

## **Основные типы тяговых аккумуляторных батарей, которые используются в легковом транспортном сегменте**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт»*

Проведен анализ основных типов аккумуляторных батарей, применение которых в легковых автомобилях является наиболее целесообразным. Представлены основные сравнительные характеристики и особенности их эксплуатации.

**Ключевые слова:** аккумуляторная батарея, электромобиль, энергоёмкость, срок службы, количество циклов заряда-разряда.

### **Введение**

Наиболее перспективным видом транспорта на сегодняшний день является автомобиль с электроприводом. Выделим основные преимущества электромобилей:

- отсутствие загрязнения от сгорания углеводородных компонентов топлива (что очень важно для населения больших и средних городов);
- отсутствие сгоревших компонентов смазочных материалов;
- отсутствие теплового загрязнения окружающей среды;
- меньшая шумность чем у автомобилей с двигателем внутреннего сгорания.

В то же время электромобили обладают следующими недостатками:

- высокая токсичность элементов электрохимической батареи в случае её повреждения;
- высокая стоимость аккумуляторной батареи;
- влияние условий окружающей среды (температуры) на ёмкость батарей;
- большая масса автомобиля по причине массивности батареи;
- слаборазвитая инфраструктура зарядных станций;
- небольшой пробег от одного заряда аккумулятора;
- на несколько порядков большее время «заправки», чем у автомобилей с ДВС.

Некоторые недостатки электромобилей являются временными, например, при увеличении их количества, будет расти и количество зарядных станций, увеличиваться ёмкость аккумуляторных батарей в связи с развитием данного направления.

Использование электротранспорта не является новым. Так, на улицах украинских городов уже более 80 лет ездит сетевой электротранспорт — трамваи и троллейбусы, на складах работают вилочные погрузчики с электроприводом, в гольфклубах используются исключительно электрические кары.

### **Основные виды тяговых аккумуляторов**

Для корректной оценки тяговых аккумуляторных батарей сформулируем основные свойства, которые им присущи:

- срок службы батареи или количество циклов заряда-разряда;
- удельная энергоёмкость;
- изменение параметров батареи в зависимости от температуры

эксплуатации;

- стоимость батареи;
- максимальный ток разряда.

Рассмотрим типы аккумуляторных батарей, которые когда-либо применялись в транспортных средствах.

### **Серебряно-цинковый аккумулятор (СЦА)**

В таком аккумуляторе анод – это оксид серебра AgO в виде спрессованного порошка, катод—смесь окиси цинка и цинковой пыли, а электролит — из химически чистого гидроксида калия без каких-либо добавок [1].

При заряде-разряде серебряно-цинкового аккумулятора протекает обратимая реакция:



СЦА Отличается очень малым внутренним сопротивлением и большой удельной энергоёмкостью (150 (Вт·ч)/кг, 650 (Вт·ч)/дм<sup>3</sup>). Одной из важнейших особенностей серебряно-цинкового аккумулятора является способность (при надлежащей конструкции) отдавать в нагрузку токи колоссальной силы (до 50 А на один ампер-час ёмкости). Из недостатков следует отметить высокую стоимость АКБ и малое количество циклов полного заряда-разряда. Такие аккумуляторы применяются в авиации, космосе, военной технике, часах и др. [2]

*Преимущества:*

- высокая механическая прочность;
- возможность кратковременных разрядных режимов токами большой величины;
- малый ток саморазряда (5–15 % в месяц), что обеспечивает возможность длительного хранения аккумуляторов в заряженном состоянии;
- высокая удельная энергия, которая примерно в три-четыре раза превышает удельную энергию свинцовых аккумуляторов;
- наибольшая экологическая чистота среди аккумуляторов промышленной группы;
- малый вес и габариты;
- работа в широком диапазоне температур (–30...+70 °С);
- высокая стабильность разрядных характеристик;
- не «боится» недозаряда, перерывов в заряде и глубоких разрядов.

*Недостатки:*

- высокая стоимость;
- малый срок службы - меньшее, чем в других системах количество циклов заряда-разряда (до 100);
- длительное время заряда;
- повышенное газовыделение;
- необратимое ухудшение параметров при перезаряде.

### **Никель-кадмиевый источник тока (NiCd)**

Химический источник тока, в котором катодом является гидрат закиси никеля Ni(OH)<sub>2</sub> с графитовым порошком (около 5–8 %), электролитом — гидроксид калия КОН плотностью 1,19–1,21 с добавкой гидроксида лития LiOH (используется для образования никелатов лития и увеличения ёмкости на 21–25 %),

анод - гидрат закиси кадмия  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  или металлический кадмий  $\text{Cd}$  (в виде порошка). ЭДС никель-кадмиевого аккумулятора — около 1,37 В, удельная энергия — порядка 45–65 (Вт·ч)/кг. В зависимости от конструкции, режима работы (длительные или короткие разряды) и чистоты применяемых материалов, срок службы составляет от 100 до 900 циклов заряда-разряда [3]. Срок службы современных (ламельных) промышленных никель-кадмиевых батарей составляет 20–25 лет. Никель-кадмиевые аккумуляторы (NiCd) наряду с никель-солевыми аккумуляторами могут храниться разряженными в отличие от никель-металл-гидридных (NiMH) и литий-ионных аккумуляторов (Li-ion), которые нужно хранить заряженными.

Принцип действия никель-кадмиевых аккумуляторов основан на обратимом процессе:



Никелевый электрод представляет собой пасту гидроксида никеля, смешанную с проводящим материалом и нанесенную на стальную сетку, а кадмиевый электрод — стальную сетку с впрессованным в неё губчатым кадмием [4]. Пространство между электродами заполнено желеобразным составом на основе влажной щелочи, который замерзает при  $-27^\circ\text{C}$ . Индивидуальные ячейки собирают в батареи, обладающие удельной энергией 20–35 (Вт·ч)/кг и имеющие большой ресурс — несколько тысяч зарядно-разрядных циклов.

#### *Преимущества:*

- возможность хранения в разряженном состоянии;
- большое количество рабочих циклов при правильной эксплуатации;
- работа при низких температурах;
- приспособленность работать в жестких условиях эксплуатации;
- низкая стоимость.

#### *Недостатки никель-кадмиевых аккумуляторов:*

- основной недостаток этих аккумуляторов – эффект памяти;
- токсичность используемых материалов;
- ток саморазряда относительно велик.

### **Никель-металлгидридный аккумулятор (Ni-MH)**

Химический источник тока, в котором анодом является водородный металлгидридный электрод (обычно гидрид никель-лантана или никель-лития), электролит - гидроксид калия, катод - оксид никеля:



Этот тип аккумуляторов разработан для замены никель-кадмиевых аккумуляторов. Такие аккумуляторы имеют примерно на 20 % большую ёмкость при тех же габаритах, но меньший срок службы — от 200 до 300 циклов заряда-разряда. Саморазряд примерно в 1,5-2 раза выше, чем у никель-кадмиевых аккумуляторов.

Ni-MH аккумуляторы практически избавлены от «эффекта памяти». Это означает, что заряжать не полностью разряженный аккумулятор можно, если он не хранился больше нескольких дней в таком состоянии. Если же аккумулятор был

частично разряжен, а затем не использовался в течение длительного времени (более 30 дней), то перед зарядом его необходимо разрядить.

Являются более экологически безопасными, чем никель-кадмиевые источники тока.

Наиболее благоприятный режим работы: заряд небольшим током - 0,1 номинальной ёмкости, время заряда — 15-16 часов (стандартная рекомендация производителя).

Аккумуляторы нужно хранить полностью заряженными в холодильнике, но не ниже 0 °С. При хранении желательно регулярно (раз в 1-2 месяца) проверять напряжение, которое не должно падать ниже 1,37 В. Если же напряжение упало, то аккумуляторы необходимо зарядить заново.

#### *Преимущества:*

- отсутствуют токсичные компоненты;
- меньший «эффект памяти» по сравнению с Ni-Cd аккумуляторами;
- возможность переработки;
- хорошая работоспособность при низкой температуре;
- большая ёмкость по сравнению с Ni-Cd аккумуляторами (~40%).

#### *Недостатки*

- более дорогой тип аккумуляторов, чем никель-кадмиевый;
- величина саморазряда примерно в 1,5 раза выше по сравнению с Ni-Cd аккумуляторами;
- после 200-300 циклов заряда-разряда рабочая ёмкость несколько снижается;
- ограниченный срок службы;
- относительно малый срок хранения (обычно не более трёх лет, после чего теряются основные характеристики); хранение в прохладных условиях при частичном заряде ( 40% ) замедляет процесс их старения;
- ограниченная мощностная емкость - при превышении допустимых нагрузок уменьшается срок службы;
- плохая переносимость высоких температур (свыше 25-30 °С).

### **Литий-ионные аккумуляторы (Li-ion)**

Электрический аккумулятор, который широко распространён в современной бытовой электронной технике и находит своё применение в качестве источника энергии в электромобилях и накопителях энергии в энергетических системах. Это самый популярный тип аккумуляторов в таких устройствах, как мобильные телефоны, ноутбуки, цифровые фотоаппараты, видеокамеры и электромобили. Первый литий-ионный аккумулятор выпустила корпорация Sony в 1991 году.

Литий-ионный аккумулятор состоит из электродов (катодного материала на алюминиевой фольге и анодного материала на медной фольге), разделённых пропитанными электролитом пористыми сепараторами. Пакет электродов помещён в герметичный корпус, катоды и аноды подсоединены к клеммам-токосъёмникам. Корпус имеет предохранительный клапан, сбрасывающий внутреннее давление при аварийных ситуациях и нарушении условий эксплуатации. Литий-ионные аккумуляторы различаются по типу используемого катодного материала. Переносчиком заряда в литий-ионном аккумуляторе является положительно заряженный ион лития, который имеет способность внедряться (интеркалироваться) в кристаллическую решётку других материалов

(например, в графит, окислы и соли металлов), например, в графит с образованием  $\text{LiC}_6$ , образовывать оксиды ( $\text{LiMnO}_2$ ) и соли ( $\text{LiMn}_R\text{O}_N$ ) металлов.

Первоначально в качестве отрицательных пластин применялся металлический литий, затем - каменноугольный кокс. В дальнейшем стал применяться графит. Применение оксидов кобальта позволяет аккумуляторам работать на значительно более низких температурах, повышает количество циклов заряда-разряда одного аккумулятора. Распространение литий-феррум-фосфатных аккумуляторов обусловлено их относительно низкой стоимостью. Литий-ионные аккумуляторы применяются в комплекте с системой контроля и управления и специальным устройством заряд-разряда.

В настоящее время в массовом производстве литий-ионных аккумуляторов используются три класса катодных материалов:

- кобальтат лития  $\text{LiCoO}_2$  и твёрдые растворы на основе изоструктурного ему никелата лития;
- литий-марганцевая шпинель  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ;
- литий-феррофосфат  $\text{LiFePO}_4$ .

#### *Преимущества*

- высокая энергетическая плотность (ёмкость);
- низкий саморазряд;
- не требуют обслуживания.

*Недостатки:* Аккумуляторы Li-ion первого поколения были подвержены взрывному эффекту. Это объяснялось тем, что в них использовался анод из металлического лития, на котором в процессе многократных циклов заряда-разряда возникали пространственные образования (дендриты), приводящие к замыканию электродов и, как следствие, возгоранию или взрыву. Эту проблему удалось окончательно решить заменой материала анода на графит. Подобные процессы происходили и на катодах литий-ионных аккумуляторов на основе оксида кобальта при нарушении условий эксплуатации (перезарядке). Литий-ферро-фосфатные аккумуляторы полностью лишены этих недостатков. Кроме того, все современные зарядные устройства для литий-ионных аккумуляторов предотвращают перезаряд и перегрев вследствие слишком интенсивного заряда.

Литий-ионные аккумуляторы теряют свою ёмкость, если они не используются.

### **Литий-полимерный аккумулятор(Li-pol, Li-polymer, LiPo, LIP, Li-poly)**

Такой аккумулятор является усовершенствованной конструкцией литий-ионного аккумулятора. В качестве электролита в нём используется полимерный материал. Его применяют в мобильных телефонах, цифровой технике, радиоуправляемых моделях и пр.

Обычные бытовые литий-полимерные аккумуляторы не способны отдавать большой ток, но существуют специальные силовые литий-полимерные аккумуляторы, способные отдавать ток, в 10 - 30 раз превышающий численное значение ёмкости в ампер-часах. Они широко применяются как аккумуляторы для радиоуправляемых моделей, портативного электроинструмента, некоторых современных электромобилей.

Литий-полимерные аккумуляторы при одинаковом весе превосходят по энергоёмкости никель-кадмиевые в 4-5 раз, никель металлгидридные в 3-4 раза.

Количество рабочих циклов составляет 500- 600. При разрядных токах в 2С потеря емкости составляет 20% (для сравнения - у никель-кадмиевых - 1000 циклов, у никель-металлогидридных – 500).

Как и все аккумуляторы, литий-полимерные батареи подвержены старению. Через два года батарея теряет около 20% ёмкости.

*Преимущества:*

- большая плотность энергии на единицу объёма и массы (в сравнении с литий-ионными);
- низкий ток саморазряда;
- толщина элементов от 1 мм;
- возможность получать различные формы;
- отсутствие эффекта памяти;
- незначительный перепад напряжения по мере разряда;
- довольно широкий диапазон рабочих температур: от –20 до +40 °С (по данным производителей).

*Недостатки:* аккумуляторы пожароопасны, особенно при перезаряде и перегреве. Для борьбы с этим явлением все бытовые аккумуляторы снабжаются встроенной электронной схемой, которая выключает процесс заряда по окончании зарядки (по этой же причине необходимы специальные алгоритмы работы зарядных устройств).

Ресурс составляет 800-900 циклов при разрядных токах до 2С и потере ёмкости не ниже 20 % (для сравнения, у NiCd аккумуляторов - 1000 циклов, у NiMH аккумуляторов - 600 циклов, а у LiFePO<sub>4</sub> аккумуляторов - 2000 циклов заряда-разряда).

### **Литий-железо-фосфатный аккумулятор (LiFePO<sub>4</sub>, LFP)**

Такой тип электрического аккумулятора является видом литий-ионного аккумулятора, в котором используется LiFePO<sub>4</sub> в качестве катода. Также данный тип аккумулятора активно применяется в электромобилях.

*Преимущества:*

- обеспечивает более длительный срок службы, чем другие литий-ионные батареи;
- имеют очень стабильное напряжение разряда (напряжение на выходе остается близко к 3,2 В пока заряд аккумулятора не будет исчерпан полностью, что может значительно упростить или даже устранить необходимость регулирования напряжения в цепях);
- в связи с постоянным напряжением 3,2 В на выходе, четыре аккумулятора могут быть соединены последовательно для получения номинального напряжения на выходе в 12,8 В, что приближается к номинальному напряжению свинцово-кислотных аккумуляторов с шестью ячейками, что, наряду с хорошими характеристиками безопасности, делает их хорошей потенциальной заменой для свинцово-кислотных аккумуляторных батарей во многих отраслях, например в автомобилестроении и солнечной энергетике;
- использование фосфатов позволяет избежать затрат кобальта и экологических проблем, в частности, при попадании кобальта в окружающую среду при неправильной утилизации;
- более высокий пиковый ток (а учитывая стабильность напряжения, более высокая пиковая мощность), чем, например, у LiCoO<sub>2</sub>;

- малый ток саморазряда;
- более медленная потеря ёмкости, чем у литий-ионных или литий-полимерных аккумуляторов;
- термическая и химическая стабильность, что существенно повышает безопасность батареи.

*Недостатки:*

- удельная плотность энергии (энергия / объём) нового аккумулятора LFP примерно на 14 % ниже, чем у новых литий-ионных аккумуляторов.

### **Литий-марганцевые аккумуляторы (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, LMR)**

В аноде аккумуляторов LMR используется марганец, а ионы лития расположены более плотно друг к другу. Благодаря этим особенностям, LMR более безопасны, устойчивы к быстрому заряду большими токами и способны отдавать токи до 5С. Такие аккумуляторы используются в устройствах, потребляющих большой ток: мощные фонари, радиоуправляемые модели. Выходное напряжение составляет от 2,5 до 4,2 В.

Вследствие низкого внутреннего сопротивления аккумуляторы LMR меньше нагреваются при использовании, более безопасны, и обычно не оснащаются встроенной защитной электроникой. При перезаряде элемент «потечет» или он просто испортится, без дополнительных пиротехнических эффектов. Обязательно имеется защитная электроника в зарядном устройстве.

*Преимущества:*

- способность переносить большие токи заряда-разряда;
- наиболее безопасны из всех литиевых аккумуляторов;
- срок службы составляет более 500 циклов.

*Недостатки:*

- относительно низкая ёмкость;
- большая чувствительность к низким температурам (охлаждать ниже -10° С не рекомендуется).

### **Выводы**

Серебряно-цинковые аккумуляторы обладают двумя ключевыми недостатками — это высокая стоимость и малый ресурс, что сразу делает их непригодными для использования в автомобилях.

Аккумуляторы окисно-никелевой группы:

а) никель-кадмиевые обладают большим количеством циклов заряда-разряда, устойчивы к низким температурам, но склонны к действию «эффекта памяти», его материалы имеют высокую токсичность и они являются наименее дорогими из рассмотренных аккумуляторов, на территории Украины есть месторождения материалов, необходимых для полного цикла производства таких батарей.

б) никель-металлгидридные аккумуляторы обладают гораздо большей ёмкостью, чем никель-кадмиевые, но имеют ограниченный ресурс и плохо переносят повышенные температуры.

Из рассмотренных аккумуляторных батарей наиболее подходящими для использования в сегменте легкового транспорта являются батареи на основе лития в связи с высокой энергоёмкостью и большим количеством циклов заряда-разряда. Вместе с этим выделяются два основных недостатка - высокая стоимость

и падение ёмкости во время эксплуатации при низких температурах, что характерно для климатической зоны Украины.

Литий-железофосфатные аккумуляторы превосходят остальные по причине большого количества циклов заряда-разряда. Остальные два типа литиевых батарей находятся примерно на одном уровне с никель-кадмиевыми аккумуляторами.

В оценку свойств аккумуляторов не была включена стоимость компонентов батарей, что в конечном итоге является ключевым фактором при производстве химических источников тока.

### Список литературы

1. Серебряно-цинковый аккумулятор [Электронный ресурс] - Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Серебряно-цинковый\\_аккумулятор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Серебряно-цинковый_аккумулятор). - 14.05.2016.
2. Багоцкий В. С. Химические источники тока / В. С. Багоцкий, А. М. Скудин. -М. : Энергоиздат, 1981. - 360с.
3. Bagotsky V. S. Electrochemical power sources : batteries, fuel cells, and supercapacitors / V. S. Bagotsky, A. M. Skundin, Y. M. Volkovich, -Pennington: ECS, -2005. – 400р.
4. Никель-кадмиевый аккумулятор [Электронный ресурс] -Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Никель-кадмиевый\\_аккумулятор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Никель-кадмиевый_аккумулятор). - 14.05.2016.

### Основні типи тягових акумуляторних батарей, що використовуються в легковому транспортному сегменті

Проведено аналіз основних типів акумуляторних батарей, використання яких у легкових автомобілях є найбільш доцільним. Наведено основні порівняльні характеристики й особливості їх експлуатації.

**Ключові слова:** акумуляторна батарея, електромобіль, енергоємність, термін служби, кількість циклів зарядження-розрядження.

### The Main Types of Traction Batteries, which are Used in a Passenger Vehicle Segment

The main types of batteries, those use in passenger vehicles and is the most appropriate is analyzed. The main comparative characteristics and features of their are presented.

**Keywords:** electric battery, electric vehicle, energy consumption, service life, number of charge - discharge cycles.

### Сведения об авторах:

**Силевич Владимир Юрьевич** – канд. техн. наук, ассистент каф. автомобилей и транспортной инфраструктуры, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.