.

Рассмотрим аккумуляторную сборку из ячеек $LiFePO_4$ и её основные свойства. Для использования в системе бесперебойного питания для частного дома из отдельных ячеек $LiFePO_4$ собирается аккумуляторная сборка. На рисунке 3 показан пример такой сборки: 16 последовательно соединённых ячеек (для получения номинального напряжения 51,2 В 16S1P), стянутых металлическими пластинами и шпильками. Между ячейками проложены диэлектрические пластины (текстолит), исключающий электрический контакт, а на металлических пластинах наклеен диэлектрический материал, который исключает электрический контакт. Силовые клеммы выведены наружу и герметизированы, что

предотвращает попадание влаги и пыли. Вся конструкция закреплена на несущей стойке, обеспечивающей жёсткость и безопасность использования [2].

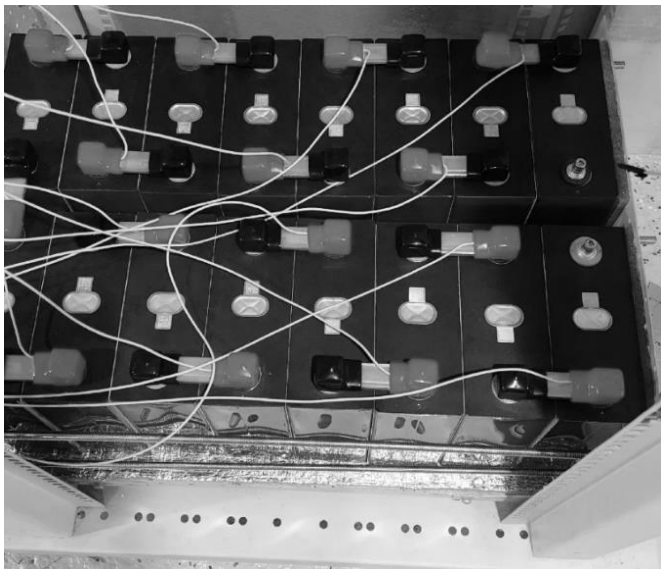


Рисунок 3 – Пример собранной батареи $LiFePO_4$

Такая сборка полностью готова для подключения к инвертору. Её основные параметры: номинальное напряжение 51,2 В, ёмкость – от 100 до 600 А·ч в зависимости от выбранных ячеек. Максимальный разрядный ток – обычно 0,5–1С, где, С – токовая нагрузка, выраженная в единицах номинальной ёмкости батареи. Это означает, что батарею можно безопасно разряжать током, равным от половины до полного значения её номинальной ёмкости (в ампер-часах). Для батареи 100 А·ч это 50–100 А. В отличие от свинцово-кислотных батарей, эта конструкция не требует заливки электролита, обслуживания, не выделяет газов и может устанавливаться в жилых помещениях. Для управления процессом заряда-разряда к сборке подключается система управления (BMS), которая контролирует напряжение каждой ячейки, температуру и отключает батарею при аварийных режимах [3].

Для частного дома оптимальна батарея на 51,2 В ёмкостью от 100–200 А·ч, так как это позволяет использовать эффективные инверторы с меньшими токами и более тонкими кабелями. При необходимости несколько таких блоков можно соединять параллельно для увеличения общей ёмкости батареи.

Преимущества $LiFePO_4$ для частного дома:

1. Длительный срок службы. $LiFePO_4$ выдерживает 3000–8000 циклов «заряд-разряд» при глубине разряда 80%. При ежедневном использовании это соответствует 8–12 годам работы. Свинцово-кислотная батарея при такой же нагрузке деградирует через 1–2 года.

2. Высокая энергоэффективность. КПД заряда-разряда достигает 94–98% (у свинцово-кислотных – 75–85%). При накоплении 10 кВт·ч потери в $LiFePO_4$ составляют всего 0,2–0,6 кВт·ч, что экономит электроэнергию.

3. Быстрый заряд. $LiFePO_4$ способен принимать ток до 1C (полный заряд за 1 час). Это важно, если окно наличия сети короткое (например, при работе от генератора). Свинцово-кислотные батареи заряжаются током 0,1–0,2C, требуя 5–10 часов.

4. Устойчивость к глубокому разряду. $LiFePO_4$ можно разряжать до 80–90% без заметного сокращения ресурса. Для свинцово-кислотных батарей глубокий разряд губителен.

5. Малый вес и компактность. При одинаковой накопленной энергии $LiFePO_4$ весит в 2–3 раза меньше и занимает меньший объём, что упрощает монтаж в системе.

6. Безопасность. $LiFePO_4$ не выделяет газов, не требует вентиляции, не взрывается и не воспламеняется при проколе или перегреве. Это особенно важно для использования в жилом помещении [4].

Особенности эксплуатации $LiFePO_4$ в домашних условиях.

Несмотря на преимущества, использование $LiFePO_4$ предъявляет определённые требования к:

- системе управления батареей. Для контроля напряжения каждой ячейки, балансировки, защиты от перезаряда и короткого замыкания необходима электронная плата (BMS). Современные инверторы для дома имеют встроенную поддержку таких систем;
- температурному режиму заряда. $LiFePO_4$ нельзя заряжать при температуре ниже 0 °C – это приводит к необратимой потере ёмкости. При установке в неотапливаемом помещении необходим подогрев или перенос батареи в отапливаемую зону. Разряд возможен при температуре до –20 °C;
- совместимости с инвертором. Требуется, чтобы BMS литиевой батареи поддерживала протокол для связи с инвертором.

Рекомендации по выбору типа батареи для частного дома.

Исходя из проведённого анализа, можно дать следующие практические выводы:

1. Для дома с частыми отключениями (ежедневно или несколько раз в неделю) – $LiFePO_4$ является единственным экономически оправданным выбором. Несмотря на более высокую начальную стоимость, за 8 лет эксплуатации он обойдётся дешевле, чем многократная замена свинцово-кислотных батарей.

2. Для дома с редкими отключениями (несколько раз в год) можно рассмотреть бюджетные свинцово-кислотные AGM, но при условии, что глубина разряда не будет превышать 30–40%.

3. Если помещение для батареи не отапливается – необходимо выбрать $LiFePO_4$ со встроенным подогревом или организовать обогрев от системы отопления.

4. При подключении мощных потребителей (насосы, кондиционеры) $LiFePO_4$ обеспечивает высокие пусковые токи без просадки напряжения, что позволяет использовать батарею меньшей номинальной ёмкости по сравнению со свинцово-кислотной [5].

В статье выполнен краткий обзор альтернативных типов аккумуляторов для систем бесперебойного питания частного дома и показаны их ограничения. Детально рассмотрен литий-железо-фосфатный аккумулятор ($LiFePO_4$), который благодаря высокой цикличности, энергоэффективности, безопасности и компактности является наиболее подходящим выбором для домашнего использования, особенно при частых и глубоких разрядах. Рекомендовано использовать $LiFePO_4$ в паре с инвертором, поддерживающим соответствующие настройки, и обеспечивать положительную температуру при заряде.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Багоцкий, В.С.** Химические источники тока / В. С. Багоцкий, А. М. Скундин. – Москва: ТЕИС, 2018. – 568 с. – ISBN 978-5-907000-12-6. – Текст: непосредственный.

2. **Хрусталёв, Д.А.** Аккумуляторные системы для возобновляемой энергетики / Д. А. Хрусталёв. – Москва: Издательство МЭИ, 2021. – 312 с. – ISBN 978-5-7046-2453-2. – Текст: непосредственный.

3. **Довгань, В.В.** Сравнение эксплуатационных характеристик свинцово-кислотных и литий-железо-фосфатных аккумуляторов / В. В. Довгань, С. П. Кузьмин. – Текст: непосредственный // Альтернативная энергетика. – 2023. – № 2 (46). – С. 34–41.

4. **Патент № 2761323.** Российская Федерация, МПК H01M 10/42 (2006.01). Способ балансировки ячеек литий-ионной аккумуляторной батареи: № 2021112461: заявл. 28.04.2021: опубл. 08.12.2021 / А. Н. Тихонов, Д. А. Белов; заявитель ООО «Лиотех». – 14 с.: ил. – Текст: непосредственный.

5. **Калачёв, Ю.Н.** Эксплуатация литиевых аккумуляторов при низких температурах / Ю. Н. Калачёв. – Текст: непосредственный // Энергетик. – 2024. – № 1. – С. 27–30.