

Аккумуляторы. Мифы и реальность

Подробно рассказывать о значении аккумуляторов и аккумуляторных батарей в современной жизни излишне. Без них невозможна работа средств мобильной связи, электронных устройств различного назначения, транспортных средств. Чтобы аккумуляторы служили достаточно долго и исправно выполняли свои функции, необходимо обеспечить их правильную техническую эксплуатацию



К сожалению, в отечественной литературе последних лет эта тема практически не освещена, а статьи, написанные различными авторами, которые можно найти в периодической печати и в Интернете, написаны иногда откровенно безграмотными людьми. К сожалению, наличие в продаже аккумуляторов и батарей, зарядных устройств разных типов затрудняет правильность их выбора для применения в различных приложениях, что также обусловлено отсутствием необходимой информации для потребителя. Особенно мало информации о «специальных» режимах работы АКБ. **Можно констатировать и тот факт, что многие специалисты, занятые эксплуатацией средств связи, транспорта, источников вторичного электропитания, не уделяют должного внимания вопросам эксплуатации аккумуляторных батарей, наивно полагая, что все проблемы за них уже решил производитель АКБ, написав иногда совершенно «отфонованные» сведения, и решит зарядное устройство.** Но ведь эксплуатацией аккумуляторов занимаются не только специалисты, а и обычные люди, знания которых не распространяются на глубокое понимание электрохимии.

Возникает вопрос: а как правильно работать с АКБ? На что обратить пристальное внимание? Что делать, если случилась беда и АКБ перестала работать, как должна?

В этой статье я остановлюсь на трех основных видах массово применяемых химических источников тока (ХИТ) в быту и в зоне АТО: **свинцовых, никель-металлгидридных и литиевых.**

Свинцовый аккумулятор

Свинцовый аккумулятор мало в чем изменился за последние 100 лет, он постоянно подвергается варварскому отношению со стороны «потребителей», которое с успехом выдерживает, потому что обладает практически идеальной химической схемой. Но об этом ниже.

Свинцовый аккумулятор (далее СА) состоит из электролита, содержащегося в некотором баке, и двух электродов с клеммами. **Положительный электрод называется анодом, отрицательный – катодом.** Аккумуляторы различаются между собой химической природой электролита и электродов, формой и строением электродов, устройством бака и т. д. Но суть их работы от этого не меняется, поэтому забавно читать, что «для гелевых АКБ требуется особенное зарядное устройство». Это «маркетинговые выходки» ради получения дополнительной прибыли с доверчивых покупателей. Об особенностях химических процессов во время разряда и заряда в свинцовых аккумуляторах см. врезку.

На сегодняшний день на рынке СА сложилась не очень хорошая ситуация. Автомобильные СА и «УПСовые» (тяговые) СА стали сильно различаться по свойствам. Так, например, автомобильный СА в состоянии отдавать кратковременно (до 30 с) токи в 300–1000 А, в то время как такой же емкости СА тягового типа в состоянии выдать порядка 10–100 А, и это при равной емкости, написанной «на борту» СА.

Автомобильные СА на сегодня не могут отдать 100 % емкости, которая написана на их этикетках, ниже я объясню, почему.

Состояние рынка СА – это большая и больная тема, про которую журналисты не хотят писать, ибо не понимают всей глубины стоящих проблем.

Я занимаюсь исследованиями методов заряда и восстановления свойств СА последние восемь лет. И вот что я вам скажу. Срок службы «батареек» в ИБП (источник бесперебойного питания, в народе «УПС») сильно зависит от «умности» ИБП, от температуры и количества СА в сборке.

Маленькие «УПСы» обычно «кипятят» АКБ напряжением 13,8 В, подаваемым постоянно (для справки: напряжение на 100 % заряженного АКБ при 20 °С = 12,7 В). Это и повышенная температура в офисе (ИБП обычно «горячий» – +35...45 °С, или «теплый» – 35 °С) приводят к тому, что СА «умирает» в среднем за 1,5–2 года. Чем меньше раз падает сеть 220 В, тем меньше живут СА. Я рекомендую делать профилактические разряды хотя бы на 20–30 % емкости раз в месяц, а если есть возможность, следует проверять под нагрузкой, каково напряжение на единичных СА. Если есть дисбаланс по напряжению – то нужно сразу думать, что делать с «отстающими» АКБ либо менять всю батарею. Замена отдельных СА в составе сборок из четырех и более СА – это плохое решение. СА должны быть с равными свойствами, т. е. одна партия – от одного изготовителя. Иначе вам обеспечены сюрпризы и «подарки», когда система мониторинга ИБП вам пишет, что «все ОК и у нас 100 % заряда», а на самом деле ИБП «умрет» через пять минут после пропадания сети 220 В. Кто виноват? Производители ИБП, потому что они рассматривают АКБ сейчас просто как батарейку – «емкость в Ватт-часах» которую можно «высосать», а что потом будет с СА – да хоть трава не расти...

Для понимания процесса разбаланса батареи смотрите рис. 3 во врезке.

Большие ИБП обычно «умнее», они заряжают АКБ, а потом устраивают «качели», т. е. ждут, пока напряжение не упадет до 12,7 В на отдельный 12 В СА. Если у вас из СА собрано 96 В или все 220 В, то у вас будет дисбаланс батареи уже после первых шести месяцев работы, и вся ваша надежность и запас ампер-часов будет определяться самой слабой банкой одной из АКБ. При заряде и разряде ситуация будет постепенно ухудшаться: «голодные» останутся все более «голодными», и налет сульфатации увеличит их внутреннее сопротивление, он «съест» активные вещества и уже не позволит зарядить на 100 %, а заряженные (с меньшей емкостью) будут прибегать к «финишу заряда» первыми, после чего не дадут заряжаться остальным.

Но вы не увидите «паршивую овцу в стаде», потому что одна банка из шести в 12 В СА – это всего 2,1 В в заряженном состоянии. А «система контроля» ИБП меряет «общее напряжение по больнице», так что 2,1 В просто потеряются на фоне «заряд 99 %» или «заряд 98 %».

Хорошим решением могло бы стать применение электронных устройств – балансиров, выравнивающих уровень заряда на каждых 12 В АКБ из всей батареи. Но этого никто из производителей ИБП не делает.

Еще один страшный бич многобаночных АКБ, составляющий примерно 95 % от всех отказов АКБ, – это **переплюсовка отдельных банок СА**.

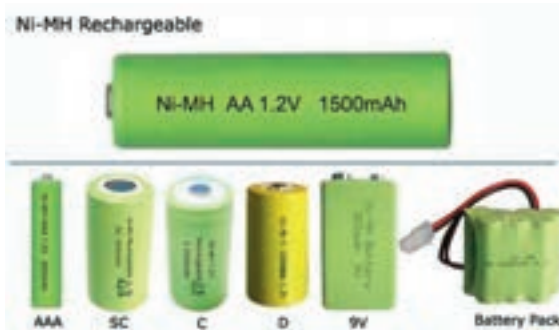
Переплюсовка пластин происходит в отстающих аккумуляторах при глубоком разряде батарей. Отстающим считается аккумулятор, который снижает емкость батареи более чем на 10 %. Аккумуляторы становятся такими вследствие ускоренного саморазряда, систематического недозаряда, сульфатации пластин и других причин.

В процессе разряда батареи отстающий аккумулятор раньше других разряжается до конечного напряжения (1,7 В). Если разряд в этом случае не прекратить, то от-

Переплюсованный аккумулятор необходимо полностью разрядить и подключить на заряд для восстановления нормальной полярности

стающий аккумулятор быстро разрядится полностью (до нуля) и разрядный ток остальных аккумуляторов начнет заряжать его в обратном направлении, т. е. произойдет переплюсовка пластин. В результате переплюсовки одного аккумулятора напряжение всей аккумуляторной батареи 12 В (шесть банок) становится на 4 В меньше номинального (под нагрузкой).

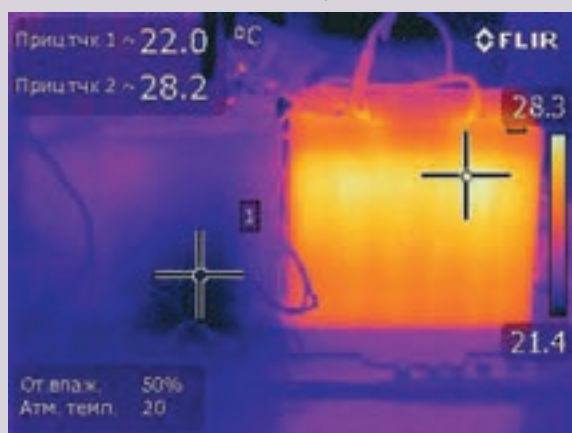
Переплюсованный аккумулятор необходимо полностью разрядить и подключить на заряд для восстановления нормальной полярности. Когда плотность его электролита достигнет такой же величины, как и в остальных аккумуляторах, необходимо всю батарею включить на заряд. Если в конце заряда плотность электролита в отстающем аккумуляторе не достигнет номинальной величины (по сравнению с остальными), то для него необходимо дополнительно провести два-три тренировочных цикла. Но следует помнить, что этот совет не касается кальциевых СА – разряд «в ноль» пластин с содержанием кальция приведет к необратимым по-



Никель-металлгидридные аккумуляторные батареи (NiMH) имеют менее высокую по сравнению с литиевыми батареями энергетическую плотность, но и меньший срок службы

Немного химии

Из-за того, что в СА применяется жидкий электролит и толщина «намазки» пластин существенна по объему, самым идеальным способом зарядки (да и разрядки!) СА была бы пульсирующая зарядка, т. е. с применением ШИМ (широотно-импульсная модуляция), а лучше – «медленно-пульсирующего» типа, когда за плавным нарастанием импульса следует пауза, в течение которой происходит «усвоение» порции энергии (идут химические процессы) и выравнивается плотность электролита (т. е. к материалу пластин подается новая порция серной кислоты из раствора за счет диффузии).



На снимке – экран тепловизора. Слева – заряд «пульсирующим» током по адаптивному алгоритму, справа – классический заряд СССР.

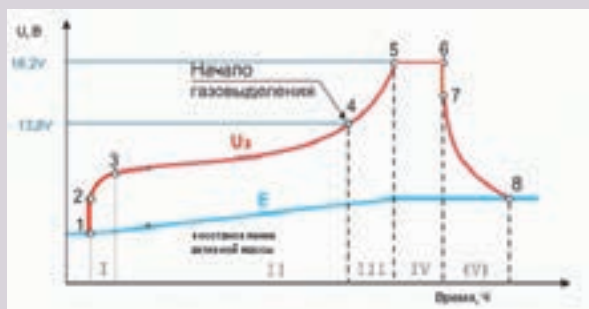
Аналогично и для разрядки: мы знаем, что если «дать отдохнуть» СА (сняв с него всю нагрузку), напряжение на СА повышается и с него еще можно получить энергию. Объяснение аналогичное: выравнивание плотности электролита, т. е. подача кислоты к материалу пластин за счет диффузии. Это относится к АКБ, построенным по технологиям «жидкий электролит» и AGM, для гелевых (от слова «гель») работают те же принципы. Но следует помнить, что подвижность ионов в геле несколько ниже, и гель очень не любит обильного газовыделения в конце «классического» заряда – от этого гелевые АКБ могут быть раздуты и испорчены.

В разряженном СА анод состоит из двуокиси свинца PbO_2 , вещества бурого цвета. Катод состоит из сернокислого свинца Pb_2SO_4 , вещества темно-серого, почти черного цвета, обладающего значительной электропроводностью и весьма нестойкого механически (именно поэтому не рекомендуют трясти сильно разряженный СА). Удельный вес электролита падает от уменьшения концентрации кислоты как раз в количестве, нужном для образования на катоде сернокислой соли. Именно поэтому оставленный в бездействии незаряженный СА гибнет (сульфируется, сульфатируется), причем и катод, и анод покрываются окисным сернокислым свинцом $PbSO_4$, веществом белого цвета, НЕ электропроводным (!), стойким и стремящимся образовывать крупные кристаллы.

Если оставить батарею в разряженном состоянии, сульфат свинца начинает растворяться в электролите до его полного насыщения, а затем выпадает назад на поверхность пластин, но уже в виде крупных и практически нерастворимых кристаллов. Они откладываются на поверхности пластин и в порах активной массы, образуя сплошной слой, который изолирует пластины от электролита, препятствуя его проникновению вглубь.

В результате большие объемы активной массы оказываются «выключенными», а общая емкость батареи значительно уменьшается.

Для кальций-кальциевых свинцовых АКБ производители сейчас пытаются рисовать немного другую картинку:



U3 – напряжение на клеммах при подключенном зарядном устройстве (ЗУ);

E – ЭДС (электродвижущая сила) аккумуляторной батареи.

Пояснение: в свободном состоянии напряжение на клеммах аккумулятора равно его собственной ЭДС (обычно это называется НРЦ (напряжение разомкнутой цепи)). После включения зарядного тока происходит скачок этого напряжения на величину омических потерь (точки 1–2) и начинается первая стадия заряда, на которой происходят заряд эквивалентной емкости поляризации и стабилизация распределения концентрации электролита вблизи электродов (точки 2–3).

На второй стадии (точки 3–4) происходят основные процессы восстановления активной массы от поверхности решеток-электродов и вглубь намазок, увеличиваются плотность электролита и напряжение на аккумуляторе. Когда почти вся активная масса электродов окажется восстановленной, напряжение на аккумуляторе достигнет примерно 13,8 В.

После этого (третья стадия, точки 4–5) зарядный ток начинает частично, а затем и полностью расходоваться на разложение воды электролита на водород и кислород. Момент начала газовыделения отмечен на рис. 2 точкой 4. При этом напряжение на аккумуляторе начинает резко повышаться и может достигнуть напряжения ограничения ЗУ. И если у вас очень простое ЗУ, то рост напряжения будет ограничен только напряжением «холодного хода» (XX) вашего ЗУ. СА при этом будет кипеть, как чайник.

На четвертой стадии (точки 5–6) напряжение остается (может оставаться) постоянным. Наблюдается обильное выделение газа, которое обычно называют «кипением электролита». Происходит отрыв частичек намазок, вынос их вверх банок, иногда – помутнение электролита.

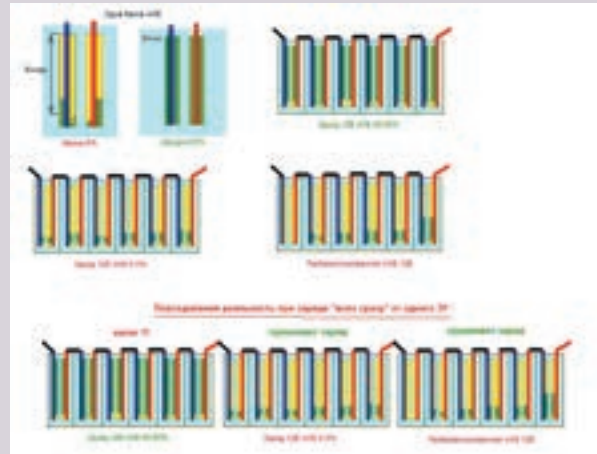
При токе заряда, равном 1/10 номинальной емкости аккумулятора, этот процесс производители СА рекомендуют вести 2–3 часа, что довольно сильно укорачивает жизнь СА.

После завершения четвертой стадии зарядный ток отключают. Напряжение на аккумуляторе скачком уменьшается на величину омических потерь (точки 6–7), после чего происходит разряд емкости поляризации на сопротивление поляризации (зависит от внутренних свойств СА). При этом напряжение на электродах аккумулятора постепенно уменьшается, пока не достигнет значения собственной равновесной ЭДС, примерно равной 12,6 В (точки 7–8).

Значение равновесной ЭДС определяется различными факторами, в том числе плотностью электролита, достигнутой в процессе заряда. Этот период (хотя он и не является зарядом, так как зарядный ток отключен) можно условно считать пятой стадией, потому что на этой стадии продолжают процессы, характерные для заряда, – выравнивание плотности электролита у электродов и между ними.

На практике ход зарядных процессов и их продолжительность могут выглядеть несколько иначе, поскольку они зависят от тока заряда, температуры, степени разряженности аккумулятора и его общего состояния.

Почему батарея из нескольких АКБ выходит из строя и неравномерно заряжается?



Смотрим картинку: **это то, что происходит внутри АКБ.** Желтым выделены разряженные намазки, зеленым – заряженные, в которых все вещества прореагировали. Объяснение этому дисбалансу простое: аккумулятор при заряде (да и при разряде) имеет нелинейную ВАХ (вольт-амперную характеристику).

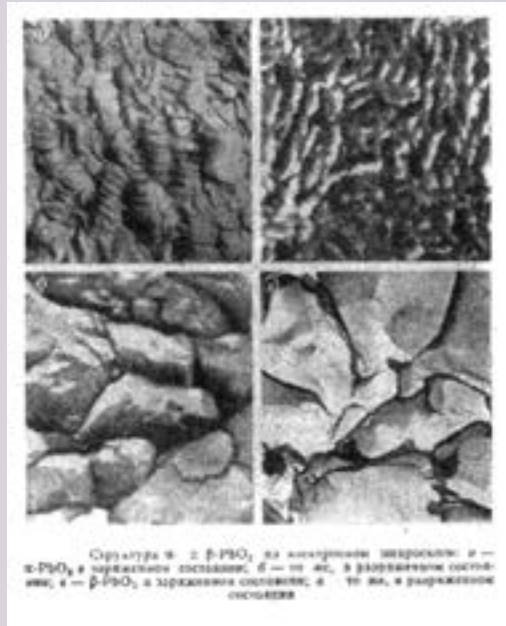
С течением времени ток будет падать, а напряжение на СА – расти. Зарядное устройство «видит» общее напряжение и «не видит», что происходит на каждом элементе. Из-за этого банки СА, которые заряжаются быстрее, будут иметь повышенное напряжение и станут «кипеть» (электролиз воды, газовыделение). Их внутреннее сопротивление из-за обилия газа будет увеличиваться, приводя к росту напряжения на конкретной банке. Ну а слабые (недозаряженные) банки будут принимать заряд, но из-за роста общего напряжения упадет общий ток заряда, так что «голодные останутся голодными». От заряда к заряду ситуация будет усугубляться – все больше «голодных», все меньше «наевшихся». Существенное влияние на электрические характеристики положительного электрода свинцового аккумулятора оказывает фазовый состав двуокиси свинца.

Было установлено, что кроме ранее известной тетрагональной формы PbO_2 , а именно бета- PbO_2 , существует ее ромбическая разновидность альфа- PbO_2 .

В результате многочисленных исследований в СССР было установлено, что емкость (запасенные ампер-часы) бета- PbO_2 существенно превосходит емкость альфа- PbO_2 .

Но при этом отношение емкостей бета- PbO_2 к альфа- PbO_2 почти не меняется с изменением плотности разрядного тока.

Истинная поверхность порошкообразной бета- PbO_2 составляет $9,53 \text{ м}^2/\text{г}$, а альфа- PbO_2 – лишь $0,48 \text{ м}^2/\text{г}$. Все «классические» зарядные устройства формируют в конце заряда АКБ (т. е. на поверхности намазок) преимущественно альфа-модификацию PbO_2 , потому что снижают ток заряда до минимальных величин, что приводит, исхо-



дя из описанного выше, к негативному влиянию на способность свинцового СА отдавать значительные токи в течение длительного времени.

В электролите слабой концентрации альфа- PbO_2 покрывается плотной пленкой сульфата свинца, в то время как на бета- PbO_2 сплошной изолирующей пленки не образуется. Пленка сульфата свинца неэлектропроводна, а значит, повышает внутреннее сопротивление СА, и вы можете ощутить это по тому, как АКБ «не может прокрутить стартер» двигателя автомобиля.

Исследование поверхности электродов из двуокиси свинца под электронным микроскопом (см. картинку выше) после восстановления показало, что **при любых условиях разряда сульфат свинца на альфа- PbO_2 кристаллизуется в виде более тонкого и плотного (мелкодисперсного) слоя, чем на бета- PbO_2 .**

Образование изолирующего слоя $PbSO_4$ на альфа- PbO_2 затрудняет диффузию электролита под пленку сульфата, а значит затрудняет и разряд более глубоких слоев намазок СА.

В процессе разряда СА количество бета- PbO_2 убывает с большей скоростью, чем количество альфа- PbO_2 . Это объясняется тем, что альфа- PbO_2 локализуется в глубине активной массы в виде отдельных мелких частиц, и скорость ее разряда замедляется из-за недостатка электролита. При больших токах разряда ситуация усугубляется – СА резко снижает напряжение по этой же причине. Эти «провалы» при больших токах сильно различаются по величине у разного типа АКБ. Так, у стартерных АКБ провал меньше из-за конструктивных особенностей – у них тонкие пластины и, следовательно, большая доступность веществ и поверхности электродов для реакций, чем у «тяговых» СА, у которых толстые пластины с толстым слоем намазок. Поэтому тяговые АКБ не предназначены для использования на токах выше $0,1 \text{ С}$, но проектировщики электротранспорта и блоков бесперебойного питания это не учитывают, проектируя «УПС» и Э. Т. на тяговых АКБ на токи в $0,8-1 \text{ С}$ и выше!

Саморазряд же бета- PbO_2 протекает вдвое медленнее саморазряда альфа- PbO_2 . Это объясняет тот факт, что несухие заряженные батареи приобретают большую разрядную емкость, **если их полностью зарядить, оставить стоять без использования несколько дней, а затем подзарядить перед испытанием на разряд.**

(окончание на след. стр.)

(начало на пред. стр.)

При этом емкость АКБ растет с увеличением времени хранения, что является следствием перехода $\alpha\text{-PbO}_2$ в PbSO_4 и последующего превращения PbSO_4 в $\beta\text{-PbO}_2$ при подзаряде.

Идем дальше. При сульфатации (сильном разряде) концентрация кислоты падает сильно. При зарядке СА с пластинами, не подвергшимися выпадению кристаллов, катод вновь принимает серо-металлический цвет, анод чернеет, а концентрация электролита повышается. Зарядные и разрядные кривые СА не совпадают между собой, и площадь между ними выражает потерю энергии на цикл зарядки и разрядки. Однако смыкание кривых заряда и разряда доказывает, что в СА **не происходит побочных реакций** и что его можно рассматривать как элемент с почти совершенной обратимостью.

Но не все так гладко, как пишет нам учебник...

С момента изобретения свинцового кислотного аккумулятора и разработки в 1882 году химической теории, описывающей токообразующие реакции и известной как **теория «двойной сульфатации»**, и до настоящего времени предпринимались неоднократные попытки пересмотреть эту теорию, предложить иной механизм протекания реакций.

Причины в том, что, невзирая на общее признание исследователями теории «двойной сульфатации», до настоя-

щего времени существуют противоречия в количественной оценке веществ, участвующих в токообразующих реакциях, оценке состава веществ, образующихся на положительном электроде при разряде аккумулятора, а также в описании механизма протекания реакций на электродах аккумулятора. По многим вопросам у исследователей отсутствует единая точка зрения. Отдельные вопросы теории аккумулятора вообще подробно не освещены до сих пор.

Теорию свинцового аккумулятора нельзя считать завершенной.

Поверхностный процесс зарядообразования, протекающий согласно общепринятой теории «двойной сульфатации», не обеспечивает фактическую емкость реального аккумулятора.

То есть: в случае протекания химических реакций при разряде в свинцовом аккумуляторе в соответствии с теорией «двойной сульфатации» при снижении емкости на величину, не более 1–2 % от номинальной, происходил бы его полный разряд.

Следовательно, теория «двойной сульфатации» не полностью объясняет протекание процессов зарядо- и токообразования, саморазряда в свинцовом кислотном аккумуляторе и требует уточнения.

следствиям для АКБ, его уже будет невозможно вернуть в первоначальное состояние.

Если же и эти меры не исправляют отстающий аккумулятор, необходимо произвести ремонт батареи и устранить более сложные причины (короткое замыкание, разрушение пластин и т. д.), вызывающие появление отстающего аккумулятора.

Современный мир быстро понял, что нужно делать одноразовые вещи. Таким «одноразовым» сейчас стал свинцовый АКБ. Связано это с «революционным» применением легирования кальцием.

Добавление кальция в металл решеток преследовало цель создания более прочной и жесткой решетки токосъема в АКБ. Но кальций – это активный металл, и со свинцом он не очень дружит, поэтому отдельной головной болью стало то, как «создать смесь».

Но еще в 50-е годы прошлого века исследовались такие сплавы и было научно доказано, что проблем и минусов гораздо больше, чем плюсов. Зато для апологетов «роста экономики» в этих работах был самый главный вывод: аккумулятор при полном разряде («в ноль») уже не возвращался к прежнему состоянию по емкости, а значит, решались две краеугольные проблемы рынка: уменьшение срока службы, ускорение «оборота денег» на изготовлении, продаже и утилизации (переработки) свинца. Чем быстрее «умрет» СА, тем быстрее вы купите новый. Официальный представитель Johnson Controls Power Solution (это владелец практически 90 % производств АКБ в мире) с трибуны честно заявляет, что автопроизводителю не нужны АКБ, которые живут дольше четырех лет. На сегодня, если вы возьмете в магазине самую «свежую» (от момента выпуска – не более четырех месяцев) автомобильную АКБ, то она никогда не покажет ту емкость которая на ней написана. Обычно показывает порядка 50 % и ниже. И обычным зарядом обычного ЗУ вы это не исправите...

Что касается легирования кальцием, тут же появились «решения для бедных» и «решения для богатых». «Для бедных» большие заводы стали выпускать ленту свинца с просечкой, которая легируется кальцием в поверхностном слое ленты. Это приводит к тому, что при полном разряде АКБ на границе «решетка-намазка» формируется слой сульфата кальция (в народе – «гипс»), который не возвращается назад в кальций и серную кислоту ни при каких зарядах, создавая ко всему высокое сопротивление между решеткой и намазкой внутри АКБ.

«Для богатых» применяют именно сплав кальция со свинцом, где кальций равномерно растворен внутри решеток, а не только на поверхности. Это увеличивает ресурс батареи и не приводит к одноразовости. Пример «богатого» решения – это аккумуляторы A-Mega <http://a-mega.ua>.

Аккумуляторы «тягового типа», применяемые в ИБП, до недавнего времени как-то обходились без кальция и одноразовости. Но производители не спят, и сегодня уже практически все АКБ для ИБП гордо хвалятся «легированием кальцием». Кто не верит – найдите технические описания на СА от производителей, и, внимательно читая, ищите слово «Са» (кальций). **Главная зарядная проблема – последовательное соединение АКБ без индивидуального контроля каждого (каждой банки) СА.**

Теперь настало время извечного вопроса: «А что же делать?» К сожалению, ничего. За вас уже все сделали. АКБ стала «одноразовой батарейкой», и вы днем с огнем не найдете не-кальциевый СА. Мы все просто заложники неправильных решений, которые уже «воплощены в металле» разработчиками ИБП.

Немного радует тот факт, что для военной техники все еще производят АКБ по «классической» (малосурьмянистой) схеме, с выводами на верх бака АКБ всех межбаночных перемычек, что позволяет иметь почти 90%-ю вероятность восстановления АКБ.

Я занимаюсь вопросами «правильного заряда» АКБ и вопросами восстановления и ПРАВИЛЬНОЙ эксплуатации АКБ, но не могу сказать, что нашел 100%-е лекарство. Мне удалось создать интеллектуальное зарядное устройство, которое автоматически заряжает СА с использованием нестандартных методик, что приводит к восстановлению свойств СА и уменьшению сульфатации в разы, по сравнению с «классикой заряда».

Простые советы тем, кто собирается ставить ИБП:

1. Не ставьте один мощный ИБП, ставьте много маленьких.
2. Ставьте питание 48 В (4 шт СА 12 В) а не 96 В–120 В–220 В.
3. Не ставьте большие емкости СА – они все равно «умрут» гораздо ранее обещанных в рекламе 10 лет. Ставьте СА из расчета на 10–15 мин. работы, но зато используйте мощный дизель или бензиновый генератор, генератор на газе «из трубы» (если позволяет место). Тогда задача ИБП – это продержаться до момента автоматического пуска дизеля.

Никель-металлгидридные аккумуляторные батареи (NiMH)

Никель-металлгидридные аккумуляторные батареи (NiMH) имеют менее высокую по сравнению с литиевыми батареями энергетическую плотность, но и меньший срок службы. Они не содержат токсичных веществ (но иногда содержат мизерные количества кадмия). Применяются в мобильных телефонах и ноутбуках.

Разработка никель-металлгидридных аккумуляторных батарей началась в 1970 году в результате изобретения способа сохранения водорода в никель-водородных батареях. Никель-водородные батареи используются до сих пор главным образом в спутниковой аппаратуре. Они громоздки, имеют емкости высокого давления для хранения водорода, и каждая из них стоит тысячи долларов. В автомобильной промышленности «Тойота Приус», например, имеет батарею из никель-металлгидридных элементов общим напряжением более 300 В.

В ранних экспериментах с никель-металлгидридными аккумуляторами металлгидридные сплавы в их среде работали нестабильно, и требуемой емкости батарей достичь не удавалось. Поэтому их развитие задерживалось до тех пор, пока в 80-х годах прошлого века не были разработаны новые металлгидридные сплавы, которые работали стабильно. С тех пор конструкция никель-металлгидридных батарей постоянно совершенствовалась в сторону увеличения их энергетической плотности. Успех распространения никель-металлгидридных батарей обеспечили высокая энергетическая плотность и нетоксичность материалов, применяемых при их производстве. По сравнению с никель-кадмиевыми, современные никель-металлгидридные батареи имеют более высокую – почти на 40 % – энергетическую плотность. Как и никель-кадмиевым, никель-металлгидридным аккумуляторным батареям присущ высокий саморазряд. Если никель-кадмиевые батареи теряют 10 % своей емкости в первые 24 часа после заряда, которая затем снижается примерно на 10 % каждый месяц, то никель-металлгидридные батареи теряют за такое же время в 1,5 раза большую емкость. Это следует учитывать при проектировании носимой радиоаппаратуры и предусматривать запасные комплекты в местах, где невозможно оперативно зарядить севший аккумулятор.



Высокое напряжение на элементе батареи позволяет производителям выпускать аккумуляторные источники питания, состоящие всего лишь из одного элемента 3,6...4,1 В

Для заряда никель-кадмиевых аккумуляторных батарей можно использовать один из трех методов заряда (по скорости заряда):

- нормальный или медленный заряд (Slow Charge);
- быстрый заряд (Quick Charge);
- скоростной заряд (Fast Charge).

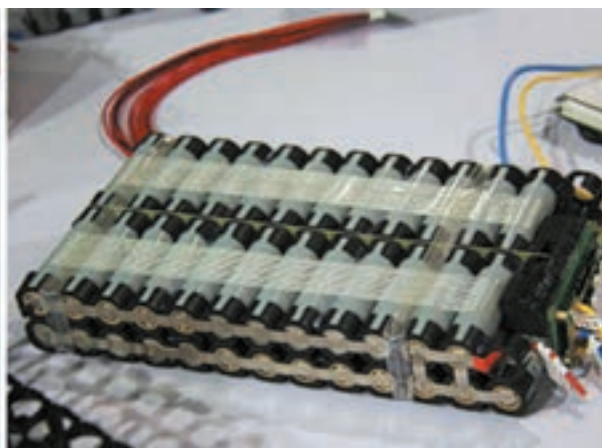
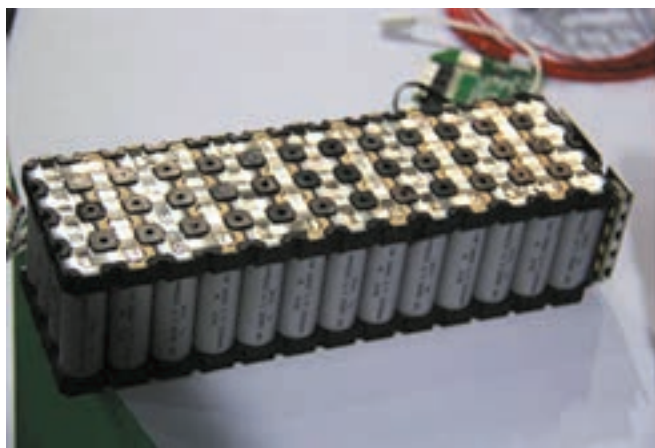
Нельзя допускать перезаряда батарей в режиме нормального заряда. Это приводит к их повышенному нагреву, быстрому старению и выходу из строя. Нормальный (медленный) заряд приводит к кристаллизации элементов батареи, что снижает их емкость и срок службы. Большинство «тупых ЗУ» поддерживает заряд малыми токами, однако не контролирует, к сожалению, температуру элементов. Но и не следует без крайней нужды использовать режимы быстрого заря-

Наиболее совершенные зарядные устройства никель-металлгидридных батарей имеют термодатчик, контролирующий скорость нарастания температуры батареи

да, при которых используются повышенные (до 1 С) токи и определение конца заряда по «дельта U». Не всегда заряжаемый элемент ведет себя точно «по описанию производителя», и ЗУ может не уловить «точку перегиба» при заряде, что, вместе с отсутствием контроля температуры элемента, гарантированно приведет к перегреву и выходу из строя АКБ. Рекомендации тут простые: не оставляйте без присмотра ЗУ в режиме «быстрая зарядка» и периодически контролируйте температуру заряжаемой батареи.

Наиболее точным и надежным способом управления процессом заряда никель-кадмиевых и никель-металлгидридных батарей является способ управления зарядом при помощи микроконтроллера, который осуществляет мониторинг напряжения батареи и отключает ее при его характерном изменении. Наиболее совершенные зарядные устройства никель-металлгидридных батарей имеют термодатчик, контролирующий скорость нарастания температуры батареи.

Медленный заряд никель-металлгидридных батарей трудно осуществим или вообще невозможен. При токе заря-



При производстве мощных батарей, состоящих из нескольких элементов, большое преимущество дает очень низкое внутреннее сопротивление литий-ионных элементов

да 0,1...0,3 С определить конец заряда по скорости нарастания температуры батареи или перепаду напряжения на ней становится невозможным. Поэтому если устройства медленного заряда и применяют, то единственный способ завершения цикла заряда – отключение по сигналу таймера. Назвать такой метод хорошим нельзя: перезаряд может привести к губительным для батареи последствиям, особенно если она установлена на зарядку в частично разряженном или в заряженном состоянии.

Некоторые дешевые зарядные устройства не могут обеспечить полного заряда батареи, т. к. они определяют момент конца заряда по пиковому напряжению на ней или по достижении ею пороговой температуры. Часто такие зарядные устройства рекламируют, подчеркивая их низкую цену и возможность быстро зарядить батарею. Но «не все то золото, что блестит».

Пульсирующий заряд (заряд с паузами) благоприятно воздействует на батарею, если по окончании заряда ее принудительно отключают, а затем снова подключают к зарядному устройству. Это характерно для аккумуляторных батарей радиостанций, трубок радиотелефонов, которые часто вынимают, а затем снова вставляют в базовое или автомобильное зарядное устройство. **Но следует делать это аккуратно и без применения «быстрых» ЗУ**, чтобы не перегреть АКБ. При каждой такой операции инициируется цикл заряда при его высоком начальном токе. То же самое характерно и для аккумуляторных батарей ноутбуков. А период паузы приводит к равномерной диффузии и выравниванию плотностей химических веществ внутри элементов.

В течение первых 70 % времени цикла заряда никель-кадмиевая батарея заряжается почти до 100 % своей емкости. Несмотря на то, что батареей была поглощена определенная энергия, ее нагрева не происходит. Начальный зарядный ток никель-кадмиевых батарей может составлять несколько значений С без угрозы их перегрева. Этот феномен использован в скоростных устройствах заряда, в которых заряд батареи до 70 % ее емкости происходит в считанные минуты. Далее он продолжается при более низких значениях тока заряда, пока батарея не зарядится полностью.

По достижении порога емкости в 70 % при заряде большим током (быстрый заряд) батарея существенно утрачивает способность запасать энергию. Ее элементы начинают выделять газы. Давление их внутри корпуса увеличивается, температура батареи растет. По достижении емкости 80...90 % способность АКБ запасать энергию снижается еще больше.

По достижении состояния полного заряда начинается перезаряд батареи.

Если после каждого импульса зарядного тока будет следовать пауза либо импульс тока разряда, это улучшит способность батареи запасать энергию. Такой метод заряда, иногда называемый методом «обратной нагрузки», а чаще всего – реверсивным зарядом, обеспечивает увеличение активной площади пластин. В результате увеличиваются емкость батареи и срок ее службы. Метод обратной нагрузки также улучшает процесс скоростного заряда, т. к. способствует рекомбинации газов, выделяемых в процессе заряда. В итоге заряд сопровождается меньшим выделением тепла и становится более эффективным, чем при заряде постоянным (не импульсным) током. Более того, исследования выявили еще одно преимущество этого метода: он существенно снижает опасность кристаллизации аккумуляторов и увеличивает срок их службы примерно на 15 %.

В отечественной технике, особенно в военной, до сих пор все еще применяются негерметичные никель-кадмиевые аккумуляторные батареи, в которые заливается жидкий электролит (раствор щелочи плотностью 1,12...1,14 кг/л). Перед их зарядом необходимо вывинтить невыпадающие пробки для отвода газов, а по окончании заряда снова их завинтить, но только после остывания батарей, иначе АКБ раздует. Ток нормального заряда для этих батарей составляет 0,25 С, а время заряда – 8 ч. Обозначение типа таких батарей наносится на корпус, например, 2НКП-24, где 2 – количество элементов, НК – тип элемента: никель кадмиевый, П – особенности конструкции пластин, в данном случае прессованные, 24 – емкость, А·ч.

Литий-ионные и литий-полимерные аккумуляторы

Первые эксперименты с литиевыми батареями были начаты еще в 1912 году группой ученых под руководством Дж. Н. Льюиса (G. N. Lewis), но только в начале 1970-х годов появились первые неперезаряжаемые литиевые батареи. Попытки разработать литиевые аккумуляторные батареи вплоть до 1980-х годов заканчивались неудачами. Это было связано с проблемами их безопасности.

Литий – самый легкий из металлов. Он имеет превосходный электрохимический потенциал и обеспечивает наилучшую энергетическую плотность на единицу массы. В литиевых аккумуляторных батареях применялись отрицательные пластины из металлического лития. Такие батареи обладали более высоким напряжением на каждом элементе и высокой емкостью по сравнению с батареями других типов.

Высокое напряжение на элементе батареи позволяет производителям выпускать аккумуляторные источники питания, состоящие всего лишь из одного элемента 3,6...4,1 В. Такие источники используются во многих моделях современных мобильных телефонов, а простота конструкции упрощает производство батарей. При производстве мощных батарей, состоящих из нескольких элементов, большое преимущество дает очень низкое внутреннее сопротивление литий-ионных элементов.

Что касается экологической безопасности, то литий-ионные батареи значительно безопаснее аккумуляторных батарей на основе свинца или кадмия. А среди литий-ионных батарей наиболее безопасны батареи, в которых используется марганец.

Несмотря на все преимущества, такие батареи обладают и недостатками. Они хрупкие и требуют применения специальных схем защиты для обеспечения безопасной работы. Схема защиты, встроенная в корпус батареи, ограничивает пиковое напряжение на каждом элементе в процессе заряда и предупреждает падение напряжения ниже допустимого значения при разряде. Обязательным является применение BMS (система управления батареями), постоянно следящей за состоянием каждого элемента АКБ. Литий-ионные батареи коммерческого назначения имеют наиболее совершенную защиту среди всех типов батарей. Такой уровень защиты обусловлен тем, что, будучи подключенными к какому-либо электронному устройству, они постоянно находятся в руках человека.

Большинству типов литий-ионных батарей свойственно старение. По неизвестным причинам производители батарей информацию об этом скрывают. Иногда в технических данных пишут о возможности некоторого снижения емкости батареи через один год независимо от того, использовалась она или не использовалась. Через 2–3 года батареи чаще всего выходят из строя. Это, скорее всего, связано с тем, что в веществах, входящих в состав батарей, со временем происходят необратимые химические процессы, приводящие батареи в негодное состояние.

Хранение батарей в прохладном месте замедляет процессы старения литий-ионных батарей так же, как и батарей других типов. Производители рекомендуют хранить батареи при температуре 15 °С. При этом батареи должны быть подзаряжены не более чем на 50 %.

Лучшими по соотношению цена/емкость являются цилиндрические литий-ионные аккумуляторные батареи. Чаще всего они применяются в мобильных компьютерах. Если необходима батарея в корпусе тоньше 18 мм, лучший выбор – призматические литий-ионные элементы, хотя они дороже цилиндрических. При необходимости батарей в сверхтонком корпусе (тоньше 4 мм) лучше всего подойдут литий-полимерные системы.

Литий-полимерные батареи отличаются от обычных литий-ионных аккумуляторных батарей видом используемого электролита. Разработанные в 1970-х годах, они используют только твердый сухой электролит из полимера, который похож на пленку из пластика, не проводящую электрический ток, но обеспечивающую ионообмен (т. е. пропускающую через себя ионы – электрически заряженные атомы или группы атомов). Полимерный электролит заменяет традиционный пористый сепаратор, пропитываемый жидким электролитом. Сухой полимер позволяет упростить производство, улучшить безопасность аккумуляторных батарей этого вида

и добиться их тонкопрофильной геометрии. При этом исчезает опасность воспламенения батарей, поскольку в них не используется жидкий или гелеобразный электролит. С появлением элементов литий-полимерных аккумуляторных батарей толщиной всего 1 мм перед конструкторами аппаратуры открылись новые возможности в отношении конечной формы и размеров новых электронных устройств. Были сняты многие ограничения касательно микроминиатюризации радиоэлектронных устройств.

Литий-полимерные аккумуляторные батареи в настоящее время успешно применяются в источниках резервного питания в странах с жарким климатом. Чаще всего они заменяют свинцово-кислотные батареи (VRLA), которые критичны к работе в условиях высоких температур.

Зарядные устройства литий-ионных батарей по принципу работы подобны зарядным устройствам свинцово-кислот-

Большинству типов литий-ионных батарей свойственно старение. Через 2–3 года батареи чаще всего выходят из строя

ных батарей и никель-металлгидридных батарей, но без «дельта U». ЗУ должны быть с ограничением напряжения заряда. Отличия состоят в более высоком напряжении элемента литий-ионной батареи, меньших допустимых отклонениях напряжения заряда и отсутствии необходимости компенсационного заряда (струйной подзарядки) по достижении батареей состояния полного заряда.

В то время как при заряде свинцово-кислотных батарей допускается довольно гибкое определение напряжения отсечки (конца заряда), к величине напряжения отсечки при заряде литий-ионных батарей предъявляются жесткие требования: оно должно быть строго определенного значения.

В начальный период, когда только появились литий-ионные батареи, использующие графитовую систему, требовалось ограничение напряжения заряда из расчета 4,1 В на элемент. Хотя использование более высокого напряжения позволяет увеличить энергетическую плотность, окислительные процессы, происходившие в элементах такого типа



Обязательным является применение BMS (система управления батареями), постоянно следящей за состоянием каждого элемента АКБ

Защищённый Li-ион аккумулятор



Аккумулятор без защиты

Литий-ионные батареи коммерческого назначения имеют наиболее совершенную защиту среди всех типов батарей. Такой уровень защиты обусловлен тем, что, будучи подключенными к какому-либо электронному устройству, они постоянно находятся в руках человека

при напряжениях, превышающих порог 4,1 В, приводили к сокращению их срока службы. Со временем этот недостаток устранили за счет применения химических добавок, и в настоящее время литий-ионные элементы можно заряжать до напряжения 4,20 В. Допустимое отклонение напряжения составляет всего лишь около +0,05 В на элемент.

Литий-ионные батареи промышленного и военного назначения должны иметь больший срок службы, чем батареи для коммерческого применения. Поэтому для них пороговое напряжение конца заряда составляет 3,90 В на элемент. Хотя энергетическая плотность (соотношение кВт·ч/кг) у таких батарей ниже, увеличенный срок службы при небольших размерах, весе и более высокая по сравнению с батареями других типов энергетическая плотность ставят литий-ионные батареи вне конкуренции.

При заряде литий-ионных батарей током 1 С время заряда составляет 2–3 ч. В процессе заряда они не нагреваются (или очень слабо нагреваются). Батарея достигает состояния полного заряда, когда напряжение на ней становится равным напряжению отсечки, а ток при этом значительно снижается и составляет примерно 3 % от начального тока заряда.

«Струйная» подзарядка (длительная подзарядка до 100 % малым током) может вызвать металлизацию лития, что делает работу аккумулятора нестабильной. Напротив, короткая подзарядка постоянным током способна компенсировать небольшой саморазряд батареи и компенсировать потери энергии, вызванные работой ее устройства защиты. **И тут мы опять приходим к необходимости и полезности заряда пульсирующим током, как для свинцовых, так и для никель-металлгидридных АКБ.** В зависимости от типа зарядного устройства и степени саморазряда батареи такая подзарядка может проводиться через каждые 100 ч, или 10 дней. Обычно ее следует проводить при снижении напряжения холостого хода до 4,05 В/элемент и завершать, когда оно достигнет 4,20 В/элемент.

Общие замечания по эксплуатации АКБ

Обобщая мой опыт реальной эксплуатации, хочу сказать, что «убивают» батарею или ее отдельные ячейки (элементы), не зарядные и разрядные токи, а невнимательность к состоянию каждого элемента АКБ. И «жертву» здесь выбирает процесс зарядки или разрядки.

Элементы АКБ (неважно какой химической структуры) из-за разброса их внутреннего сопротивления заряжаются неравномерно. Какие-то быстрее, а какие-то медленнее. По мере заряда, особенно в конце (после 90 % заряда), увеличивается внутреннее сопротивление, что в последовательном соединении увеличивает напряжение на опережающих ячейках, ускоряя процесс.

В литиевых АКБ при достижении нормы (3,6–3,7 В) работает балансир (в составе схемы BMS) и зашунтирует эту ячейку (элемент) сопротивлением, препятствуя ее перезаряду. По сути это превращение лишнего тока заряда в тепло. Снижение эффективности заряда за счет нагревания атмосферы. Но справится ли балансир или нет – зависит от сопротивления шунта и величины тока при этом.

Так, например, если сопротивление шунта 2 Ом, а зарядный ток более 2 А, то балансир уменьшит, но не исключит перезаряд ячейки АКБ. Тогда на помощь балансирам должна прийти BMS, полностью прекратив заряд батареи. Но если BMS справится, то еще больше увеличит время зарядки всей АКБ. Так и происходят регулярные недозарядки отдельных ячеек. Этот дисбаланс в АКБ нарастает со временем. Но недозаряженная ячейка, имея повышенное сопротивление разрядному току, не может противостоять токовым перегрузкам при разряде. Так в АКБ появляется очередная «жертва».

Как не допустить такого развития ситуации?

1. Зарядное устройство должно быть строго согласовано не только с мощностью вашей батареи, но и с вашими балансиром и BMS.
2. Проблему эту раньше других поняли конструкторы многоэлементных батарей.

Подведем итоги

1. При последовательном соединении аккумуляторов на больших токах сильнейший из последовательных элементов имеет преимущества: быстрее принимает заряд, недодавая слабым; работает: сильный – легко, слабый – перегружаясь (по току); а совсем ослабевшего сильные «добивают»!
2. При параллельном соединении: слабый заряжается быстрее. А при разряде большую нагрузку несет сильнейший, поддерживая ослабевшего. Именно поэтому японские машины, предназначенные для аварийных служб (ну а военные – тем более), вместо одного мощного стартерного имеют два включенных в параллель.

По той же причине и лучшие электромобили мира имеют батареи из многих включенных параллельных элементов. Поэтому я рекомендую всем покупающим батареи вместо каждой мощной ячейки использовать запараллеленную хотя бы пару той же суммарной емкости. При такой же цене надежность эксплуатации повысится вдвое.

Аккумуляторы при старении, по сравнению с соседними, обычно увеличивают свое внутреннее сопротивление. В сборке они первыми набирают напряжение, и первыми падают.

Так вот, в параллельном соединении быстро набрать напряжение им не дадут соседи. Упасть – тоже. А вот в последовательном соединении слабый аккумулятор «добивается» и при зарядке, и при разрядке. Слабое звено мешает работать всей системе и постоянно при заряде перезаряжается, а при разряде разряжается ниже допустимого.

Александр Сорока

<http://adopt-zu.soroka.org.ua/index.html>