

Аккумуляторы для телекоммуникационного оборудования: анализ и перспективы

А. И. Иванова, И. А. Томашевский

*Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I*

anastasiia.0303@list.ru
tomashevskiy-2004@mail.ru

О. Г. Евдокимова, Е. И. Иванова

*Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I*

ole4ka_spb@mail.ru
elena.ivanova.pgups@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается исторический аспект использования аккумуляторных батарей, предназначенных для применения в системах резервного питания, в том числе, телекоммуникационного оборудования. Проведен сравнительный анализ аккумуляторов по основным показателям энергетических и эксплуатационных характеристик, сроку службы, позволяющих оценить их перспективность использования. Сформулированы требования к аккумуляторным батареям, обеспечивающие высокую эффективность и безотказность их функционирования.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея; сравнительный анализ; срок службы; характеристики

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные энергетические системы и телекоммуникационные сети требуют надежных и эффективных источников резервного питания, способных обеспечить бесперебойную работу критически важного оборудования в аварийных ситуациях. На протяжении десятилетий свинцово-кислотные аккумуляторы оставались основным решением благодаря их доступности и отработанной технологии. Однако с развитием технологий все большую конкуренцию им составляют литий-ионные аккумуляторы, которые предлагают улучшенные эксплуатационные характеристики и соответствуют современным требованиям к экологичности и энергоэффективности.

II. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ СВИНЦОВОГО АККУМУЛЯТОРА

Основоположником технологии свинцовых аккумуляторов стал французский физик Гастон Планте. В 1859 году, работая в лаборатории Александра Эдмона Беккереля, он разработал прототип первой перезаряжаемой батареи. Конструкция представляла собой две свинцовые пластины, разделённые тканевым материалом (прообраз современных сепараторов), которые были скручены вокруг деревянного цилиндра и помещены в стеклянную ёмкость с раствором серной кислоты (10 % концентрации). Это устройство стало прототипом первого аккумулятора (рис. 1).

Аккумулятор Планте был несовершенен, но ученый продолжил эксперименты. В частности, он выяснил, что увеличение площади пластин, контактирующих с электролитом, повышает силу выходного тока.

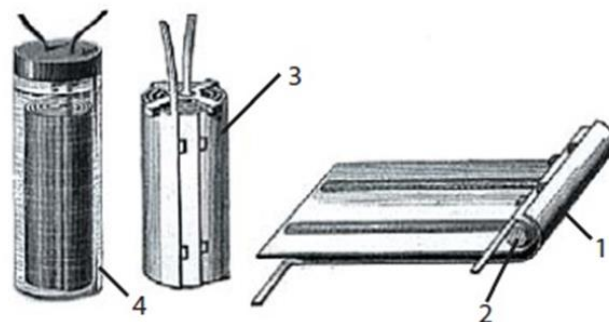


Рис. 1. Первый свинцово-кислотный аккумулятор, изготовленный Гастоном Планте: 1 — «сэндвич» из двух тонких листов свинца с тканевой прокладкой между ними; 2 — деревянный цилиндр; 3 — готовый блок электродов; 4 — стеклянная колба с раствором серной кислоты

Кроме того, учёный обнаружил, что обратимая подача тока в разряженную батарею восстанавливает её ёмкость, а многократные циклы заряда-разряда значительно повышают эффективность. Этот метод, названный «формовкой пластин», из-за несовершенства технологии занимал более трёх месяцев.

Прогресс в разработке аккумуляторов продолжился благодаря работам других учёных. В 1878 году инженер-химик Камиль Альфонс Фор предложил инновационный подход: покрытие пластин свинцовым суриком до сборки батареи. При зарядке сурик на аноде преобразовывался в диоксид свинца, а на катоде — в пористый свинец, что увеличивало активную поверхность. Этот метод сократил время формовки и повысил ёмкость аккумуляторов.

В 1881 году Эрнест Фолькмар усовершенствовал конструкцию, создав электроды в виде намазной решётки, которая надёжно удерживала активную массу. В том же году Джон Селлон запатентовал технологию изготовления решеток из сплава свинца и сурьмы, что повысило долговечность батарей.

Современные свинцово-кислотные аккумуляторы, несмотря на использование новых материалов и производственных методов, сохраняют принципы, заложенные Планте, Фором и Фолькмаром. Их наследие остается фундаментом для развития энергонакопительных технологий.

III. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В КАЧЕСТВЕ РЕЗЕРВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В современных энергетических и телекоммуникационных системах для аварийного электроснабжения традиционно применяются свинцово-кислотные батареи (СКА) [2].

Для объектов связи первой категории надежности емкость аккумуляторных групп рассчитывается так, чтобы обеспечить питание критически важных систем, аварийное и эвакуационное освещение в течение 30 минут. Исключение составляют автоматические телефонные станции (АТС) районных сетей емкостью 3000-20000 номеров, для которых емкость аккумуляторных батарей (АБ) рассчитывается на 1 час работы. Для сельских электромеханических АТС необходим запас на 5 часов работы, а для электронных АТС – на 12 часов.

Эксплуатация свинцово-кислотных аккумуляторных батарей требует регулярного обслуживания и контроля параметров (уровня электролита, напряжения и др.) [2;3]. Кроме того, они относятся к экологически опасным отходам из-за содержания свинца и кислоты, требующим специальной утилизации.

В табл. 1 приведена периодичность проверки основных параметров свинцово-кислотных аккумуляторов.

ТАБЛИЦА I. ПЕРИОДИЧНОСТЬ ПРОВЕРКИ ПАРАМЕТРОВ АККУМУЛЯТОРОВ

Контролируемые параметры	Частота проверки
1. Уровень электролита в элементах, газовыделение, состояние электролита, наличие осадка, освещение и чистота помещения	Ежедневно
2. Напряжение и плотность электролита в каждом элементе, температура в контрольных элементах	Ежемесячно
3. Напряжение на шинах постоянного тока ЦПТ, ток подзаряда основных и хвостовых элементов	Ежемесячно
4. Напряжение, плотность электролита в каждом элементе и температура (при отключенной АБ) в контрольных элементах, сопротивление изоляции	Ежеквартально
5. Очистка контактов и поверхностей от загрязнений	Раз в полгода
6. Проверка ёмкости АБ при 10-часовом разрядном режиме	Каждые 1-2 года
7. Анализ электролита в контрольных элементах	Ежемесячно
8. Проведение уравнительного заряда	Ежегодно
9. Корректировка уровня электролита	Раз в полгода

В последние годы все чаще рассматривается возможность замены свинцово-кислотных аккумуляторов литий-ионными (ЛИА), обладающими рядом технологических преимуществ.

Работа ЛИА основана на обратимом перемещении ионов лития между катодом и анодом в процессе заряда и разряда [2]. Во время зарядки ионы лития внедряются в структуру углеродного анода (например, графита или кокса), а при разряде возвращаются к катоду.

Современные разработки фокусируются на использовании инновационных материалов, таких как углеродные нанотрубки, которые повышают ёмкость и стабильность электродов. При внедрении ионы лития раздвигают слои углеродной матрицы и располагаются между ними. Чем больше введено ионов лития, тем выше зарядная емкость аккумулятора. Процесс деинтеркаляции происходит при разрядке аккумулятора. Ионы лития, внедренные в углеродный слой анода, высвобождаются и возвращаются к катоду. Чем больше ионов лития вернулось, тем выше разрядная емкость.

Ключевым показателем, определяющим долговечность аккумуляторов, является их срок службы, который напрямую зависит от двух факторов:

- глубины разряда (DoD) – максимально допустимого уровня разряда, не приводящего к повреждению внутренней структуры;
- температурных условий эксплуатации.

Литий-ионные (ЛИА) аккумуляторы демонстрируют значительно более длительный ресурс по сравнению со свинцово-кислотными аналогами или их разновидностью – AGM-аккумуляторами (Absorbent Glass Material), в которых между свинцовыми пластинами установлена пористая прокладка из стекловолокна [5].

На рис. 2 приведена зависимость срока службы ЛИА и AGM-аккумулятора от количества циклов заряд/разряд при нормальных условиях (средняя температура около +25°C) [2].

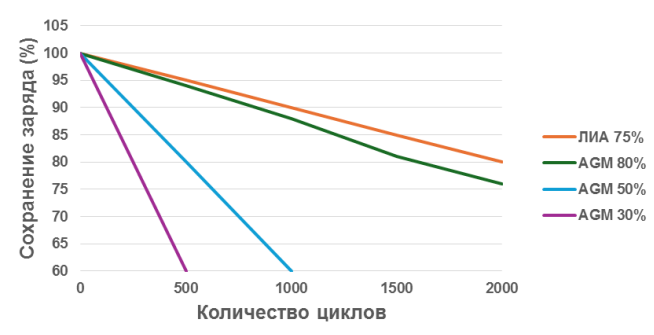


Рис. 2. Зависимость срока службы аккумуляторов от количества циклов

Как демонстрирует рисунок, критическим параметром для аккумуляторов является глубина разряда (DoD). Свинцово-кислотные батареи ограничены 30 % DoD, что существенно снижает их эффективность по сравнению с ЛИА, способными работать при 75 % DoD. Это позволяет литий-ионным аккумуляторам сохранять номинальную ёмкость даже в условиях экстремальных нагрузок, что особенно важно при авариях, когда потребление энергии резко возрастает [2, 7].

Разница ставится еще более очевидной при повышении температуры. При нагреве до +33°C эффективность свинцово-кислотных батарей снижается на 45–50 %, тогда как ЛИА сохраняют стабильность характеристик даже при +49°C [1, 2, 7].

Несмотря на улучшенную виброустойчивость AGM-аккумуляторов, их срок службы уступает литий-ионным решениям из-за чувствительности к глубокому разряду и

температурным перепадам. Таким образом, литий-ионные технологии обеспечивают превосходную устойчивость к экстремальным условиям, что делает их предпочтительными для систем, требующих длительного и надёжного энергоснабжения.

Не менее важной характеристикой является зависимость ёмкости аккумулятора от тока разряда (рис. 3) [7].

По мере увеличения разряда ёмкость свинцово-кислотных аккумуляторов типа AGM, GEL (в них электролит загущен до гелеобразного состояния) значительно снижается, в то время как у литий-ионных аккумуляторов этот показатель остается практически неизменным [2].

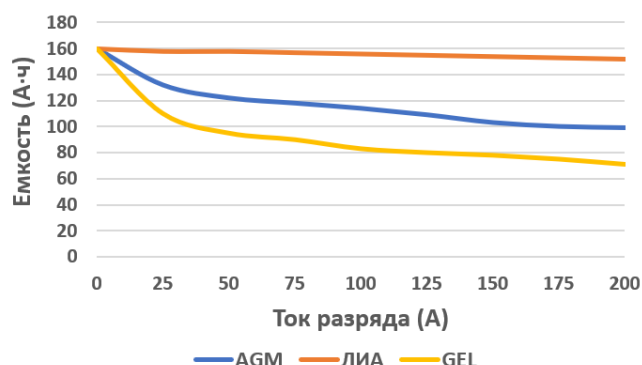


Рис. 3. Зависимость ёмкости аккумулятора от тока разряда.

Ещё одним важным аспектом является саморазряд — потеря заряда при отсутствии нагрузки. Свинцово-кислотные батареи теряют 24–48 % ёмкости за год, тогда как у ЛИА этот показатель не превышает 12 % (табл. 2). Такая особенность делает литий-ионные системы более надёжными для длительного резервирования [1, 2].

ТАБЛИЦА 2. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АККУМУЛЯТОРОВ

Параметр	Свинцово-кислотный аккумулятор	Литий-ионный аккумулятор
Номинальное напряжение элемента (В)	2	3,7
Удельная энергоёмкость (Вт·ч/кг)	30	150
Ресурс циклов заряда-разряда	1000-2000	до 3000
Потеря заряда в месяц (%)	2-4	≤1
Диапазон рабочих температур (°C)	-5...+40	-30...+50
Необходимость обслуживания	Да	Нет
Средняя стоимость (руб.)	31 350,00	49 000,00

Подводя итоги сравнительного анализа, выделим основные достоинства и недостатки каждого типа аккумуляторов [1, 4, 6].

К преимуществам литий-ионных аккумуляторов можно отнести следующие характеристики:

- высокое напряжение элемента: 3.6-3.7 В, что снижает количество элементов в батарее;
- существенный запас рабочих циклов заряд/разряд: около 3000;
- устойчивость к температурным колебаниям;

- высокая удельная плотность энергии;
- сохранение первоначальной ёмкости при высоких токах разряда;
- отсутствие необходимости в регулярном обслуживании;
- невысокий уровень саморазряда;
- быстрый процесс заряда батарей: до 90% ёмкости за 30–40 минут;
- экологичность: могут утилизироваться без предварительной переработки.

Недостатки ЛИА:

- деградация при хранении — через 5 лет характеристики резко ухудшаются;
- пожароопасность — риск возгорания при перезаряде или механических повреждениях;
- сложная электроника — необходимость использования системы BMS (Battery Management System);
- высокая начальная стоимость — в 1,5–2 раза дороже свинцовых аналогов.

Сильные стороны свинцово-кислотных батарей:

- бюджетная стоимость — доступность для массового применения;
- простота эксплуатации — базовое обслуживание;
- отработанная технология — десятилетия использования в различных отраслях.

Слабые стороны:

- экологические риски — содержат токсичные свинец и кислоту, требующие специальной утилизации;
- чувствительность к глубокому разряду — снижение ёмкости при разряде ниже 30 %;
- ограниченный ресурс — 500–1500 циклов, что в 2–6 раз меньше, чем у ЛИА.

Разработка экологически безопасных, долговечных и энергоэффективных источников питания остается приоритетной задачей для энергетики и телекоммуникаций [5]. Литий-ионные технологии, благодаря высокой удельной энергоёмкости, устойчивости к глубоким разрядам и сниженному экологическому воздействию, рассматриваются как перспективная альтернатива устаревшим свинцово-кислотным решениям. Их внедрение способно повысить надёжность критической инфраструктуры и сократить эксплуатационные затраты.

Для эффективного и безотказного функционирования аккумуляторных батарей, сформулируем основные к ним требования:

- долговечность;
- высокий КПД заряда;
- устойчивость к глубокому разряду;

- возможность быстрого заряда большими токами;
- восприимчивость к заряду малыми токами;
- низкая стоимость цикла заряд/разряд;
- низкий саморазряд;
- устойчивость к перепадам температуры;
- экологичность;
- возможность вторичной переработки.

С момента начала массового применения ЛИА в 1991 году, их технические характеристики достигли значительного прогресса: срок службы – до 20-ти лет в режиме поддерживающего заряда; совершенствование системы управления батареями (BMS) повысили безопасность и точность контроля; существенное снижение стоимости благодаря масштабированию производства [4]. Эти факторы делают литий-ионные аккумуляторы коммерчески выгодными. А успешный опыт эксплуатации ЛИА подтверждает перспективность использования данных аккумуляторов в сфере телекоммуникаций, где они успешно заменяют традиционные решения в качестве резервных источников питания.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ демонстрирует, что литий-ионные аккумуляторы обладают значительными преимуществами перед традиционными свинцово-кислотными аналогами. Высокая удельная энергоемкость, длительный срок службы, устойчивость к глубоким разрядам и широкий температурный диапазон делают ЛИА оптимальным выбором для современных энергосистем и телекоммуникационных сетей. Несмотря на более высокую первоначальную стоимость, их экономическая выгода проявляется за счет увеличения количества циклов заряда/разряда и снижения затрат на обслуживание.

Прогресс в технологиях производства и системах управления (BMS) позволил минимизировать риски, связанные с использованием ЛИА, такие как перегрев или возгорание. Успешный опыт внедрения этих аккумуляторов для обслуживания критически важных объектов подтверждает их надежность и перспективность. В условиях глобального тренда на устойчивое развитие и сокращение экологического следа литий-ионные аккумуляторы становятся неотъемлемой частью энергетической инфраструктуры будущего, постепенно вытесняя устаревшие свинцово-кислотные решения.

Таким образом, переход на ЛИА в качестве резервных источников питания – это стратегически оправданный шаг, способствующий повышению эффективности, безопасности и экологичности современных технологических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кузнецова Н.Д., Митрофанов С.В. Анализ эффективности применения различных типов аккумуляторных батарей в автономных системах электроснабжения. // Вестник ПНИПУ. №25, 2018. С. 48-57.
- [2] Фатыхов Р.Р., Хантимеров С.М., Сулейманов Н.М. Перспективы применения литий-ионных аккумуляторов в качестве резервных источников питания на электрических станциях. // Вестник Казанского государственного энергетического университета. №4 (36), 2017. С. 45-53.
- [3] Беднарский В.В., Лайко Д.В., Ревяко С.И. Повышение надежности свинцовых аккумуляторов сельскохозяйственных машин // Вестник Донского государственного технического университета. т. 18 №1, 2018. С. 84-89.
- [4] Садовников А.В., Макаручук В.В. Литий-ионные аккумуляторы. / Молодой ученый. № 23 (127), 2016. С. 190-192.
- [1] Свинцово-кислотные аккумуляторы для стационарного оборудования связи. [Электронный ресурс]. – URL: <https://wybor-battery.com/blog/stati/svincovo-kislotnye-akkumulyatory-dlya-stacionarnogo-oborudovaniya-svyazi>
- [5] Владимиров Л.В. Накопители электрической энергии в системах децентрализованного электроснабжения // Вестник Югорского государственного университета. том 20, выпуск 4, 2024. С. 31-35.
- [6] Чебоксаров А.Н. Исследование влияния температуры и глубины разряда на работу свинцово-кислотных аккумуляторов // Технико-технологические проблемы сервиса. №3 (69), 2024. С. 8-10.