

# О необходимости правильного питания, или Батарейки и аккумуляторы

**Практически каждый из нас сталкивается в своей жизни с гальваническими элементами, но далеко не каждому эта встреча оставляет приятные воспоминания. Чаще всего у обычного человека возникают следующие проблемы: батарейки почему-то работают слишком короткое время, тогда как ожидалось, что они будут работать много дольше, они плохо «держат» напряжение, текут и портят аппаратуру. Виноватых обычно ищут где-то на стороне, редко допуская, что в случившемся есть доля собственной вины. Возможно, батарейка «сдохла» потому, что ваш выбор был неверен. Возможно, вы просто не вполне четко представляли себе ее особенности и не знали, чего от таких элементов требовать. Возможно, в подобных условиях эксплуатации данная батарейка и обязана вести себя именно так, как она себя повела.**

Леонид Вихарев

vleo@atel.ru

## Введение

Разные нагрузки требуют разных источников питания. Типичные примеры различных нагрузок для ХИТ (химических источников тока): фотоаппарат, часы и плеер. Современный автоматический фотоаппарат с автофокусировкой и со вспышкой требует большого, но кратковременного тока, а аудиоплеер наоборот предпочитает длительный ток разряда средней величины. Номинальная емкость и напряжение батарей для этих разных по типу потребления устройств могут быть одинаковыми, но из-за разного максимального разрядного тока для них должны применяться источники разных типов.

Электромеханические кварцевые или электронные часы могут в течение долгого времени потреблять от источника очень малый ток и работать годами. Оснащать их аккумулятором было бы неправильно, так как у него большой ток саморазряда и часы остановятся раньше чем через месяц, как бы мало они ни потребляли. Устанавливать дорогой щелочной элемент также не стоит — вполне подойдет и дешевый солевой.

Отсутствие знаний осложняет жизнь и приводит к неприятностям. Чтобы не совершать грубых ошибок в выборе источника питания и не попадать в нелепые ситуации, чтобы понимать, чего следует ожидать от работы ХИТ, необходимо познакомиться с их основными свойствами и различиями.

## Основные характеристики

Все поставляемые ХИТ можно подразделить на две большие группы по их способности к повторному использованию. Элементы, запасы энергии в которых могут быть восстановлены путем заряда после того, как будет исчерпан начальный ресурс, принято называть аккумуляторами. Другая

большая группа источников — одноразовые ХИТ, которые обычно в быту называют батарейками. Строго говоря, батареей следовало бы называть несколько соединенных особым образом гальванических элементов (такой прием часто применяется для повышения суммарного напряжения ХИТ или разрядного тока). В технике же принято называть «первичными» элементы, не подлежащие повторному использованию.

Первое, на что обычно обращает внимание покупатель — напряжение элемента. Следует различать рабочее напряжение элемента и напряжение на клеммах при отключенной нагрузке (его принято обозначать аббревиатурой НРЦ — напряжение разомкнутой цепи). На этикетке всегда указывается рабочее напряжение. Как правило, НРЦ выше или ниже рабочего, а разница иногда достигает нескольких десятых вольта. Выход батареи на рабочее напряжение при подключении нагрузки может быть протяженным во времени или быстрым, почти мгновенным. Особым образом ведут себя литиевые ХИТ после длительного хранения. Здесь порой наблюдается начальный провал напряжения, а затем постепенный выход параметра на нормальный уровень. Ряд напряжений, присущий ХИТ, таков: 1,2 В; 1,3 В; 1,5 В; 3 В; 3,6 В. Остальные значения (например, 4,5 В; 6 В; 9 В; 12 В) получают путем объединения элементов в батарею. Для специальных целей могут производиться батареи со специфическими значениями номинального напряжения.

Другой важной характеристикой ХИТ является электрическая емкость. Напомним, что под термином «номинальная электрическая емкость батареи», обычно измеряемой в ампер-часах, принято понимать количество энергии, которое способна выдавать батарея в виде электрического тока при 20 °С и заданном напряжении на клеммах. (То есть, если говорят, что батарея имеет емкость, например,

2 А·ч, то это означает, что она способна в течение 10 часов выдавать в нагрузку ток, равный 0,2 А ( $10 \times 0,2 = 2$ ). Или 200 часов по 10 мА. Или 1000 часов по 2 мА.) Диапазон емкостей довольно широк и простирается от нескольких десятков миллиампер-часов у ХИТ для бытового и промышленного применения и до нескольких десятков тысяч ампер-часов в батареях для военных и космических нужд. В данной статье речь пойдет лишь о наиболее распространенных и популярных типах элементов.

Кроме уже приведенных двух важнейших характеристик, ХИТ различаются также по величине максимально допустимого тока, который они способны отдавать в нагрузку. Поскольку нагрузка может иметь различную потребляемую мощность, необходимо внимательно отнестись к подбору батареи по данному параметру. Этот параметр важен, поскольку устройства, потребляющие при подключении большой ток, не должны оснащаться теми же элементами, что и устройства, предназначенные для эксплуатации в продолжительном слаботочном режиме. На этикетке батареи данный параметр, как правило, отсутствует. Вместо него на солевых (угольно-цинковых) батареях бывает написано что-нибудь вроде «Super Duty» (можно перевести как высокая мощность или супернагрузка) или «Super Heavy Duty» (сверхтяжелая, то есть очень большая нагрузка), но чаще всего встречаются элементы с надписью «General Purpose», что и естественно, поскольку надпись переводится как «общее применение» или «общее назначение». Элемент «Super Heavy Duty» мощнее остальных в своей группе, так как обладает максимальной емкостью и разрядным током. На щелочных батареях всегда пишут «Alkaline». О том, что следует из этого наименования, будет сказано дальше, а пока скажем только, что при одинаковом конструктивном исполнении и равных с солевым элементом габаритах, алкалайновый обладает много большей емкостью. Внутри данной группы также существует деление на подгруппы по емкости и токам нагрузки.

Кроме величины разрядного тока имеет значение температурный диапазон, при котором будет эксплуатироваться ХИТ. Как известно, с понижением температуры энергоотдача большинства химических источников падает, а с возрастанием температуры сокращается время жизни батарей и увеличивается вероятность их полного разрушения. Однако разработаны и производятся специальные типы источников с диапазоном, расширенным в ту или иную сторону, и при выборе батареи следует обратить на это внимание.

Самое большое разнообразие характерно для конструкций химических батарей и их габаритных размеров. Выпускаются как крошечные, таблеточного вида элементы, так и источники сравнительно больших габаритов. При этом возможны, например, исполнения с тонкими сварными клеммами, приспособленные под пайку на плате. Применяются также пружинные зажимы или элемент-

ты с гибкими проводниками, приваренными к полюсам ХИТ.

По внешнему виду источника невозможно сделать однозначно правильный вывод о его характеристиках, поэтому на него наносится кодовое обозначение, несущее информацию о наиболее важных характеристиках. В некоторых западных странах еще жива старая система обозначений, в основе которой лежит геометрический размер элемента. Самым крупным из наиболее распространенных типов цилиндрических батарей является элемент, маркированный литерой D, затем в порядке убывания C, А, АА, ААА, АААА. Кроме целых значений возможны также промежуточные (дробные) величины: 1/3 АА, 2/3 АА, 1/2 ААА и т. д. (Такая система маркировки габаритных размеров характерна для «пальчиковых» элементов традиционных технологий. Для современных литиевых батарей чаще встречается не литерная, а цифровая система кодировки. Например, в обозначении xR34615 записаны размеры: диаметр 34 мм, высота 61,5 мм, а код CR2032 означает, что батарейка имеет диаметр 20 мм и высоту 3,2 мм.) Таблица 1 содержит некоторые сведения по старой маркировке ХИТ.

Таблица 1. Маркировка размеров ХИТ

Тип элемента	Форма	Высота	Диаметр
АААА	Цилиндрическая	42,5 мм	8,3 мм
ААА	Цилиндрическая	44,5 мм	10,5 мм
АА	Цилиндрическая	50,5 мм	14,5 мм
С	Цилиндрическая	50,0 мм	26,2 мм
D	Цилиндрическая	61,5 мм	34,2 мм
J	Прямоугольная	48,5 мм	33,5×9,2 мм
N	Цилиндрическая	29,35 мм	11,95 мм
9B	Прямоугольная	48,5 мм	26,5×17,5 мм

Современный международный стандартизированный способ маркировки, применяемый при обозначении батарей, позволяет судить о них более квалифицированно и точно. В начале стоит символ, характеризующий состав элемента, за ним стоит символ, характеризующий геометрическую форму элемента, а далее — его размер. Буква R обозначает цилиндрическую форму элемента, а цифры, которые стоят в конце, означают порядковый номер в международной классификации батареек. Например, элемент 6F22 (у нас в стране он известен как батарейка «Крона») расшифровывается следующим образом: 6 — количество последовательно соединенных элементов напряжением по 1,5 В (в сумме дают 9 В), F (от Flat) — плоская батарея, 22 означает международный номер элементов, из которых собрана эта батарея. Сейчас эта система изменяется, и последние цифры, вероятно, будут содержать информацию о габаритных размерах батарейки.

**Батарейки** — бытовое название группы ХИТ, имеющих однократное применение и не подлежащих перезарядке, восстановлению заряда. В процессе разрядки, то есть извлечения электричества из элемента, анод, катод и электролит необратимо изменяются. Элементы не подлежат повторному использованию. Технологии производства батареек развиваются уже более сотни лет. За это время удалось найти оптимальные конструк-

тивные решения. По этой причине они являются сравнительно дешевыми источниками электрической энергии. Основными типами батарей являются солевые, щелочные, литиевые и воздушно-цинковые ХИТ (перечислены не все, а лишь те группы элементов, которые пользуются самым высоким спросом).

«Сухие», или солевые элементы — это группа ХИТ, в которых электролит находится не в свободном жидком виде, а распределяется в гелеобразном или пастообразном состоянии по объему сепаратора, отделяющего анод от катода. Относительная «сухость» электродов дала наименование этим источникам электричества. Сухие угольно-цинковые элементы (марганцево-цинковые) являются самыми распространенными элементами. Они применяются при малых токах или прерывистых режимах работы. Номинальное напряжение элемента составляет 1,5 В. Эффективность использования элемента повышается по мере уменьшения тока разряда и введения перерывов, так как они могут «восстанавливаться» во время перерыва в работе. В результате периодического «отдыха» срок службы элемента продлевается. Это явление обусловлено постепенным выравниванием, разрушением локальных неоднородностей, возникающих в электролите в процессе разряда. Важно помнить об этой особенности в процессе использования, например, аудиоплеера. Два поочередно сменяемых комплекта батареек могут работать в 2–3 раза дольше, чем работал бы каждый в отдельности в режиме «до полного износа». Конструктивно «сухие» батареи могут выполняться в цилиндрическом и прямоугольном виде, а также в форме плоского диска («таблетки»). Достоинством угольно-цинковых элементов является их относительно низкая стоимость, а к существенным недостаткам следует отнести значительное снижение напряжения при разряде, невысокую удельную мощность (5–10 Вт/кг) и малый срок хранения. Низкие температуры снижают эффективность использования гальванических элементов. Разогрев батареи может повысить ее эффективность, но может привести к быстрому высыханию электролита и, как следствие, к полному отказу. Таблица 2 содержит сведения о некоторых типах солевых батареек компании Energizer.

**Щелочные** батареи — химические источники, в которых в качестве электролита используются щелочи. Другое их название — алкалайновые батареи (от английского alkaline — щелочь). Это наиболее современный и перспективный тип батарей. Они отличаются существенно большей электрической емкостью, превышающей емкость солевых элементов в 3–5 раз (самые современные элементы, в составе электролита которых присутствуют соли титана, имеют еще большую емкость и низкое внутреннее сопротивление). Напряжение щелочных элементов всего лишь на 0,1 В меньше, чем у солевых угольно-цинковых и поэтому эти элементы взаимозаменяемы. Напряжение элементов со щелочным электролитом в процессе разряда понижается меньше, чем у солевых элементов, а срок их

Таблица 2. Угльно-цинковые батарейки Energizer

Наименование	Размер	Емкость, мА·час	Напряжение, В	Код по IEC	Вес, г	Диаметр, мм	Высота, мм	Длина, мм	Ширина, мм
Батарейки угльно-цинковые общего назначения									
1212	AAA	540	1,5	R03	9,7	10,5	44,5	N/A	N/A
1215	AA	1100	1,5	R6	15	14,5	50,5	N/A	N/A
1222	9V	400	9	6F22	37	N/A	48,5	26,5	17,5
Батарейки угльно-цинковые промышленного назначения									
206	Multi Cell	200	9	N/A	32	19,1	50,8	N/A	N/A
EV115	AA	1100	1,5	LR6	18,5	14,5	50,5	N/A	N/A
EV122	9V	330	9	6F22	37	N/A	48,5	26,4	17,5
EV135	C	3000	1,5	R14	48,7	26,2	50,5	N/A	N/A
EV150	D	5900	1,5	R20	100,3	34,2	61,5	N/A	N/A

Таблица 3. Щелочные батарейки Energizer серии Eveready

Наименование	Размер	Емкость, мА·час	Напряжение, В	Код по IEC	Вес, г	Диаметр, мм	Высота, мм	Длина, мм	Ширина, мм
A522	9V	565	9	6LR61	45,6	N/A	48,5	26,5	17,5
A91	AA	2707	1,5	LR6	23	14,5	50,5	N/A	N/A
A92	AAA	1190	1,5	LR03	11,5	10,5	44,5	N/A	N/A
A93	C	7935	1,5	LR14	66,2	26,2	50,0	N/A	N/A
A95	D	17100	1,5	LR20	141,9	34,2	61,5	N/A	N/A

хранения значительно больше. У лучших образцов он может достигать 5 лет, поскольку токи саморазряда у них очень малы. Данная группа ХИТ характеризуется повышенным нагрузочным током и может применяться для питания устройств со средним и высоким потреблением. Важное отличие этих элементов — герметичность исполнения, достигаемая благодаря отсутствию газовыделения при разряде. Это свойство позволяет использовать их без риска испортить аппаратуру вытекающим солевым раствором. В таблице 3 приведены характеристики батареек фирмы Energizer одной из самых распространенных серий Eveready.

Еще один перспективный тип батарей — *воздушно-цинковые* ХИТ. Они отличаются большой емкостью и экологической чистотой применяемых компонентов. Их электрическая емкость в несколько раз больше емкости щелочных источников. Номинальное напряжение на клеммах — 1,3 В, в батареях — 2,6 В и выше. Один из расходимых реагентов — атмосферный кислород, участвующий в реакции окисления цинка. Источники производятся либо в виде готовых к эксплуатации элементов, в которых перед началом работы следует лишь удалить со специального отверстия герметизирующую пленку, препятствующую проникновению кислорода внутрь батареи, либо в виде резервных элементов питания, которые активируются путем заливки внутрь небольшого количества воды. Первая разновидность давно завоевала прочные позиции как элемент питания слухового аппарата для слабослышащих, и достойной замены ей пока не видно. Последний тип часто применяется в качестве источника питания для аварийно-спасательных огней, а также в бакенах и т. п. устройствах. Хорошее применение этим источникам нашла корпорация Electric Fuel. Представьте себе ситуацию, когда вы отправляетесь в места, где у вас не будет возможности произвести подзарядку аккумулятора автономного прибора, например, спутникового мобильного телефона — в горы, в лес, в тундру. Здесь

пригодится воздушно-цинковая батарея большой емкости. Она легко сопрягается с аппаратом, так как специально изготовлена для этих целей. Ее емкости должно хватить на срок эксплуатации аппарата, вдвое превышающий период работы от аккумулятора, после чего ее можно выбросить и заменить новой.



Рис. 1. Воздушно-цинковая дисковая батарейка

В неактивированном виде данные элементы могут храниться в течение многих лет, но запущенные в эксплуатацию воздушно-цинковые источники теряют энергию даже при отсутствии нагрузки, поскольку химическая реакция между компонентами безостановочно продолжается, сокращая количество полезных веществ. Это свойство — основной недостаток воздушно-цинковых элементов.

*Литиевые* батареи — химические источники, в которых в качестве анода используется металлический литий — один из самых химически активных металлов. Литий — самый легкий из всех металлов, имеет самый большой электрохимический потенциал и обеспечивает самую большую плотность энергии. Активность лития очень осложняет технологические процессы изготовления и предъявляет жесточайшие требования к герметичности источника тока, что в конечном итоге сказывается на стоимости данных ХИТ.

Под названием «литиевые батареи» скрывается целая серия источников с различной химической начинкой:

- литий — тионилхлорид (Li/SOCl<sub>2</sub>);
- литий — диоксид серы (Li/SO<sub>2</sub>);
- литий — диоксид марганца (Li/MnO<sub>2</sub>).

Каждый из видов имеет свои особенности, но если говорить о качествах всей группы в целом, то данные элементы, обладая большой энергетической мощностью, в силу тех-

нологических особенностей предпочитают работу с нагрузками, потребляющими относительно небольшой (или средний) разрядный ток. Возможно, по этой причине, а также из-за стоимостных параметров, они не смогли вытеснить с рынка щелочные батареи. Наиболее изученный и технологически отработанный тип литиевых батарей — элементы на основе системы литий — диоксид марганца (Li/MnO<sub>2</sub>), поэтому они из всей группы самые доступные по цене. Батареи Li/SOCl<sub>2</sub> характеризуются самым высоким выходным напряжением (3,6 В), самым широким диапазоном температур (–55...+85 °С), очень малыми токами саморазряда (сроки хранения элементов — свыше 10 лет) и небольшим типовым током разряда. Батареи с таким типом электролита «не любят» высоких температур. Поскольку при значительных токах разряда на внутреннем сопротивлении батареи может выделяться тепло в пределах, превышающих допустимый уровень, то в конструкцию элемента вводят предохранитель-ограничитель тока (терморезистор), не допускающий токовых перегрузок. Однако существуют специальные серии таких элементов, способные выдавать повышенные токи разряда и нормально работать при высоких температурах. Достичь этого удалось благодаря специальной конструкции цилиндрического корпуса, препятствующей проникновению влажных паров снаружи, но не мешающей выходу газов.

Примерно такие же ограничения имеет следующая серия — батареи на основе Li/SO<sub>2</sub>, которые также критичны к высоким температурам и тоже не допускают сильного разряда, но имеют меньшее рабочее напряжение (3,0 В). Исторически это более ранний тип продукции. Они также выпускаются в герметичном исполнении.

Рисунок 2 показывает относительное положение некоторых типов батареек в многообразном мире ХИТ. Таблица 4 обобщает основные свойства первичных элементов.

В таблице 5 приведены характеристики литий-ионных батарей, изготавливаемых одним из крупнейших мировых производителей — французской компанией SAFT.

Осенью 2003 года на выставке в Санкт-Петербурге на одном из стендов можно было ознакомиться с образцами продукции китайской компании EEMB и получить их фир-



Рис. 2. Сравнительные характеристики ХИТ по удельной емкости



Таблица 4. Сравнительные характеристики первичных ХИТ

Свойства	Солевые (угольно-цинковые)	Щелочные (алкалайновые)	Воздушно-цинковые	Литиевые		
				Li/SOCl <sub>2</sub>	Li/SO <sub>2</sub>	Li/MnO <sub>2</sub>
Напряжение элемента, В	1,5...1,6	1,5	1,3	3,6	2,9	3
Энергоемкость, Вт/кг	5...10	60...90	250	650	230	270
Предпочтительный режим работы	1*	2* или 3*	1* или 2*	2* или 3*	1* или 2*	2*
Недостатки	Снижение напряжения по мере эксплуатации	—	Непроизводительный расход	Высокая стоимость, критичны к высоким температурам		
Температур. диапазон, °С	-20...+55	-30...+55	-15...+45	-10...+45 (за исключением некоторых типов)		
Срок хранения	< 3 лет	~ 5 лет	~2 года	около 10 лет		

Примечание:

1\* — Повторно-кратковременный или продолжительный, очень малого потребления;

2\* — Малого и среднего потребления, продолжительный;

3\* — Высокое потребление

Таблица 5. Цилиндрические литий-ионные батарейки (Li-SoCl<sub>2</sub>) фирмы SAFT (Франция)

Наименование	Размер	НРЦ, В	Номинал, напряжение, В	Номинальная емкость (ток утечки)	Максим. рекомендуемый длительный ток разряда, мА	Диапазон рабочих температур	Диаметр, мм	Высота, мм	Вес, г
LS 14250	1/2AA	3,67	3,6	1,0 А·ч (1,5 мА)	40	-60/+85 °С**	14,65	24,8	8,9
LST 14250	1/2AA	3,67	3,6	1,0 А·ч (1,5 мА)	40	-60/+85 °С**	14,55	25,1	9,4
LS 14250C	1/2AA	3,67	3,6	1,2 А·ч (1,5 мА)	15	-60/+55 °С**	14,65	24,8	8,9
LS 14500	AA	3,67	3,6	2,25 А·ч (2 мА)	100	-60/+85 °С**	14,65	50,3	16,2
LST 14500	AA	3,67	3,6	2,25 А·ч (2 мА)	100	-60/+85 °С**	14,55	49,8	17,4
LS 14500C	AA	3,67	3,6	2,7 А·ч (2 мА)	25	-60/+85 °С**	14,65	50,3	16,2
LSX 14500	AA	3,67	3,6	2,0 А·ч (2 мА)	200	-60/+85 °С**	14,65	50,3	17,5
LST 17330	2/3A	3,67	3,6	2,0 А·ч (3 мА)	25	-60/+85 °С**	16,5	33,4	14,4
LS 17500	A	3,67	3,6	3,4 А·ч (4 мА)	130	-60/+85 °С**	17,0	50,9	21,9
LS 26500	C	3,67	3,6	7,7 А·ч (4 мА)	150	-60/+85 °С**	26,0	49,1 до 50,4 ***	48
LS 33600	D	3,67	3,6	17,0 А·ч (5 мА)	250	-60/+85 °С**	33,4	60,2 до 61,6 ***	90
LS 33600C	D	3,67	3,6	18,5 А·ч (1 мА)	80	-60/+55 °С**	33,4	60,2 до 61,6 ***	90

Таблица 6. Литий-тионилхлоридные батарейки фирмы EEMB

Наименование	Номинал, напряжение, В	Номинальная емкость, мА·ч	Рекомендуемый ток разряда, мА	Маким. ток разряда		Диаметр и высота, мм
				длительный	импульсный	
ER11120	3,6	140	0,2	2	5	11,5×12,0
ER11160	3,6	140	0,2	2	5	11,5×16,0
ER13150	3,6	400	0,5	2	4	13,0×17,0
ER13170	3,6	500	0,5	5	10	13,0×17,0
ER13410	3,6	1300	1	50	100	13,0×41,0
ER10450	3,6	700	1,2	10	20	10,0×45,0
ER14200	3,6	600	2,4	10	15	14,5×20,0
ER14250	3,6	1100	0,5	50	100	14,5×25,0
ER14335	3,6	1450	1,3	50	100	14,5×33,5
ER14505	3,6	2400	1	100	200	14,5×50,5
ER17335	3,6	1650	1,3	50	100	17,0×33,5
ER18505	3,6	3200	1	100	200	18,5×50,5
ER20250	3,6	1300	2,4	50	100	20,0×25,0
ER20505	3,6	3800	1	100	200	20,0×50,5
ER20650	3,6	4500	3	100	250	20,0×65,0
ER26500	3,6	7500	1	230	400	26,0×50,5
ER26720	3,6	9000	3	230	400	26,2×72,0
ER34615	3,6	16500	2	230	500	34,0×61,5

менный каталог. В таблице 6 приведены данные, взятые из этого каталога. Они относятся к энергоемким батарейкам, аналогичным французским (Li-SoCl<sub>2</sub>). Как видно по приводимым параметрам, производители из Юго-Восточной Азии лишь немного уступают в качестве продукции своим именитым европейским конкурентам.

**Аккумуляторы** или «вторичные» элементы — это ХИТ, которые могут использоваться неоднократно, то есть могут быть разряжены, а затем вновь заряжены для повторного использования. Нужно сказать, что некото-

рые типы щелочных батареек также могут перезаряжаться, но, несмотря на это свойство, к категории аккумуляторов их не относят. (В радиолюбительской литературе можно найти схемы зарядных устройств и рекомендации по выбору режима заряда. Однако поскольку восстановление заряда у первичных элементов — действие, не предусмотренное технологией, не гарантирующее полного возврата к первоначальным параметрам, то обсуждаться здесь оно не будет, но упомянуть о такой возможности все же следовало.) Принято считать, что настоящими вторичными

ХИТ являются только те, которые способны выдерживать не менее 300 циклов заряда-разряда. Сегодня практически на все типы аккумуляторов гарантируется не менее 500 циклов (перезаряжаемые же батарейки выдерживают в лучшем случае 30 циклов).

**Общие характеристики.** Так же, как и батарейки, аккумуляторы различаются по величине электрической емкости, которая, в общем случае, немного меньше емкости первичных элементов. У вторичных источников ток саморазряда имеет заметно большую величину, чем у батареек. По этой причине аккумулятор теряет свою полезную энергию быстрее даже при отключенной нагрузке. Так, например, для исправных Ni-Cd аккумуляторов считается допустимым саморазряд в 10% в течение первых 24 часов после окончания заряда, для Ni-MH — немного больше, а для Li-ion суточный разряд пренебрежимо мал и оценивается только за месяц (около 12%). Другая важная характеристика — срок службы (срок эксплуатации) аккумулятора. Его принято оценивать по тому количеству циклов заряда-разряда, которое он выдерживает в процессе эксплуатации без значительного ухудшения своих основных параметров. Срок службы зависит от многих факторов: методов заряда, глубины разряда, процедуры обслуживания или его отсутствия, температуры и химической природы аккумулятора. Кроме того, он определяется временем, прошедшим со дня изготовления, что особенно важно для Li-ion аккумуляторов. Аккумулятор, как правило, считается вышедшим из строя после уменьшения его емкости до 60–80% от номинального значения. Еще одна уже знакомая характеристика — рабочий температурный диапазон. У аккумуляторов он, как правило, уже, чем у первичных элементов. Следующая особая черта — режим заряда ХИТ и допустимость перезарядки (избыточного заряда). Некоторые типы аккумуляторов не допускают проведения заряда ускоренным методом (путем подачи большого зарядного тока), другие — допускают, позволяя, таким образом, сократить время пребывания в состоянии «временной нетрудоспособности». В последнем варианте в предельном случае ток заряда может равняться полной токовой емкости батареи. Например, аккумуляторная батарея емкостью 650 мА·ч может быть заряжена током в 650 мА всего за 1 час (стандартный ток заряда никелевых ХИТ равен 10% емкости батареи, и процесс заряда длится чуть больше 10 часов). Режим ускоренного заряда требует внимательного контроля состояния ХИТ, так как может произойти необратимое нарушение баланса реагентов и целостности конструкции, вызванное высокими внутренними температурами и избыточным зарядом.

Наиболее популярными аккумуляторами, применяемыми для питания электронных приборов, являются ХИТ следующих типов: никель-кадмиевые (Ni-Cd), никель-металлгидридные (Ni-MH) и литий-ионные.

**Никель-кадмиевые (Ni-Cd)** аккумуляторы имеют напряжение питания 1,2 В и способны выдерживать свыше 1000 циклов заряда-раз-

Таблица 7. Сравнительные характеристики аккумуляторов

Характеристика	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Li-ion polymer
Энергетическая плотность (Вт·ч/кг)	45–80	60–120	110–160	100–130
Внутреннее сопротивление (включая внутренние схемы), мОм	100–200 при 6 В	200–300 при 6 В	150–250 при 7,2 В	200–300 при 7,2 В
Число циклов заряда/разряда (при снижении до 80% от начальной емкости)	1500	300–500	500–1000	300–500
Время быстрого заряда	1 час типовое	2–4 часа	2–4 часа	2–4 часа
Устойчивость к перезаряду	средняя	низкая	очень низкая	низкая
Саморазряд/месяц (при комнатной температуре)	~20%	~30%	>10%	>10%
Напряжение элемента (номинальное)	1,25 В	1,25 В	3,6 В	3,6 В
Ток нагрузки				
– пиковый	20С	5С	>2С	~2С
– оптимальный	1С	0,5С и ниже	1С и ниже	1С и ниже
Температура при эксплуатации (разряд)	-25...60 °С	-10...40 °С	-10...50 °С	0...60 °С
Требования к дополнительному обслуживанию	Через 30–60 дней полный разряд	Через 60–90 дней полный разряд	Не требуется	Не требуется
Недостатки	Эффект памяти, высокий саморазряд	Не любит низких температур, высокий саморазряд	Старение. Боится полного разряда и перезаряда	Небольшой максим. ток разряда

Примечание: С — номинальная емкость в ампер-часах

ряда. ХИТ данной группы допускают эксплуатацию в режиме разряда большими токами. Их стоимость значительно ниже, чем у литиевых ХИТ. Благодаря этим качествам аккумуляторы получили самое широкое распространение. Однако, наряду с положительными свойствами, данные элементы имеют серьезный недостаток. До недавнего времени у Ni-Cd аккумуляторов наблюдался неприятный эффект, получивший название «эффект памяти». Объясняется он следующим образом: в процессе циклической эксплуатации источника меняется структура поверхности электродов, а в сепараторе аккумулятора образуются химические соединения, мешающие его дальнейшей разрядке малыми токами. Источник как бы запоминает свое состояние неполного разряда. В результате на разрядной кривой постепенно формируется новая линия, потенциал которой на 0,2 В выше первоначальной (то есть напряжение на клеммах снижается по абсолютной величине). Реальная емкость аккумулятора заметно уменьшается. Аккумулятор очень быстро заряжается, но быстро же и разряжается, имея притом пониженное напряжение на выходе. Кроме того, возможно небольшое увеличение внутреннего сопротивления.

Современные никель-кадмиевые аккумуляторы, производимые наиболее известными фирмами, не имеют эффекта памяти. Но кем бы ни был произведен элемент, с эффектом памяти, если он все-таки проявился, можно бороться. Восстановить напряжение и емкость можно путем проведения нескольких полных циклов заряда-разряда. Конечно, лучше нового ваш аккумулятор уже не станет, часть емкости все-таки пропадет безвозвратно, но работать с ним можно будет еще долго. Несколько слов о периодичности данного процесса: рекомендуется выполнять эту процедуру примерно один раз в месяц. Если делать это чаще, то полезный эффект увеличивается незначительно, а износ аккумулятора возрастает.

Отрицательным свойством никель-кадмиевых аккумуляторов является их высокая экологическая опасность, так как они содержат кадмий, соли которого очень ядовиты. Отработавшие свой срок Ni-Cd аккумуляторы нельзя просто выбросить. Следует утилизировать их в специальных местах (найти которые у нас в стране довольно трудно).

Применяются никель-кадмиевые источники в различных устройствах со средним и высоким потреблением тока, таких, как пейджеры и сотовые телефоны, переносные компьютеры, видеокамеры, фотоаппаратура и аварийные источники для энергоемких приборов.

Близкие по свойствам *никель-металлгидридные (Ni-MH)* аккумуляторы имеют тот же уровень выходного напряжения (1,2 В), хорошие емкостные характеристики, высокую надежность и разнообразие конструктивных исполнений. Отсутствие ядовитого кадмия — важное качество ХИТ данного вида. Они отличаются менее широким диапазоном рабочих температур (-10...+40 °С), а также существенно большей емкостью, но имеют при этом меньшие максимально допустимые токи разряда и меньшее число циклов заряда-разряда (но все-таки не менее 500). Недопустимость высоких температур налагает ограничения на максимальные разрядные токи и требует усложнения конструкции аккумулятора. Внутри многих из них устанавливаются термисторы или тепловые реле, препятствующие быстрому разряду источника. В то время как температура -20 °С является пределом, при котором Ni-MH и Li-ion аккумуляторы прекращают функционировать, Ni-Cd могут продолжать работать при ее снижении до -40 °С.

По общему мнению, *литий-ионные* аккумуляторы — самые перспективные. Они имеют большую по сравнению с другими аккумуляторами емкость, около 500 циклов перезарядки, экологически безопасны и не обладают эффектом памяти. Самым большим преимуществом ХИТ этого типа является ре-

кордная удельная емкость — количество запасенной энергии, соотнесенное к единице веса или объема. Li-ion аккумуляторы лучше всего функционируют при комнатной температуре. Работа при повышенной температуре сокращает срок их службы, поскольку она способствует ускоренному старению, сопровождаемому увеличением внутреннего сопротивления. Из недостатков можно отметить следующие: Li-ion аккумулятор «не любит» глубокого разряда. (помните об этом, когда ваш телефон отключается при разряде аккумулятора!). Он очень требователен к температурному диапазону, боится перезаряда, взрывоопасен при нарушении герметичности, понемногу теряет емкость («старится» даже при отключенной нагрузке) и имеет самую высокую стоимость.

Очевидно, что до идеального источника ему далеко, но все недостатки компенсируются высокой удельной энергоемкостью. Все-таки, среди малогабаритных ХИТ, литий-ионным аккумуляторам сегодня нет равных. А к отрицательным качествам можно как-то приспособиться, можно с ними бороться. Так, например, зарядные устройства аккумуляторов в мобильных телефонах обладают достаточным интеллектом, чтобы не допустить перезаряда, контролируя сразу несколько параметров: ток, напряжение, температуру и время заряда.

Основное отличие литий-полимерных (Li-pol, или Li-polymer) аккумуляторов от литий-ионных (Li-ion) заложено в самом названии и заключается в типе используемого электролита. Сухой твердый полимерный электролит похож на пластиковую пленку и не проводит электрический ток, но допускает обмен ионами. Полимерный электролит фактически заменяет традиционный пористый сепаратор, пропитанный электролитом. Такая конструкция упрощает процесс изготовления, более безопасна и позволяет производить тонкие аккумуляторы произвольной формы. Но пока, к сожалению, сухие Li-polymer аккумуляторы обладают недостаточной электропроводностью при комнатной температуре. Внутреннее сопротивление их слишком высоко и не может обеспечить величину тока, требуемую для современных портативных устройств.

В таблице 7 приведены сравнительные характеристики разных типов аккумуляторов.

Для разных типов аккумуляторов характерны свои особые режимы заряда. Для ХИТ Li-ion они не такие, как для никелевых источников. Кроме того, внутри каждой группы также возможны различные режимы. Например, для Ni-Cd или Ni-MH аккумуляторов известны 4 основных способа заряда:

- стандартный заряд — заряд постоянным током, равным 1/10 от величины номинальной емкости аккумулятора, в течение примерно 15 часов. Этот метод иногда называют тонкоструйным из-за малой величины зарядного тока.
- быстрый заряд — заряд постоянным током, равным 1/3 от величины номинальной емкости аккумулятора в течение примерно 5 часов.

- ускоренный, или «дельта V», заряд — заряд с начальным током заряда, равным величине номинальной емкости аккумулятора. Время заряда равно примерно 1 часу. При этом постоянно измеряется напряжение на аккумуляторе и по характеру его изменения принимается решение о моменте окончания заряда.
- реверсивный заряд — импульсный метод заряда, при котором короткие импульсы разряда распределяются между длинными зарядными импульсами.

Стандартный способ — самый щадящий, но и самый медленный. Наиболее опасен для никелевых ХИТ метод быстрого заряда, но он позволяет восстановить работоспособность источника в кратчайшие сроки. Ускоренный метод с постоянным контролем напряжения наиболее точен и удобен, но одновременно и наиболее сложен. Для его реализации требуются зарядные устройства, способные отслеживать минимум два параметра — время и напряжение (в идеале следовало бы контролировать еще и температуру, не допуская ее повышения и своевременно уменьшая зарядный ток). Если в процессе заряда аккумулятора контролировать напряжение, то можно обнаружить, что, начиная

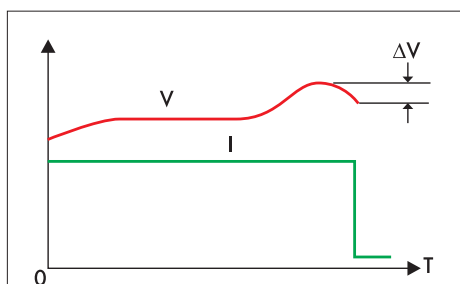


Рис. 3. Изменение тока и напряжения в процессе заряда Ni-Cd аккумуляторов

с некоторого момента времени, оно начинает снижаться. Величина изменения очень мала — порядка 10 мВ для Ni-Cd и около 2 мВ для Ni-MH. Это как раз тот самый момент, когда подачу тока следует прекратить. Графическое представление процесса заряда имеет вид, показанный на рис. 3.

Контроль уровня напряжения и управление током заряда — удел специальных устройств. Для автоматизации управления процессом производятся микросхемы контроллеров заряда. Так, компания MAXIM поставляет около 20 типов контроллеров заряда разного уровня сложности. В их числе чипы MAX712 и MAX713, контролирующие время, температуру, напряжение и изменение напряжения на элементе, автоматически переключающие ток на минимальный подпитывающий уровень, компенсирующий саморазряд аккумулятора. Не остались безучастными к потребностям рынка и такие гиганты, как Analog Device, (5 микроконтроллеров серии ADP38xx и др. серии) и Texas Instrument (около полусотни контроллеров серий BQ20xx, BQ24xx, BQ29xx и др.).

У литиевых аккумуляторов другие режимы заряда. Зарядное устройство для Li-ion аккумуляторов имеет повышенное напряжение,

более жесткие ограничения на отклонения этого напряжения и у них не применяется тонкоструйный заряд потому, что этот метод может вызвать металлизацию лития, что приводит к нестабильности элемента. Вместо этого для компенсации маленького саморазряда аккумулятора может применяться кратковременный заряд. Основные параметры: напряжение заряда равно 4,1–4,2 В (выбор зависит от типа электродов аккумулятора); ток — 0,3С; время заряда — около 3–4 часов).

Как правило, Li-ion аккумуляторы включают в свою конструкцию устройства защиты. Иногда это плавкий предохранитель, но чаще — термистор или многоразовый ограничитель тока типа Polyswitch, которые срабатывают, если напряжение заряда достигает 4,30 В или температура элемента достигает 100 °С.

Несколько слов о том, куда движется прогресс в данной области.

Большинство современных химических источников тока в той или иной мере опасны для человека. Некоторые содержат в себе ядовитые компоненты, другие при неправильной эксплуатации угрожают небольшим взрывом с разбрызгиванием кипящей щелочи. В любом случае, все они изготовлены с применением дефицитных и потому дорогих химических веществ. Это неприятно и хлопотно. Поэтому конструкторская мысль упорно ищет пути получения электрической энергии от источников, свободных от перечисленных проблем. И кое-какие успехи здесь намечаются.

Ученым из американского университета штата Огайо удалось разработать источники энергии, работающие на веществах, которые на нашей планете присутствуют в изобилии и могут быть использованы совершенно бесплатно. Речь идет о топливных элементах, извлекающих энергию из реакции окисления водорода. Главный элемент новой батареи — миниатюрный конвертер, который преобразует топливо и воду в газовую смесь, насыщенную водородом. Этот газ поступает в топливные ячейки, где вступает в реакцию с атмосферным кислородом, в результате чего образуются электричество и вода. Все это упаковано в миниатюрный контейнер размером с монетку. Экологически чисто, безопасно и удобно.

Есть и другой путь — использование биоферментов для генерации тока. В таких топ-

ливных элементах используется не вода, а другой популярный источник энергии — спирт. Принцип тот же — разложение спирта на водород и воду и затем окисление водорода с образованием воды и генерацией электрического тока. С одной стороны — перспективный способ — дешевого спирта можно производить сколько угодно, так как технологии его получения давно известны и хорошо отработаны. Успехи уже есть, но... Похоже, что не за горами то время, когда без стакана спиртного ваш прибор работать откажется. Если вы ему нальете проклятого зелья, то он как-нибудь поработает, а если нет — извините! (Такое бывало раньше только у людей!) К сожалению, такой постоянно «нетрезвый образ жизни» плохо отражается на продолжительности жизни энзимов. Батарейки служат короткое время. Но надежда есть! Без энергии человечество не останется.

## Литература

1. В. Васильев. Аккумуляторы: Академия для инженеров. <http://www.ixbt.com/mobile.shtml#accum>.
2. <http://www.batteryteam.ru/catalog/battery/index.html>
3. В. Кийякин. Главное — правильно питаться. Сайт журнала «Потребитель». <http://www.potrebitel.ru/04/01/batarey.htm>.
4. А. А. Таганова, Ю. И. Бубнов. Герметичные химические источники тока. Щелочные аккумуляторы. Литиевые источники тока. Справочник. СПб: Химиздат. 2000.
5. Методы заряда Ni-Cd и Ni-MH аккумуляторов. <http://www.newlist.ru/battery/>.
6. Заряд литий-ионных (Li-ion) аккумуляторов. <http://www.newlist.ru/battery/>.
7. В. Васильев. Литий-ионные и литий-полимерные аккумуляторы. <http://www.ixbt.com/mobile.shtml>.
8. Б. Ефремов. Что нужно знать пользователю химических источников тока (марганцево-цинковых гальванических элементов) // Электронные компоненты. 2001. № 1.
9. С. Орлов. Элементы питания — ХИТы // Электронные компоненты. 2000. № 4.
10. Лаврус В.С. Батарейки и аккумуляторы. Киев: «НиТ». 1995.
11. Ю. Дзюбан. Водка для компьютера. <http://vodka.org.ua/articles/other/247.htm>.