

## **Учим как ...восстановить аккумулятор**

Павел Сухочев

Хакер Железо, номер #006, стр. 006-082-1

тестер: Павел Сухочев

Пожалуй, самым распространенным сегодня нестационарным источником питания является электрический аккумулятор. Ведь аккумуляторы бывают не только электрические, но и гидравлические, пневматические, механические (например, пружина механических часов). Электроаккумуляторы обладают оптимальными характеристиками по сравнению с другими видами накопителей энергии - они легче и компактнее, без движущихся частей, дольше сохраняют энергию без потерь, у них достаточно высокий коэффициент полезного действия. Поэтому они нашли применение в различных электроприборах и аппаратуре. Как основной источник питания аккумулятор применяется в портативных компьютерах, мобильных и радиотелефонах, фото- и видеокамерах; как резервный - в источниках бесперебойного питания, а также в большинстве устройств, обладающих CMOS-памятью. Это и BIOS твоего компьютера, и настройки каналов твоего телевизора и видеомagneфона. И даже в мобильном телефоне есть второй маленький аккумулятор, который сохраняет его настройки при снятой основной батарее. Но в процессе работы, особенно при неправильной эксплуатации, аккумулятор может потерять свои свойства. Как восстановить аккумулятор, мы расскажем в этой статье.

### **Принцип действия аккумулятора**

Аккумулятор (от лат. *accumulatio* - накопление) - устройство накопления энергии для ее последующего использования. Электрический аккумулятор (далее – просто «аккумулятор») накапливает энергию за счет обратимого химического процесса - преобразует при зарядке электрическую энергию в химическую, а затем по мере надобности отдает ее потребителю. Аккумуляторная батарея является набором последовательно соединенных аккумуляторов и может дополнительно снабжаться встроенными логическими элементами, термодатчиками и предохранителями, которые позволяют контролировать процесс зарядки.

Основные принципы действия химических источников электрического тока были открыты еще в конце 18 века, и все современные аккумуляторы изготовлены на их основе, а конструкция с того времени практически не изменилась – появились лишь новые материалы и технологии, позволившие уменьшить размеры и повысить емкость батарей.

Если в электролит (растворы кислот, щелочей или солей, а также расплавы солей, в которых присутствуют свободные ионы - части молекул с положительным или отрицательным зарядом) погрузить два электрода из разных материалов (с разным химическим потенциалом), то на них начнется осаждение заряженных ионов. При этом на аноде - электроде с отрицательным химическим потенциалом (например, графитовом стержне) - будут осаждаться положительные ионы (катионы), и он станет положительным полюсом аккумулятора. Соответственно на втором электроде - катоде (например, цинковой банке) - осядут отрицательные ионы (анионы), и он станет отрицательным полюсом. Этот электрохимический окислительно-восстановительный процесс назван «гальваническим» (в честь Луиджи Гальвани - итальянского ученого, открывшего возникновение разности потенциалов при контакте металла с электролитом). На этом

принципе основана работа гальванических элементов питания - как одноразовых (элементов «первого рода», элементов Лекланше), так и перезаряжаемых (элементов «второго рода» - аккумуляторов), а также топливных элементов, в которых электролит для реакции подается непрерывно.

## Перезарядка

Перезарядка аккумуляторов возможна за счет обратимости химических процессов при пропускании электрического тока. При этом происходит процесс восстановления материала электродов и насыщение электролита (возврат осевших на электродах ионов в раствор). Так как химические процессы окисления-восстановления являются достаточно медленными и сопровождаются выделением тепла (аккумуляторы при зарядке и быстрой разрядке греются, кислотные могут закипеть, а литиевые - даже взорваться), то зарядка является достаточно длительным процессом (8-16 часов). Естественно, и отдать энергию сразу аккумуляторы не способны. В этом их отличие от конденсаторов, которые не являются гальваническими элементами - они только накапливают заряд на поверхности обкладок, намного меньший, чем может хранить электролит в том же объеме, но зато могут и отдать весь заряд практически мгновенно.

## Виды аккумуляторов

Наиболее распространенными аккумуляторами являются кислотные (например, автомобильные) и «сухие» (для портативных компьютеров, сотовых телефонов и т.п.), где электролит либо загерметизирован или связан твердым материалом, либо находится в гелеобразном состоянии. Среди бытовых аккумуляторных элементов сегодня наиболее распространены три вида: никель-кадмиевые (Ni-Cd), никель-металлгидридные (Ni-MH) и литий-ионные (Li-Ion).

Никель-кадмиевые аккумуляторы имеют никелевый анод и кадмиевый катод, рабочее напряжение 1.2 В. Несмотря на невысокую емкость Ni-Cd элементов (порядка 0.5-1 Ач для элементов формата AA – «пальчиковые батарейки»), они имеют свои преимущества. Они обладают низким внутренним сопротивлением, потому способны подавать на выход достаточно сильный ток без падения напряжения до полной разрядки, обеспечивают большое число циклов зарядки/разрядки (500-1000). Но применение кадмия в процессе электролиза вызывает выделение водорода, который может привести к взрыву. Для предотвращения разрушения корпуса аккумулятора в нем делают вентиляционные отверстия, через которые выходят излишки водорода. По этой причине нельзя герметично закрывать эти элементы, а корпуса батарей необходимо делать с отверстиями. Кроме того, кадмий является токсичным веществом, и должен быть переработан после утилизации. Никель-кадмиевые аккумуляторы характеризуются саморазрядом в пределах 10% в первые сутки после зарядки и примерно по 10% каждый месяц. Саморазряд является следствием химической реакции, протекающей в аккумуляторе даже при отсутствии нагрузки.

## Эффект «памяти» аккумуляторов

Основная проблема Ni-Cd аккумуляторов - это эффект «памяти» уровня заряда: если такой элемент разрядить не полностью, то на аноде образуются кристаллы кадмия, уменьшающие полезную емкость батареи. При достижении того же «неполного» уровня при следующей разрядке напряжение упадет точно так же, как если бы аккумулятор был полностью разряжен. Для восстановления первоначальной емкости необходимо проводить «раскачивание», циклы «полная зарядка - полная разрядка». Причем, так как электронные

приборы при падении напряжения просто отключаются, то для «глубокой» разрядки необходимо наличие электрического потребителя, не отключающегося при падении напряжения (например, электрическая лампочка или реостат).

Причина «памяти» Ni-Cd аккумуляторов - материал катода. Для катода идеальным материалом является водород, но при комнатной температуре и атмосферном давлении он находится в газообразном состоянии. Зато есть металлы, позволяющие связывать в своей структуре атомарный водород в объеме в 1000 раз превышающем их собственный. Это цинк, никель и литий, чьи соединения с водородом получили название «гидриды». Соответственно, у Ni-MH аккумуляторов никелевый анод и никель-гидридный катод. Такие аккумуляторы практически не обладают памятью, являются экологически чистыми (за счет отсутствия токсичных металлов), обладают большей емкостью (в 1,5-2 раза больше, чем у Ni-Cd), также могут выдерживать ток большой силы. Но у Ni-MH аккумуляторов есть и существенные недостатки по сравнению с Ni-Cd. Ni-MH более подвержены саморазрядке: при зарядке до 1.4 В напряжение падает до 1.2 В в первые часы, а иногда и минуты, затем оно держится постоянным до полной разрядки. При этом аккумулятор теряет по 3-5% заряда в сутки (80-100% в месяц), соответственно при хранении их необходимо ежемесячно подзаряжать. Кроме того, Ni-MH аккумуляторы при зарядке сильно нагреваются, потому для них необходимо наличие специальных зарядных устройств с контролем температуры.

## Li-Ion

Следующим химически активным веществом после водорода в таблице Менделеева является литий (гелий, следующий за водородом - инертный газ, не обладающий химическим потенциалом). Это самый активный металл, и самые компактные аккумуляторы изготавливаются именно с литиевыми катодами. Литий настолько активен, что может самовозгораться на воздухе, потому в аккумуляторах он находится в ионном виде, связанном молекулами оксидов металлов. Li-Ion аккумулятор состоит из угольного анода, литий-кобальт-диоксидного катода и жидкого электролита, которым пропитан слой нетканого синтетического материала. Такие аккумуляторы не имеют «памяти», обладают в 1.5-2 раза большей емкостью, чем Ni-MH, напряжением выше 1.5 В (обычно 3.6), но у них тоже есть свои недостатки. Li-Ion аккумуляторы не могут выдавать ток большой силы из-за высокого внутреннего сопротивления. Соответственно, их применение целесообразно в устройствах с длительным потреблением тока без резких перепадов мощности (телефоны, часы, фотокамеры, ноутбуки). Они не встречаются в формате АА, так как из-за активных свойств лития необходимо контролировать процесс зарядки электронной схемой, которую не так просто разместить в столь небольшом элементе.

## Борьба за емкость

Помимо повышения емкости аккумуляторов за счет применения новых веществ, можно повысить удельную емкость за счет более рационального использования пространства: батареи с элементами прямоугольной или плоской формы позволяют повысить емкость на 20% по сравнению с батареями из цилиндрических элементов. В таких «нестандартных» элементах вместо жидкого электролита применяется полимер (например, такой композитный материал, как полиакрилонитрил), который содержит литиевую соль. Соответственно, такие элементы не нуждаются в надежной герметичной защитной оболочке, за счет чего снижается их масса и повышается удельный заряд.

Но и у литий-ионных аккумуляторов еще не исчерпан ресурс емкости. Специалистам из Sandia National Laboratories удалось повысить емкость аккумуляторных батарей в 10 раз за

счет применения кремний-углеродного анода. Но они столкнулись с проблемой снижения емкости при каждой последующей зарядке, связанной с разрушением анода под воздействием большого тока. Замедлить разрушение анода и уменьшение емкости удалось за счет применения композитных материалов, более устойчивых к действию большого тока. Пока такие аккумуляторы находятся в стадии разработки, и их массовый выпуск ожидается в том случае, если удастся замедлить снижение емкости до приемлемого уровня.

## Характеристики аккумуляторов

Электрическими параметрами аккумуляторов являются напряжение, емкость, ток зарядки/разрядки, внутреннее сопротивление.

Напряжение - это разность электрических потенциалов катода и анода, которая возникает в ходе химической реакции. Оно зависит прежде всего от химического потенциала электродов. Для большинства свинцово-кислотных аккумуляторных элементов это напряжение составляет 2 В, для никелевых - 1.2 В, для литиевых - 3.6 вольт. Для получения заданного напряжения эти элементы последовательно соединяют в аккумуляторные батареи. Например, в автомобиле для получения 12 вольт требуется 6 свинцово-кислотных элементов, а для 3.6 В в мобильном телефоне - 3 никелевых или один литиевый. Для наращивания же емкости элементы соединяются параллельно. Например, в батарее ноутбуков IBM часто применяются 3 последовательно соединенных блока, в каждом из которых запараллелены по две пары последовательно соединенных аккумуляторов.

Емкость батареи - это ее максимальный заряд, или то время, которое полностью заряженная батарея сможет непрерывно давать заданный ток:

$C = q \text{ [Кл]} = I \cdot t \text{ [А} \cdot \text{с]}$ , где  $q$  - заряд,  $I$  - сила тока,  $t$  - время.

Для удобства время указывают не в секундах (как принято в системе СИ), а в часах:

$C = I \cdot t \text{ [А} \cdot \text{ч]}$ , что равно  $3600q \text{ [Кл]}$ .

Это значит, что вместо маркировки 5400 А\*с мы обычно видим более удобное и привычное обозначение 1.5 А\*ч.

Характеристикой типа аккумулятора является удельная емкость - мощность единицы массы элемента [Вт\*ч/кг]. Для Ni-Cd элементов эта величина составляет 40-80, для Ni-MH - 60-80, для Li-Ion - 90-110, для Li-полимерных - 130-150 Вт\*ч/кг.

## Максимальный ток

Еще один немаловажный рабочий параметр аккумулятора - это максимальный ток. Если ток разрядки - это только ограничение эксплуатационных возможностей, то ток зарядки - это ограничение, превышение которого выведет аккумулятор из строя. В электронных устройствах этот ток обычно существенно ниже максимального, чтобы увеличить срок службы батареи. В некоторых устройствах отсутствует контроллер зарядки, и аккумуляторы постоянно находятся в режиме подзарядки малым током. Со временем этого тока уже не хватает для достижения полного заряда - происходит отложение продуктов реакции на электродах, и для процесса восстановления необходим больший ток. Часто «оживить» незаряжающиеся аккумуляторы получалось кратковременной

подачей тока в 2 раза большей силы при напряжении порядка 1.5 В, после чего зарядка проводилась с номинальными параметрами.

Сила тока разрядки обычно ограничивается производителем и находится в пределах 0.2-0.5 от величины емкости элемента. Сила тока зарядки определяется по правилу:

$I(\text{зар}) = k \cdot C(\text{бат})$  [А], где  $C(\text{бат})$  - емкость батареи [А\*ч],  $k$  - коэффициент, зависящий от типа батареи.

Для Ni-Cd можно принять  $k = 0.2$ , для Ni-MH это значение ниже:  $k = 0.1$ . Рекомендуемое время зарядки для Ni-Cd элементов - 6-8 часов, для Ni-MH - 14-16 часов.

#### Алгоритм восстановления Ni-MH аккумуляторов

Как было сказано выше, потеря емкости аккумулятора связана с отложением продуктов реакции на электродах. Для восстановления аккумулятора необходимо вернуть эти продукты в исходное состояние.

Для этого необходимо иметь в наличии следующее:

- источник питания с плавной регулировкой напряжения, индикаторами силы тока и напряжения (можно также воспользоваться отдельными вольтметром и амперметром);
- подготовленные для зарядки аккумуляторные элементы;
- нагрузку - реостат или лампочку, сопротивление которых необходимо подобрать исходя из формулы:

$R = U / I$  [Ом], где  $U$  - номинальное напряжение батареи [В],  $I$  - необходимая сила тока [А], которая берется из расчета  $I = 0.4 C(\text{бат})$ .

Желательно также иметь в наличии термодатчик или термореле, чтобы можно было вовремя отключить ток при перегреве.

Перед зарядкой разрядим аккумулятор до напряжения порядка 1 В - подключаем вольтметр и нагрузку параллельно элементу. Периодически контролируем напряжение (оно не должно упасть ниже 0.9 В - могут начаться необратимые процессы).

Периодически контролируем температуру - она не должна подниматься выше 50 градусов Цельсия. В противном случае необходимо отключать нагрузку до тех пор, пока элемент не остынет до комнатной температуры. После разрядки необходимо выждать время для нормализации процессов внутри элемента (15-20 минут). За это время элемент «регенерируется», напряжение повысится, и его можно доразрядить до напряжения 0.9 В. Далее, выждав 10-15 минут, можно приступить к зарядке.

#### Зарядка

Для зарядки подсоединяем амперметр последовательно к заряжаемому элементу, источник питания и вольтметр - параллельно, одним контактом к свободному полюсу аккумулятора, другим - к свободному контакту амперметра. Термодатчик или чувствительный элемент, термореле, желательно закрепить на аккумуляторе с использованием термопасты для более точных измерений. Устанавливаем регулятор напряжения источника питания на минимальное напряжение (реостат - на максимальное

сопротивление). Далее - плавно поднимаем напряжение так, чтобы сила тока на амперметре достигла значения:

$$I(\text{зар}) = 0.1C(\text{бат})$$

Например, для аккумулятора емкостью 1500 мАч максимальная сила тока будет 150 мА. Сила тока будет постепенно снижаться, и соответственно, необходимо повышать напряжение. Сначала - раз в 3-5 минут в течение первого часа, далее - каждый час. Как только напряжение достигнет 1.3 номинального (1.4-1.5 вольт), нужно оставить аккумулятор на зарядке как есть - далее повышать напряжение нельзя. Когда сила тока упадет до значения близкого к нулю (через 4-6 часов), нужно отключить зарядку, подождать 15-20 минут для нормализации процессов, и поставить заряжаться на 8 часов. На всем протяжении зарядки необходимо следить за тем, чтобы температура не поднималась выше 50 градусов Цельсия. Если же температура превышает это значение - надо понизить ток зарядки (в 1.5-2 раза) до тех пор, пока аккумулятор не остынет до 30 градусов. Затем можно плавно поднять ток до номинального значения. Для восстановления первоначальной емкости потребуется 3-4 таких цикла.

В случае с мобильными телефонами можно действовать аналогично средствами самого телефона:

- 1) полная разрядка телефона до отключения;
- 2) ожидание регенерации (10-15 минут);
- 3) повторное включение до полной разрядки;
- 4) постановка на зарядку до полного заряда (отключение индикатора зарядки, сообщение «зарядка завершена»);
- 5) отключение зарядки (2-5 минут);
- 6) повторное включение на зарядку на 8 часов.

Необходимо произвести порядка трех таких циклов, причем рекомендуется производить эти операции как сразу после приобретения нового аппарата или новой батареи, так и через каждые 3-6 месяцев эксплуатации.

### Tips & Tricks

1. Чтобы разобрать склеенный аккумуляторный блок, можно использовать отвертку с пластиковой ручкой и короткий скругленный нож. Ручкой отвертки обстукиваем корпус батареи по шву, затем в щель вставляем нож, и, создавая небольшое усилие его наклоном, продолжаем обстукивать батарею. Корпус начнет расходиться, и нож нужно будет передвигать дальше, до полной разборки батареи. Конечно, не все батареи разбираются легко, есть риск повредить тонкий корпус, но при достаточной тренировке можно будет разбирать практически любые клееные корпуса быстро и без повреждений, а затем склеивать их обратно.
2. Для восстановления аккумулятора может понадобиться замена элементов. Необходимо приобрести элементы не только такого же типа (Ni-Cd или Ni-MH) и размера, но и желательно не превышать номинальной емкости «родных» элементов - в противном

случае ток зарядки может быть выше, или будет некорректно срабатывать логическая схема контроллера зарядки, что вызовет ошибочное отображение заряда аккумуляторов и несвоевременное отключение зарядного устройства.

Перед расстыковкой элементов рекомендуем зарисовать схему расположения и соединения элементов с указанием полярности. Затем ножом срезать соединительные пластинки. При сборке новых элементов нельзя допустить перегрева, поэтому соединительные пластинки надо пропаять в первую очередь. Желательно, изготовить новые из медной фольги. Места контакта аккумуляторных элементов сначала зачищаются от окисной пленки, затем на эти точки помещается капля паяльной кислоты. Лужение производится быстрым (на полсекунды) касанием паяльника с оловом. Затем соединительные пластинки накладываются пропаянной стороной на пропаянные площадки аккумуляторов и прижимаются паяльником на 1-2 секунды (до момента плавления олова), затем нужно быстро остудить элементы. По завершении пайки нужно проверить правильность соединения элементов и померить напряжение батареи. Если все сделано корректно, то на контактах будет соблюдена полярность, а напряжение будет в пределах 0.8-1.0 номинала батареи.

3. Хранение аккумуляторов. Аккумуляторы нужно хранить полностью ЗАРЯЖЕННЫМИ! При хранении надо регулярно (раз в 1-2 месяца) проверять напряжение. Оно не должно падать ниже 1 В. Если же напряжение упало, необходимо зарядить аккумуляторы заново. Единственные аккумуляторы, которые могут храниться разряженными - это Ni-Cd.

Саморазряд батарей происходит из-за той же химической реакции электродов и электролита, которая происходит в процессе работы (разрядки под нагрузкой), только без нагрузки эти процессы протекают существенно медленнее. Причем, при снижении температуры эти процессы замедляются, соответственно для снижения саморазряда хранить аккумуляторы надо в прохладном сухом месте. Для этих целей вполне подходит холодильник. Но нельзя помещать аккумуляторы в морозильную камеру - начнет конденсироваться влага, являющаяся причиной коррозии и утечки тока. А из-за резкого перепада температуры может расслоиться электролит. Оптимальная температура хранения - 1-5 градусов Цельсия.

Зачем обжимают «севшие» батарейки

Если обжать корпус севшей батарейки, то устранятся полости между электродами и электролитом, возникшие в процессе реакции. Сам электролит распределится более равномерно. Увеличится скорость реакции и восстановится ток. Таким образом, батарейка протянет еще некоторое время. Главное – не перестараться и не замкнуть электроды :).

Полезная информация для автолюбителей. Зимой, при сильном морозе, процессы в аккумуляторе замедляются настолько, что силы тока даже полностью заряженного аккумулятора не хватает для раскрутки стартера. Конечно, это также связано с загустеванием масла, поэтому для облегчения запуска двигателя обычно сразу после выключения двигателя добавляют немного бензина в картер и делают 5-10 оборотов коленвала стартером (без запуска двигателя), а запускают двигатель с выжатым сцеплением. Но повысить ток аккумулятора можно за счет нагрева, который можно произвести включением на 10-15 минут ламп ближнего света. Под действием потребителя электроэнергии аккумулятор разогревается, увеличивается скорость химической реакции, растет ток (что можно увидеть по повышению яркости свечения фар). Этого тока вполне хватит для запуска двигателя. И еще: лучше дольше непрерывно «крутить стартер», чем пытаться запустить двигатель короткими включениями. Каждое включение

сопровождается резким повышением тока, который падает по мере раскрутки стартера, и чем меньше таких включений, тем дольше проработает стартер от аккумулятора, и тем выше будет вероятность успешного запуска.



## **О восстановлении аккумуляторов**

Процент восстановленных аккумуляторов при использовании контролируемых циклов разряда / заряда зависит от типа электрохимической системы, количества уже отработанных циклов, метода обслуживания и возраста аккумулятора.

Ni-Cd. Наилучшие результаты достигаются при восстановлении NiCd аккумуляторов. Обычно от 60 % до 70 % отвергнутых NiCd аккумуляторов может быть восстановлено для полноценной эксплуатации при использовании тренировочных циклов и восстановительных методов, заложенных в анализаторах.

Однако не все аккумуляторы одинаково хорошо откликаются на тренировочные и восстановительные циклы. Старые могут показать низкие и непоследовательные (противоречивые) значения емкости после обслуживания, другие становятся еще хуже с каждым новым циклом. Такие результаты указывают на нестабильность аккумулятора, и подобные аккумуляторы должны быть заменены. Аналогия может быть проведена со старым человеком, для которого тренировки вредны.

Однако некоторые старые NiCd аккумуляторы после проведения обслуживания достаточно близко возвращаются к первоначальной емкости. При этом следует принять во внимание возможность наличия у них высокого саморазряда. Если есть сомнение, проведите испытание на саморазряд.

Ni-MH. Процент восстановления NiMH аккумуляторов оценивается примерно в 40 %. Более низкое значение обусловлено, частично, из-за сокращенного числа циклов разряда / заряда NiMH аккумуляторов по сравнению с NiCd. Из компании NTT, Япония, долгое время эксплуатирующей NiMH аккумуляторы, сообщили о хорошем проценте восстановления NiMH аккумуляторов в случае использования методов тренировки и восстановления компании Cadex. (Из моей практики: процент восстановления NiMH аккумуляторов очень низок. Возможно вся причина этого заключается в том, что попадают они на восстановление уже безнадежно испорченными. Если бы аккумуляторы проходили периодическое обслуживание, то возможно процент восстановленных был бы близок к 40 %. Комментарий переводчика.)

SLA. Процент восстановления SLA аккумуляторов мал и составляет около 15 %. В отличие от основанных на никеле аккумуляторов, восстановление SLA аккумуляторов не базируется на разрушении кристаллических образований, а скорее на восстановлении химического процесса. Причиной низкого значения емкости SLA аккумуляторов является их длительное хранение в разряженном состоянии и недостаточном заряде.

Li-ion. Уменьшение емкости Li-ion аккумуляторов складывается из восстанавливаемых и невосстанавливаемых потерь. Оптимальные способы восстановления восстанавливаемых потерь будут, вероятно, разработаны в ближайшем будущем. В настоящее время, надежных методов восстановления этих аккумуляторов нет.

При обслуживании Li-ion аккумуляторов с использованием анализатора аккумуляторов, цель обслуживания - не столько в восстановлении аккумуляторов, утративших емкость из-за эффекта памяти (Li-ion аккумуляторы не подвержены этому эффекту), сколько в проверке новых аккумуляторов на соответствие спецификациям изготовителя прежде, чем истечет гарантия, и прополке "сухостоя", как только емкость упала ниже приемлемого

целевого значения. Обслуживание аккумуляторов также помогает в идентификации неисправных зарядных устройств.

Обычно задают вопрос - " Будет ли восстановленный аккумулятор таким же, как новый? " В этом случае уместно сравнение с заменой дефектной детали в машине. Только замененная деталь нова; остальная же часть машины остается в прежнем состоянии. Если аккумулятор содержит сепаратор, который был поврежден избыточной высокой температурой или испорчен неконтролируемыми кристаллическими образованиями, то эта часть аккумулятора естественно улучшаться не будет. В тоже время разрушение кристаллических образований в NiCd или NiMH аккумуляторах может рассматриваться как полное восстановление. Однако этот процесс со временем произойдет заново, в случае, если аккумулятор не будет периодически подвергаться требуемому обслуживанию.

Эта информация - отрывок из книги "Batteries in a Portable World "by Isidor Buchmann.

Перевод и техническая редакция Владимира Васильева

## **Восстановление NiCd и NiMH аккумуляторов на практике**

Мною получено разрешение у Mr. Isidor Buchmann, главы канадской компании Cadex Electronics Inc., производителя анализаторов аккумуляторов, на перевод и размещение информации из его книги "Batteries in a Portable World. A handbook on rechargeable batteries for non-engineers" ("Аккумуляторы в мире портативных устройств. Руководство по аккумуляторам для неинженеров") в российском интернете и технических журналах. Так что по мере возможности буду знакомить вас с наиболее интересными моментами из нее.

### **Практические аспекты восстановления NiCd и NiMH аккумуляторов**

А теперь информация об опыте восстановления Ni-Cd и Ni-MH аккумуляторов, присланная Дмитрием Игнатовым. С согласия автора, ниже привожу текст письма с моими небольшими комментариями (помечены: Комментарий):

Здравствуйте, Владимир !

Огромное спасибо за ценнейшую информацию по аккумуляторам. Особенно интересной для меня была статья о восстановлении Ni-Cd и Ni-MH аккумуляторов с помощью прибора Cadex. Однако, как я понял из статьи, Cadex работает с батареей в целом (не поэлементно).

(Комментарий: Да только с аккумулятором в целом. Но если аккумулятор разборный, или вы сумели разобрать его, то с помощью анализатора Cadex вы без проблем сможете протестировать, а при необходимости и восстановить его отдельные элементы.)

Мой же опыт работы с аккумуляторами показывает, что элементы в батарее стареют очень неравномерно. Пример: в Ni-MH батарее для сотового телефона, состоящей из пяти элементов, после разряда её до 5В в штатном зарядно-разрядном устройстве, разброс напряжения на разных элементах составлял от 0,80 до 1,28 В (!!!), т.е. одни элементы были разряжены ниже допустимого предела, а другие были недоразряжены.

Мной была предпринята попытка восстановить эту батарею описанным Вами методом глубокого разряда (ранее я восстанавливал батареи простой заменой элементов). Разряд

производился током в 1/20 емкости. Так вот, когда напряжения на трёх элементах уже "провалилось" до 0,40 В, на двух других оно составляло 1,15 и 1,21 В. При дальнейшем разряде первые три элемента быстро "провалились в ноль", а напряжение на других двух почти не снизилось. Восстановить аккумулятор не удалось.

(Комментарий: Как правило восстановление должно применяться в процессе обслуживания, а не когда аккумулятор потерял уже все признаки жизни. Интервал же обслуживания 1 месяц для NiCd и 2-3 месяца - NiMH.)

Другую батарею я разобрал на элементы и производил разряд каждого элемента в отдельности. Затем собрал батарею и зарядил в течение 15 часов током в 1/10 номинальной ёмкости. Аккумулятор после этого работает почти как новый, ёмкость восстановилась практически полностью.

(Комментарий: Разбирать - это нормально для профессионалов и в единичных случаях, и для России. Но вы вероятно заметили, что разобрать фирменные аккумуляторы без повреждения корпуса - очень и очень тяжело.)

В итоге я пришёл к выводу, что одной из причин неудач в восстановлении АКБ является именно неравномерность "старения" элементов.

(Комментарий: Вы совершенно правы. Если при выпуске из производства, аккумуляторы практически идентичны по напряжению, емкости и другим параметрам, то в процессе эксплуатации, их разбаланс усиливается. Без периодического обслуживания они постепенно приходят к такому виду, который вы описали. Естественно, что восстанавливать аккумулятор лучше поэлементно, но не всякий аккумулятор разбирается, к тому же затраты времени увеличиваются пропорционально количеству элементов в аккумуляторе. Если все пересчитать на деньги и зарплату специалиста, который будет это делать, то выгоднее, вместо невосстановившего аккумулятора купить новый.)

В конце хочу задать несколько вопросов, которые, возможно будут интересны другим читателям:

Каким током разряжает батареи Cadex ? (Комментарий: До 1 вольта - 1С или 0.5С, в зависимости от программы, при восстановлении - значительно меньше и по специальному алгоритму.)

Каковы параметры импульсного режима заряда (ток, частота, скважность) ?

(Комментарий: на моем сайте - в разделе "Методы заряда")

В последнее время на рынке появилось много некачественных (ёмкость не превышает 1/3 - 1/2 номинала) Ni-MH элементов с маркировкой GP. По внешнему виду и цене - "как настоящие". Что это - подделка или заводской брак? Как при покупке отличить качественные от некачественных? Заранее огромное спасибо. (Комментарий: Я уже сталкивался года полтора назад с некондиционной партией GP аккумуляторов для сотовых телефонов. Об этом и писал в новостях сайта, кстати это тоже можно прочитать в архивах новостей. Так вот по внешнему виду они ничем не отличались от качественных и настоящих, да и были похожи настоящими (фирменными). Фирма-поставщик их в Россию признала это и даже вроде как принимала на обмен. Причина брака - мне неизвестна, они как-то об этом не распространялись. Что касается Вашего случая - не знаю. Может быть и брак. Как отличить - только проверкой после 3-х кратного заряда/разряда (ввод в эксплуатацию). А потом, если брак - сдать продавцу.)

С пожеланиями успехов в Вашем нужном деле,

Дмитрий Игнатов.

Вдогонку пришло еще одно письмо от Дмитрия:

Хочу поделиться ещё некоторым опытом восстановления АКБ. Эта информация касается в основном Ni-MH и Ni-Cd АКБ для телефонов Benefon Sigma, Spica и, возможно других телефонов Benefon. При проверке "внезапно скончавшихся" АКБ выяснялось, что сами "банки" вполне исправны, а вышел из строя микроконтроллер фирмы Dallas Semiconductors, расположенный в корпусе АКБ (внешне - трехногая деталь, похожая на транзистор, с маркировкой Dallas). Этот контроллер выдавал на телефон неверную информацию об уровне заряда, и телефон просто отказывался включаться. После простого удаления неисправного контроллера телефон начинал нормально работать, только не выдавал информацию об уровне заряда и температуре. Доразряд и заряд такой АКБ тоже проходит нормально.

(Комментарий: действительно, аккумуляторы некоторых производителей имеют встроенную микросхему фирмы Dallas Semiconductors. По поводу Benefon Sigma, Spica сказать ничего не могу, а вот в Li-ion аккумуляторах Motorola эта микросхема содержит идентификатор аккумулятора, своего рода признак родного аккумулятора. Если в телефон вставить чужой подобный аккумулятор стороннего производителя, телефон работает, но заряжать отказывается. Т.е. таким образом попутно решается вопрос защиты от подделок.)

Надеюсь, эта информация окажется полезной, особенно с учётом того, что АКБ Benefon весьма недёшевы. С наилучшими пожеланиями, Дмитрий Игнатов.

## **Восстановление Li-ion аккумуляторов на практике**

Достаточно часто в различных темах форума всплывает вопрос о неисправностях, возникающих при эксплуатации литий-ионных аккумуляторов. Они как правило сводятся к двум моментам:

1. аккумулятор работает, но время работы устройства от него оставляет желать лучшего. Другими словами аккумулятор потерял емкость.
2. в результате длительного хранения аккумулятора в разряженном состоянии (храните всегда заряженным и лучше отдельно от того устройства для питания которого он предназначен), напряжение на его выводах отсутствует и никакой зарядник не может его зарядить

Если в первом случае, как правило, уже ничего не поделать, то во втором - аккумулятор можно попытаться реанимировать. Вот как это предлагают делать на основе своего личного опыта посетители форума. Дословно привожу их ответы.

Amicell, 17-01-2002. Для начала попробуйте по простому. На стандартном источнике установите максимальное напряжение 4.2 (4.1) вольты и ограничение по току например 200 мА и подключите на контакты батареи, соблюдая полярность. Если плата защиты откроется и потечет ток оставьте в заряде на часик. Потом можно перейти на стандартное зарядное устройство. Если нет тока, надо открыть и проверить в чем дело в батарее или плате защиты. Из опыта - до 70 процентов открываются и работают нормально. После цикла заряда желательно проверить внутреннее сопротивление аккумулятора или поставить его на разряд током при котором он должен эксплуатироваться. Если напряжение в норме под током - аккумулятор можно вернуть к работе. Единственное что

мы не сделали - не проверили емкость, те не знаем - а сколько времени он будет работать. Фактически мы оценили состояние аккумулятора на конкретный момент. Для полной оценки надо конечно провести проверку емкости тоже.

олегМ 18-04-2002. Несколько раз было такое: нулевое напряжение на LI-Ion-ных аккумуляторах, любые попытки распознать Кадексом были безрезультатны. Помогло вскрытие умерших, кратковременное подключение (с соблюдением полярности) источника постоянного тока непосредственно на элементы. После минуты "терапии" небольшое напряжение на элементах распознается Кадексом. Ну а далее либо Ext.Prime (что предпочтительнее на мой взгляд), либо Prime. Результат был положительным. Полагаю, что при разряде ниже минимального, схема управления не дает подключиться к элементам даже для заряда. Если упустить момент, то можно лишиться АКБ, в Li-Ion-ных происходят необратимые процессы.

ricardas 20-04-2002. Я посоветовал бы подать 4V ( больше не надо только испортите ячейку ) на выводы Li - ion ячейки. Надо открыть корпус аккумулятора. 1 - 2 минуты и если на ячейке напряжение поднимется до 3,4 V ..... 3,8V схема управления должна начать срабатывать и от нормальной подачи питания.

Попытаюсь прокомментировать эти сообщения.

Как известно внутри Li-ion аккумулятор состоит из собственно элемента (ячейки) и схемы управления, которая обеспечивает защиту элемента от превышения и понижения напряжения при заряде и разряде выше и ниже допустимых значений соответственно, а также защиту по току. Запитывается схема управления непосредственно от самого элемента. Поскольку при глубоком разряде элемента - напряжения питания для работы схемы управления не хватает, то она перестает работать.

Исправить такую ситуацию можно аккуратным вскрытием корпуса умершего аккумулятора.

Убедитесь с помощью вольтметра, что напряжение непосредственно на элементе аккумулятора находится ниже 2...2.5 вольт. Если напряжение на элементе выше 2.5 вольт причина неисправности аккумулятора скорее всего в схеме управления и ее необходимо заменить на аналогичную от подобного аккумулятора.

Кратковременно подайте прямо (минуя схему управления) на элемент (ячейку) аккумулятора постоянное напряжение 4,0 с соблюдением полярности "+" на "+", "-" на "-". При этом ток источника напряжения необходимо ограничить на уровне (как описано выше) примерно 200 мА (можно и меньше). При работоспособном элементе напряжение на нем возрастет до нормального уровня (>3 вольт), обеспечивающего включение схемы управления.

Откуда взять постоянное напряжение? Для этой цели хорошо годятся различного рода лабораторные источники питания с регулируемым напряжением на выходе и наличием режима стабилизации по току. Также можно приспособить для этой цели самодельный или готовый стабилизатор напряжения, выходной ток которого можно ограничить через гасящее сопротивление (надо считать с применением закона Ома).

Li-ion аккумуляторы (элементы), вышедшие из строя, не могут быть восстановлены циклической тренировкой или какими-либо другими способами. Снижение емкости, повышение внутреннего сопротивления у них в процессе эксплуатации необратимо,

потому что металлы, применяемые в их элементах разработаны для работы только в течение определенного времени. Это сделано, в частности, по причинам экологической безопасности, т.к. некоторые компоненты, используемые для увеличения емкости Li-ion аккумуляторов, высоко токсичны. В процессе работы уровень токсичности уменьшается до разумно низкого уровня.

Результатами своих опытов можете поделиться в форуме.

## **Правильный уход и эксплуатация быстрозарядных никель металлгидридных аккумуляторов типоразмера Sub C (L 43 мм Æ23мм) для моделизма**

Источники:

инструкция в каталоге GM RACING 2003 года.

интервью с основателем фирмы ORION Филипом Нидхартом (Philippe Neidhart) в журнале RC CAR ACTION № 8 1999 год.

инструкции к аккумуляторам фирм KEIL, ORION, TRINITY.

Качество никель металлгидридных аккумуляторов (далее - Ni-MH аккумуляторов) постоянно возрастает. Низкое внутреннее сопротивление делает возможным увеличение тока разряда аккумуляторов. Длительный опыт эксплуатации Ni-Mh аккумуляторов нашими пилотами на различных соревнованиях, привёл нас к оптимизации опыта, накопленного в лабораторных исследованиях и на соревнованиях. На сегодняшний день, ведущими производителями интересующих нас аккумуляторов являются фирмы SANYO и GP. Типовая ёмкость лучших Ni-MH аккумуляторов продаваемых этими фирмами лежит в пределах 3300 mAh, это указано на этикетках, однако фирмы занимающиеся селекцией аккумуляторов, находят аккумуляторы, имеющие ёмкость до 3800 mAh !!! О том как они это делают, речь пойдёт ниже.

### **1. Хранение**

Хранить Ni-MH аккумуляторов допускается только полностью заряженными.

Никогда не храните Ваши Ni-MH аккумуляторы разряженными длительное время (5 дней и более). Такое длительное хранение в разряженном виде увеличивает внутреннее сопротивление и соответственно уменьшает ёмкость аккумуляторов.

### **2. Уравнительный разряд**

Аккумуляторы, и особенно новые Ni-MH аккумуляторы необходимо по возможности чаще подвергать \*уравнительному разряду\*. Уравнительный, или балансировочный разряд, даёт возможность уменьшить так называемый производственный разброс Ni-Mh аккумуляторов.

Производственный разброс Ni-MH аккумуляторов, означает изготовление одним производителем одних и тех же аккумуляторов, с небольшим (+/-2-5%) разбросом в электрических параметрах аккумуляторов (ёмкость, внутреннее сопротивление, напряжение разряда). Этот разброс является допустимым для производства, однако нежелателен и даже смертельно вреден для Ni-Mh аккумуляторов при длительной эксплуатации, так как при покупке \*россыпью\*, к примеру, блока из шести Ni-Mh аккумуляторов для автомобиля, мы покупаем не абсолютно одинаковые по ёмкости \*банки\*, а сталкиваемся с этим вот, технологическим разбросом, при котором Ni-Mh аккумуляторы ёмкостью 3000 mAh, по данным на этикетках, имеют на самом деле, реальную ёмкость от 3300, до 3000 mAh, в одном блоке. Это как повезёт! Обычно разброс составляет 100-150mAh. И вот при заряде такого блока большим током, (4-6 ампер, что является обычным и как рекомендуют производители аккумуляторов) с помощью автоматического зарядного устройства, \*банки\* с меньшей ёмкостью немного перезаряжаются, а те что имеют большую ёмкость - немного недозаряжаются.

При разряде, происходит обратный процесс - \*банки\* с меньшей ёмкостью немного переразряжаются, а те что имеют большую ёмкость - немного недоразряжаются.

От разряда к разряду эта разница становится всё заметнее, и обычно после 35-40 циклов заряд - разряд, происходит заметное уменьшение ёмкости и напряжения блока аккумуляторов, по причине перезаряда и переразряда самого \*малоёмкого\* аккумулятора в блоке.

Уравнительный разряд не исключает вышеописанный эффект, однако позволяет продлить срок нормальной эксплуатации аккумуляторов примерно до 50-70 циклов до начала проявления этого эффекта.

В чём суть уравнительного разряда: необходимо разрядить заряженные аккумуляторы, каждую \*банку\* отдельно, своим разрядным резистором номиналом от 2 до 5 Ом и мощностью 0,25-0,5 Вт., в течении 15-24 часов. Номинал всех используемых сопротивления всех резисторов должен быть одинаковым. Разряд происходит почти до нулевого напряжения на аккумуляторах, однако не стоит беспокоиться, поскольку этот режим вполне допустим для Ni-MH аккумуляторов, вопреки распространённому мнению.

Разряженные таким образом аккумуляторы имеют одинаковую остаточную ёмкость.

После такого разряда, который мы рекомендуем делать раз в 5-6 циклов, аккумуляторы необходимо вновь зарядить обычным для них эксплуатационным током, и хранить заряженными.

Если Вы не имеете возможности сделать уравнительный разряд, существует другой метод продления жизни Ваших источников тока.

Это так называемый уравнительный заряд.

Суть метода: разряженные обычными способами аккумуляторы, заряжают при помощи обычного \*ночного\* зарядного устройства или иным, без автоматической отсечки заряда. Током, равным 1/10 ёмкости аккумуляторов. Пример: при ёмкости аккумуляторов 3000mAh, ток заряда составляет 300 mA. Время заряда составляет 16-22 часа. При этом все \*банки\* блока набирают свою максимальную ёмкость и самое главное, что при таком небольшом токе заряда аккумуляторы не перезаряжаются, так как для них это приемлемый режим. Через 12-14 часов заряда, аккумуляторы немного нагреваются, однако это нормально. Заряженные таким образом аккумуляторы набирают максимальную существующую ёмкость. В таком состоянии их можно оставить на хранении.

Есть и третий путь - использование аккумуляторов отобранных (селектированных) фирмами.

В чём суть селекции? Фирма закупает у производителя большое количество аккумуляторов россыпью, после чего, каждый аккумулятор заряжается и разряжается в специальных многоканальных зарядных устройствах, подключённых к компьютеру для считывания электрических параметров заряда-разряда.

Компьютер фиксирует:

1. Ток заряда (обычно он равен 4-6 ампер).
2. Время заряда, ток разряда (обычно его величина 20 или 30 ампер).
3. Время разряда до напряжения 1, 0,9, 0,85 или 0,75 Вольт. Напряжение зависит от тока разряда используемого фирмой в процессе селекции и типа аккумулятора.
4. Высчитывается ёмкость аккумулятора при достижении соответствующих напряжений разряда.
5. Определяется среднее напряжение разряда. Швейцарская фирма ORION сообщает нам ещё и величину отданной энергии в Джоулях.

Полученные данные распечатываются на маленькие этикетки которые клеятся на свой аккумулятор. Компьютер отбирает аккумуляторы по их параметрам в блоки по заданному количеству \*банок\* в блоке. Основным критерий селекции - ёмкость и среднее напряжение разряда. Последние несколько лет, все уважающие себя фирмы применяют в дополнение к селекции, разработанный в 1995г. фирмой GM RACING, так называемый VIS процесс (Voltage Increasing System) - система повышения напряжения. В чём суть этого процесса? Новый аккумулятор зажимают между двумя мощными контактами и прошивают одним импульсным разрядом, имеющим напряжение 60-80 вольт и ток в



сотни ампер. После такого шокового электрического удара, немного уменьшается (на 3-5%) внутреннее сопротивление аккумулятора и соответственно на столько же возрастает напряжение разряда и ёмкость. После чего проходит обычная процедура селекции. На срок жизни аккумулятора этот процесс практически не влияет, однако этих трёх, пяти процентов бывает достаточно для получения преимущества в гонке.

К сожалению VIS обработка работает до 5 первых циклов, после чего сходит на нет, и её необходимо повторять. Для рядовых моделистов это как правил невозможно, однако для особо упорных, в продаже есть индивидуальные VIS устройства стоимостью \$ 350-400. Обычно фирмы разделяют отобранные в процессе селекции блоки аккумуляторов на три категории, отличающиеся по ёмкости и напряжению. Их обычные торговые названия: самая базовая - SPORT, RACING, CLUB, затем - TEAM, и лучшая - FACTORY TEAM, WORLD TEAM или CHAMPION. Названия придумывают фирмы. Нужно отдать должное фирмам \*селекционерам\*: к примеру для отбора одного блока из шести штук аккумуляторов самой простой селекции необходимо \*перелопатить\* около 1000 (!!!) аккумуляторов!

\*Банки\* не прошедшие отбор, собирают в блоки для неответственного применения (любители, начинающие, стартовое оборудование, тестовые и прикаточные блоки). Цена селектированных аккумуляторов может отличаться от \*россыпи\* в два, три раза, однако здесь есть за что платить больше. Обычно, хорошо отобранные аккумуляторы изнашиваются в блоке практически равномерно. Это однако не исключает необходимость уравнивающих разрядов, но делать это можно через 10-12 циклов. Ну и в завершении темы селекции хочется отметить, что для своих фирменных гонщиков, задача которых - победа на соревнованиях именно на данных аккумуляторах данной фирмы (реклама двигатель торговли), отбираются лучшие блоки из лучшей селекции, а там, поверьте, ещё есть разница в блоках. То же самое касается и электродвигателей и резины, но это уже другая тема.

### 3. Условия заряда

За один - два дня до соревнований, аккумуляторы необходимо по возможности разрядить током 5-10 ампер. В крайнем случае сделайте уравнильный разряд. В таком состоянии их можно брать с собой на соревнования. По возможности заряжайте ваш аккумулятор непосредственно перед использованием. Оптимальная температура аккумулятора перед использованием - 40°-50°C. Ni - Mh аккумуляторы имеют высокий саморазряд, и теряют 2 - 5% заряженной ёмкости за несколько часов хранения. Помните, что внутреннее сопротивление аккумуляторов растёт при их остывании. Использовать аккумуляторы желательно один раз в день, это идеальные условия их эксплуатации. Однако такую возможность имеют не многие, поэтому желательно использовать аккумуляторы хотя бы с 3х-4х часовым перерывом.

В любом случае Вы должны знать что первый за день цикл - самый лучший по отдаче и тока и величине напряжения. Как говорится - если Вас интересует результат.

Мы рекомендуем заряжать не селектированные (купленные \*россыпью\*) аккумуляторы током равным ёмкости. Пример: при ёмкости аккумулятора 3000mAh ток заряда 3 ампера. Селектированные аккумуляторы могут заряжаться током в 1,5 - 2 раза больше ёмкости аккумулятора, пример: при ёмкости аккумулятора 3000mAh ток заряда 4,5 - 6 ампер. Температура заряжаемых аккумуляторов никогда не должна превышать 60°, при температуре от 45° и выше резко сокращается срок жизни аккумулятора.

Никогда не начинайте процесс заряда если аккумулятор еще горячий или тёплый.

Не рекомендуем до заряжать перед гонкой недавно заряженный Ni-Mh аккумулятор. Для никель кадмиевых аккумуляторов это допустимо.

Очень важно, применять при заряде Ваших аккумуляторов большими токами, (3-6 Ампер) автоматические зарядные устройства, которые прекращают процесс заряда

аккумуляторов, используя так называемый дельта пик эффект (Delta Peak). В чём суть этого метода: Ni-Mh, и Ni-Cd аккумуляторы необходимо заряжать только стабильным током, одинаковым по своей величине, на протяжении всего заряда. При этом, по мере заряда, напряжение на аккумуляторах будет расти. Когда процесс заряда подходит к концу, химическая реакция восстановления, проходящая внутри аккумуляторов, будет проходить с постоянным увеличением выхода газов, образуемых в процессе хим. реакции заряда. Одновременно увеличивается и внутреннее сопротивление в аккумуляторах. А поскольку ток заряда неизменен, а сопротивление возрастает, то напряжение аккумулятора, следуя закону Ома, начинает уменьшаться. Вот этот самый момент уменьшения напряжения и называют дельта пик, и зарядные устройства отключают заряд, отследив своим пик детектором именно падение напряжения на аккумуляторах.

Эта величина очень незначительная - 8-12 милливольт для NI-Mh аккумулятора, и 15-25 милливольт для NI-Cd аккумулятора. Бывают случаи (особенно при заряде на дешевых зарядных устройствах), когда пик детектор срабатывает и прекращает заряд уже через 1-2 минуты после начала заряда. Это объясняется специфическим эффектом, возникающим при заряде большим током, полностью разряженных аккумуляторов. При этом, в начале заряда напряжение на аккумуляторах падает, а не растёт! Это происходит первые 1-4 минуты, и наблюдается у аккумуляторов применявшихся уже большое количество циклов. Вам нужно только пере стартовать Ваше зарядное устройство.

#### 4. Разряд

Силовые Ni - Mh аккумуляторы можно разряжать током от 6 до 13 раз большим, чем ёмкость аккумулятора. Пример: при ёмкости аккумулятора 3000mAh ток разряда может быть 18 - 40 ампер. Помните, чем большим током вы разряжаете аккумулятор, тем сильнее вы сокращаете срок его жизни. В любом случае, Вы должны знать, что первые незначительные признаки ухудшения разрядных характеристик аккумуляторов (уменьшение напряжения при разряде, \*вялый\* разгон модели), наступает уже к 20-му циклу заряд-разряд. Для тех режимов эксплуатации, которые необходимы в моделизме, это неизбежно. Однако эта информация касается скорее профессионалов, или тех, кто одержим идеей победы. Для остальных же, эти изменения будут незаметны, поверьте!

#### 5. Пайка

Силовые аккумуляторы можно безбоязненно паять. Мощность паяльника должна быть не менее 50 Ватт. Естественно не грейте на них паяльники, но медные перемычки можно смело паять.

К стати: при использовании на модели силовых проводов сечением 2,5-4 мм.кв., было бы неразумным применение в качестве перемычек полоски меди с большим сечением. Однако применяемые в моделизме перемычки производства ведущих фирм, имеют сечение 6-10 мм.кв. Видимо это делается для увеличения конструкционной прочности блока спаиваемых аккумуляторов. Для пайки применяйте паяльную кислоту, так как канифоль не даёт необходимого качества и скорости (лишнее время нагрева) пайки. Естественно после пайки кислотой, места пайки необходимо промыть каким ни будь растворителем, или хотя бы хорошенько протереть.