Small Batteries
Volume 2 Primary Cells
T. R. Crompton

The Macmillan Press Ltd
London, Basingstoke
1982

Т. КРОМПТОН

ПЕРВИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Перевод с внглийского

под редакцией канд. хим. наук
Ю. А. Мазитова

Москва «Мир» 1986

5

ББК 31.251
К83
УДК 621.355

W125 — 18

Перевод книги выполнен Л. З. Понизовским, канд. хим. наук Н. Р. Серебряной, С. Г. Кривченковым, канд. мед. наук А. Г. Колесником, Т. М. Мнацаканян, канд. хим. наук Ю. А. Мазитовым

Кромптон Т.

К8 Первичные источники тока: Пер. с англ. — М.: Мир, 1986. — 328 с., ил.

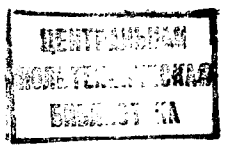
В книге английского ученого рассматриваются электрохимические системы, электродные процессы, конструкции и узлы первичных гальванических элементов и батарей. Анализируются преимущества и недостатки элементов разных систем, приводятся электрические характеристики и сведения по технологии источников тока, выпускаемых за рубежом. Описываются активируемые элементы разных систем и способы приведения их в действие.

Для специалистов, занимающихся разработкой и использованием батарей.

К $\frac{2302010000-173}{041(01)-86}$ 155—86, ч. 1 ББК 31.251

Редакция литературы по новой технике

86-16643



© T. R. Crompton 1982

This book was originally published in the English language by MACMILLAN PUBLISHERS LTD of LONDON

© перевод на русский язык, «Мир», 1986.

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Потребность в автономных источниках энергии интенсивно возрастает. Чтобы получить необходимые тактико-технические характеристики различных автономных устройств, необходимо производить большое количество вариантов источников тока каждой из обеспеченных в сырьевом и технологическом отношении электрохимических систем. Ведется широкая разработка новых источников энергии, позволяющих повысить наиболее важные для пользователя эксплуатационные характеристики, иногда даже при ухудшении других параметров. Наряду с этим происходит дальнейшее совершенствование конструкции и технологии производства традиционных источников тока. В последнее время расширяется использование новых перспективных электрохимических систем. Химические источники тока на основе этих систем улучшаются в конструктивном и технологическом отношении. Анализ их параметров позволяет получить представление как об объектах применения, так и о тактико-технических характеристиках этих объектов. Известно, что научно-техническая информация о достижениях в области создания источников тока быстро устаревает. Монографии, в которых были бы обобщены вопросы выбора, применения и обслуживания современных малогабаритных первичных источников тока, в нашей литературе отсутствуют. Поэтому актуальность перевода книги Т. Кромптона [1]) очевидна. В ней на основе системного подхода рассмотрен круг вопросов, которые приходится решать конструкторам и потребителям автономной аппаратуры при выборе и эксплуатации химических источников тока.

В книге дается краткий анализ динамики развития и современного состояния основных эксплуатационных показателей первичных источников тока. До 1970 г. в производстве первичных химических источников тока преобладали системы, базирующиеся на использовании цинковых анодов. Развитие источников тока на основе этих систем шло по пути как дальнейшего совершенствования элементов Лекланше, так и технологической разработки и использования новых пар, таких, как цинк — окись ртути, щелочь — двуокись марганца, цинк — окислы серебра. Таблицы и диаграммы, приведенные автором, иллюстрируют последовательное улучшение эксплуатационных параметров. Дается сравнительный анализ источников тока на основе различных электрохимических систем и их наиболее характерных применений. В 80-е годы был достигнут значительный прогресс

[1]) См. также Т. Кромптон. Вторичные источники тока: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985.

в повышении удельной энергии первичных источников тока при одновременном улучшении их работоспособности при низких температурах и сохраняемости. Происшедший прогресс связан с развитием систем на основе литиевых анодов, а также специальных пар, в которых в качестве анодных материалов использовались кадмий, магний и индий — висмут.

Достоинства ряда разделов книги трудно переоценить. Большую ценность для советского читателя представляет сравнительное описание источников тока, различающихся величиной уменьшения рабочего напряжения к концу разряда — важного критерия возможности применения того или иного источника в конкретной задаче. Автор изложил подход к выбору оптимального источника питания, исходя из стоимости часа работы источника тока определенных типа и системы в заданном режиме разряда. Так, при одних режимах разряда использование ртутно-цинковых источников тока обходится в 2,6 раза дешевле, чем щелочных марганцево-цинковых и эквивалентно по стоимости применению солевых марганцево-цинковых источников. При других режимах использование тех же ртутно-цинковых источников обходится в 3,5 раза дороже щелочных и в 10 раз дороже солевых марганцево-цинковых источников гока. Автор показывает, что в ряде случаев, когда по условиям конкретного применения источников тока большое уменьшение напряжения батареи оказывается недопустимым, целесообразно расширить рамки оптимизации. Этого можно достичь путем включения в источник питания стабилизирующих устройств и увеличения количества элементов в составе батареи. В этом случае можно повысить степень использования активных материалов источника тока и применить более дешевые источники со значительным уменьшением рабочего напряжения.

Аналогичный подход можно рекомендовать разработчикам отечественной радиоэлектронной аппаратуры для повышения степени использования активных материалов источников, разряжаемых током, превышающим номинальный, когда разрядная емкость источников значительно снижена.

Перевод книги выполнен Л. З. Понизовским (текстовой материал гл. 1—12), канд. хим наук Н. Р. Серебряной (таблицы к гл. 1, 2), С. Г. Кривченковым (таблицы к гл. 3, 5—8), канд. мед. наук А. Г. Колесником (таблицы к гл. 4), Т. М. Мнацаканян (таблицы к гл. 9, 10), канд. хим. наук Ю. А. Мазитовым (словарь и указатель терминов).

Чл.-корр. АН СССР Н. С. Лидоренко

ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемой книге всесторонне освещены малогабаритные первичные источники тока — гальванические элементы.

Читатель обратит внимание на то, что автору пришлось в некоторой мере произвольно провести границу, разделяющую источники тока на мало- и крупногабаритные. В данной книге будут описаны главным образом батареи, емкость которых лежит в интервале от долей ампер-часа до ~30 А·ч. Граница, принятая автором, оказалась достаточно удобной, чтобы отделить типы батарей, рассматриваемые в книге, от более крупногабаритных источников тока (емкостью порядка 100 А·ч), используемых, например, в транспортных средствах, и от больших стационарных батарей емкостью до 1200 А·ч.

В книге описаны и батареи, емкость которых превышает 30 А·ч, но только в том случае, если номенклатура изготавливаемых фирмой батарей этого типа перекрывает более широкий диапазон емкостей.

За последние двадцать лет произошло существенное улучшение эксплуатационных характеристик традиционных типов малогабаритных источников тока, а также появились многие новые типы батарей, каждый из которых имеет свои определенные преимущества и во многих случаях предназначен для того, чтобы удовлетворить требования, связанные с применением в конкретном устройстве. В то же время появились и другие объекты применения таких батарей — от переносных устройств с батарейным питанием до космических аппаратов.

При выборе подходящего источника питания конструктору, разрабатывающему такие устройства, приходится принимать во внимание многие противоречивые требования, и его окончательный выбор, как правило, является результатом компромисса между этими требованиями. Предлагаемая книга поможет конструктору не только сориентироваться в многообразии типов выпускаемых в настоящее время источников тока и зарядных устройств к ним, но и выбрать наиболее подходящий для проектируемого устройства источник питания с учетом наилучшего компромисса между требованиями к характеристикам проектируемого изделия и экономическим показателем. Если бы потребовалось сформулировать единое «золотое правило» проектирования, то оно состояло бы в том, что с самого начала разработки проекта конструктор должен обратить самое серьезное внимание на выбор источника энергии. Эту мысль можно выразить и следующим образом: проектируйте устройство, исходя из источника, а не наоборот.

Автор надеется, что настоящая книга заинтересует также изготовителей источников питания, поскольку даст возможность выпускать батареи,

которые удовлетворяют требованиям фирм-изготовителей тех устройств, в которых эти батареи используются. Книга может представить интерес и для инженеров, работающих в области электроники и электротехники, и, разумеется, для всех, кто использует источники тока, а также для студентов, изучающих эту область техники.

Автор выражает свою признательность многочисленным фирмам-изготовителям источников питания, предоставившим материалы, касающиеся выпускаемой ими продукции, и тем самым оказавшим существенную помощь, без которой появление данного труда не было бы возможным.

Автор благодарен также своей жене Элизабет за помощь и всемерную поддержку, а также работникам издательства за их постоянное содействие в работе над книгой.

Т. Р. Кромптон

1

ВВЕДЕНИЕ

До 70-х годов первичные источники тока были основаны главным образом на системах с цинковым анодом. Характеристики этих источников тока постоянно улучшались как вследствие усовершенствования исходной системы уголь — цинк (элемента Лекланше), так и в результате использования новых пар, например цинк — окись ртути, щелочь — двуокись марганца, цинк — окись серебра. В табл. 1.1 и на рис. 1.1 показано, как упомянутые усовершенствования сказались на одной из характеристик источника — удельной энергии. К настоящему времени удалось еще более повысить удельную энергию, а также улучшить такие эксплуатационные характеристики, как работоспособность при низких температурах и сохраняемость. Это было достигнуто благодаря разработке систем с литиевым анодом и созданию специальных пар, в которых в качестве анода использованы кадмий, магний и сплав индий-висмут.

Как следует из табл. 1.1 (см. также рис. 1.1), угольно-цинковые и щелочные двуокисномарганцевые гальванические элементы обладают объемной удельной энергией, лежащей в пределах 120—152 и 122—268 Вт·ч/дм^3 соответственно. В дальнейшем были разработаны новые типы батарей, например ртутно-цинковые и серебряно-цинковые, которые, согласно технической документации, имеют объемную удельную энергию в пределах 300—500 и 400—500 Вт·ч/дм^3 соответственно. Сравнительно недавно созданы источники тока на основе лития с органическим электролитом, объемная удельная энергия которых составляет 400—1000 Вт·ч/дм^3.

Удельная энергия механически перезаряжаемых воздушно-цинковых батарей может вдвое превышать удельную энергию угольно-цинковых элементов, изготавливаемых в настоящее время промышленностью. Она может достигать значений

Таблица 1.1. **Удельная энергия первичных элементов, выпускаемых промышленностью**

Элемент	Напряжение на элементе, В		Удельная энергия	
	разомкнутой цепи	под нагрузкой	Вт·ч/кг	Вт·ч/дм³
Угольно-цинковый	1,50	1,20	55—77	120—152
Хлоридцинковый	1,50	1,20	88	183
Щелочной марганцевый	1,50	1,25	66—99	122—268
Ртутно-цинковый	1,35	1,25	99—123	300—500
Ртутно-кадмиевый	0,90	0,75	22	73
С системой ртуть — индий — висмут	1,17	—	77	201
Серебряно (одновалентное серебро)-цинковый	1,60	1,50	110—126	400—550
Резервный с системой двуокись марганца — перхлорат магния	1,90/2,00	1,50/1,55	90—110	120—130
Литий — V_2O_5	3,40 и 2,40		264	660
Литий — SO_2	2,90	2,75	260—330 (при высокой скорости разряда до 460)	420
Литий — $SOCl_2$	3,60	3,20—3,40	> 660	1080
Литий — йод	2,80	—	200	530
Тепловой	2,30—3,00		10—30	
С системой цинк — воздух	1,40	1,20	> 220	180—900

более 220 Вт·ч/кг. (Сравните эти значения с величинами 55—77 Вт·ч/кг, достижимыми для угольно-цинковых первичных элементов.)

К анализу данных по удельной энергии, сообщаемых фирмами — изготовителями гальванических элементов, следует подходить с осторожностью. Наименее ценную информацию для потребителей представляют теоретические величины удельной энергии для реакции, лежащей в основе конструкции элемента. При ее расчете принимают во внимание только массу активных веществ и не учитывают массу конструкционных деталей элемента (корпуса, клемм, сепараторов). Иногда фирмы-изготовители приводят данные по удельной энергии одиночных элементов, которые представляют бо́льшую ценность для потребителя. При соединении этих элементов в батарею добавляются конструкционные детали, которые увеличивают массу, но отнюдь не запас энергии батареи. В этом случае вопрос о фактическом значении удельной энергии еще более усложняется. Указанные выше факторы необходимо принимать во внимание при анализе данных по удельной энергии для элементов одного и того же типа, изготавливаемых различными фирмами, или при сравнении удельной энергии для элементов различного типа, имеющихся в продаже в настоящее время.

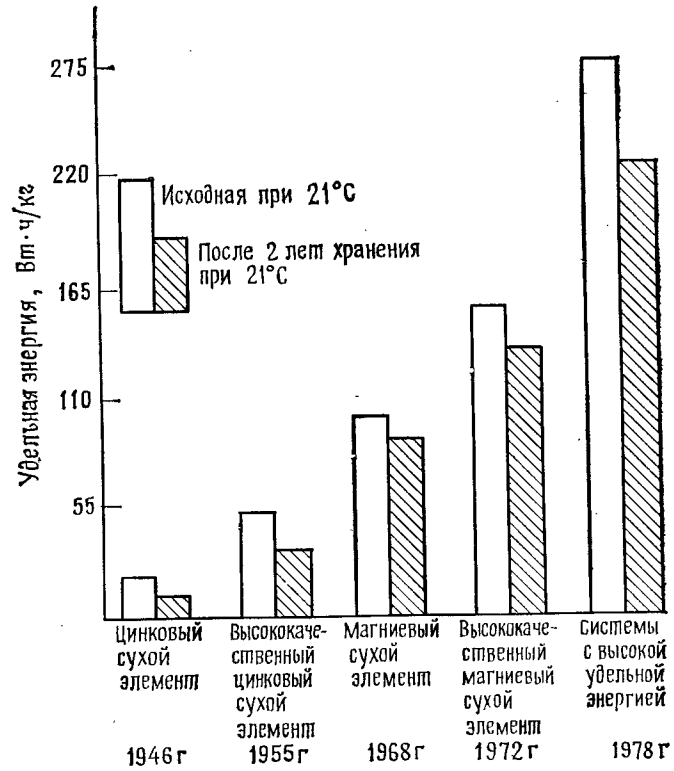


Рис. 1.1. Улучшение характеристик первичных элементов за период с **1946** по 1978 г.

Кроме того, следует отметить, что высокая удельная энергия — это только один из многих параметров, которые необходимо учитывать при выборе первичного элемента для данного конкретного устройства. Например, в 70-е годы были достигнуты значительные успехи в разработке элементов, способных работать при низких температурах. Хорошими рабочими характеристиками при —40 °С (при небольшом уменьшении емкости) обладают элементы на основе системы магний — перхлорат магния, хотя по удельной энергии они уступают другим новым типам элементов, выпускаемым в настоящее время промышленностью. Еще одним параметром, который был улучшен за последние годы, является сохраняемость.

Таблица 1.2. **Характеристики главных типов сухих батарей**

Название типа батареи	Угольно-цинковая	Угольно-цинковая с хлоридом цинка	Щелочная марганцево-цинковая	Окисно-ртутная	Серебряно-цинковая
Электрохимическая система	Цинк — двуокись марганца (батарея Лекланше, или угольно-цинковая батарея)	Цинк — двуокись марганца	Цинк — двуокись марганца с щелочным электролитом	Цинк — окись ртути	Цинк — окись серебра
Напряжение на элемент/Среднее напряжение под нагрузкой, В	1,5/1,2	1,5/1,2	1,5/1,25	1,35/1,25	1,6 (одновалентное серебро)/1,5
Отрицательный электрод	Цинк	Цинк	Цинк	Цинк	Цинк
Положительный электрод	Двуокись марганца	Двуокись марганца	Двуокись марганца	Окись ртути	Окись серебра (одновалентного)
Электролит	Водный раствор хлорида аммония и хлорида цинка	Водный раствор хлорида цинка	Водный раствор гидроокиси калия	Водный раствор гидроокиси калия или гидроокиси натрия	Водный раствор гидроокиси калия или гидроокиси натрия
Тип	Первичный	Первичный	Первичный и перезаряжаемый	Первичный	Первичный
Число циклов			50—60 только для перезаряжаемого типа		
Количество сообщаемой при подзаряде энергии (для перезаряжаемого типа)			~100% энергии, отобранной при разряде (только для перезаряжаемого типа)		
Суммарное уравнение реакции	$2MnO_2 + 2NH_4Cl + Zn \rightarrow ZnCl_2 \cdot 2NH_3 + H_2O + Mn_2O_3$	$8MnO_2 + 4Zn + ZnCl_2 + 9H_2O \rightarrow 8MnOOH + ZnCl_2 \cdot 4ZnO \cdot 5H_2O$	$2Zn + 3MnO_2 \rightarrow 2ZnO + Mn_3O_4$	$Zn + 2MnO_2 \rightleftarrows ZnO + Mn_2O_3$	$Zn + Ag_2O \rightarrow ZnO + 2Ag$
Типичная емкость батарей, выпускаемых промышленностью	60 мА·ч — 30 А·ч	Несколько сотен мА·ч — 9 А·ч	Несколько сотен мА·ч — 23 мА·ч	16 мА·ч — 28 А·ч	35 мА·ч — 210 мА·ч
Удельная энергия по массе, Вт·ч/кг	55—77	88	Первичные: 66—99 перезаряжаемые: 22	99—123	110—126
Объемная удельная энергия, Вт·ч/дм³	120—152	183	Первичные: 122—263 перезаряжаемые: 61—73	300—500	400—550
Возможен ли разряд в импульсном режиме?	Да	Да	Да	Да	Да
Возможен ли разряд при отборе большого тока (>50 мА)?	Да, при 15 мА/см² на цинковом электроде (элемент типоразмера D)	Да, при 23 мА/см² на цинковом электроде (элемент типоразмера D)	Да, при 31 мА/см² на цинковом электроде (элемент типоразмера D)	Нет	Нет
Возможен ли разряд при отборе малого тока (<50 мА)?	Да	Да	Да	Да	Да
Форма кривой разряда	Наклонная	Наклонная	Наклонная	Плоская	Плоская
Температурный интервал, °С					
хранение	−40 ÷ +48	−40 ÷ +71,1	−40 ÷ +48,9	−40 ÷ +60	−40 ÷ +60
работа	−6,7 ÷ +54,4	−17,8 ÷ +71,1	−28,9 ÷ +54,4	0 ÷ +54,4	0 ÷ +54,4

Продолжение табл. 1.2

Название типа батареи	Угольно-цинковая	Угольно-цинковая с хлоридом цинка	Щелочная марганцево-цинковая	Окисиортутная	Серебряно-цинковая
Влияние температуры на сохраняемость емкости	Слабое при низких температурах	Более выраженное при низких температурах, если сравнивать с угольно-цинковыми батареями	Более выраженное при низких температурах	Более выраженное при высоких температурах; слабее при низких температурах — зависит от конструкции	Слабее при низких температурах — зависит от конструкции
Импеданс	Низкий	Низкий	Очень низкий	Низкий	Низкий
Утечка	Средняя — при несоблюдении условий эксплуатации	Небольшая	Происходит редко	Образование небольшого налета соли (карбоната)	Образование небольшого налета соли (карбоната)
Выделение газов	Среднее	Более заметное, чем в угольно-цинковых элементах	Низкое	Весьма незначительное	Весьма незначительное
Надежность (отсутствие отказов при уровне доверия 95%)	99% за 2 года	99 % за 2 года	99% за 2 года	99 % за 2 года	99 % за 2 года
Устойчивость к воздействию ударов	Достаточно хорошая	Хорошая	Достаточно хорошая	Хорошая	Хорошая
Затраты начальные	Низкие	Низкие или средние	Выше средних	Высокие	Высокие
эксплуатационные	»	» »	От средних до высоких при требованиях большой энергии	»	»
Отличительные особенности	Низкие затраты; разнообразие форм и типов	Емкость, отдаваемая при средних и больших токах разряда выше, чем у угольно-цинковых элементов; малая величина утечки; при низких температурах работают лучше, чем угольно-цинковые элементы	Высокая эффективность при средних и очень длительных разрядах; хорошие характеристики при низких температурах; низкий импеданс	Высокое отношение емкости к объему; плоская разрядная характеристика; хорошие рабочие характеристики при высоких температурах	Практически плоская разрядная характеристика
Ограничения	Уменьшение эффективности при больших токах разряда; плохие характеристики при низких температурах		При одноразовом использовании (как первичный тип источника тока) имеет высокую стоимость при малых токах разряда. Перезаряжаемый тип имеет ограниченный срок службы, при заряде требуется использование постепенно уменьшающегося тока и жесткое ограничение напряжения	Плохие характеристики при низких температурах у некоторых типов элементов	

Продолжение табл. 1.2

Название типа батареи	Угольно-цинковая	Угольно-цинковая с хлоридом цинка	Щелочная марганцево-цинковая	Окиснортутная	Серебряно-цинковая
Области применения	Радиоприемники, устройства предупредительной световой сигнализации, телефонные усилители, пеленгаторы, электронные игрушки, осветители, системы сигнализации, лампы-вспышки, вспышки фоторужей, лабораторные приборы	Магнитофоны, калькуляторы, игрушки с электромоторами, радиоприемники, электронные часы	Радиоприемники, особенно с потреблением большого тока, осветительные лампы с двумя режимами работы, громкоговорители рупорного типа, бритвы, световые системы, движители для фото- и кинокамер, зажигание в радиоуправляемых моделях самолетов, игрушки, магнитофоны, телевизионные устройства, звуковые кинопроекторы, калькуляторы, игрушки с электромоторами, часы, фотовспышки, устройства освещения повышенной интенсивности, любые устройства с отбором большого тока, требующие использования режима мощного разряда	Вторичные эталоны напряжения, телевизионные устройства, радиоприемники, фотоэкспонометры, звуковые фильмы, дозиметры, измерительные приборы, слуховые аппараты, транзисторные устройства, электронные часы	Слуховые аппараты, источники опорного напряжения, фотоэлектрические экспонометры, приборы, электронные часы

Действительно, ртутно-кадмиевые элементы могут храниться от 5 до 10 лет (и работать в широком интервале температур), и эти данные для потребителя могут оказаться более важными, чем тот факт, что удельная энергия этого типа элементов ниже, чем, например, у ртутно-цинковых. Основные типы сухих первичных элементов и их усредненные характеристики приведены в табл. 1.2. С помощью параметров, содержащихся в данной таблице, можно выбирать элементы для использования в конкретном устройстве. Включенные в таблицу пять типов элементов во многих случаях удовлетворяют требованиям, предъявляемым потребителями. Однако если к какому-либо из параметров предъявляются особо высокие требования, то следует обратиться к новым типам элементов, таким, как элементы типа перхлорат магния — двуокись марганца, элементы, основанные на литиевой системе с органическим электролитом, или к литиево-иодным или тепловым элементам.

Выбор батареи может быть очень простым, не труднее, чем покупка нового элемента для «светового карандаша» (карандаша с фонариком), а может оказаться и весьма сложным, как, например, в случае когда необходимо подобрать по техническим характеристикам источник энергии для передатчика, установленного на спутнике.

Первичные источники тока используются весьма широко. Табл. 1.3, где собраны данные о наиболее распространенных типах элементов, включает и некоторые примеры их применения. В соответствии с этой таблицей область применения элементов простирается от самых сложных приборов до распространенных бытовых устройств — от индикаторов на жидких кристаллах, используемых в комплементарной МОП-технологии, в которых применяются миниатюрные батареи напряжением 15 В, собранные из тонких элементов Лекланше (диаметр таких «галетных» батарей составляет 10 мм, а высота 27 мм), до средств дорожной сигнализации и охранной сигнализации помещений.

В настоящее время не существует ни одной батарейной системы, которая бы по всем характеристикам превосходила другие системы, поэтому необходимо разработать методику

Таблица 1.3. **Некоторые примеры применения первичных батарей**

Применение	Используемая система	Тип батареи Vidor	Требования к источнику питания и вид нагрузки	Требования к продолжительности работы	Допустимое изменение напряжения, %	Причины выбора батареи
Лампа-вспышка дорожной предупредительной сигнализации	Угольно-цинковая	2 × V996 (параллельное включение)	6 В × 0,3 А (лампа накаливания), ~60 импульсов в мин	1200 ч	40	Экономичность, доступность
Лампа дорожной предупредительной сигнализации	С воздушной деполяризацией	XS470	3,8 В, 250 мА (лампа накаливания)	120 ч непрерывной работы	20	Экономичность
Персональный локационный маяк для средств радиообнаружения (со спутников)	Ртутно-цинковая	XS690	13,4 В × 30 мА, непрерывная работа при 0 °С	30 ч	20	Необходимость работы при 0 °С, хорошая сохраняемость емкости
Локационный маяк	Ртутно-индиево-висмутовая	XS449	14,7 В × 60 мА (импульсный режим)	300 ч после хранения при 70 °С	5	Необходимость работы после хранения при 70° С
Герметичные измерительные приборы и индикаторы	Ртутно-кадмиевая	XS333	15 мА (импульсный режим, нерегулярная работа)	48 мес	10	Специальные выводные клеммы, хорошая сохраняемость емкости
Портативная сигнальная лампа	Воздушно-цинковая	XS424S	250 мА	10 ч непрерывной работы	5	Отсутствие жестких требований к массе и постоянству напряжения
Мигающая дорожная лампа предупредительной сигнализации	Угольно-цинковая	L12-1470	12 В × 0,1 А (лампа накаливания)	63 ч	30	Экономичность, доступность
Система сигнализации	С воздушной деполяризацией	AR40	3,0 мА (непрерывная работа)	18 мес	20	Экономичность
Детектор лазерных лучей	Ртутно-цинковая	XS477, кольцевая батарея	13,4 В × 20 мА (прерывистый режим работы)	100 ч	5	Специальные выводные клеммы, хорошая сохраняемость емкости
Блоки памяти банков данных ЭВМ	Ртутно-индиево-висмутовая	XS624	20 мкА	24 мес	5	Специальные выводные клеммы, хорошая сохраняемость емкости
Скрытые системы охранной сигнализации	Угольно-цинковая	L12-1470	12 В × 300 мА	8 ч после 12 мес хранения	30	Экономичность, доступность
Радиолокационный буй	С воздушной деполяризацией	AR40	750 мА (импульс), 2 мА (постоянный)	12 мес	20	Приемлемый вес, экономичность
Твердотельное реле	Ртутно-цинковая	SX650	13,4 В × 10 мкА, непрерывная работа	18 мес	1	Длительный срок службы и постоянство напряжения
Аварийная портативная флюоресцентная лампа	Угольно-цинковая	HP1	12 В × 600 мА	3 ч непрерывной работы	25	Экономичность, доступность
Детонатор	Ртутно-цинковая	XS459	1,34 В × 500 мА (импульс)	Одноразовая кратковременная работа после 18 мес	10	Хорошая сохраняемость емкости и специальные выводные клеммы
Частотомер прямого считывания	Угольно-цинковая	VT9	9 В × 25 мА	200 ч при работе по 4 ч/день	25	Удобный размер, экономичность, доступность
Радиомикрофон	Ртутно-цинковая	XS469	13,4 В × 15 мА, 2 ч/день	50 ч	10	Постоянство напряжения, специальная форма батареи

Продолжение табл. 1.3

Применение	Используемая система	Тип батареи Vidor	Требования к источнику питания и вид нагрузки	Требования к продолжительности работы	Допустимое изменение напряжения, %	Причины выбора батареи
Широкополосный генератор	Угольно-цинковая	2×VT9	18 В×25 мА	200 ч при работе по 4 ч/день	25	Удобный размер, экономичность, доступность
Приемопередатчик	» »	2×L12—1470	12 В, $I_{передача}$ = 1,2 А, $I_{прием}$ = 0,6 А	24 ч непрерывной работы при $T_{пер}/T_{пр}$ = 1/9	30	Экономичность, приемлемая масса
Магнитофон	» »	4×HP11	6 В×200 мА	20 дней при работе по 30 мин/день	35	Доступность, экономичность
Миниатюрная зажигалка	» »	L15—1493, батарея размером 11×27 мм	400 мА (импульс)	6—9 мес	30	Миниатюрность

выбора системы, наиболее подходящей для данного конкретного применения. Выбор первичных или вторичных (перезаряжаемых) источников тока в значительной степени определяется желаниями потребителя, а также условиями, в которых будет работать аппаратура, для которой они предназначены. Может оказаться важным, чтобы аппаратура была полностью независима от питающей сети; дополнение конструкции зарядным устройством для батареи приведет к увеличению габаритов и массы, а также может повысить стоимость изделия.

При выборе в качестве источника питания вторичных элементов (обычно в тех случаях, когда требуется отбирать большой ток) важно, чтобы блок аккумуляторов, которым снабжено устройство, обладал емкостью, достаточной для работы в течение максимального предполагаемого периода между перезарядами; кроме того, в цикле работы устройства должен быть предусмотрен перерыв, достаточный для перезаряда батарей. (Вторичные источники тока рассмотрены в вышеуказанной книге Т. Кромптона.)

В случае если предпочтение отдается первичному источнику тока, удовлетворяющему данным конкретным требованиям, следует принимать во внимание исключительно сложные факторы. Поэтому на одной из начальных стадий проектирования желательно обеспечить такое согласование характеристик источника питания и устройства, чтобы результирующая техническая характеристика изделия в максимальной степени удовлетворяла требованиям потребителя.

Существуют три основных типа устройств, где используются первичные источники тока: 1) миниатюрные устройства (встроенные в предметы, которые носит потребитель, или в такие объекты, которыми можно пользоваться незаметно для окружающих); 2) портативные устройства (часто переносимые в период разряда или в промежуток времени между периодами разряда); 3) переносные устройства (редко перемещаемые) и аварийные системы.

Одна из проблем, с которой сталкивается проектировщик,— выбор из многих систем наиболее подходящей для данного применения. В табл. 1.1 приводятся следующие данные: напряжение разомкнутой цепи, среднее напряжение под нагрузкой и удельная энергия для различных электрохимических систем, используемых в источниках тока, включая системы, широко применяемые в устройствах коммерческого назначения.

Может показаться, что вследствие большого числа типов производимых батарей выбор подходящего источника питания затруднителен. Однако задачу можно облегчить, если, прежде чем выбирать батарею, предварительно составить примерный список требований, которым она должна удовлетворять. (Ниже приводится список тех предварительных данных, которыми необходимо располагать, прежде чем приступить к выбору соответствующего типа батареи.) Далее, исходя из обсуждаемых в последующих разделах основных характеристик

и конструктивных особенностей, можно выбрать такой источник, который наилучшим образом подходит для данного случая. К сожалению, ни один из типов имеющихся батарей не обладает идеальными характеристиками; кроме того, некоторые характеристики батарей одного типа не всегда можно непосредственно сравнивать с аналогичными характеристиками батарей другого типа. Поэтому оптимальные характеристики батареи в некотором устройстве могут быть достигнуты наилучшим образом путем удовлетворения всех критических требований и наиболее важных из числа остальных.

Выбор подходящей батареи можно осуществить, исходя из следующего минимального списка предъявляемых к ней требований, условий и ограничений:

1) Максимально допустимое напряжение в начале разряда.

2) Нормальное напряжение в течение периода разряда (стабильность напряжения под нагрузкой).

3) Конечное напряжение, т. е. напряжение, при котором прекращается нормальная работа устройства.

4) Разрядные характеристики (в разных режимах работы): при неизменном значении тока разряда (А), неизменном сопротивлении нагрузки (Ом) и неизменной отбираемой мощности (Вт).

5) Режим разряда или отбора тока (график нагрузки): непрерывный, прерывистый, непрерывный с пульсациями.

6) Срод годности и продолжительность работы.

7) Климатические условия при хранении и работе.

8) Ограничения на физические параметры (габариты, массу).

9) Специальные требования.

Поскольку перечисленные пункты взаимосвязаны, важно, чтобы все они были приняты во внимание. Такая информация позволит изготовителю батарей рекомендовать конструктору тот тип батареи, который наилучшим образом подходит для разрабатываемого им устройства.

Табл. 1.4 дает некоторое представление о соотношении эксплуатационных затрат для первичных элементов трех систем: угольно-цинковой, щелочной двуокисномарганцевой и ртутно-цинковой — для типоразмера R20 при работе в тяжелых и легких условиях разряда. При сравнении эксплуатационных затрат не учитывается стоимость устройств, регулирующих напряжение. Хотя допуски на степень падения напряжения в период разряда для этих систем сильно различаются (10 и 20 % для ртутно-цинковых и щелочных двуокисномарганцевых элементов соответственно, 25% для элементов с воздушной деполяризацией и ~40 % для угольно-цинковых элементов), следует заметить, что, применяя регулирующие

Таблица 1.4. **Сравнение эксплуатационных затрат по отношению к угольно-цинковому элементу типоразмера R20**

Система	Розничная цена	Стоимость 1 ч работы в тяжелых условиях разряда 1)	Стоимость 1 ч работы в средних условиях разряда 2)	Стоимость 1 ч работы в облегченных условиях разряда 3)
Угольно-цинковая (Vidor SP2)	1,0	1,0	1,0	1,0
Щелочная двуокисномарганцевая	5,5	2,6	2,8	5,0
Ртутно-цинковая	26,0	1,0	10,0	18,0

1) 30 мА, 30 мин/день
2) 37,5 мА, 4 ч/день
3) 10 мА, 12 ч/день
} конечное напряжение 0,8 В на элемент.

устройства типа стабилитронов, можно достичь хорошей стабилизации напряжения для батарей любой системы. Таким образом, при правильном подходе к проектированию конкретной схемы можно выбирать либо дешевые батареи, либо более дорогие батареи, обеспечивающие необходимую стабильность напряжения, что позволит уменьшить число элементов, из которых собрана батарея, а следовательно, уменьшить габариты и массу. Допустимый диапазон напряжений для данного устройства определяет, какая доля разрядной емкости батареи может быть использована. Желательно, чтобы конечное напряжение (т. е. напряжение после полного допустимого разряда) составляло ~0,9 В, однако для многих типов элементов это не всегда возможно.

Величина тока непосредственно связана с допустимым диапазоном напряжений, способом стабилизации напряжения и характером нагрузки. Исходя из времени, в течение которого будет отбираться ток, можно вычислить необходимую емкость в ампер-часах. Для элемента системы цинк — углерод указанную емкость в ампер-часах можно найти при условии, что известно время, в течение которого будет отбираться ток, и минимальное допустимое напряжение питания для данного устройства. Требуемая емкость батареи определяется электрической нагрузкой и необходимым сроком службы и должна быть основным параметром, по которому выбирается тип батареи для использования в данном устройстве. Еще один фактор, который, возможно, придется учитывать, — это график нагрузки. Так, для устройства, потребляющего большой ток в течение коротких промежутков времени, требуется батарея совершенно другой конструкции, чем для устройства, потребляющего малый ток в течение продолжительного времени.

Размер батареи зависит от требуемого напряжения, емкости в ампер-часах, температуры и рабочей нагрузки и во многих случаях определяется номенклатурой имеющихся в продаже типов батарей, например круглых или «галетных». Первичные источники тока изготовляют из отдельных элементов, которые в случае использования системы цинк — углерод могут быть круглыми (цилиндрическими) или плоскими. Первичный источник тока галетного типа, изготовленный из последовательно соединенных плоских элементов, обычно имеет более высокое напряжение и как следствие меньшую емкость по сравнению с цилиндрической батареей того же объема. Имеется тенденция применять в качестве источника питания только цилиндрические элементы, однако тщательный подбор комбинаций цилиндрических и галетных элементов позволяет в некоторых случаях уменьшить объем, занимаемый источником питания, более чем на 40 %. Использование такого подхода дало хорошие результаты при миниатюризации переносных приемопередатчиков, используемых в военных целях. В некоторых специальных устройствах промышленного и военного назначения форма источника тока не менее важна, чем его габариты.

Выбирая батарею или элемент из числа имеющейся в продаже номенклатуры изделий, мы тем самым задаем форму и размеры полюсных выводов. Однако здесь необходимо быть внимательным, поскольку, например, для цилиндрических элементов эти параметры задаются стандартом BS 397 «1960. Первичные элементы и батареи», согласно которому высота полюса должна составлять 2,3 мм, а диаметр 1,6 мм для типоразмеров R20, D (в соответствии с номенклатурой Американской ассоциации стандартов) и для батарей Vidor SP2. Различие в размерах батарей, выпускаемых разными фирмами, нужно особенно тщательно учитывать в тех случаях, когда приходится соединять батареи последовательно. Контейнер, в котором предусмотрено размещение батарей любого типа, оказался бы сложным и дорогостоящим. Поэтому использование галетных батарей со штекерными разъемами, конструкция которых не связана с таким количеством ограничений и допусков, в большой степени упростило бы создание контейнера для элементов питания. В устройствах промышленного и военного назначения большое внимание уделяется конструкции соединительных приспособлений, что очень важно для обеспечения безотказной работы устройства и сохранения его работоспособности в конкретных условиях воздействия окружающей среды.

При выборе батареи требования, предъявляемые к размерам и массе, могут оказаться важнее, чем другие требования. Преимущество отдается батарее малых размеров и

высокой разрядной емкости. Однако батареи, имеющие большие массу и размеры, могут оказаться надежными и экономически выгодными, если их удается разместить в устройстве. Все электрохимические системы чувствительны к изменениям температуры, а некоторые из них обладают преимуществом перед другими на краях температурного диапазона. Следует учитывать, что рабочая температура влияет как на емкость, так и на срок службы. Ниже приводятся рекомендуемые температурные интервалы для батарей различных систем.

Рекомендуемый температурный интервал, °С	Система
−10 ÷ +50	Уголь — цинк
−10 ÷ +50	Цинк — воздух
−15 ÷ +50	Щелочь — двуокись марганца
−20 ÷ +50	Ртуть — цинк
−40 ÷ +70	Ртуть — кадмий
−20 ÷ +90	Ртуть — индий—висмут
−40 ÷ +60	Система на основе лития

Большинство фирм — изготовителей батарей приводят данные о разрядной емкости при 20 °С. При правильном согласовании размеров батареи и отбираемого тока можно с успехом использовать первичные элементы угольно-цинковой и других систем при более низких температурах, чем указано в технических условиях, однако желательно предварительно проконсультироваться с изготовителем батареи.

Подбор системы, способной сохраняться и работать в широком диапазоне (от −40 до +90 °С) температур (а именно с таким требованием иногда обращаются к изготовителям источников питания), является трудным и дорогостоящим делом, поэтому важно четко сформулировать требования к температурному режиму, в частности к времени пребывания в экстремальных температурных условиях. Это весьма существенная информация, которую конструктор аппаратуры должен предоставить изготовителю батарей. Ниже приведены ориентировочные данные о времени сохраняемости батарей некоторых систем при 20 °С, т. е. о периоде, в конце которого элементы сохранили бы 80—90 % своей первоначальной емкости.

Сохраняемость неиспользованных элементов при 20° С (зависит от их размеров)

Система	Количество месяцев
Уголь — цинк	6—18
Щелочь — двуокись марганца	18—30
Ртуть — цинк	24—30
Ртуть — индий — висмут	36
Ртуть — кадмий	48
С воздушной деполяризацией	48
Окись серебра — цинк	18
Литий — двуокись серы	60

При наличии ударов или вибраций может оказаться необходимым упрочнить конструкцию батареи. Следует принять во внимание и такие возможные условия работы, как чрезмерные ускорения (перегрузки) или подъем на большую высоту, а также учесть температуру и время хранения в этих условиях.

Материалы, приведенные в табл. 1.3, показывают, что батареи на основе различных электрохимических систем предназначены для разных применений. Очевидно, что даже среди батарей на основе одной и той же электрохимической системы одни типы будут более подходить для использования в данном конкретном устройстве, чем другие. Кроме того, может возникнуть затруднение, связанное с тем, что номенклатура данной фирмы включает батареи на основе ограниченного числа электрохимических систем, и рекомендуемый фирмой для использования в устройстве тип батареи может оказаться не самым лучшим по сравнению с имеющимися в продаже батареями других фирм. Поэтому желательно уже на первых этапах разработки нового устройства проконсультироваться у нескольких изготовителей источников тока, чтобы иметь представление обо всем диапазоне выпускаемых типов батарей.

Как было отмечено выше, существуют три основные конструктивные разновидности батарей в соответствии с тем классом устройств, в которых они используются: миниатюрные, портативные и переносные. Каждая из этих разновидностей может быть основана на использовании различных электрохимических систем. Ниже будут подробно рассмотрены вопросы о применимости той или иной электрохимической системы для батарей каждого из этих трех классов устройств. В качестве переносных источников тока обычно используют перезаряжаемые батареи (аккумуляторы).

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ МИНИАТЮРНЫХ УСТРОЙСТВ

В последнее время в связи с широким распространением слуховых аппаратов, а также с появлением электронных наручных часов значительно возросло применение батарей в миниатюрных устройствах. Основным требованием, предъявляемым к источникам питания таких устройств, является высокая удельная энергия по объему. Наиболее подходящими системами для изготовления таких батарей являются следующие: окись ртути — цинк, окись серебра — цинк, цинк — воздух и системы на основе лития. Хотя на основе двух последних из перечисленных систем возможно изготовить миниатюрные батареи, однако они не поступают в широкую продажу. Поэтому источники на основе этих систем будут обсуждены ниже — в разделе, посвященном цилиндрическим батареям.

Миниатюрный элемент на основе системы окись ртути — цинк, называемый также ртутно-цинковым или просто ртутным, обычно имеет широко известную дисковую конструкцию. В этой конструкции катод из прессованной смеси окиси ртути и графита (добавляемого для увеличения электропроводности) помещается в никелированную стальную чашечку.

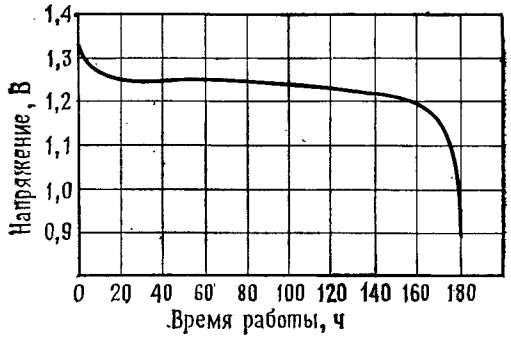


Рис. 1.2. Разрядная характеристика ртутно-цинкового дискового элемента RM675H (MR07 по стандарту МЭК) при токе 1 мА и 20 °С.

Уплотнительное кольцо элемента опирается на катодную чашечку-корпус, в верхней части которой размещается сепаратор из синтетического материала и прокладка, пропитанная электролитом (раствором КОН). В корпус вкладывается верхняя металлическая чашечка-крышка с запрессованным в нее анодом из амальгамированного цинка, после чего элемент герметизируется (завальцовкой) с помощью упомянутых полимерного уплотнительного кольца и верхней металлической крышки.

Ртутно-цинковые элементы отличаются низким внутренним сопротивлением и высокой эффективностью работы катода. Их разрядные характеристики практически плоские, что является очевидным преимуществом этих элементов перед другими при использовании в качестве источника питания для слуховых аппаратов (рис. 1.2). Рис. 1.3 показывает, что этим элементам свойственна хорошая сохраняемость. В продаже имеются многоэлементные батареи на основе системы окись ртути — цинк (которые могут быть использованы в устройствах, где требуется более высокое напряжение), а также некоторые типы элементов в цилиндрическом исполнении. В общем случае высокая стоимость элементов на основе этой системы ограничивает их применение теми областями,

где первостепенную роль играет малый объем или же предъявляются особые требования к стабильности напряжения.

В слуховых аппаратах от источника отбирается ток порядка 1 мА, и полный разряд происходит в течение многих дней. Сепаратор с низким омическим сопротивлением может задерживать капельки ртути, образующиеся при разряде катода. В наручных часах батарейки должны работать надежно в течение месяцев и даже лет, а график разряда должен представлять собой чередование коротких периодов отбора тока порядка десятых долей миллиампера и более

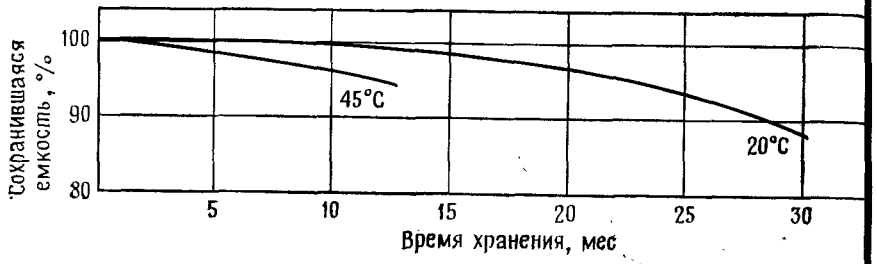


Рис. 1.3. Сохраняемость емкости ртутно-цинкового дискового элемента.

длительных периодов отбора тока порядка нескольких микроампер. В этих условиях для предотвращения возможного проникновения ртути, могущей вызвать короткое замыкание, требуется сепаратор с тщательно подобранными свойствами.

Элементы на основе системы окись серебра — цинк часто используют в электронных наручных часах. Электролит, представляющий собой раствор NaOH, хотя и обладает меньшей электропроводностью, чем раствор KOH, используется чаще, так как он менее склонен к просачиванию через уплотнение элемента. Сепаратор в системе, содержащей окись серебра, должен задерживать растворимые соединения серебра, образующиеся при химическом растворении его оксида. Эту роль выполняет многослойный сепаратор из малопористой пленки.

Существуют два типа элементов на основе окиси серебра: с катодом из оксида одновалентного серебра (Ag_2O) и из оксида двухвалентного серебра (AgO). Второй из них имеет более высокий теоретический (термодинамический) потенциал (1,8В) и благодаря добавочному восстановлению AgO до Ag_2O бо́льшую емкость (теоретическое значение удельной энергии составляет 424 Вт·ч/кг). Двухступенчатый восстановительный процесс в обычных условиях должен был бы проявиться на разрядной кривой в виде двух плоских участков (плато) при 1,7 и 1,5 В. Такое резкое изменение напряжения в середине разрядного периода может сделать

необходимым введение дополнительного стабилизатора напряжения в состав аппаратуры. Однако, если поверхность электрода изготовлена из Ag_2O, разряд будет происходить при более низком потенциале в течение всего времени разряда. Стабилизация напряжения может быть достигнута путем обработки поверхности электрода для восстановления AgO до Ag_2O или же, согласно некоторым патентам, применением «двухоксидной» системы. Вследствие большой стоимости исходных материалов элементы на основе окиси серебра оказываются более дорогими, чем их аналоги на основе окиси ртути.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ПОРТАТИВНЫХ УСТРОЙСТВ

Эта категория устройств включает в себя испытательное (диагностическое) оборудование, радиоаппаратуру, осветительные приборы и калькуляторы и предоставляет гораздо более широкое поле применения, чем миниатюрные или переносные устройства.

Литий обладает определенными преимуществами перед другими анодными материалами в электрохимических источниках энергии. Он имеет низкую эквивалентную массу и плотность и является наиболее электроотрицательным элементом среди всех элементов, существующих в твердом состоянии при нормальной температуре. Однако литий вступает в реакцию с водой, используемой в качестве растворителя в большинстве электролитов, а также с большинством неметаллических элементов и соединений, поэтому его, как правило, применяют в сочетании с безводными электролитами. Литиевые батареи с твердым электролитом обычно выпускаются для применения в устройствах с малым потреблением тока. Например, фирма Catalyst Research Corp. изготавливает для кардиостимуляторов элемент на основе системы литий — иод с твердым электролитом, рассчитанный на разряд током 20 мкА.

Для батарей, в которых должна поддерживаться большая плотность тока при обычных температурах, твердый электролит вряд ли применим. Подходящий растворитель электролита должен обеспечивать стабильность раствора в широком интервале температур и быть стабильным по отношению к литию и материалу катода.

Для того чтобы максимально использовать преимущества систем на основе лития, необходимо применять для положительного электрода (катода) материал, который также обладает высокой удельной энергией. Поиски наиболее удачного сочетания электролита и материала катода усиленно велись в 70-х годах. Одной из двух систем коммерческого

назначения на основе лития является система с использованием полимера фторированного углерода. Японская фирма Matsushita Electric Industrial Co. разработала цилиндрические литиевые элементы нескольких стандартных размеров Согласно патенту, материал катода представляет собой вещество вида $(CF_x)_n$ (здесь x находится в диапазоне 0,5—1,0), которое получается взаимодействием фтора с углеродом при различных температуре и давлении, зависящих от того, в каком виде находится исходный углерод. За исключением тех случаев, когда батарея предназначается для работы в устройстве с отбором малого тока, в катод добавляют ацетиленовую сажу или графит для улучшения электропроводности. В качестве электролита используют тетрафторборат лития, растворенный в α-бутиролактоне. Фирмы Honeywell Inc. и Mallory Battery Co. (США) выпустили в продажу батареи на основе электрохимической системы литий — двуокись серы. Активным материалом положительного электрода в этих батареях служит жидкая двуокись серы (растворенная в электролите из бромида лития, ацетонитрила и пропиленкарбоната), которая восстанавливается на пористом графитовом электроде.

Батареи обоих типов снабжены блоком электродов, изготовленных из свернутых в спираль ленточных фольговых электродов. Литиевая фольга, накатанная на тянутую металлическую сетку, являющуюся токоотводом, служит отрицательным электродом; она отделяется от аналогично изготовленного катода полипропиленовым сепаратором.

Практически достижимые напряжения на разомкнутых электродах для систем литий — фторуглеродный полимер и литий — двуокись серы при 20 °С равны соответственно ~2,8 и ~2,9 В. Такие высокие значения напряжений приводят к тому, что литиевые батареи не будут взаимозаменяемыми с батареями на основе других электрохимических систем, если в конструкции устройства не предусмотреть место для «холостых» элементов-вкладышей.

Высокая объемная удельная энергия — это следствие только высокого напряжения в системах на основе лития. И одной из причин того, что литиевые элементы не получили широкого распространения в качестве миниатюрных источников тока, состоит в том, что, хотя один литиевый элемент можно использовать при необходимости вместо двух ртутных, включенных последовательно, литиевый элемент имеет вдвое меньшую емкость, чем эквивалентный ртутный элемент, и его, возможно, пришлось бы заменять чаще, чем ртутный.

Объемная удельная емкость (в ампер-часах) у ртутно-цинковых элементов выше, чем у элементов на основе лития. Однако во многих случаях две параллельно включенные литиевые батареи или одна батарея увеличенного объема могут обеспечить ту же емкость в ампер-часах, что и батарея из двух последовательно включенных ртутно-цинковых элементов, обеспечив то же напряжение, занимая при этом такой же или даже меньший объем. Проведем сравнение данных для элементов на основе системы литий — двуокись серы и системы окись ртути — цинк.

	Литий — двуокись серы	Окись ртути — цинк
Объемная удельная энергия, Вт · ч/дм³	420	500 (лучшее значение)
Нормальное рабочее напряжение, В	2,75	1,25
Объемная удельная емкость, А · ч/дм³	153	400
Относительный объем в расчете на ампер-час	2,6	1,0

Таким образом, один элемент на основе системы литий — двуокись серы (напряжение 2,75 В) занимает объем на 30 % больше, чем два последовательно включенных ртутно-цинковых элемента (напряжение 2,5 В). Следует, однако, учесть, что здесь сравнивается худший из литиевых элементов с лучшим ртутно-цинковым. Системы с более высокой удельной энергией, например литий — пятиокись ванадия и литий — двуокись серы, могут дать существенный выигрыш в объеме по сравнению с эквивалентной системой окись ртути — цинк той же емкости в ампер-часах. Действительно, систему литий — двуокись серы все чаще начинают применять в миниатюрных устройствах с большим потреблением тока, в том числе в устройствах военного назначения, где, как оказалось, сдвоенные ртутно-цинковые элементы в некоторых случаях занимают существенно больший объем, чем эквивалентный литиево-серный элемент. Кроме того, следует принять во внимание такие преимущества системы литий — двуокись серы, как превосходная сохраняемость (5—10 лет), иначе говоря, очень малый саморазряд; широкий интервал рабочих температур (от —50 до +50 °С) и стабильное напряжение под нагрузкой.

Высокая химическая активность лития вызывает необходимость сборки элемента в контролируемой атмосфере. В некоторых случаях во избежание коррозии приходится применять дорогие конструкционные материалы, а иногда (например, при использовании двуокиси серы) конструировать очень сложное уплотнение элемента.

Хотя литиевые батареи допускают режим разряда с отбором большого тока, чрезмерная перегрузка или случайное короткое замыкание могут привести к такому повышению температуры, что элемент выйдет из строя или даже взорвется.

Для уменьшения этой опасности изготовители батарей встраивают в них клапаны и плавкие предохранители.

При создании батарей на основе системы цинк — воздух, в разработку промышленных образцов которых в конце 60-х и начале 70-х годов были вложены значительные средства, возникли следующие четыре проблемы: трудно было изготовить воздушные катоды необходимого качества; возникла опасность протекания электролита через отверстия, предназначенные для обеспечения доступа воздуха внутрь элемента; при длительном разряде происходила карбонизация электролита; при прерывистом разряде поступающий кислород вызывал непроизводительный расход активных материалов.

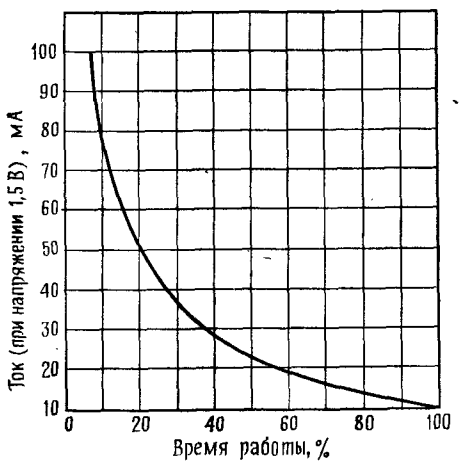


Рис. 1.4. Влияние увеличения разрядного тока на время работы элемента Лекланше типа SP2 (R20).

[Выраженная в процентном отношении длительность работы батареи при разных значениях сопротивления нагрузки, соответствующих указанным на рисунке начальным значениям тока при 1,5 В, к длительности работы батареи при начальном токе 10 мА и сопротивлении нагрузки 150 Ом. — *Прим. ред.*]

Несмотря на эти трудности, в начале 70-х годов в Великобритании поступили в продажу серийные образцы воздушно-цинковых элементов типоразмеров D и N. Элемент типоразмера D при испытаниях в радиоаппаратуре превзошел по характеристикам никель-кадмиевый аккумулятор типоразмера D в большинстве случаев, за исключением работы при температурах ниже нуля. Воздушно-цинковый элемент оказался более экономичным, а его стоимость составила ~25% стоимости эквивалентного никель-кадмиевого элемента. Однако последний имеет то преимущество, что его можно перезаряжать. Воздушно-цинковые элементы типоразмера N успешно используются в малогабаритных связных устройствах. Переход на воздушно-цинковые элементы типоразмера D или N определяется не техническими, а экономическими соображениями. Совсем другое положение наблюдается в области дисковых воздушно-цинковых элементов. В США в течение ряда лет фирма Gould выпускает эти элементы для использования в слуховых аппаратах, наручных часах и в других устройствах, а в Великобритании указанные элементы производства фирм Gould и BEREC поступили в продажу в 1980 г.

Элементы Лекланше и щелочные двуокисномарганцевые элементы прочно удерживают первое место среди имеющихся в продаже батарей для портативных устройств. Эти элементы выпускаются в массовом количестве в цилиндрическом исполнении различных стандартных размеров.

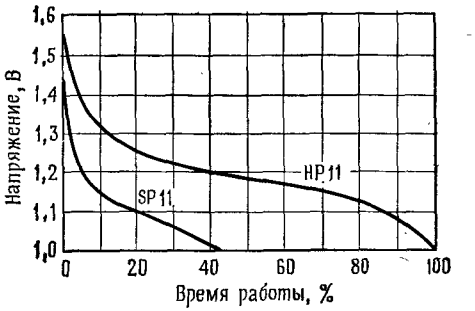


Рис. 1.5. Разрядные характеристики щелочных двуокисномарганцевых элементов типа SP11 и HP11 (R14) при отборе большого тока.

Элементы Лекланше имеют свойство «отдыхать» (восстанавливаться) в периоды, когда не происходит отбора тока. Это свойство наряду с низкой ценой, обусловленной массовым высокоавтоматизированным производством, делает элемент Лекланше идеальным источником питания для большинства бытовых устройств, в которых, как правило, режим разряда оказывается прерывистым. На рис. 1.4 показано влияние величины отбираемого тока на длительность работы элемента SP2 (типоразмер R20) при разряде до конечного напряжения 0,9 В по 5 ч в день.

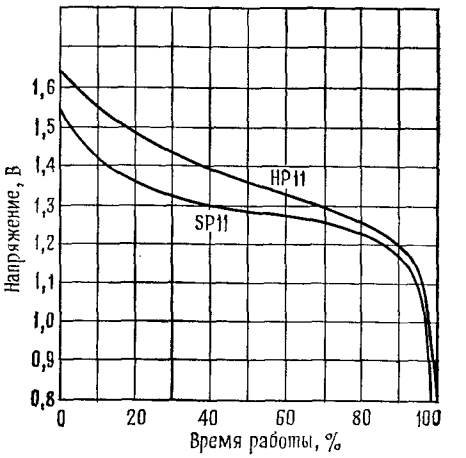


Рис. 1.6. Разрядные характеристики щелочных двуокисномарганцевых элементов типа SP11 и HP11 (R14) при отборе малого тока.

Для устройств с потреблением большого тока, например снабженных электродвигателями, следует использовать батареи повышенной мощности HP (high power). Эти батареи содержат и электролит, и химически синтезированную двуокись марганца, улучшающие разрядные свойства. На рис. 1.5 приведены характеристики элементов SP11 и HP11 (типоразмер R14) при разряде на сопротивление 10 Ом по 2 ч в день. Преимущество элемента повышенной мощности в этом случае очевидно. Для режимов с отбором малого тока

применение более дорогостоящих элементов с повышенной мощностью не является оправданным. Рис. 1.6 дает представление о характеристиках вышеупомянутых элементов при разряде на сопротивление 300 Ом по 2 ч в день.

Благодаря улучшенной технологии изготовления сохраняемость современных элементов Лекланше гораздо выше, чем у ранее выпускаемых сухих батарей. Например, среднее время разряда батарей типа SP11 и HP11 после двухлетнего хранения при 20 °С и при использовании соответственно в радиоприемнике и магнитофоне уменьшилось лишь на 5 % по сравнению с временем разряда аналогичных батарей, испытания которых были проведены через несколько недель после их изготовления.

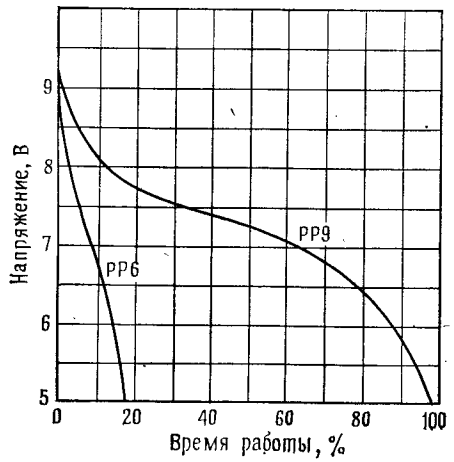


Рис. 1.7. Время работы двух галетных батарей из элементов Лекланше разного размера типа PP9 и PP6 напряжением 9 В.

Для транзисторных устройств требуются напряжения, в несколько раз превышающие напряжение, получаемое от одного элемента. В этом случае галетные батареи оказываются более подходящими, чем несколько соединенных последовательно эквивалентных круглых элементов, поскольку занимают меньший объем. Замена источника питания сводится к замещению одного блока, подсоединяемого при помощи простых самозахватывающих пружинных контактов, обеспечивающих правильную полярность. Подбор наиболее экономичной галетной батареи следует проводить совместно с изготовителем батарей. Использование батарей, мощность которой недостаточна для данной величины отбираемого тока, приводит к неоправданно частой смене источника питания. На рис. 1.7 приведено сравнение времени работы двух галетных батарей PP9 и PP6 напряжением 9 В при разряде на сопротивление 450 Ом по 4 ч в день.

Цилиндрические щелочные двуокисномарганцевые батареи имеют «вывернутую» конструкцию по отношению к широко известному элементу Лекланше. Положительный вывод образован контактной пуговкой на верхней крышке батареи, соединенной со стальным цилиндром, окружающим и удерживающим положительный электрод. В элементах Лекланше

в качестве добавки к двуокиси марганца служит ацетиленовая сажа (вследствие высокой абсорбционной способности). Более высокая электропроводность электролита на основе КОН, используемого в щелочном двуокисномарганцевом элементе, позволяет применить в качестве добавки к катоду высокоэлектропроводный графит. Плотно спрессованный цилиндрический катод отделен при помощи абсорбирующего сепаратора от зажелированного анода, представляющего собой пасту из амальгамированного порошка цинка. Контакт анода с отрицательным выводом на дне батареи осуществляется при помощи металлической пружины.

Хотя щелочные двуокисномарганцевые элементы имеют лучшие технические характеристики, чем элементы Лекланше, более высокая стоимость делает нецелесообразным их применение в устройстах с прерывистым отбором тока. Так, сравнение элемента Лекланше типа HP2 с щелочным двуокисномарганцевым элементом Mn1300 (LR 20 по стандарту МЭК) в режиме разряда на сопротивление 5 Ом по 2 ч в день до конечного напряжения 1,1 В показало, что элемент Mn1300 имеет вдое больший срок службы, чем элемент HP2, но стоит при этом втрое дороже. Щелочные двуокисномарганцевые элементы оказываются экономически более выгодными только при непрерывном разряде с отбором большого тока. Рекомендуется также их применять в устройствах, работающих при низких температурах.

Магниевые элементы содержат катод из двуокиси марганца, магниевый анод и электролит на основе перхлората или бромида магния. Указанные элементы имеют хорошую сохраняемость, а их удельная энергия выше, чем у элементов Лекланше. К недостаткам магниевых элементов следует отнести нестандартное напряжение, характерное падение напряжения в начале разряда, а также газовыделение на магниевом электроде при прерывистом разряде, затрудняющее герметизацию элемента.

Если для портативной аппаратуры требуется перезаряжаемый источник питания, то как правило, выбирают элементы на основе системы никель — кадмий. В продаже имеется широкий набор различных типов никель-кадмиевых батарей, как цилиндрических, так и дисковых. Эти батареи приспособлены для работы в устройствах, потребляющих большие токи. Промышленность изготавливает как цилиндрические элементы со спеченными электродами, так и дисковые элементы с прессованными плоскими электродами. Ниже будут рассмотрены элементы первого из названных типов, поскольку они составляют основную долю всех выпускаемых элементов этой системы.

В качестве номинальной емкости никель-кадмиевой батареи со спеченными электродами обычно принимают емкость C_5, т. е. емкость, измеренную при таком режиме, когда полностью заряженная батарея разряжается до конечного напряжения 1,0 В за 5 ч. Скорость разряда удобно выражать как кратные величины или доли C_5 (рис. 1.8).

Вследствие низкого внутреннего сопротивления никель-кадмиевых батарей рекомендуется их заряжать в режиме заданного тока во избежание перегрева и выхода из строя. Батареи, разряженные до 1,0 В, могут быть приведены в состояние полной заряженности за 12 ч при скорости заряда C_8.

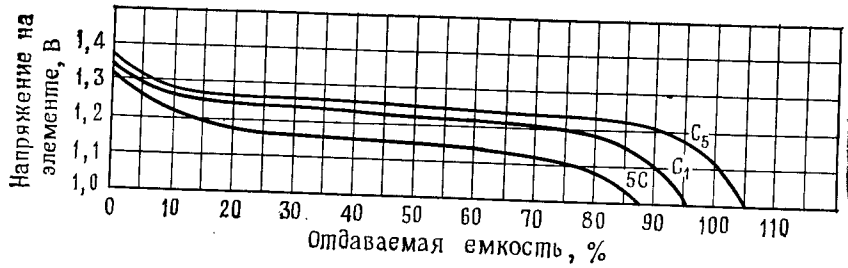


Рис. 1.8. Изменение емкости никель-кадмиевых батарей в зависимости от скорости разряда при 20 °С.

Никель-кадмиевые аккумуляторы менее чувствительны к перезаряду, чем свинцовые, однако в случае работы в режиме непрерывного подзаряда рекомендуется использовать меньшие токи, чем указано выше.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕНОСНЫХ УСТРОЙСТВ

Для переносных устройств масса не играет решающей роли, тогда как существенными могут оказаться требования к обеспечению соответствующей мощности устройства. Что касается наименьшей стоимости, то здесь преимущество остается за свинцовыми аккумуляторами. Для переносных устройств обычно применяют перезаряжаемые источники тока. Недостатки, присущие стартерным батареям, используемым на транспортных средствах, в их традиционном исполнении, в значительной степени удалось устранить в последних моделях малообслуживаемых свинцовых аккумуляторов. В одном из типов этих аккумуляторов — батареях системы Варли — использованы тонкие пластины, разделенные хорошо абсорбирующим электролит сепаратором и спрессованные в блок, пропитываемый электролитом. Батареи этого типа надежно работают в условиях вибраций и ударов. Они

имеют низкое внутреннее сопротивление и при одинаковых размерах имеют бо́льшую емкость при большой скорости разряда и больший ток короткого замыкания, чем обычные, заливаемые кислотой свинцовые аккумуляторы.

Заряд этих батарей можно проводить при помощи простого зарядного устройства при условии окончания заряда по истечении определенного промежутка времени. Их емкость нормируется при скорости разряда C_{20}, т. е. соответствует емкости, полученной при разряде полностью заряженной батареи до конечного напряжения 1,75 В на элемент в течение 20 ч.

Герметичные никель-кадмиевые батареи имеют более высокую начальную стоимость, однако их применение может оказаться экономически выгодным в некоторых переносных устройствах, где на первый план выступают такие преимущества этих батарей, как большое количество циклов заряд — разряд и практически неограниченная сохраняемость при любой степени разряда без порчи электродов. В частности, они хорошо подходят для работы в режиме с непрерывным подзарядом, например в устройствах аварийного освещения.

По мере того как с каждым годом появляются все новые и новые типы батарей, существенно меняется и принцип выбора батареи для конкретного устройства. Рассмотрим в качестве примера использование первичных источников тока в фотографических аппаратах и кинокамерах, начавшееся двадцать лет назад и получившее в настоящее время широкое распространение. В современных фотоаппаратах многие функции выполняются при помощи электрической энергии, причем длительность полного разряда находится в диапазоне от 20 мин (для встроенных ламп-вспышек прямого действия) до одного года и более (для экспонометров, работающих в условиях малой освещенности). Различия между источниками питания для измерения освещенности, привода электродвигателей и вспышек все более стираются, поскольку в настоящее время все эти устройства часто приводятся в действие от одного источника энергии, напряжение которого устанавливается в соответствии с обслуживаемым устройством. В фотоаппарате при помощи электроэнергии могут выполняться следующие функции: перемотка пленки; измерение освещенности; установка диафрагмы; привод затвора; наводка на резкость; изменение фокусного расстояния объектива; питание вспышки; подсветка; подача звуковых сигналов.

Из табл. 1.5 следует, что количество вариантов использования батарей в фотоаппаратах к 1980 г. по сравнению с 1965 г. возросло более чем в семь раз. Следует отметить, что начиная с 1961 г. числа конструкций, в которых использованы щелочные двуокисномарганцевые элементы, превысило число

Таблица 1.5. **Рост числа применений различных типов первичных батарей в фотоаппаратах начиная с 1965 г.**

	Система	Год выпуска									
		до 1965	1966	1967	1969	1971	1972	1974	1976	1978	198[illegible]
Число новых применений	Щелочно-марганцевая	173	82	42	107	172	135	312	313	385	447
	Ртутно-цинковая	185	104	30	97	112	120	253	168	138	104
	Серебряно-цинковая	0	3	0	6	7	21	46	68	118	160
	Угольно-цинковая	0	0	0	2	16	0	5	2	0	0
	Итого	358	189	72	212	307	276	616	551	641	711
Общее число применений	Щелочно-марганцевая	173	255	297	404	576	711	1023	1336	1721	2168
	Ртутно-цинковая	185	289	319	416	528	648	901	1069	1207	1311
	Серебряно-цинковая	0	3	3	9	16	37	83	151	269	429
	Угольно-цинковая	0	0	0	2	18	18	23	25	25	25
	Итого	358	547	619	831	1138	1414	2030	2581	3222	3932

Таблица 1.6. **Изменение темпов роста числа применений различных типов первичных батарей в фотоаппаратах начиная с 1967 г.**

Система	Темпы роста, %							
	1967	1969	1971	1972	1974	1976	1978	1980
Щелочно-марганцевая	16,5	18,0	21,3	23,4	21,9	15,3	13,0	12,0
Ртутно-цинковая	10,4	15,2	13,5	22,7	19,5	9,3	5,5	4,0
Серебряно-цинковая	—	—	—	—	56,0	41,0	27,5	25,0

тех, где использованы ртутно-цинковые элементы, и к настоящему времени этот разрыв существенно увеличился. Серебряно-цинковые батареи пока еще не нашли широкого применения, однако интерес к ним сильно возрос.

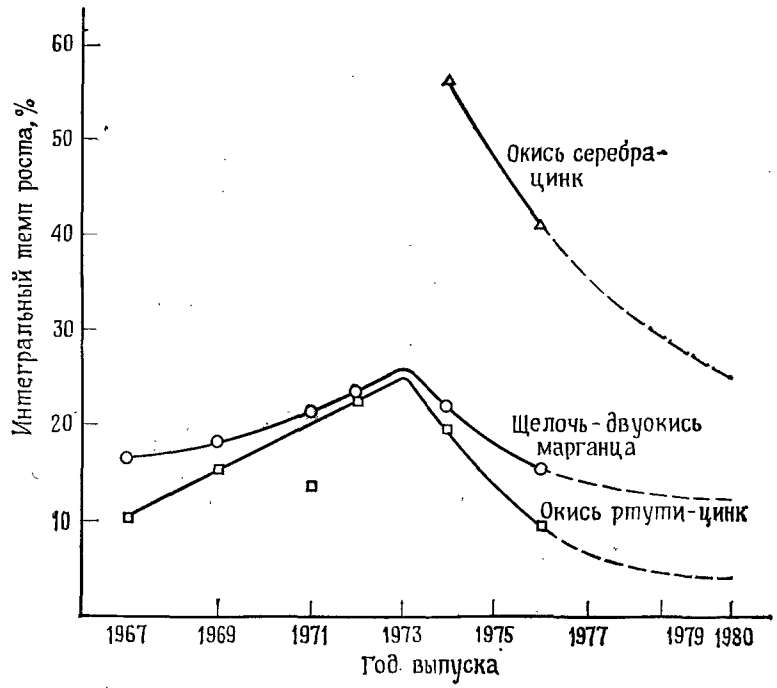


Рис. 1.9. Интегральный темп роста числа разработок в области фотографии, в которых использованы первичные источники тока.

В табл. 1.6 показаны темпы роста применения батарей различных систем. Анализируя данные этой таблицы, можно сделать следующие интересные выводы:

1) максимальные темпы роста использования щелочных двуокисномарганцевых и ртутно-цинковых батарей приходятся на период 1972—1974 гг.;

2) темпы роста использования ртутно-цинковых батарей снижаются в большей степени, чем соответствующий показатель щелочных двуокисномарганцевых батарей;

3) темпы роста использования серебряно-цинковых батарей хотя и снижаются, но остаются существенно выше, чем для указанных выше двух типов батарей.

Как можно заметить из рис. 1.9, 13 числовых данных по темпам роста, приведенных в табл. 1.6, хорошо ложатся на аппроксимирующие кривые, описывающие зависимость этого показателя от времени на достаточно длинном временно́м промежутке. Это означает, что кривые могут быть экстраполированы на ближайшие промежутки времени. Полученные таким образом данные по темпам роста и соответствующему количеству новых разработок с использованием рассмотренных типов батарей до 1980 г. добавлены соответственно в табл. 1.5 и 1.6.

Тщательный анализ, проведенный фирмами-изготовителями батарей, показал, что в области использования батарей в фотоаппаратах можно ожидать появления новых разработок с применением как щелочных двуокисномарганцевых, так и серебряно-цинковых элементов. В то же время наблюдается явное снижение темпов использования ртутно-цинковых элементов, которое должно продолжаться по крайней мере до 1980 г., когда только в одной из семи новых разработок, связанных с фотоаппаратами, будут использованы ртутно-цинковые элементы. Одной из основных причин, приведших к появлению этой тенденции, является целесообразность ограничения использования ртути в товарах широкого потребления.

2

УГОЛЬНО-ЦИНКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ХЛОРИДА ЦИНКА

Как ожидается, стандартные угольно-цинковые элементы, или элементы Лекланше, в ближайшем будущем сохранят ведущее положение по применению среди сухих элементов вследствие низкой стоимости и удовлетворительных технических характеристик. Элементы этого типа в различном виде производят многие фирмы. Так, одна из фирм выпускает более 100 модификаций угольно-цинковых элементов напряжением от 1,5 до ~500 В, имеющих разнообразные форму и размеры и различные конструкции токовыводов.

В электрохимической системе угольно-цинкового элемента использован цинковый анод, окисномарганцевый катод и электролит, представляющий собой водный раствор хлористого аммония и хлористого цинка. В катодной деполяризующей смеси используют мелкодисперсный углерод — обычно в виде ацетиленовой сажи, — который улучшает электропроводность смеси и удерживает влагу.

При разработке стандартного сухого угольно-цинкового элемента не ставилась цель обеспечить его перезаряд. Базовый элемент может иметь различные форму и размеры, однако можно выделить две основные модификации:

цилиндрические элементы, выпускаемые как отдельным источником тока, так и в виде сборок;

плоские, или галетные, элементы.

Эти две модификации различаются только конструкцией: в них используются одни и те же химические вещества — уголь, деполяризующая смесь, сепаратор, электролит и цинк. В плоских элементах, как например, в элементе типа Mini-Max производства фирмы Union Carbide, эти компоненты располагаются послойно, тогда как в цилиндрических элементах их размещают в виде концентрических цилиндров. Конструкция этих элементов показана соответственно на рис. 2.1 и 2.2.

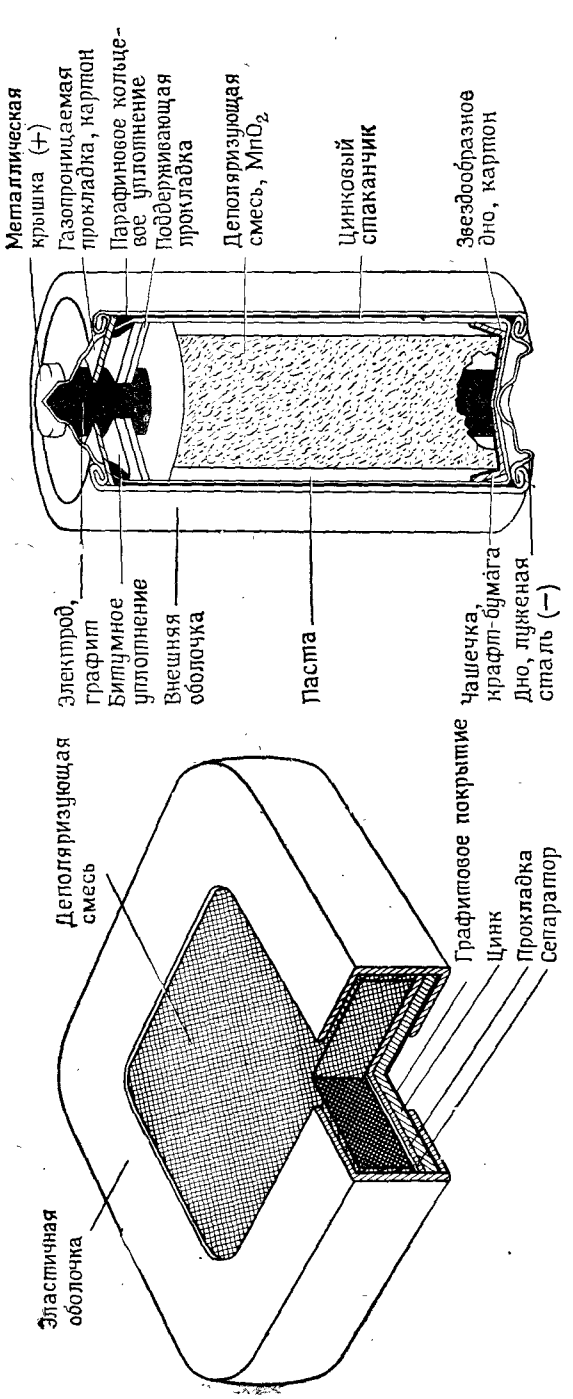


Рис. 2.1. Конструкция галетного угольно-цинкового элемента типа Mini-Max производства фирмы Union Carbide.

Рис. 2.2. Конструкция стандартного угольно-цинкового цилиндрического элемента типоразмера *D*.
Стержень, проходящий по оси элемента, изготовлен из графита и служит в качестве токового коллектора. Поддерживающая прокладка изготавливается из картона с полиэтиленовым покрытием. Состав пасты: мука, крахмал, хлористый аммоний, хлористый цинк. Внешняя оболочка состоит из крафт-бумаги с полиэтиленовым покрытием и этикетки из полистироловой пленки.

В плоском элементе цинковая пластина покрыта слоем углерода, так что образуется сдвоенный (двухслойный) электрод, который служит в качестве цинкового электрода для данного элемента и в качестве угольного для примыкающего к нему элемента. Элементы типа Mini-Max не имеют газовой расширительной камеры (незаполненного объема) и угольного стержня, которые предусмотрены в круглых (цилиндрических) элементах. Эта особенность дает возможность увеличить количество деполяризующей смеси, приходящейся на единицу объема элемента, и тем самым увеличить его энергоемкость. Кроме того, благодаря прямоугольной форме плоских элементов уменьшается объем бесполезного пространства при наборе батарей из таких элементов. При наборе батарей из круглых элементов значение энергии, приходящейся на единицу объема батарей, меньше из-за пустот, образующихся между элементами. Принимая во внимание эти два фактора, можно считать, что по сравнению с батареей из круглых элементов батарея из плоских обеспечивает дополнительно ~100% энергии, отнесенной на единицу объема.

Промышленность изготавливает два основных типа угольно-цинковых элементов: SP и HP (повышенной мощности). Тип HP предназначен для использования в устройстах, где требуется отбор большого тока, элементы типа SP рекомендуется применять в устройствах с отбором малого тока.

Хлористо-цинковый элемент Лекланше является разновидностью угольно-цинкового элемента. Главное различие между ними заключается в электролите. В хлористо-цинковом элементе в качестве электролита применяют только раствор хлористого цинка, тогда как в угольно-цинковом элементе электролит наряду с хлористым цинком содержит насыщенный раствор хлористого аммония. Отказ от применения хлористого аммония улучшает электрохимические свойства элемента, однако при этом повышаются требования к системе его уплотнения. Поэтому для хлористо-цинковых элементов либо применяют новый тип уплотнения, который ранее не использовался в угольно-цинковых элементах, либо совершенствуют конструкцию обычного уплотнения, чтобы сохраняемость указанных элементов была аналогична сохраняемости угольно-цинковых элементов.

Благодаря меньшему разбросу и бо́льшим значениям величин скоростей диффузии в электролите, содержащем только хлористый цинк, сводятся к минимуму блокирование электродов продуктами реакции и поляризация электродов при больших плотностях тока. Электроды хлористо-цинковых элементов способны работать более эффективно и как следствие обеспечивать более высокий коэффициент использования

активных материалов (больший полезный выход по току), чем электроды угольно-цинковых элементов. Поэтому хлористо-цинковые элементы могут работать в режиме с отбором большого тока в течение существенно более длительного времени, чем угольно-цинковые элементы тех же размеров. Кроме того, элементы первого типа обеспечивают более высокую стабильность напряжения под нагрузкой.

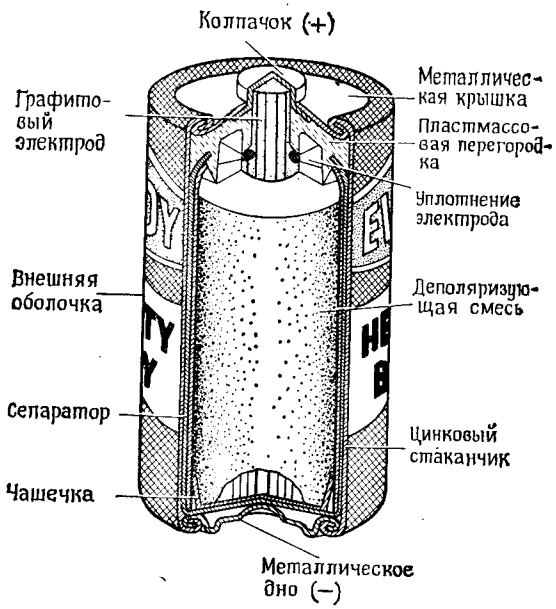


Рис. 2.3. Конструкция хлористо-цинкового элемента типоразмера D. (Внешняя оболочка состоит из крафт-бумаги с полиэтиленовым покрытием и этикеткой из полистироловой пленки.)

В химическом процессе, протекающем во время работы хлористо-цинкового элемента, наряду с потреблением электрохимически активных веществ происходит потребление воды (в реакции, продуктом которой является окисное соединение), поэтому в конце рабочего периода элемент оказывается почти сухим. Конструкция хлористо-цинкового элемента типоразмера D показана на рис. 2.3.

Под нагрузкой рабочее напряжение угольно-цинкового элемента по мере его разряда постепенно уменьшается (рис. 2.4). Чем ниже напряжение отключения, или конечное напряжение, тем больше срок службы и время работы элемента. Типичные значения конечных напряжений для элемента с начальным напряжением 1,5 В лежат в интервале 0,65 — 1,1 В. Конечное напряжение должно быть как можно

ниже для того, чтобы полнее использовать энергию, которую может дать элемент. Иногда, если отсутствует опасность повредить устройство и позволяет характер нагрузки, для этой цели применяют батарею с напряжением, немного превышающим величину, необходимую для нормальной работы устройства. В этом случае уменьшается конечное напряжение в расчете на один элемент и обеспечивается более эффективное и полное использование активных материалов батареи.

Номинальная рабочая емкость угольно-цинковой батареи не является строго определенной величиной, выраженной

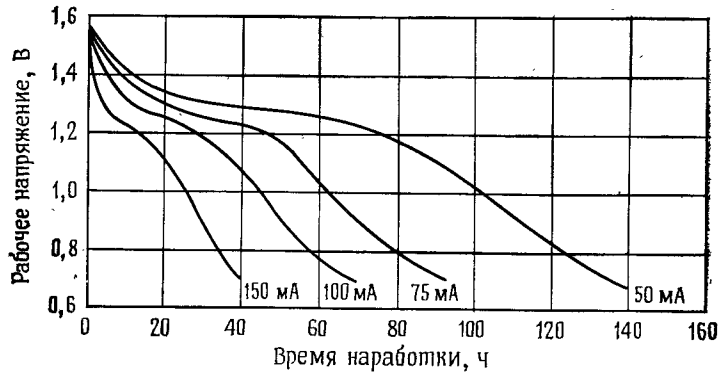


Рис. 2.4. Характеристики угольно-цинкового элемента типоразмера D, разряжаемого по 2 ч в день при 21 °С на нагрузку с постоянным омическим сопротивлением при различных значениях начального тока.

в ампер-часах, поскольку отданная батареей емкость зависит от условий, в которых она работает. Эти условия задаются величиной отбираемого тока, режимом разряда (графиком нагрузки) и конечным напряжением. Разумеется, отдача батареи зависит также от рабочей температуры и условий хранения батареи до начала ее использования. Рабочая емкость разных батарей может составлять величину от нескольких сотен миллиампер-часов до 30 А·ч. Соединяя элементы в батареи в различных комбинациях, емкость батареи можно довести до 100 А·ч.

Коэффициент использования активных материалов угольно-цинковой батареи повышается по мере уменьшения плотности тока. Отсюда вытекает важный для практики принцип: использовать в той мере, в какой позволяют конструктивные ограничения, батарею возможно больших размеров. В определенном интервале плотностей тока уменьшение вдвое величины отбираемого тока может привести к трехкратному увеличению длительности работы батареи. Этот результат достигается при использовании в данном устройстве батареи

больших размеров, вследствие чего снижается плотность тока в каждом из ее элементов. Такой вывод справедлив только до определенной плотности тока, ниже которой важным фактором, влияющим на время работы батареи, становится ухудшение ее свойств во время хранения.

Рабочая емкость зависит от соотношения длительностей периодов разряда и отдыха. Как правило, угольно-цинковые

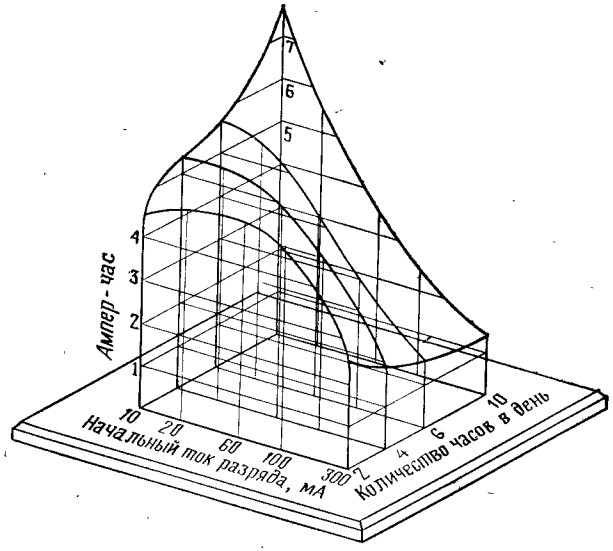


Рис. 2.5. Зависимость достижимой длительности работы (реальной емкости) батарей от начальной величины отбираемого тока и графика отбора тока на примере угольно-цинкового элемента типоразмера D.

элементы лучше работают в условиях прерывистого отбора тока. В некоторых случаях они могут оказаться эффективными при работе в условиях непрерывного разряда очень малым током.

Рис. 2.5 иллюстрирует те преимущества, которые дает правильный выбор батареи для того или иного устройства. Рисунок позволяет получить представление о том, как интенсивность разряда и частота включений влияют на эффективность работы батареи.

Угольно-цинковые элементы, как правило, предназначены для работы при 21 °С. Чем выше температура батареи во время разряда, тем больше отдача энергии. Однако высокие температуры приводят к уменьшению срока хранения, а длительное пребывание при температуре выше 52 °С вызывает быстрое ухудшение качества батареи.

Длительность работы при низких температурах сокращается из-за уменьшения скорости химических реакций, протекающих в элементе. Этот эффект сильнее проявляется при отборе большого тока. Если температуру стандартной угольно-цинковой батареи понизить до —18 °С, последняя будет удовлетворительно работать только в режиме с отбором малого тока. При —23 °С батарея обычно становится неработоспособной, если не использовать специальный низкотемпературный электролит. Полезной может оказаться также

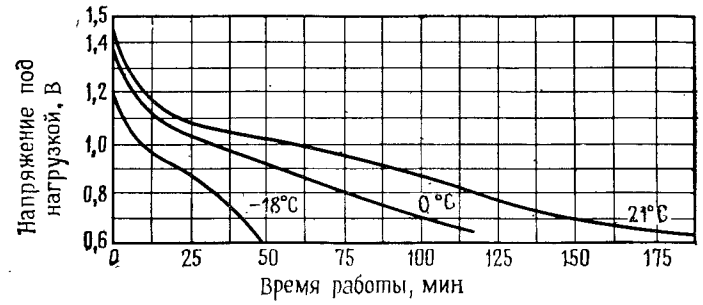


Рис. 2.6. Характеристики угольно-цинкового элемента (типоразмера D), разряжаемого непрерывно при трех различных значениях температуры на резистор при начальном токе 667 мА.

термоизоляция батареи, поскольку в этом случае потребуется некоторое время, чтобы ее температура сравнялась с температурой окружающей среды.

При понижении температуры от 25 до — 20 °С напряжение разомкнутой цепи угольно-цинкового элемента уменьшается со средним коэффициентом 0,0004 В/°С. Для практических целей более важной характеристикой, чем напряжение разомкнутой цепи, является напряжение на клеммах элемента или батареи под нагрузкой. На рис. 2.6 такие характеристики приведены для угольно-цинкового элемента типоразмера D, разряжаемого при трех различных температурах. В каждом случае элемент разряжался непрерывно на нагрузку 2,25 Ом при начальном значении тока 667 мА, что аналогично разряду на лампу накаливания с номинальным током 0,5 А.

В табл. 2.1 показано, как в зависимости от температуры изменяется отдаваемая емкость угольно-цинкового элемента общего назначения типоразмера D при его непрерывном разряде на резистор сопротивлением 2,25 Ом до конечного напряжения 0,9 В. Начальный отбираемый ток равен 667 мА (мгновенное значение). Нагрузка имитирует лампу с номинальным током 0,5 А.

При низких температурах характеристики хлористо-цинкового элемента лучше, чем характеристики стандартного

Таблица 2.1. **Влияние температуры на рабочую емкость угольно-цинковых сухих элементов общего назначения типоразмера D при непрерывном разряде на резистор сопротивлением 2,25 Ом до конечного напряжения 0,9 В**

Температура, °С	Емкость, % (значение при 21 °С=100%)
37,8	140
26,7	110
21,1	100
15,6	90
4,4	70
—6,7	45
—17,8	25
—28,9	0

Таблица 2.2. **Влияние температуры на емкость хлористо-цинковых элементов типоразмера D при разряде на резистор сопротивлением 2,25 Ом до конечного напряжения 0,9 В (режим разряда: 4 мин/ч, 8 ч/день, 16 ч перерыв)**

Температура, °С	Емкость, % (значение при 21 °С=100%)
37,8	115
32,2	110
26,7	105
21,1	100
15,6	95
10,0	90
4,4	85
—1,1	80
—6,7	70
—12,2	60
—17,8	45

угольно-цинкового элемента. В табл. 2.2 показано, как в зависимости от температуры меняется отдаваемая емкость хлористо-цинкового элемента типоразмера D при его разряде на резистор сопротивлением 2,25 Ом по программе упрощенного промышленного испытания в режиме прерывистого разряда. Нагрузка имитирует лампу с номинальным током 0,5 А.

Пониженная температура и даже замораживание не приводят к порче элемента, если последний не подвергать многократным циклическим температурным изменениям — от наиболее низких до наиболее высоких температур. Хранение при пониженных температурах благоприятствует увеличению сохраняемости; рекомендуемая температура хранения составляет 4—10 °С. Если батареи извлекают из низкотемпературного хранилища, их следует оставить в своей упаковке на время, достаточное для того, чтобы они приняли комнатную температуру, во избежание конденсации на них влаги, которая может вызвать утечку электрической энергии и разрушение или отклеивание оболочки батареи.

Внутреннее сопротивление батареи становится важной характеристикой, если устройство, в котором используется батарея, потребляет большие токи в течение коротких промежутков времени. Если внутреннее сопротивление малогабаритного элемента слишком велико, для того чтобы обеспечить требуемый ток, можно использовать элемент больших размеров. Внутреннее сопротивление не подвергавшегося разряду

Таблица 2.3. **Примерные данные о внутреннем сопротивлении стандартных угольно-цинковых и хлористо-цинковых цилиндрических элементов**

Типоразмер элемента согласно стандарту ANSI	Средний ток лампы-вспышки, А		Внутреннее сопротивление, Ом [R=1,5 В/средний ток лампы-вспышки (А)]	
	стандартный угольно-цинковый элемент	хлористо-цинковый элемент	стандартный угольно-цинковый элемент	хлористо-цинковый элемент
N	2,50	—	0,60	—
AAA	3,80	—	0,40	—
AA	5,30	4,50	0,28	0,33
C	3,90	6,50	0,39	0,23
D	5,60	8,50	0,27	0,18
F	9,00	11,30	0,17	0,13
G	12,00	—	0,13	—
6	30,00	—	0,05	—

угольно-цинкового элемента мало, и в большинстве случаев им можно пренебречь. Внутреннее сопротивление может быть измерено в импульсном режиме или по току короткого замыкания, который определяют как максимальный ток, отдаваемый батареей на резистор сопротивлением 0,01 Ом (включая сопротивление измерительного прибора и коротких низкоомных соединительных проводов.). Измеренный таким образом ток не обязательно будет связан с фактической рабочей емкостью батареи, отдаваемой ею при последующем разряде. Величина тока короткого замыкания обычно тем больше, чем больше размеры батареи. В элементах любых размеров ток короткого замыкания может изменяться в зависимости от качества деполяризующей смеси.

Внутреннее сопротивление батареи возрастает при хранении, а также по мере ее использования и при понижении температуры. Во время разряда некоторые компоненты, входящие в состав элемента, превращаются в другие химические вещества с более высоким сопротивлением.

В табл. 2.3 приведены значения внутреннего сопротивления стандартных круглых элементов угольно-цинковой и хлористо-цинковой систем, полученные при помощи вышеупомянутого метода быстрого измерения тока.

Не существует простых или быстрых методов определения времени наработки или емкости сухих батарей, которую они способны отдать в том или ином режиме разряда. Для определения этих характеристик должны проводиться испытания в условиях, достаточно близких к тем, в которых будет использоваться данная батарея. Очень сильно влияет на них график нагрузки и режим разряда, за исключением случаев

отбора очень малых токов. Рабочая емкость батареи, разряжаемой заданным током по 2 ч в день, существенно отличается от емкости той же батареи при разряде по 12 ч в день. Не существует непосредственной связи между емкостью при непрерывном разряде и емкостью при прерывистом разряде. Поэтому невозможно оценивать достоинства различных батарей при работе в режиме прерывистого разряда, сравнивая результаты их испытаний в режиме непрерывного разряда.

Другое заблуждение, касающееся характеристик сухих батарей, состоит в том, что относительное «качество», или рабочую емкость батареи, будто бы можно определить по току короткого замыкания. Это совершенно неверно и в большинстве случаев приводит к результатам, не имеющим ничего общего с действительностью. Так, круглые элементы, предназначенные для работы в фотовспышках и карманных фонариках, имеют одинаковые форму и размер (типоразмер D). Однако элемент, предназначенный для работы в фотовспышке, хотя и может обеспечить вдвое больший ток короткого замыкания, чем элемент для карманного фонарика, при использовании в карманном фонарике будет иметь меньшую длительность работы.

Ток короткого замыкания можно регулировать в широких пределах, изменяя содержание углерода и электролита в деполяризующей смеси (в массе положительного электрода). Углерод не дает никакого вклада в теоретическое значение емкости элемента и используется исключительно для управления внутренним сопротивлением элемента. Более того, увеличение количества углерода в элементе приводит к необходимости уменьшения количества деполяризатора, а это означает, что рабочая емкость уменьшается.

Для того чтобы установить, в каком состоянии находятся сухие батареи, их можно проверить при помощи вольтметра с параллельной нагрузкой. Однако проверка не может дать информации об оставшейся неиспользованной рабочей емкости, если неизвестна точно предыстория батареи и нет возможности сравнить получаемые результаты с результатами проверки других таких же батарей, проработавших в схожих условиях, для которых известна зависимость между остаточной емкостью и текущими показаниями вольтметра с параллельной нагрузкой. Считается, что вольтметр с параллельной нагрузкой является наилучшим средством для оценки текущего состояния батареи. Это связано с тем, что показания одного только вольтметра, присоединенного к клеммам изолированной батареи, не дают информации о внутреннем сопротивлении, а измерения тока короткого замыкания могут привести к выходу батареи из строя.

2.1. УГОЛЬНО-ЦИНКОВЫЕ И ХЛОРИСТО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА UNION CARBIDE

Фирма Union Carbide выпускает широкий ассортимент угольно-цинковых элементов и батарей (табл. 2.4). Номенклатура изделий включает источники тока от индивидуальных

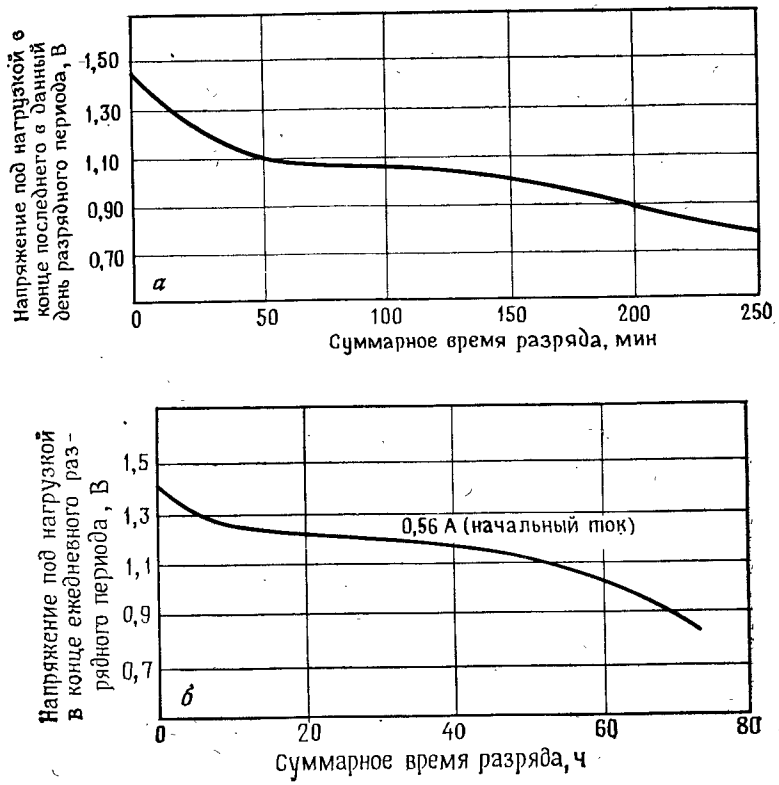


Рис. 2.7. Зависимость напряжения под нагрузкой от суммарной продолжительности разряда угольно-цинковых сухих элементов напряжением 1,5 В типа Hercules и Eveready производства фирмы Union Carbide.

а — элемент типа Hercules HS35, номинальный ток находится в диапазоне 0—80 мА; зависимость получена в результате испытаний гальванических элементов в режиме прерывистого разряда на резистор сопротивлением 4 Ом и следующем ежедневном цикле: 4 мин разряда в начале каждого часового интервала на протяжении восьми часов, 16 ч перерыв и т. д.; *б* — элемент типа Eveready HS6, номинальный ток находится в диапазоне 0—1,5 А; зависимость получена в результате испытаний гальванических элементов в тяжелых условиях работы в режиме прерывистого разряда на резистор сопротивлением 2,67 Ом (имитируется режим работы элементов в устройствах повышенной мощности бытового назначения регулярного использования.— *Прим. ред.*) и следующем ежедневном цикле: 1 ч разряда, 6 ч перерыв, 1 ч разряда, 16 ч перерыв и т. д.

элементов напряжением 1,5 В, рассчитанных на разряд током 0,06—1500 мА, до многоэлементной батареи напряжением 510 В, предназначенной для разряда током до 2,5 мА.

Таблица 2.4. **Угольно-цинковые сухие элементы и батареи Лекланше типа Eveready фирмы Union Carbide**

Марка батареи по мере возрастания емкости	Диапазон токов, мА	Типичные применения	Максимальные размеры, мм: диаметр	длина	ширина	высота	Элемент: число	типоразмер согласно стандарту ANSI	Масса батареи, г	Токовыводы	Приблизительное значение объема батареи, см³	Маркировка напряжения выводов
Батареи напряжением 1,5 В												
201	0–0,06	Электронные часы	11,3			3,3	1	103	1,39	Плоский контакт	0,31	–, +1,5
E340E	0–20	Слуховые аппараты	11,3			80,0	1	N	6,24	То же	2,62	»
904	0–20	Карманные фонари, игрушки	11,3			30,0	1	N	6,24	»	2,62	»
812	0–20	Фотовспышка	10,3			44,5	1	AAA	8,50	»	3,28	»
912	0–20	Карманные фонари	10,3			44,5	1	AAA	8,50	»	3,28	»
815	0–25	Фотовспышка	14,3			50,0	1	AA	17,00	»	7,87	»
HS15	0–25	Карманные фонари	14,3			50,0	1	AA	14,80	»	7,87	»
915	0–25	То же	14,3			50,0	1	AA	14,80	»	7,87	»
1015	0–25	Транзисторный радиоприемник	14,3			50,0	1	AA	17,0	»	7,87	»
1215	0–25	Для любых целей (могут работать в тяжелом режиме)	14,3			50,0	1	AA	15,80	»	7,87	»
T35	0–1	Электронные часы	26,2			49,2	1	C	39,7	»	24,9	»
835	0–80	Фотовспышка	26,2			49,2	1	C	39,7	»	24,9	»
HS35	0–80	Карманные фонари	26,2			49,2	1	C	41,0	»	24,9	»
935	0–80	То же	26,2			49,2	1	C	41,0	»	24,9	»
1035	0–80	Транзисторный радиоприемник	26,2			49,2	1	C	39,7	»	24,9	»
1235	0–80	Для любых целей	26,2			49,2	1	C	45,6	»	24,9	»
T50	0–1	Электрические часы	34,1			61,1	1	D	93,6	»	52,0	»
850	0–150	Фотовспышка	34,1			61,1	1	D	93,6	»	52,0	»
HS50	0–150	Карманные фонари	34,1			61,1	1	D	85,1	»	52,0	»
950	0–150	То же	34,1			61,1	1	D	85,1	»	52,0	»
1050	0–150	Транзисторный радиоприемник	34,1			61,1	1	D	85,1	»	52,0	»
HS150	0–150	Промышленные осветители	34,1			61,1	1	D	85,1	»	52,0	»
1150	0–150	То же	34,1			61,1	1	D	85,1	»	52,3	»
1250	0–150	Для любых целей (могут работать в тяжелом режиме)	34,1			61,1	1	D	93,6	»	52,0	»
W353	0–500	Портативные устройства типа А		65,9	34,9	106,0	2	F	354,0	Штепсельный разъем	243,0	»
711	0–500	Система зажигания		66,7	33,3	102,0	2	F	340,0	Гайка с накаткой и винтом	203,0	»
742	0–1000	Портативные устройства типа А		66,7	66,7	97,6	4	F	624,0	Штепсельный разъем	434,0	»
735	0–1000	Инструменты		66,7	66,7	110,0	4	F	652,0	Гайка с накаткой и винтом	434,0	»
HS6	0–1500	Промышленное использование, для любых целей	66,7			168,0	1	6	907,0	То же	480,0	»
IF6	0–1500	Для любых целей	66,7			172,0	1	6	907,0	Фанштоп	480,0	»
IS6	0–1500	То же	66,7			168,0	1	6	907,0	Гайка с накаткой и винтом	480,0	»
IS6T	0–1500	»	66,7			166,0	1	6	907,0	Латунная гайка с накаткой и винтом, провод	480,0	»
EA6F	0–1500	»	66,7			172,0	1	6	1020,0	Фанштоп	480,0	»
EA6	0–1500	Системы сигнализации	66,7			166,0	1	6	964,0	Латунные гайки с накаткой и винтами	480,0	»
EA6FT	0–1500	То же	66,7			172,0	1	6	964,0	Один контакт (вывод) — фанштоп, другой контакт — провод	480,0	»
EA6ST	0–1500	»	66,7			166,0	1	6	964,0	Один контакт — латунная гайка с накаткой и винтом, другой — провод	480,0	»
Батареи напряжением 3 В												
750	0–25	Плоские карманные фонари		31,0	15,9	67,5	2	AA	56,7	Пружина	26,6	–, +3
W356	0–500	Радиоприемники		66,7	66,7	116,0	4	F	624,0	Гайка с накаткой и винтом	459,0	»
W357	0–1000	Телефонные аппараты		96,0	68,3	148,0	8	F	1250,0	Фанштоп	895,0	»
Батареи напряжением 4,5 В												
703	0–50	Различные устройства		61,9	21,4	77,8	3	B	142,0	Пружина	83,6	–, +4,5
781	0–50	Портативные устройства типа С		61,9	21,4	76,2	3	B	142,0	Гайка с накаткой и винтом	83,6	»
714	0–200	Различные устройства		101,0	34,1	95,3	3	55	383,0	То же	277,0	»
736	0–250	Портативные устройства типа А		100,0	33,3	102,0	3	F	454,0	Штепсельный разъем	339,0	»

Продолжение табл. 2.4

Марка батареи по мере возрастания емкости	Диапазон токов, мА	Типичные применения	Максимальные размеры, мм: диаметр	Максимальные размеры, мм: длина	Максимальные размеры, мм: ширина	Максимальные размеры, мм: высота	Элемент: число	Элемент: типоразмер согласно стандарту ANSI	Масса батареи, г	Токовыводы	Приблизительное значение объема батареи, см³	Маркировка напряжения выводов
Батареи напряжением 6 В												
724	0–25	Портативные устройства типа А		31,0	31,0	59,5	4	AA	70,9	Плоский контакт	55,7	–, +6
509	0–250	Фонарь		66,7	66,7	112,0	4	F	609,0	Спиральная пружина	434,0	»
510F	0–250	Различные устройства		66,7	66,7	112,0	4	F	567,0	Фанштоп	434,0	»
HS10S	0–250	Светильники, различные устройства		66,7	66,7	110,0	4	F	652,0	Гайка с накаткой и винтом	434,0	»
510S	0–250	То же		66,7	66,7	110,0	4	F	652,0	То же	434,0	»
744	0–250	Портативные устройства типа А		66,7	66,7	97,6	4	F	624,0	Штепсельный разъем	434,0	»
HS90	0–250	Производственные светильники		66,7	66,7	112,0	4	F	638,0	Спиральная пружина	434,0	»
1209	0–250	Фонари		66,7	66,7	112,0	4	F	595,0	То же	434,0	»
2744N	0–250	Импульсные светильники предупредительного назначения, различные устройства		66,7	66,7	97,6	4	F	652,0	Штепсельный разъем	447,0	»
2745N	0–250	То же		66,7	66,7	112,0	4	F	652,0	Спиральная пружина	447,0	»
2746N	0–250	Светильники, различные устройства		66,7	66,7	110,0	4	F	652,0	Гайка с накаткой и винтом	447,0	»
HS31	0–500	Светильники		136,0	72,2	125,0	8	F	1470,0	Изолированный винт	1139,0	»
731	0–500	»		136,0	72,2	125,0	8	F	1470,0	То же	1139,0	»
703	0–1000	Устройства аварийного освещения		211,0	71,4	164,0	16	F	2580,0	»	2245,0	»
1 61	0–1500	Система зажигания, светильники		265,0	69,1	183,0	4	6	4200,0	Гайка с накаткой и винтом	3261,0	»
Батареи напряжением 7,5 В												
773	0–50	Портативные устройства типа С		99,2	21,4	76,2	5	B	225,0	Пять гаек с накаткой и винтом, один провод	135,0	+, –1,5; –3; –4,5; –6; –7,5
717	0–70	Портативные устройства типа А		54,8	49,2	77,0	5	172	227,0	Штепсельный разъем	213,0	–, +7,5
715	0–1000	Устройства аварийного освещения		184,0	103,0	164,0	20	F	3460,0	Изолированный винт	2835,0	»
1562	0–1500	Системы зажигания, светильники		199,0	126,0	183,0	5	6	5100,0	Гайка с накаткой и винтом	4474,0	»
Батареи напряжением 9 В												
206	0–7	Транзисторные радиоприемники	19,1			50,8	6	109	34,0	Плоский контакт, отрицательный, углубленный	13,9	–, +9
216	0–15	То же		26,2	16,7	48,4	6	117	42,5	Миниатюрный разъем (типа «Крона»)	19,7	»
1222	0–15	Транзисторные радиоприемники (тяжелый режим)		26,2	17,5	49,2	6	118	42,5	То же	21,0	»
226	0–9	Транзисторные радиоприемники	25,4			49,2	6	127	56,7	»	21,5	»
2709N	0–16	То же		35,7	18,7	119,0	12	117	70,9	»	74,9	»
246	0–15	»		35,7	34,1	69,9	6	148	128,0	»	82,3	»
266	0–20	»		46,0	46,0	61,9	6	165	126,0	»	126,0	»
276	0–30	»		65,1	51,6	80,2	6	175	425,0	»	267,0	»
2356N	0–80	»		55,6	29,4	159,0	54	117 и 118	312,0	»	288,0	»
716	0–80	Устройства аварийного освещения		218,0	103,0	164,0	24	F	3860,0	Гайка с накаткой и винтом	3359,0	»
Батареи напряжением 12 В												
228	0–9	Аппаратура связи	25,4			61,9	8	127	65,2	Миниатюрный разъем (типа «Крона»)	27,5	–, +12
732	0–250	Светильники		136,0	72,2	125,0	8	F	1420,0	Изолированный винт	1139,0	»
2780N	0–250	Устройства импульсного освещения		136,0	72,2	106,0	8	F	1360,0	Штепсельный разъем	1034,0	»
1463	0–600	Щитовый регулятор		265,0	69,1	183,0	16	G	3490,0	Гайка с накаткой и винтом	3261,0	»
1862	0–1500	Импульсные светильники предупредительного назначения		260,0	133,0	168,0	8	6	9530,0	Штепсельный разъем	5834,0	»

Продолжение табл. 2.4

Марка батареи по мере возрастания емкости	Диапазон токов, мА	Типичные применения	Максимальные размеры, мм: диаметр	длина	ширина	высота	Элемент: число	типоразмер согласно стандарту ANSI	Масса батареи, г	Токовыводы	Приблизительное значение объема батареи, см²	Маркировка напряжения выводов
Батареи напряжением 15 В												
504	0—1,5	Устройства нумерации страниц		15,9	15,1	34,9	10	105	17,0	Плоский контакт	8,36	−, +15
411	0—2,5	То же		26,2	15,9	36,9	10	112	26,9	То же	15,6	»
417	0—6	»		33,3	24,6	39,7	10	132	51,0	»	30,6	»
Батареи напряжением 22,5 В												
505	0—1,5	Устройства нумерации страниц		15,9	15,1	50,2	15	105	25,5	Плоский контакт	12,1	−, +22,5
412	0—2,5	То же		26,2	15,9	50,8	15	112	36,9	То же	21,5	»
420	0—6	»		33,3	24,6	55,6	15	132	70,9	»	43,6	»
425P	0—10	Слуховые аппараты		34,5	26,2	100,0	15	135	116,0	Штепсельный разъем	91,0	»
763	0—40	Портативные устройства типа В или С		88,9	53,2	77,8	15	161	397,0	Гайка с накаткой и винтом	303,0	»
778	0—50	Портативные устройства типа С		102,0	61,9	79,4	15	B	567,0	Фаишток	477,0	+, −3; −4,5; −6; −9; −10,5; −16,5; −22,5
Батареи напряжением 30 В												
413	0—25	Устройства нумерации страниц		26,2	15,9	65,1	20	112	454,0	Плоский контакт	26,1	−, +30
Батареи напряжением 45 В												
415	0—4	Портативные устройства типа В		26,6	15,9	93,7	30	112	70,9	Миниатюрный разъем	38,5	−, +45
460	0—6	Устройства для фотографии		48,0	34,9	61,7	30	132	150,0	Плоский контакт	100,0	»
455	0—10	Портативные устройства типа В		67,5	25,4	93,7	30	135	221,0	Миниатюрный разъем	157,0	»
738	0—25	То же		76,2	58,7	105,0	30	AA	539,0	Штепсельный разъем	469,0	−, +22,5; +45
482	0—40	»		91,3	46,8	139,0	30	165	851	То же	597,0	−, +45
762S	0—70	Приборы, портативные устройства типа В		104,0	65,1	138,0	30	172	1250,0	Гайка с накаткой и винтом	872,0	−, +22,5; +45
484	0—70	Портативные устройства типа В		100,0	64,3	135,0	30	172	1420,0	Штепсельный разъем	875,0	−, +45
487	0—80	То же		130,0	52,4	184,0	30	175	1870,0	То же	1256,0	−, +22,5; +45
Батареи напряжением 63 В												
477	0—8	Портативные устройства типа В		48,8	27,0	138,0	42	118	244,0	Миниатюрный разъем	179,0	−, +63
Батареи напряжением 67,5 В												
416	0—3	Портативные устройства типа В		33,7	25,0	88,9	46	114	113,0	Миниатюрный разъем	72,9	−, +67,5
457	0—6	То же		71,4	34,9	63,5	45	132	216,0	То же	155,0	»
467	0—10	»		71,4	34,9	94,1	45	135	340,0	»	233,0	»
Батареи напряжением 69 В												
646	0—30	Светильники		65,1	54,0	206,0	46	155	1450,0	Плоский контакт	721,0	−, +69
Батареи напряжением 90 В												
479	0—8	Портативные устройства типа В		48,8	27,0	190,0	60	118	340,0	Миниатюрный разъем	246,0	−, +90
490	0—10	То же		94,5	34,9	94,1	60	135	425,0	То же	308,0	»

Продолжение табл. 2.4

Марка батареи по мере возрастания емкости	Диапазон токов, мА	Типичные применения	Максимальные размеры, мм: диаметр	длина	ширина	высота	Элемент: число	типоразмер согласно стандарту ANSI	Масса батареи, г	Токовыводы	Приблизительное значение объема батареи, см³	Маркировка напряжения выводов
Батареи напряжением 225 В												
489	0—10	Электронная фотовспышка		110,0	68,3	106,0	152	135	1,25	Штепсельный разъем	810,0	—, +225
Батареи напряжением 240 В												
491	0—2,5	Электронная фотовспышка		65,9	33,3	114,0	160	112	369,0	Плоский углубленный и штепсельный разъем	246,0	—, +240
Батареи напряжением 300 В												
493	0—2,5	Счетчик Гейгера		68,3	56,4	99,2	200	112	411,0	Штифтовый разъем	384,0	—, +300
Батареи напряжением 450 В												
496	0—10	Электронная фотовспышка		172,0	76,2	127,0	300	135	2380,0	Штепсельный разъем	1655,0	—, +450
Батареи напряжением 510 В												
497	0—2,5	Электронная фотовспышка		76,2	40,5	143,0	336	112	737,0	Плоский углубленный	441,0	—, +180; +510

Таблица 2.5. **Среднее время работы угольно-цинковых сухих элементов и батарей Лекланше напряжением 1,5—9 В типа Eveready фирмы Union Carbide при 21 °С**

Марка батареи	Напряжение, В	Режим работы, ч/день	Начальный разрядный ток, мА	Сопротивление нагрузки, Ом	Время работы до конечного напряжения, ч	Диапазон токов, мА
					0,75 В / 0,9 В	
1215	1,5	4	37,5	40,0	33 / 31	0—25
	1,5	4	60,0	25,0	20 / 18	
1235	1,5	4	37,5	40,0	97 / 91	
	1,5	4	60,0	25,0	59 / 55	
H550	1,5	4	60,0	25,0	113 / 100	
1050	1,5	4	18,0	83,3	440 / 400	
					0,8 В / 1,0 В / 1,2 В	
H515 и 915	1,5	2	5,0	300,0	265 / 240 / 145	0—25
	1,5	2	50,0	30,0	14 / 10 / 3,8	
					0,8 В / 1,0 В / 1,2 В	
912	1,5	2	2,0	750,0	350 / 300 / 250	0—20
	1,5	2	100,0	15,0	1,8 / 1,0 / 0,4	
					0,8 В / 1,0 В / 1,2 В	
742	1,5	2	80,0	18,75	490 / 410 / 310	0—1000
	1,5	2	1200,0	1,25	23 / 18 / 6,8	
					0,8 В / 1,0 В / 1,2 В	
950	1,5	2	10,0	150,0	525 / 475 / 430	0—150
	1,5	2	300,0	5,0	11 / 7 / 2	

Продолжение табл. 2.5

Марка батареи	Напряжение, В	Режим работы, ч/день	Начальный разрядный ток, мА	Сопротивление нагрузки, Ом	Время работы до конечного напряжения, ч	Диапазон токов, мА
1F6, 1S6, 1S6T, HS6	1,5 1,5	2 2	60,0 600,0	25,0 2,5	0,8 В 1,0 В 1,2 В 651 610 565 75 54 20	0—1500
HS35, 935	1,5 1,5	2 2	2,5 250,0	600,0 6,0	0,8 В 1,0 В 1,2 В 900 800 680 3,5 1,5 —	0—1500
750	3,0	2 2	5,0 50,0	600,0 60,0	1,6 В 2,0 В 2,4 В 265 240 145 14 10 3,8	0—25
703 и 781	4,5 4,5	2 2	5,0 100,0	900,0 45,0	2,4 В 3,0 В 3,6 В 420 340 250 14,5 9 4,5	0—25
724 744	6,0 6,0	2 4	60,0 60,0	100,0 100,0	3,6 В 4,0 В 4,4 В 17,7 16,5 14,5 155 135 115	0—25
706	6 6	2 2	80,0 1200,0	75,0 5,0	3,6 В 4,0 В 4,4 В 450 410 370 20,5 18 13,8	0—1000
510S HS10S, 510F, 509	6	Разряд 100 мс/с, 24 ч/день, 7 день/неделя, 10 % времени — обеспечение энергии для импульсной лампы	—	Нагрузка состоит из RCR (резистор — конденсатор — резистор)-цепи. Компоненты подобраны так, чтобы обеспечить начальный ток импульса 500 мА при 6 В за 20 мс и сохранение тока на этом уровне в течение оставшегося времени импульса (чтобы имитировать ламповые характеристики)	3,6 В 4,0 В 4,4 В 825	0—250
2744N, 2745N, 2746N	6	Разряд 100 мс/с, 24 ч/день, 7 день/неделя, 10 % времени — обеспечение энергии для импульсной лампы	—	Нагрузка состоит из RCR-цепи. Компоненты выбраны так, чтобы обеспечить начальный ток импульса 500 мА при 6 В за 20 мс и сохранение тока на этом уровне в течение оставшегося времени импульса (чтобы имитировать ламповые характеристики)	875	0—250
1209	6	Разряд 100 мс/с, 24 ч/день, 7 день/неделя, 10 % времени — обеспечение энергии для импульсной лампы	—	Нагрузка состоит из RCR-цепи. Компоненты подобраны так, чтобы обеспечить начальный ток импульса 500 мА при 6 В и сохранение тока на этом уровне в течение оставшегося времени импульса (чтобы имитировать ламповые характеристики)	975	0—250

Продолжение табл. 2.5

Марка батареи	Напряжение, В	Режим работы, ч/день	Начальный разрядный ток, мА	Сопротивление нагрузки, Ом	Время работы до конечного напряжения, ч	Диапазон токов, мА
510S HS105, S10F, 509	6	Разряд 250 мс/с, 24 ч/день, 7 день/неделя, 25 % времени — обеспечение энергии для импульсной лампы	—	Нагрузка состоит из RCR-цепи. Компоненты подобраны так, чтобы обеспечить начальный ток импульса 500 мА, падение до 100 мА при 6 В за 20 мс и сохранение тока на этом уровне в течение оставшегося времени импульса (чтобы имитировать ламповые характеристики)	3,6 В 375	0—250
2744N, 2745N, 2746N	6	Разряд 250 мс/с, 24 ч/день, 7 день/неделя, 25 % времени — обеспечение энергии для импульсной лампы	—	Нагрузка состоит из RCR-цепи. Компоненты подобраны так, чтобы обеспечить начальный ток импульса 500 мА, падение до 100 мА при 6 В за 20 мс и сохранение тока на этом уровне в течение оставшегося времени импульса (чтобы имитировать ламповые характеристики)	3,6 В 400	0—250
1209	6	Разряд 250 мс/с, 24 ч/день, 7 день/неделя, 25 % времени — обеспечение энергии для импульсной лампы	—	Нагрузка состоит из RCR-цепи. Компоненты подобраны так, чтобы обеспечить начальный ток импульса 500 мА, падение до 100 мА при 6 В за 20 мс и сохранение тока на этом уровне в течение оставшегося времени импульса (чтобы имитировать ламповые характеристики)	450	0—250
773	7,5 7,5	2 2	5,0 100,0	1500,0 75,0	4 В 5 В 6,0 В 420 340 250 14,5 9 4,5	0—50
717	7,5 7,5	2 2	10,0 80,0	750,0 94,0	4 В 5 В 6,0 В 485 350 240 50 32 10	0—70
206	9 9	2 2	12,0 16,0	750,0 560,0	4,2 В 5,4 В 6,6 В 40 32 24 27 21	0—7
1222	9	2	12,0	750,0	4,2 В 5,4 В 41 36	0—15
2709N	9 9	2 2	12,0 40,0	750,0 225	3,6 В 4,8 В 20 83 24 19	0—16

Продолжение табл. 2.5

246	9 9	2 2	12,0 18,7	750,0 480,0	4,2 В 165 110	5,4 В 155 100				0—15
266	9 9	4 4	0,5 80,0	18,0 112,5	4,8 В 2400 14,5	6,0 В 1950 8	7,2 В 1400 1,3			0—20
276	9 9	2 2	5 50	1800 180	4,8 В 920 110	6,0 В 800 80	7,2 В 600 38			0—30
2356N	9 9	4 4	15 36	600 250	4,8 В 305 125	6 В 290 115				0—80
716	9 9	2 2	80 1200	112,5 7,5	4,8 В 490 23	6,0 В 410 18	7,2 В 310 6,8			0—1000

Таблица 2.6. **Среднее время работы угольно-цинковых сухих батарей напряжением 12—510 В типа Eveready фирмы Union Carbide при 21 °С**

Марка батареи	Напряжение, В	Режим работы, ч/день	Начальный разрядный ток, мА	Сопротивление нагрузки, Ом	Время работы до конечного напряжения, ч			Диапазон токов, мА
228	12	2	12,0	1 000	5,6 В 59	7,2 В 52	8,8 В 37	0—90
732 и 2780N	12	24	20,0	600	6,4 В 500	8 В 475		0—250
1463	12	24	20,0	600	4 В 2300	7,2 В 1720		0—6 000
504	15 15	2 2	1,0 5,0	150 000 3 000	8 В 1010 11,4	10 В 930 7	12 В 820 3,8	0,1—1,5
411	15 15	2 2	0,1 5,0	150 000 3 000	8 В 1300 24	10 В 1210 18	12 В 1100 5	0—2,5
417	15 15	2 2	0,5 20,0	30 000 750	8 В 720 7,5	10 В 630 4,5	12 В 460 0,8	0—6
778	22,5	2	5,0 100,0	4 500 225	12 В 420 14,5	15 В 340 9	18 В 250 4,5	0—50
420	22,5	2 2	0,5 20,0	45 000 1 130	12 В 720 7,5	15 В 630 4,5	18 В 460 0,8	0—6
412	22,5	2 2	0,1 5,0	225 000 4 500	12 В 1300 24	12 В 1210 18	18 В 1100 5	0—2,5
413	30	4 4	0,2 5,0	150 000 6 000	16 В 760 23	20 В 660 19	24 В 570 13	0—2,5
484 и 762S	45	2 2	10,0 80,0	4 500 562	24 В 485 50	30 В 350 32	36 В 240 10	0—70
460	45	2 2	0,5 20,0	90 000 2 250	24 В 720 7,5	30 В 630 4,5	36 В 460 0,8	0—6

Продолжение табл. 2.

Марка батареи	Напряжение, В	Режим работы, ч/день	Начальный разрядный ток, мА	Сопротивление нагрузки, Ом	Время работы до конечного напряжения, ч	Диапазон токов, мА
455	45	2 2	0,5 35,0	90 000 1 290	24 В 30 В 36 В 920 850 730 7 5,4 0,8	0—10
415	45	2 2	0,1 5,0	450 000 9 000	24 В 30 В 36 В 1300 1210 1100 24 18 5	0—4
477	43	4	8,4	7 500	45 В 49	0—8
416	67,5	2 2	3,37 6,75	20 000 10 000	30 В 45 В 51 В 57 50 42 25 16 9	0—3
467	67,5	2 2	0,5 35,0	135 000 1 929	36 В 45 В 54 В 920 850 730 7 5,4 0,8	0—10
646	69	4 4	19,0 78,0	3 630 885	36,9 46 В 55,2 В 195 140 105 20 15 7,5	0—30
479	90	4	9,0	10 000	48 В 60 В 60 51	0—8
490	90	2	0,5 35,0	180 000 2 570	48 В 60 В 72 В 920 850 730 7 5,4 0,8	0—10
489	225	2	0,5 35,0	450 000 6 430	121,6 В 152 В 182,4 В 920 850 730 7 5,4 0,8	0—10
491	240	2	0,1 5,0	$2,4 \cdot 10^6$ 48 000	128 В 160 В 192 В 1300 1210 1100 24 18 5	0—2,5
493	300	2	0,1 5,0	$3 \cdot 10^6$ 60 000	160 В 200 В 240 В 1300 1210 1100 24 18 5	0—2,5
496	450	2	0,5 35,0	900 000 129 000	240 В 300 В 360 В 920 850 730 7 5,4 0,8	0—10
497	510	2	0,1 5,0	$5,1 \cdot 10^6$ 102 000	269 В 336 В 403 В 1300 1210 1100 24 18 5	0—2,5

Устройства, в которых используются эти батареи, указаны в табл. 2.4.

Для того чтобы облегчить выбор подходящего источника питания среди этих многочисленных типов элементов и батарей, в табл. 2.5 (для источников напряжением 1,5—9 В) и в табл. 2.6 (для источников напряжением 12—510 В) приведены данные о среднем времени работы, полученные при испытаниях в различных режимах разряда. На рис. 2.7 представлены данные о поведении в период разряда элементов типа Eveready и Hercules напряжением 1,5 В при 21 °С. Аналогичные данные для других типов батарей показывают, что время работы может меняться в очень широких пределах в зависимости от типа выбранной батареи и условий ее эксплуатации.

Угольно-цинковые элементы напряжением 1,5 В выпускаются нескольких типоразмеров, определяемых стандартом Американского национального института стандартов (ANSI). В табл. 2.7 показано соответствие марок элементов напряжением 1,5 В типа Eveready, выпускаемых фирмой Union Carbide, типоразмерам согласно стандарту ANSI (см. также табл. 2.4).

Батареи типа Eveready для транзисторных радиоприемников (см. табл. 2.4) обладают очень хорошей нагрузочной способностью. Импеданс батарей мал и остается практически постоянным вплоть до низких конечных напряжений. Батареи отличаются превосходной сохраняемостью. Емкость практически не зависит от графика нагрузки при отборе тока

Таблица 2.7. **Соответствие марок угольно-цинковых сухих элементов Лекланше напряжением 1,5 В выпускаемых фирмой Union Carbide, типоразмерам стандарта ANSI**

Марка элемента	Типоразмер согласно стандарту ANSI	Разрядный ток, А
HS6, 1F6, 1S6, 1S6T, EA6F, EA6, EA6FT, EA6ST	6	0—1,50
HS150, HS50, 1150, 8500001, T50, 1050, 950, 1250 *	D	0—0,15
HS35, 935, T35, 835, 1035, 1235 *	C	0—0,08
HS15, 815, 915, 1015, 1215 *	AA	0—0,025
904	N	0—0,02
201	WO	0—0,06
812, 912	AAA	0—0,02
E340E	N	0—0,02

* Хлористо-цинковый элемент.

Таблица 2.8. **Сохраняемость емкости угольно-цинковых элементов Лекланше фирмы Union Carbide**

Элемент	Начальный разрядный ток, мА	Сохраняемость емкости, ч	Элемент	Начальный разрядный ток, мА	Сохраняемость емкости, ч
N	1,5 7,5 15,0	320 60 20	114	0,7 3,5 7,0	300 57 25
AAA	2,0 10,0 20,0	350 54 21	117	0,8 4,0 8,0	475 98 49
AA	3,0 15,0 30,0	450 80 32	118	0,8 4,0 8,0	525 110 54
B	5,0 25,0 50,0	420 85 32	127	1,0 5,0 10,0	475 150 72
C	5,0 25,0 50,0	520 115 53	132	1,3 6,5 13,0	275 40 16
D	10,0 50,0 100,0	525 125 57	135	1,3 6,5 13,0	550 108 52
F	15,0 75,0 150,0	630 135 60	148	2,0 10,0 20,0	610 150 60
G	15,0 75,0 150,0	950 190 78	155	5,0 15,0 30,0	620 170 74
6	50,0 250,0 500,0	750 210 95	161	3,0 15,0 30,0	500 120 55
55	15,0 75,0 150,0	635 138 61	165	3,0 15,0 30,0	770 200 90
105	0,4 2,0 4,0	210 30 8	172	5,0 25,0 50,0	780 200 90
109	0,6 3,0 6,0	710 155 75	175	5,0 25,0 50,0	1000 260 110
112	0,7 3,5 7,0	210 35 12			

Таблица 2.9. **Основные характеристики наиболее широко используемых угольно-цинковых элементов и батарей Лекланше**

Обозначение элемента согласно стандарту ANSI	Применения	Сопротивление нагрузки, Ом	Контрольные параметры для оценки возможности указанного применения: напряжение под нагрузкой (процент напряжения, указанного на этикетке)	Контрольные параметры для оценки возможности указанного применения: значение тока, А (допускаются только быстрый контроль и моментальное отключение)
AAA	Световые указки	3,0	0—60, заменить 61—71, слабый 72—105, хороший	
AA	Игрушки, часы, фотовспышки, кинокамеры	2,25	0—60, заменить 61—71, слабый 72—105, хороший	
AA	Транзисторные радиоприемники	10,0	0—60, заменить 61—71, слабый 72—105, хороший	
C	Игрушки, часы, фотовспышки, карманные фонари, кинокамеры	2,25	0—60, заменить 61—71, слабый 72—105, хороший	
C	Транзисторные радиоприемники	10,0	0—60, заменить 61—71, слабый 72—105, хороший	
D	Игрушки, часы, фотовспышки, карманные фонари, кинокамеры	2,25	0—60, заменить 61—71, слабый 72—105, хороший	
D	Транзисторные приемники	10,0	0—60, заменить 61—71, слабый 72—105, хороший	
N	Световые указки	3,0	0—60, заменить 61—71, слабый 72—105, хороший	
6 V	Фонари	5,0	0—60, заменить 61—71, слабый 72—105, хороший	
9 V	Транзисторные радиоприемники	250	0—60, заменить 61—71, слабый 72—105, хороший	
AAA	Фотоаппараты	0,01 (полное сопротивление, измеренное при непосредственном подсоединении выводов элемента к выводам тестера)		1—3,8
AA	То же	То же		3—6,5
C	»	»		4—9
D	»	»		10—13,5

в течение 2—6 ч/день. Конструкция батарей типа Eveready обеспечивает сохранение работоспособности в следующих экстремальных условиях испытаний:

1) продолжительное короткое замыкание,
2) непрерывный разряд,
3) хранение при высокой температуре,
4) хранение при высокой температуре и высокой влажности,
5) удары и вибрации,
6) периодическое изменение температуры от —28,9 до + 60 °С.

Емкость в ампер-часах угольно-цинковой сухой батареи, как уже упоминалось, не является строго фиксированной величиной. Она зависит от величины отбираемого тока, графика нагрузки, конечного напряжения, температуры и длительности хранения батареи до использования. Приближенные величины рабочей емкости для каждого из элементов, использованных в батареях, описанных в табл. 2.4, приведены в табл. 2.8 для трех различных режимов отбора тока. Эти данные относятся к свежеизготовленным батареям, разряжаемым при 21 °С в течение 2 ч/день; конечное напряжение для всех элементов с номинальным напряжением 1,5 В принято равным 0,8 В, что соответствует обычным величинам конечных напряжений для реально используемых элементов. Данные в табл. 2.8 основаны на измерении величины начального отбираемого тока и поведении элемента при разряде на постоянное сопротивление. Исходя из напряжения батареи и общего числа составляющих ее элементов, можно определить, сколько элементов напряжением 1,5 В включено параллельно или последовательно. Рабочая емкость дается для одиночного элемента напряжением 1,5 В. Если в батарее применено параллельное включение элементов, то разделив величину тока, отбираемого от батареи, на число параллельно включенных цепочек элементов, получим значение тока, на основании которого по табл. 2.8 можно определить длительность работы батареи.

В табл. 2.9 приведены наиболее распространенные батареи, типичные устройства, в которых они используются, а также допустимые сопротивления нагрузки, напряжения под нагрузкой и токи короткого замыкания, которые должна обеспечивать исправная батарея при проверке.

2.2. ДРУГИЕ ФИРМЫ, ВЫПУСКАЮЩИЕ УГОЛЬНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ

В настоящем разделе приведены данные о некоторых основных производителях источников тока рассматриваемого типа.

Ever Ready (BEREC), Великобритания.

Таблица 2.10. **Угольно-цинковые сухие элементы и батареи фирмы Ever Ready (BEREC)**

Обозначение по каталогу	Напряжение, В	Диаметр, мм	Высота, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Примечания
Элементы высокой мощности						
HP2	1,5	34,2	61,8			Газовые зажигалки
HP11	1,5	26,2	50,0			То же
HP7	1,5	14,5	50,5			
HP16	1,5	10,5	45,0			
HP992	6,0		109,0	67,0	67,0	
HP1	12,0		136,5	133,5	683,0	
HP16	1,5	45,0	10,5			Фотоаппараты, освещение, системы охранной сигнализации
HP1	12,0		136,5	133,5	68,3	
Сборки (батареи)						
PP1	6,0		55,6	65,1	55,6	
PP3-P	9,0		48,5	26,5	17,5	
PP3	9,0		48,5	26,5	17,5	
PP4	9,0	25,5	50,0			
PP6	9,0		70,0	36,0	34,5	
PP7	9,0		61,9	46,0	46,0	
PP8	6,0		200,8	65,1	51,6	
PP9	9,0		81,0	66,0	52,0	
PP10	9,0		226,0	66,0	66,0	
PP11	4,5 + 4,5 (последовательное или параллельное соединение)		91,3	65,1	52,4	
Батареи для фотографии						
B121	15,0		37,0	27,0	16,0	
B122	22,5		51,0	27,0	16,0	
B123	30,0		65,0	27,0	16,0	
B154	15,0		35,0	16,0	16,0	
B155	22,5		51,0	16,0	16,0	
Батареи для систем охранной сигнализации и аварийного освещения						
AD28	4,5		106,0	102,0	35,0	
126	4,5		91,3	103,2	34,9	
D23	1,5	12,0	30,1			

Продолжение табл. 2.10

Обозначение по каталогу	Напряжение, В	Диаметр, мм	Высота, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Примечания
Батареи для ламповых радиоприемников						
B101	67,5		95,0	71,0	35,0	
B126	90,0		100,0	71,0	50,0	
AD4	1,5		103,0	67,0	67,0	
AD28	4,5		106,0	102,0	35,0	
AD55	1,5		38,1	79,4	66,7	
Батареи для фонарей						
P5996	6,0		102,0	67,0	67,0	
991	6,0		125,4	135,7	72,2	
Батареи для «электропастуха»						
R1585	7,5		196,8	198,4	96,8	
A0300	7,2	182,4	193,7			
PP8	6,0		200,8	65,1	51,6	
Батареи для часов на транзисторах						
C11	1,5	26,2	50,0			
Батареи для калькуляторов						
C7	1,5	14,5				
PP3-C	9,0		48,5	26,5	17,5	
Батарея для газовых зажигалок						
U14	1,5	51,2	109,5			
Батареи для осветительных приборов						
SP2	1,5	34,2	61,8			
No.8	3,0	21,5	74,0			
SP11	1,5	26,2	50,0			
800	3,0		81,0	68,3	36,5	
U16	1,5	10,5	45,0			
1289	4,5		67,0	62,0	22,0	

Данные об изготовляемых этой фирмой сухих угольно-цинковых элементах и батареях напряжением от 1,5 до 90 В приведены в табл. 2.10.

Crompton Vidor, Великобритания.

Фирма Crompton Vidor изготавливает сухие элементы и батареи, которые могут быть использованы в радиоаппаратуре, для приведения в действие предупредительной дорожной сигнализации, для освещения, охранной и противопожарной сигнализации. В качестве других примеров использования можно привести галетную батарею типа V22 напряжением

15 В, специально разработанную для питания индуктивно-емкостного генератора искры в электронной зажигалке, и источник высокого напряжения L120—1196, предназначенный для использования в масс-спектрометрах и других устройствах, где требуется стабильный и малошумящий источник высокого напряжения.

Батарея L12—1470 напряжением 12 В и массой ~1,14 кг рекомендуется для применения в охранной и противопожарной сигнализации, в переносных флюоресцентных осветителях, для приведения в действие небольших электродвигателей постоянного тока, для питания переносных телевизионных приемников и электронных игрушек.

Батарея высокой мощности HP 992 напряжением 6 В изготавливается специально для использования в устройствах охранной сигнализации и имеет следующие отличительные черты:

1) большую мощность,

2) выводы с резьбой и гайками из изолирующего материала обеспечивают простоту и универсальность подсоединения к цепи,

3) в качестве конструкционных материалов использованы полимеры, что исключает протекание электролита и проникновение влаги внутрь элемента.

Эта батарея применяется в системах автоматической охраны, например в дверных замках, а также в спидометрах, морских переносных фонарях, игрушках и в качестве лабораторных источников тока.

Батарея L 12—150 напряжением 12 В и массой ~1,05 кг, согласно документации, обладает хорошей сохраняемостью. Внутренняя герметизация всего блока элементов препятствует проникновению влаги; батарея может быть использована в течение более длительного времени при повышенных значениях отбираемого тока. Она может быть применена в охранных и противопожарных системах, переносных флюоресцентных фонарях, для питания небольших электродвигателей постоянного тока, телевизионных переносных приемников и игрушек.

VARTA, ФРГ

Типы батарей, выпускаемых фирмой *VARTA*, представлены в табл. 2.11. Фирма изготавливает также хлористо-цинковые элементы напряжением 1,5 В (типа Super Dry 280—282). Выпускается также дисковый угольно-цинковый элемент типа 246 напряжением 1,5 В.

Yuasa, Япония

Фирма Yuasa производит две серии угольно-цинковых сухих элементов: Golden G Hi Capacity и Standard Diamond. В табл. 2.12 приведены марки выпускаемых батарей обеих

Таблица 2.11. **Угольно-цинковые сухие элементы и батареи фирмы VARTA**

Источники тока	Напряжение, В	Эквивалентный тип Eveready (см. табл. 2.4)	Источники тока	Напряжение, В	Эквивалентный тип Eveready (см. табл. 2.4)
Обычные, средней мощности (SP)			245	1,5	D23
211	1,5	U2	434	6,0	PX23
212 *	1,5	SP2	74	15,0	B154
213 *	1,5	SP11	72 *	22,5	B122
214	1,5	U11	28	9,0	PP6
251	1,5	U12	29 *	9,0	PP4
201	4,5	1289	438 *	9,0	PP3
259	3,0	No.8	439 *	9,0	PP9
430 (PJ430)	6,0	996 (PJ996)	489	9,0	PP7
Высокой мощности (HP)					
232 *	1,5	HP2	Для больших разрядных токов		
233 *	1,5	HP11	222 *	1,5	—
244	1,5	HP7	236	1,5	—
			239	1,5	HP16

* В стальной оболочке.

Таблица 2.12. **Угольно-цинковые сухие элементы фирмы Yuasa**

	Источники тока	Номинальное напряжение, В	Размеры, мм: диаметр	Размеры, мм: высота	Материал оболочки	МЭК	Эквивалентные батареи: Ray-O-Vac	Эквивалентные батареи: Eveready (Union Carbide)	Эквивалентные батареи: Ever Ready (BEREC)
Стандартная серия Diamond	UM-1	1,5	33	60	Металл	R20	2D	950	U2, PLU2
	UM-2	1,5	26	49	»	R14	1C	935	U11
	UM-3	1,5	14	50	Бумага	R6	7R	915	U12
	006P	9,0	17	49	Металл	6F22	1604	216	PP3
Hi Capacity Golden G (с повышенной емкостью)	SUM 1G	1,5	33	60	Металл	R20	13	1050	HP2, PP12
	SUM-2G	1,5	26	49	»	R14	14	1035	HP11, PP13
	SUM-3G	1,5	14	50	»	R6	15	1015	H97, PP14
	SUM-4G	1,5	10	44	Бумага	R03	400	912	U16

серий, их аналоги, выпускаемые фирмами Union Carbide, BEREC, а также эквивалентные батареи типа Ray-O-Vac.

На рис. 2.8 дано сравнение времени наработки в различных условиях эксплуатации стандартного элемента UM-1 и элемента SUM-1 G Hi Capacity производства фирмы Yuasa.

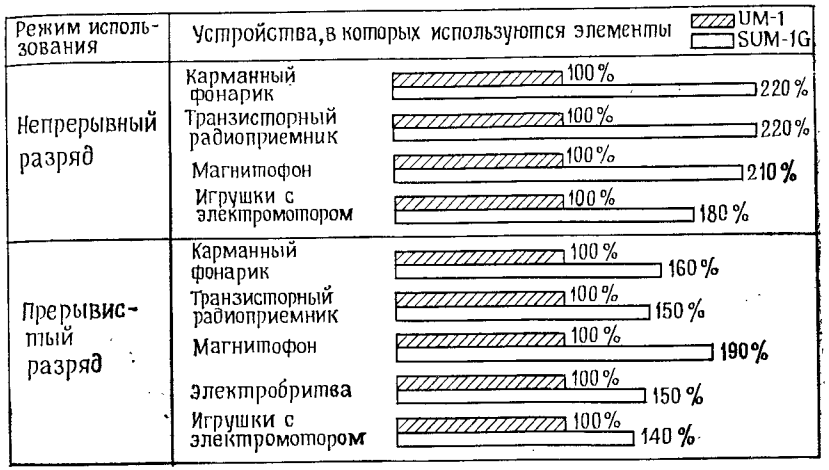


Рис. 2.8. Сравнение времени наработки угольно-цинковых элементов стандартной серии производства фирмы Yuasa и серии Hi Capacity при одинаковых размерах элементов. (Срок службы элемента UM-1 принят за 100 %.)

Видно, насколько длительность работы второго из указанных элементов больше, чем длительность работы первого при использовании в устройствах с непрерывным и прерывистым отбором тока.

Описанные в этой главе типы угольно-цинковых батарей являются лишь отдельными представителями многочисленных типов источников тока, выпускаемых разными, в том числе и не упомянутыми здесь фирмами.

3

ЩЕЛОЧНЫЕ МАРГАНЦЕВО-ЦИНКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Основное преимущество щелочных марганцево-цинковых элементов по сравнению со стандартными угольно-цинковыми элементами проявляется при использовании их в качестве мощных источников тока. Рассматриваемые здесь элементы удовлетворяют все возрастающую потребность в источниках энергии, способных работать при больших величинах отбираемого тока. (Промышленное производство щелочных марганцево-цинковых элементов удалось освоить только начиная с 1960 г.)

Щелочные марганцево-цинковые элементы отличаются малой поляризуемостью электродов. Они очень хорошо работают в режимах с непрерывным отбором тока и с отбором больших токов и имеют явное преимущество перед угольно-цинковыми батареями по такому параметру, как отношение удельной емкости к стоимости единичного элемента. Щелочные марганцево-цинковые элементы, а также ртутные элементы (о них речь пойдет в гл. 4) превосходят угольно-цинковые батареи и по времени работы.

Щелочные марганцево-цинковые сухие батареи и элементы производятся различными фирмами как в виде первичных элементов, так и в перезаряжаемых вариантах. Перезаряжаемые щелочные батареи выпускает, например, фирма Union Carbide (см. вышеупомянутую книгу Т. Кромптона).

Можно считать, что в устройствах, где не предъявляется особых требований к стабильности напряжения и размерам источника питания, предпочтительнее применять щелочные марганцево-цинковые батареи, а не более дорогие ртутные. Оба этих вида батарей обладают хорошей сохраняемостью, их конструкция обеспечивает удаление газообразных продуктов саморазряда, а коррозия цинкового электрода снижена. Стабильность напряжения у щелочных батарей (но-

минальное значение составляет 1,5 В на элемент) ниже, чем у ртутных, однако все же выше, чем у угольно-цинковых батарей. Щелочные марганцево-цинковые батареи способны обеспечивать большие токи в течение длительных промежутков времени, что дает возможность использовать их в устройствах с большими пиковыми нагрузками. Они могут успешно работать в температурном интервале от —20 до +70 °С, а в определенных случаях и при более высоких температурах.

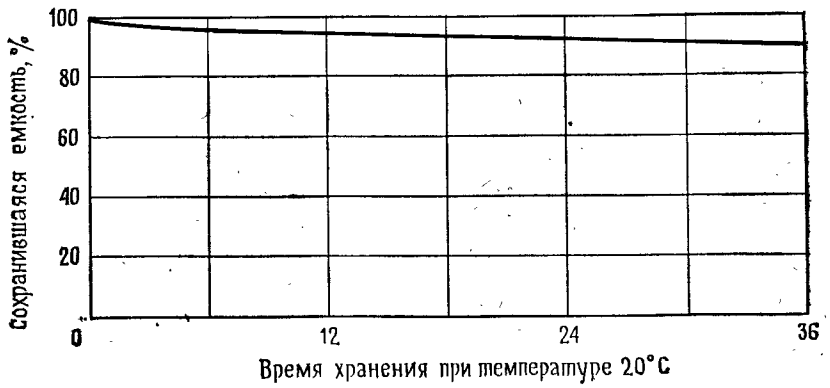


Рис. 3.1. Типичная характеристика сохраняемости щелочных марганцево-цинковых элементов. (Элемент типа MN 1500, режим испытаний — разряд на сопротивление 25 Ом при 20 °С.)

Щелочные марганцево-цинковые батареи могут храниться в течение 30 мес без существенного уменьшения первоначальной емкости. Например, после 12-месячного хранения при 20 °С эти батареи способны обеспечить более 92% первоначальной емкости. Лучшие из батарей этого типа сохраняют ~80% первоначального значения емкости после четырех лет хранения при 20 °С. Типичная характеристика сохраняемости марганцево-цинковых батарей приведена на рис. 3.1.

Щелочные марганцево-цинковые батареи и элементы выпускаются в цилиндрических и дисковых модификациях. Внутренние стаканчики и внешние цилиндрические оболочки не участвуют в электрохимических реакциях, происходящих в элементе. В элементах цилиндрической конструкции положительный вывод имеет форму цилиндрического выступа (выдавки) в металлической шайбе, контактирующей с деполяризатором через стальную оболочку, в которую деполяризатор запрессован. Деполяризатор (катод) представляет собой спрессованную смесь двуокиси марганца и графита. В качестве электролита используется раствор КОН. В больших по

размеру элементах цилиндрического типа отрицательный полюс в нижней части элемента соединен с цинковым анодом (имеющим большую площадь поверхности) при помощи токового коллектора. Такая конструкция обеспечивает большую

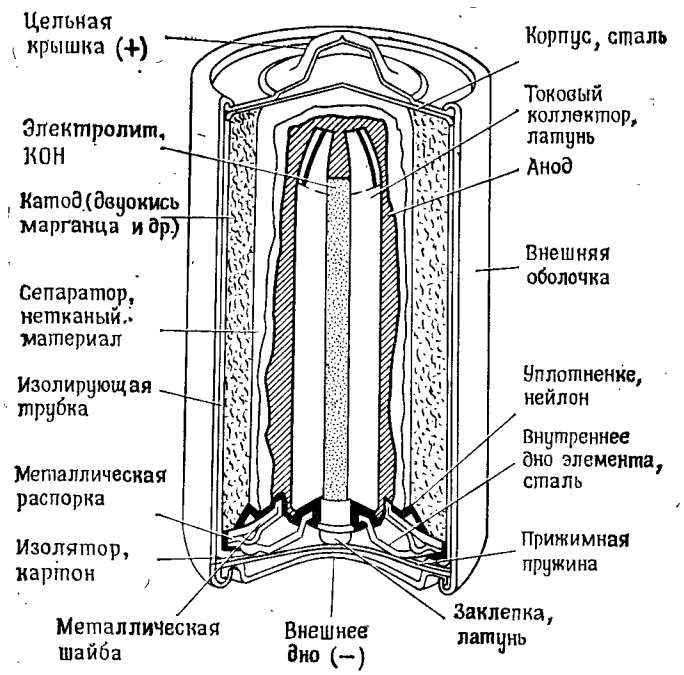


Рис. 3.2. Конструкция щелочного марганцево-цинкового элемента производства фирмы Union Carbide.

Анод выполняется из порошкообразного цинка. Внешняя оболочка изготавливается из луженой стали; на оболочку наносятся надписи литографским способом. Прижимная пружина изготавливается из пружинной стали с гальваническим покрытием, внешнее дно – из стали с гальваническим покрытием. Изолирующая трубка выполняется из крафт-бумаги с полиэтиленовым покрытием. Для изготовления крышки с положительным выводом служит сталь с гальваническим покрытием.

плотность тока в расчете на единицу объема активных материалов. Цилиндрические элементы снабжаются внешней металлической оболочкой, которая электрически изолирована от внутреннего стаканчика.

Типичная конструкция щелочного марганцево-цинкового элемента показана на рис. 3.2. Этот элемент отличается от угольно-цинкового элемента прежде всего тем, что в качестве электролита вместо раствора хлористого аммония или хлористого цинка используется раствор сильной щелочи. Двумя основными отличительными особенностями щелочного марганцево-цинкового элемента являются: сильно спрессованный катод из двуокиси марганца, находящийся в контакте

со стальным стаканчиком, который служит в качестве катодного токового коллектора, и цинковый анод с сильно развитой поверхностью, находящейся в контакте с электролитом. Эти особенности в сочетании с использованием высокоэлектропроводного раствора КОН обеспечивают характерные для этих батарей очень низкое значение внутреннего сопротивления, малый импеданс и большую разрядную емкость. Элементы загерметизированы и заключены в стальные оболочки. Емкость в ампер-часах остается относительно постоянной в широком интервале величин отбираемого тока и при различных графиках нагрузки.

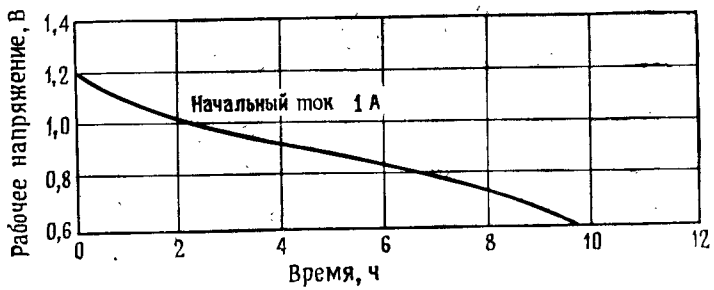


Рис. 3.3. Характеристика щелочной марганцево-цинковой батареи (элемент типоразмера D) при непрерывном разряде на постоянный резистор.

Напряжение щелочных марганцево-цинковых элементов стандартных типоразмеров N, AAA, AA, C и D равно 1,5 В. Выпускаются также батареи напряжением до 9 В при различных значениях емкости. Напряжение щелочного марганцево-цинкового элемента под нагрузкой постепенно падает по мере разряда (рис. 3.3).

Одно из свойств щелочных марганцево-цинковых элементов аналогично свойству угольно-цинковых элементов: расчетное время работы (в часах) тем выше, чем ниже конечное напряжение. Следует добиваться как можно более низкого конечного напряжения, для того чтобы полностью использовать высокую энергию, содержащуюся в элементах этого типа. Разрядная емкость остается относительно постоянной при различных графиках разряда. Изменение величины отбираемого тока меньше влияет на отдаваемую емкость, чем в случае угольно-цинковых элементов. Элементы и батареи изготавливаются с величиной емкости от нескольких сотен миллиампер-часов до десятков ампер-часов, причем конкретное значение емкости зависит от отбираемого тока и конечного напряжения.

Щелочные марганцево-цинковые батареи предназначены для использования в устройствах, где требуются источники

питания большой мощности или источники, имеющие более длительное время работы по сравнению с угольно-цинковыми батареями. Полный запас энергии щелочных марганцево-цинковых батарей на 50—100 % превышает запас энергии обычных угольно-цинковых батарей тех же размеров. Удельная энергия элементов различных типов производства фирмы Union Carbide превышает удельную энергию угольно-цинковых элементов тех же размеров. У обычных угольно-цинковых батарей при работе в режиме с отбором большого тока

Рис. 3.4. Сравнение разрядных характеристик щелочного двуокисномарганцевого и угольно-цинкового элементов типоразмера D в режиме непрерывного разряда на постоянный резистор при начальном токе 500 мА и 21 °С.

или при непрерывном разряде в тяжелых режимах коэффициент использования активных материалов настолько ухудшается, что только небольшая доля содержащегося в них запаса энергии может быть извлечена и использована. Основное преимущество щелочных марганцево-цинковых батарей заключается именно в высокой мощности при разряде в непрерывном или тяжелом режиме, когда угольно-цинковые батареи перестают удовлетворять предъявляемым к источнику питания требованиям. При определенных условиях щелочные марганцево-цинковые батареи обеспечивают в семь раз большую длительность работы, чем стандартные угольно-цинковые батареи. Разрядные характеристики этих двух типов батарей приведены на рис. 3.4.

Хотя щелочные марганцево-цинковые батареи по своим техническим характеристикам превосходят угольно-цинковые при любых режимах работы, может оказаться, что в экономическом отношении они не будут иметь преимуществ в режимах с отбором малого тока, при прерывистом разряде или в комбинированном режиме. Например, при прерывистом разряде токами ниже ~300 мА щелочной марганцево-цинковый элемент типоразмера D, хотя и обладает очень хорошими

техническими характеристиками, теряет экономические преимущества перед угольно-цинковым элементом.

Щелочные марганцево-цинковые первичные батареи идеально приспособлены для использования во многих типах аппаратуры с батарейным питанием. В качестве примера можно указать следующие приборы и устройства: фонари повышенной мощности; транзисторные радиоприемники, в частности с большим потреблением тока; электробритвы; электронные фотовспышки с преобразователем, питающимся от низковольтной батареи; кинокамеры; фотовспышки с питанием от высоковольтной батареи; радиоуправляемые модели самолетов и судов; систему зажигания (в двигателях моделей самолетов); игрушки; кассетные магнитофоны; любые другие устройства, где требуется длительный разряд с отбором большого тока.

Более того, характеристики этих батарей таковы, что становится возможным создание устройств, появление которых до недавнего времени казалось нереальным из-за отсутствия подходящего источника энергии.

В радиоприемниках щелочные марганцево-цинковые батареи служат обычно вдвое дольше, чем стандартные угольно-цинковые батареи. В игрушках с батарейным питанием марганцево-цинковые батареи работают иногда в семь раз дольше, чем угольно-цинковые. Щелочные марганцево-цинковые батареи являются превосходным источником питания для фотовспышек. Они не только способны отдавать большие токи, но и обладают более высоким запасом энергии, чем стандартные угольно-цинковые батареи, предназначенные для питания фотовспышек. В некоторых устройствах электронных фотовспышек используется преобразователь с транзисторным или механическим прерывателем для преобразования постоянного низкого напряжения в высокое, необходимое для заряда конденсатора фотовспышки. Отбираемые при этом токи оказываются на пределе возможностей даже для сильноточных батарей, предназначенных для фотовспышек. Щелочные марганцево-цинковые батареи обеспечивают и достаточно короткое время между двумя последовательными разрядами, и увеличение в 2—3 раза количества разрядов фотовспышки по сравнению с угольно-цинковыми батареями, служащими для той же цели, или угольно-цинковыми батареями общего назначения. Такое улучшение характеристик стало возможным благодаря необычной конструкции элемента, которая обеспечивает очень низкое внутреннее сопротивление, позволяющее отбирать энергию более интенсивно по сравнению со стандартным угольно-цинковым элементом.

Таблица 3.1. **Характеристики щелочных марганцево-цинковых элементов и батарей типа Eveready, производимых фирмой Union Carbide**

Марка элемента (батареи)	Рекомендуемый диапазон токов разряда, мА	Обозначение согласно стандарту ANSI	Обозначение, принятое МЭК	Напряжение, В	Масса, г	Объем, см³	Количество элементов в батарее	Режим разряда, ч/день	Начальный ток, мА	Сопротивление нагрузки, Ом	Ожидаемое время работы при 21 °С до достижения конечного напряжения, ч	Высота, мм	Длина, мм
EPX825 (дисковый)	0—10	—	—	1,5	6,9	2,0	1	Непрерывный	10,0	150	0,8 В 1,2 В 17 7	5,79	22,9
E90 (цилиндрический)	0—85	—	—	1,5	9,9	2,8	1	16 4	6,0 37,5	250 40	0,75 В 0,9 В — 120 21 180	11,7	30,2
E189 (цилиндрический)	0—85	—	—	1,5	11,3	4,4	1	16 4	10,0 12,0	150 250	0,9 В 83 63	27,6	14,3
E92 (цилиндрический)	0—175	L30	—	1,5	11,3	3,29	1	24 4	150,0 37,5	4 40	0,75 В 1,1 В 2 22 25 22	44,3	10,4
E91 (цилиндрический)	0—250	L40	LR6	1,5	21,3	7,19	1	24 4	0,25 375,0	6000 40	0,75 В 0,8 В 0,9 В 1,0 В 280 дней 225 дней 60 51	50,0	14,3
E93 (цилиндрический)	0—480	L70	LR14	1,5	62,4	24,9	2	24 24 4 4	15,0 1500,0 18,0 60,0	100 1 83,3 25	0,8 В 1,10 В 1,2 В 380 295 205 110 0,4 — 300 260 170 92 78 42		
A595 и E95 (цилиндрический)	0—650	L90	LR20	1,5	128,0	52,0	1	24	10,0 3000,0	150 0,5	0,8 В 1,0 В 1,2 В 1150 910 700 1,4 0,2 —		
EPX30 (дисковый)	0—10	—	—	3,0	14,3	5,0	2	Непрерывный	10,0	300	1,6 В 2,4 В 17 7		
532 (цилиндрический)	0—70	—	—	3,0	22,7	7,3	2	4	20,0 60,0	150 50	1,8 В 35 10		
538 (цилиндрический)	0—10	—	—	4,5	12,8	6,6	3	Непрерывный	18,0	250	2,5 В 7,5		
523 (цилиндрический)	0—70	—	—	4,5	33,2	11,0	3	4	9,0 60,0	500 75	2,7 В 80 10		
531 (цилиндрический)	0—70	—	—	4,5	35,4	11,0	3	4	9,0 60,0	500 75	2,7 В 80 10		
537 (цилиндрический)	0—10	—	—	6,0	14,2	3,3	4	Непрерывный	2,5	2400	3,6 В 31		
539 (цилиндрический)	0—100	—	—	6,0	31,0	16,4	4	4 1/2	18,0 60,0 180,0	333 100 33,3	3,3 В 4,6 В 30,5 18,3 8,7 4 2,3 0,6		
520 (прямоугольный)	0—1300	—	—	6,0	1130,0	883,0	4	24	30,0 3000,0	200 2	3,2 В 4,0 В 4,4 В 775 560 505 5 2,8 0,6		
522 (прямоугольный)	0—100	—	—	9,0	45,0	21,0	6	4 1/2	18,0 60,0	500 150	4,2 В 5,4 В 33 28 9 9		

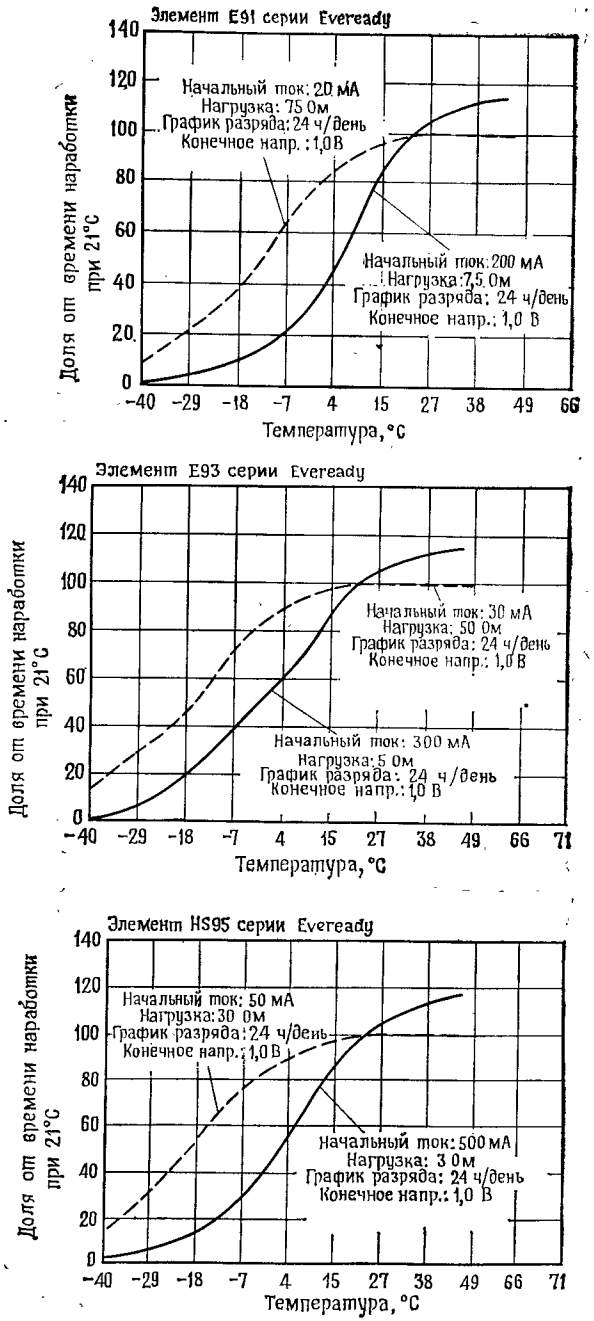


Рис. 3.5. Влияние температуры на длительность работы щелочных марганцево-цинковых элементов напряжением 1,5 В производства фирмы Union Carbide (за 100 % принято время наработки при 21 °С).

3.1. ЩЕЛОЧНЫЕ МАРГАНЦЕВО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ UNION CARBIDE

Подробные характеристики элементов и батарей типа Eveready напряжением 1,5—9 В, выпускаемых фирмой Union Carbide, приведены в табл. 3.1, куда включены также оценочные данные о длительности работы этих батарей при 21 °С. Влияние рабочей температуры на внутреннее сопротивление этих батарей (на примере батарей E93 напряжением 1,5 В) показано в табл. 3.2.

Таблица 3.2. **Влияние температуры на внутреннее сопротивление элемента типа Eveready напряжением 1,5 В (E93) производства Union Carbide**

Температура, °С	Внутреннее сопротивление, Ом
21	0,18
0	0,24
—6,7	0,31
—17,8	0,46
—28,9	0,74
—40	1,14

Рис. 3.5 дает представление о влиянии рабочей температуры на длительность работы трех элементов напряжением 1,5 В типа Eveready. Из рисунка следует, что понижение температуры от 21 до —2 ÷ +4 °С уменьшает достижимую длительность работы примерно вдвое.

3.2. ЩЕЛОЧНЫЕ МАРГАНЦЕВО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ MALLORY

Подробные данные обо всей серии батарей Duracell фирмы Mallory, включая время работы и импеданс, приведены в табл. 3.3. Эти батареи имеют емкость от 300 до 10 000 мА·ч. На рис. 3.6 и 3.7 даны типичные разрядные характеристики всей серии элементов и батарей Duracell, охватывающей интервал напряжений 1,5—9,0 В, а на рис. 3.8 и 3.9 показано влияние сопротивления нагрузки на длительность работы при 20 °С.

Различные фирмы — изготовители батарей выпускают под собственными названиями щелочные марганцево-цинковые батареи, которые на поверку оказываются одинаковыми. Приводимая на стр. 92 таблица иллюстрирует это положение, касающееся фирм Mallory, VARTA и BEREC.

Таблица 3.3. **Характеристики щелочных марганцево-цинковых сухих элементов и батарей серии Duracell производства фирмы Mallory**

Марка элемента (батареи)	Обозначение, принятое МЭК	Напряжение, В	Масса, г	Объем, см³	Количество элементов в батарее	Емкость при 20 °С, мА·ч	Время работы при 20 °С при нижеуказанных условиях: начальный ток, мА	сопротивление нагрузки ($R_н$), Ом	время работы до достижения конечного напряжения, ч		Высота, мм	Ширина, мм	Среднее значение импеданса после 15%-ного разряда на резистор, Ом	Сопротивление резистора, Ом
									0,8 В	1,0 В				
PX825 (дисковый)	LR53	1,5	7	2,4	1	300, отдается до достижения 0,8 В при $R_н$ = 430 Ом	8,3	150	32	15	5,9	23		
							2,9	430	100	50				
									0,8 В	1,0 В				
MN9100 (цилиндрический)	LR1	1,5	9,6	3,1	1	700, отдается до достижения 0,8 В при $R_н$ = 83 Ом	50	25	13	10	30,2	4,5	0,7 при 10 Гц 0,6 при 1 000 Гц 0,4 при 100 000 Гц	83
							15	83	47	39				
							10	125	68	60				
									0,8 В	1,0 В				
MN2400 (цилиндрический)	LR03	1,5	13	3,6	1	800, отдается до достижения 0,8 В при $R_н$ = 83 Ом	50	25	18	13	44,5	10,5	0,8 при 10 Гц 0,6 при 1 000 Гц 0,4 при 100 000 Гц	83
							25	60	35	28				
							15	83	57	48				
									0,8 В	1,0 В				
MN1500 (цилиндрический)	LR6	1,5	23	7,4	1	1800, отдается до достижения 0,8 В при $R_н$ = 50 Ом	416	3	3	1	49	14,5	0,5 при 10 Гц 0,4 при 1 000 Гц 0,4 при 100 000 Гц	25
							250	5	5,5	3				
							125	10	12,5	10				
									0,8 В	1,0 В				
MN1400 (цилиндрический)	LR14	1,5	65	26	1	5 500, отдается до достижения 0,8 В при $R_н$ = 15 Ом	416	3	10	8	48,5	26,2	0,4 при 10 Гц 0,3 при 1 000 Гц 0,2 при 100 000 Гц	15
							125	10	50	40				
							50	25	125	117				
									0,8 В	1,0 В				
MN1300 (цилиндрический)	LR20	1,5	123	53	1	10 000, отдается до достижения 0,8 В при $R_н$ = 5 Ом	416	3	24	17	61,5	34,2	0,3 при 10 Гц 0,2 при 1 000 Гц 0,2 при 100 000 Гц	5
							250	5	42	34				
									1,6 В	2,0 В				
9K62 (цилиндрический)	—	3,0	21	7,5	2	580, отдается до достижения 1,6 В при $R_н$ = 5 Ом	50	50	10	8	45,3	19,3	1,2 при 10 Гц 0,3 при 1 000 Гц 0,5 при 100 000 Гц	170
							25	100	19	16				
							10	250	50	46				

Продолжение табл. 3.3

Марка элемента (батареи)	Обозначение, принятое МЭК	Напряжение, В	Масса, г	Объем, см³	Количество элементов в батарее	Емкость при 20 °С, мА·ч	Время работы при 20 °С при нижеуказанных условиях: начальный ток, мА	сопротивление нагрузки ($R_н$), Ом	время работы до достижения конечного напряжения, ч	Высота, мм	Ширина, мм	Среднее значение импеданса после 15%-ного разряда на резистор, Ом	Сопротивление резистора, Ом
РХ24 (исполнение В)	—	3,0	22	7	2	580, отдается до достижения 1,6 В при $R_н$ = 166 Ом	25 15	100 166	1,6 В 2,0 В 20 11 43 30	42,4	16,9	—	
РХ19/21 (цилиндрический) исполнения А и В	—	4,5	РХ19,32 РХ19,13 РХ21,33 РХ21,10		3	580, отдается до достижения 2,4 В при $R_н$ = 250 Ом	25 15	150 250	2,4 В 3,0 В 20 11 42 30	РХ19, 60,3 16,9 РХ21, 50 16,8		—	
7К67 (прямоугольный)	—	6,0	34	15	4	500, отдается до достижения 3,2 В при $R_н$ = 250 Ом	50 25 10	100 200 500	3,2 В 4,0 В 10 8 20 16 50 42	48,3 × 35,6 × 9,0		3,2 при 10 Гц 1,3 при 1 000 Гц 0,9 при 100 000 Гц	300
5К65 (прямоугольный)	—	9,0	64	21,3	6	500, отдается до достижения 4,8 В при $R_н$ = 375 Ом	50 25 10	150 300 750	4,8 В 6,0 В 10 8 20 16 50 42	125,7 × 19,3 × 7,0		3,5 при 10 Гц 2,0 при 1 000 Гц 1,4 при 100 000 Гц	500
5К69 (прямоугольный)	—	9,0	63	21,5	6	500, отдается до достижения 4,8 В при $R_н$ = 375 Ом	50 25 10	150 300 750	4,8 В 6,0 В 10 8 20 16 50 42	48,2 × 51,0 × 9,0		3,5 при 10 Гц 2,0 при 1 000 Гц 1,4 при 100 000 Гц	500
MN1604 (прямоугольный)	—	9,0	51	21	6	500, отдается до достижения 4,8 В при $R_н$ = 750 Ом	50 25 10	150 300 750	4,8 В 6,0 В 10 8 20 18 50 42	48,5 × 26,5 × 17,5		3,5 при 10 Гц 2,0 при 1 000 Гц 1,4 при 100 000 Гц	500

Исполнение

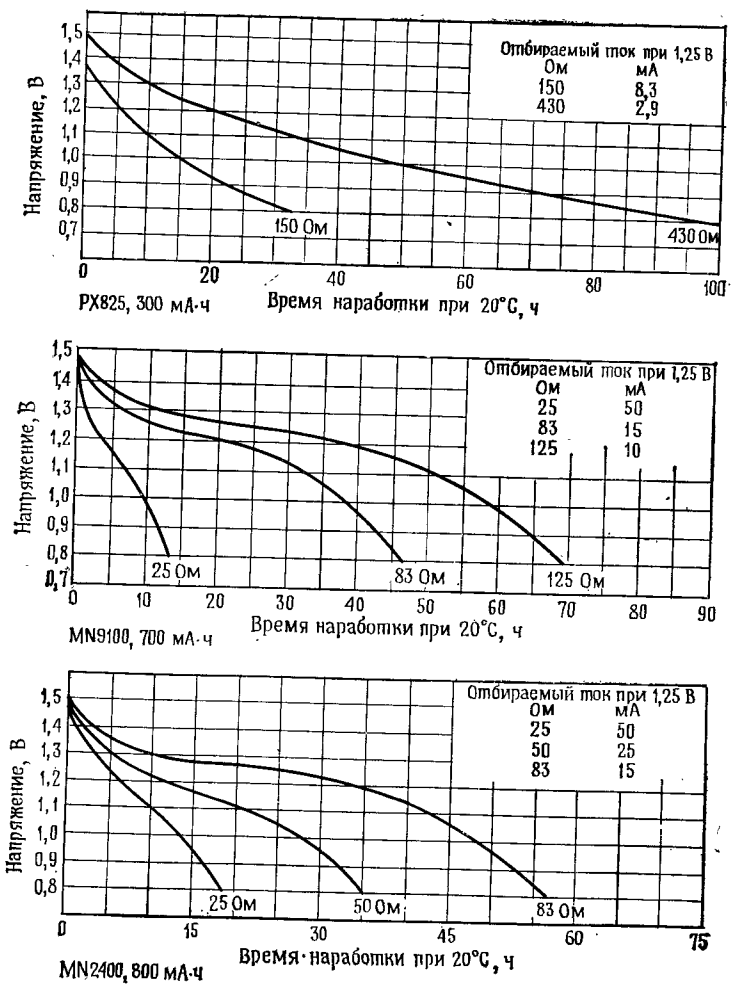


Рис. 3.6. Типичные разрядные характеристики щелочных марганцево-цинковых элементов напряжением 1,5 В серии Duracell производства фирмы Mallory.

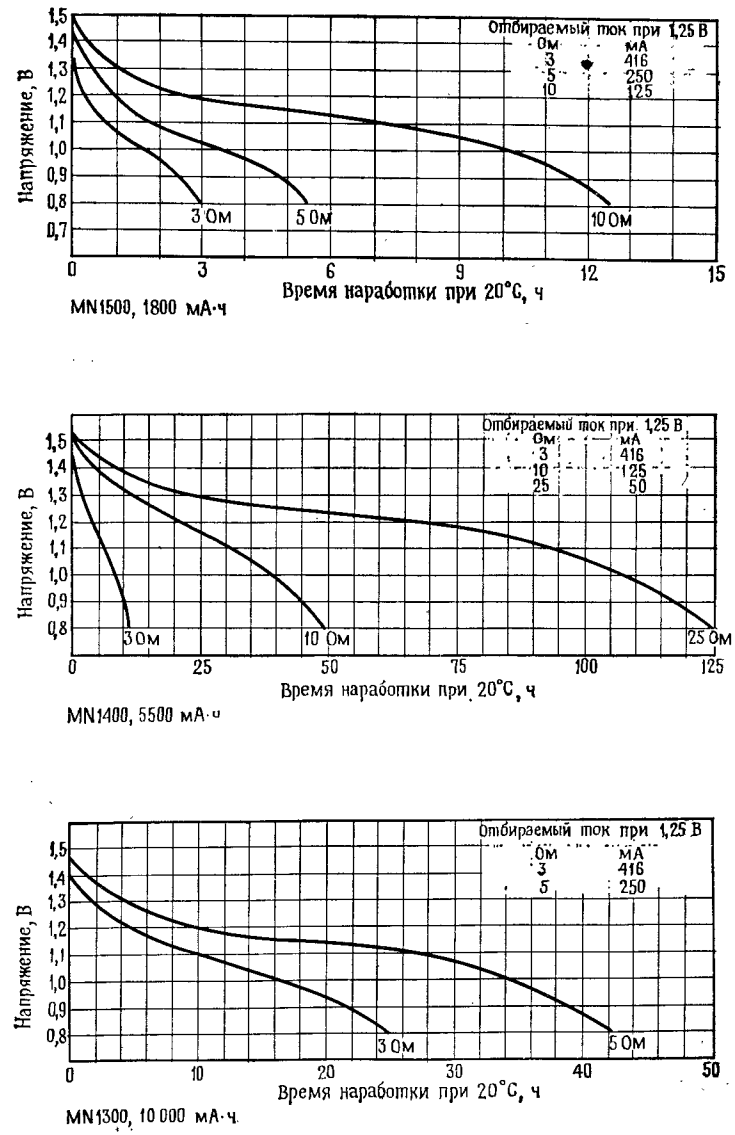


Рис. 3.6 (продолжение).

Элемент	Mallory (Duracell)	VARTA	BEREC
1,5 В	PX825, дисковый	—	PX825
	MN1500	7244	MN1500
	MN1300	7232	MN1300
	MN2400	7239	MN2400
	MN1400	7233	MN1400
	MN9100	—	MN9100
3 В	PX24	7301	—
4,5 В	PX21	7251	—
	PX19	7251	—

Щелочные марганцево-цинковые батареи выпускают другие фирмы, в том числе фирма Crompton Vidor.

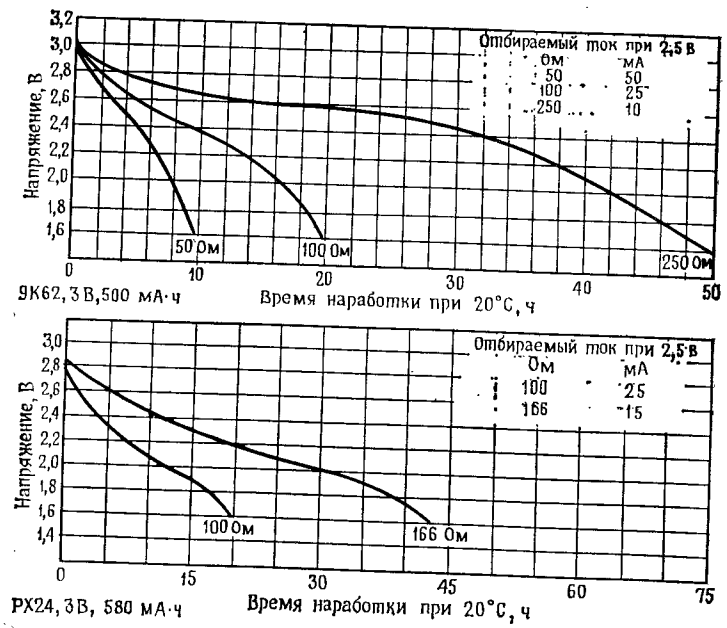


Рис. 3.7. Типичные разрядные характеристики щелочных марганцево-цинковых батарей напряжением 3 В серии Duracell производства фирмы Mallory.

3.3. ЩЕЛОЧНЫЕ МАРГАНЦЕВО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ CHLORIDE AUTOMOTIVE

Фирма Chloride Automotive выпускает щелочные марганцево-цинковые батареи напряжением от 1,5 до 9 В (серия Chloride Gold). Эти батареи могут храниться до двух лет, и,

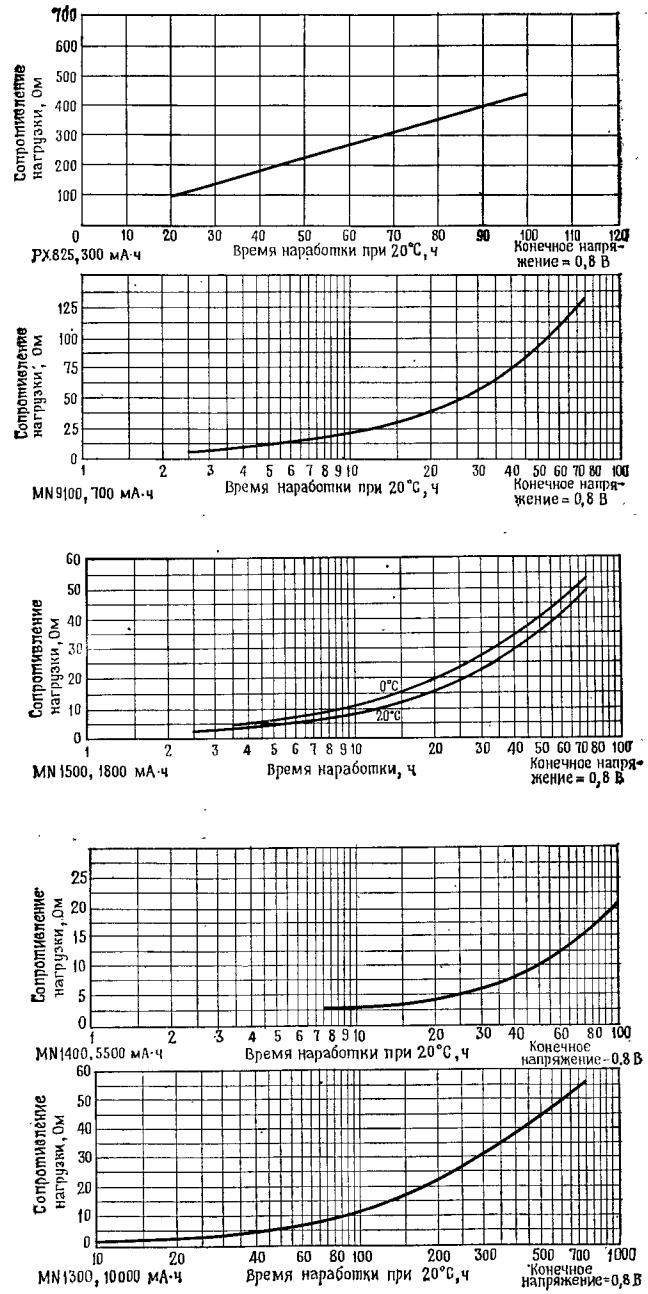


Рис. 3.8. Типичные характеристики щелочных марганцево-цинковых элементов напряжением 1,5 В серии Duracell производства фирмы Mallory при непрерывном разряде на нагрузку с постоянным омическим сопротивлением.

согласно технической документации, их длительность работы в пять раз выше, чем у угольно-цинковых батарей тех же габаритов. Типы батарей этой серии приведены в табл. 3.4.

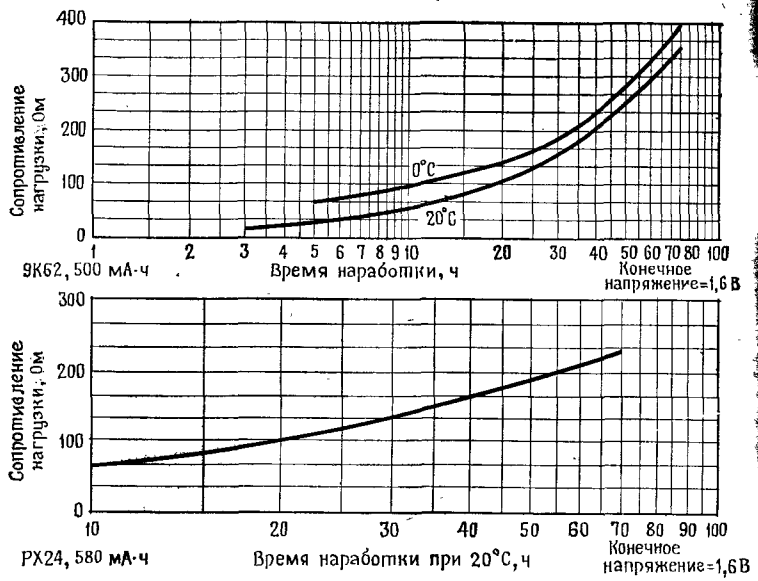


Рис. 3.9. Типичные характеристики щелочных марганцево-цинковых батарей напряжением 3 В серии Duracell производства фирмы Mallory при непрерывном разряде на нагрузку с постоянным омическим сопротивлением.

Таблица 3.4. **Щелочные марганцево-цинковые батареи фирмы Chloride Automotive**

Обозначение, принятое фирмой	Код размера	Обозначение типоразмера, принятое			Напряжение, В
		в США	в Японии	МЭК	
MN1300	Mono	D	AM 1	LR 20	1,5
MN1400	Baby	C	AM 2	LR 14	1,5
MN1500	Migron	AA	AM 3	LR 6	1,5
MN2400	Micro	AAA	AM 4	LR 03	1,5
MN9100	Lady	N	AM 5	LR 1	1,5
MN1604	—	—	006 P	6LF 22	9,0

3.4. ЩЕЛОЧНЫЕ МАРГАНЦЕВО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ VARTA

Фирма выпускает несколько серий щелочных марганцево-цинковых первичных батарей и дисковых элементов. Дисковые элементы имеют напряжение 1,5 В и емкость в интер-

Таблица 3.5. **Данные щелочных марганцево-цинковых элементов и батарей фирмы VARTA**

Обозначение, принятое фирмой	Напряжение, В	Емкость, мА·ч	Внутреннее сопротивление, Ом	Размеры		Масса, г	Обозначение, принятое МЭК	Основные применения	Номер по каталогу фирмы
				диаметр, мм	высота, мм				
V 8 GA	1,5	18	6,0	11,6	2,1	0,8	—	Калькуляторы	4273
V 10 GA	1,5	45	6,0	11,6	3,1	1,1	—	»	4274
V 12 GA	1,5	55	6,0	11,6	4,2	1,6	—	»	4278
V 13 GA	1,5	80	3,4—5,0	11,6	5,4	1,8	LR 44	»	4276
V 625 U	1,5	170	1,8—3,0	16,0	6,2	3,3	LR 9	Фотография	4262
V 825 PX	1,5	300	0,65—1,0	23,2	6,1	7,2	LR 53	»	4825
V 24 PX	3,0	600	0,75—1,2	17,0	42,5	23,0	—	»	4024
V 21 PX	4,5	600	1,1—1,6	17,0	50,0	32,0	—	»	4021
V 19 PX	4,5	600	1,1—1,6	17,0	58,5	32,0	—	»	4019
V 4034 PX	6,0	100	14,0—20,0	13,0	25,4	10,4	—	»	4034
V 74 PX	15,0	40	60,0	16,0	35,0	17,3	10 LR 54	Кинокамеры, измерители освещенности, измерительные приборы	4074
V 72 PX	22,5	80	90,0	16,0 × 27,0 × 51,0		39,0	15 LR 43	Измерительные приборы	4072
V 73 PX	30,0	100	70—100	16,0 × 27,0 × 65,0		55,0	20 LR 44	То же	4073

вале 18—300 мА·ч. Напряжение цилиндрических батарей составляет 1,5—30 В, а емкость 40—600 мА·ч (табл. 3.5). Основные устройства, в которых применяются эти батареи, — фотоаппараты, слуховые аппараты и карманные калькуляторы.

Фирма VARTA производит также щелочные марганцево-цинковые батареи напряжением 1,5 В, применяемые в калькуляторах (типы 4103 и 4106 со значениями емкости соответственно 800 и 1800 мА·ч), и батареи для калькуляторов типа E-Block напряжением 9 В (тип 4122); цилиндрические щелочные марганцево-цинковые батареи напряжением 1,5 В и емкостью 600 мА·ч (типы 4001 и 4003); серию цилиндрических щелочных марганцево-цинковых батарей Super Energy напряжением 1,5 В [типы 4001] (типоразмер N), 4003 (типоразмер AAA), 4006 (типоразмер AA), 4014 (типоразмер C), 4020 (типоразмер D)] и 9 В (батарея E-Block, тип 4022); высокоэффективные щелочные марганцево-цинковые батареи, рассчитанные на большие нагрузки, напряжением 1,5 В [типы 2606 (типоразмер AA), 2614 (типоразмер C), 2620 (типоразмер D)] и 9 В (типоразмер 3022). Выпускаются также стандартные батареи с повышенным сроком службы напряжением 1,5 В [типы 1006 (типоразмер AA), 1014 (типоразмер C), 1020 (типоразмер D)], 3 В [тип 1010] и 4,5 В [тип 1012].

3.5. ЩЕЛОЧНЫЕ МАРГАНЦЕВО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ DURACELL EUROPE

Эта фирма производит следующие типы щелочных марганцево-цинковых батарей:

		Марка	Емкость при 20 °С, мА·ч
1,5 В	Цилиндрическая	MN1300	10 000
1,5 В	»	MN1400	5 500
1,5 В	»	MN1500	1 800
9 В	Прямоугольная	MN1604	500
1,5 В	»	MN2400	800
1,5 В	Цилиндрическая	MN9100	650
9 В	Прямоугольная	5K65	400
9 В	»	5K69	400
6 В	»	7K67	400
3 В	Цилиндрическая	9K62	400

Более подробные данные об этих батареях можно найти в табл. 3.3 для соответствующих типов батарей фирмы Mallory. Кроме того, фирма выпускает прямоугольные батареи напряжением 4,5 В и емкостью 4400 мА·ч (тип 1203).

РТУТНО-ЦИНКОВЫЕ И ДРУГИЕ РТУТНЫЕ БАТАРЕИ

Ртутные батареи характеризуются существенно более высоким соотношением энергия — масса, чем угольно-цинковые, что является результатом использования в них материалов, обладающих высокой удельной энергией. Вследствие этого ртутные батареи имеют втрое меньший объем, чем обычные батареи той же емкости. Ртутные батареи, о которых пойдет речь в данной главе, кроме высокой удельной энергии характеризуются постоянством напряжения при разряде и отсутствием необходимости в перерывах между разрядами для «отдыха».

Ртутные батареи и элементы могут иметь дисковую или цилиндрическую конструкцию (рис. 4.1). В электрохимическом отношении обе указанные модификации идентичны и отличаются лишь конструкцией корпуса и внутренним расположением элементов. Анод представляет собой цилиндр или таблетку из порошкообразного амальгамированного цинка высокой чистоты (рис. 4.1, *а*) либо пастообразную смесь электролита и цинка (рис. 4.1 *б*). Деполяризующим катодом является прессованная в форме втулки или таблетки смесь окиси ртути и двуокиси марганца (напряжение элемента 1,4 В) или чистая окись ртути (напряжение элемента 1,35 В). В качестве электролита — он не изменяется в результате реакции — служит концентрированный водный раствор NaOH или KOH. Катод отделен от анода ионно-проницаемым сепаратором. Во время работы в этой системе образуется металлическая ртуть, которая не препятствует протеканию тока внутри элемента (рис. 4.2).

Цинк термодинамически нестабилен в водных электролитах и в сильнощелочных растворах имеет тенденцию к саморазряду с образованием водорода. Коррозию цинкового анода уменьшают до приемлемого уровня, амальгамируя порошок цинка ртутью, что приводит к повышению перенапряжения

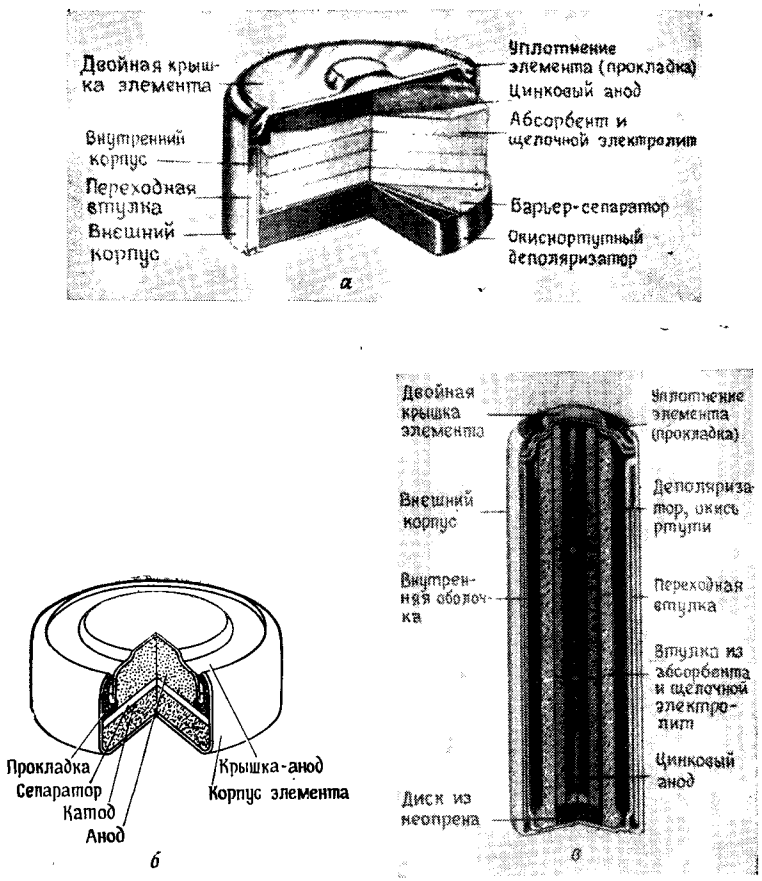


Рис. 4.1. Конструкция окиснортутных элементов дискового (*а* и *б*) и цилиндрического (*в*) вида фирмы Union Carbide.

(Переходная втулка обычно представляет собой бумажную прокладку, впитывающую попадающий (вместе с газом) в зазор между корпусами электролит и предотвращающую его вытекание. — *Прим. ред.*)

выделения водорода на цинке и обеспечивает не слишком большую площадь поверхности пористых электродов. Необходимо также использовать только материалы с высоким перенапряжением выделения водорода (серебро, свинец, олово и медь, а не никель или железо) для конструкционных элементов, находящихся в контакте одновременно с цинковым электродом и электролитом. Именно по этой причине элемент имеет внешнюю оболочку (из никелированной стали) для обеспечения механической прочности и внутреннюю оболочку из материала с соответствующим высоким перенапряжением

по отношению к выделению водорода для предотвращения коррозии анода. Внутренняя поверхность верхней части элемента также электрохимически совместима с цинковым анодом. Компоненты, используемые в элементе, дают возможность получать изделия точно заданных размеров при максимальной стабильности последних и с существенно лучшими

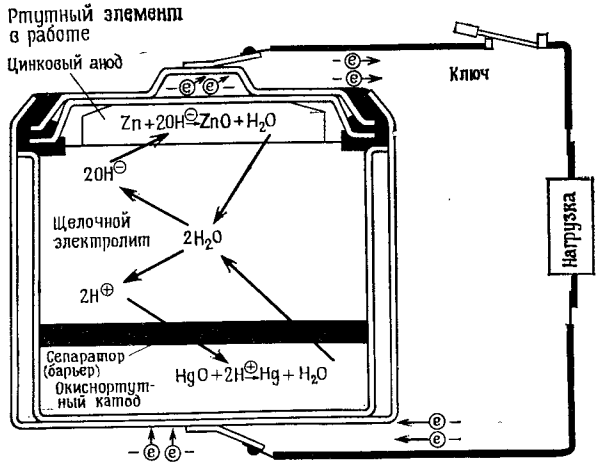


Рис. 4.2. Электрохимические процессы, происходящие в ртутно-цинковом элементе.

1. *При разомкнутом ключе* Цинковый анод и окиснортутный катод заряжены относительно щелочного электролита: Zn (+1,32 В) и HgO^{-} (−0,03 В) по отношению к нормальному водородному электроду в том же электролите (напряжение элемента 1,35 В). 2. *При замкнутом ключе.* Напряжение на элементе заставляет электроны двигаться по внешней цепи в соответствии с законом Ома ($U=IR$). 3. *Анод.* Потеря электронов через внешнюю цепь нарушает анодное равновесие; гидроксил-ионы из электролита разряжаются на аноде для того, чтобы восстановить заряд анода, при этом образуются окись цинка и вода. 4. *Катод.* Поступление электронов нарушает катодное равновесие; водородные ионы из электролита разряжаются на катоде, образуя ртуть и воду, содержание воды в электролите заметно не изменяется. 5. *Суммарная химическая реакция* может быть записана как $Zn+HgO \rightarrow ZnO+Hg$ с освобождением электрического заряда 820 мА·ч на каждый грамм цинка, находящегося в ячейке.

техническими характеристиками, чем у угольно-цинковых батарей.

Фирмы Union Carbide и Mallory — два основных производителя ртутно-цинковых элементов и батарей. Обе фирмы применяют вентильную конструкцию, которая делает выпускаемые ими элементы невытекающими и невздувающимися при всех нормальных режимах эксплуатации. Выпуск образующегося газа (например, избыточного газа, появляющегося внутри элемента в условиях продолжительного короткого замыкания) осуществляется автоматически. Упомянутые фирмы, используя всевозможные варианты соединений отдельных элементов, изготавливают батареи разных размеров, напряжения и емкости. Для изготовления контейнеров и

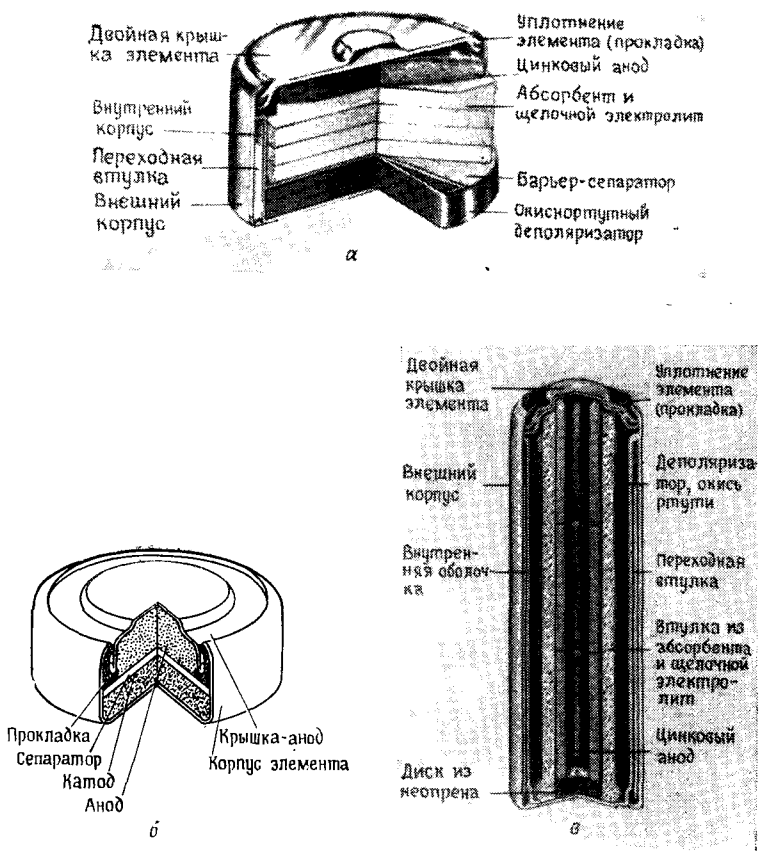


Рис. 4.1. Конструкция окиснортутных элементов дискового (*а* и *б*) и цилиндрического (*в*) вида фирмы Union Carbide.

(Переходная втулка обычно представляет собой бумажную прокладку, впитывающую попадающий (вместе с газом) в зазор между корпусами электролит и предотвращающую его вытекание. — *Прим. ред.*)

выделения водорода на цинке и обеспечивает не слишком большую площадь поверхности пористых электродов. Необходимо также использовать только материалы с высоким перенапряжением выделения водорода (серебро, свинец, олово и медь, а не никель или железо) для конструкционных элементов, находящихся в контакте одновременно с цинковым электродом и электролитом. Именно по этой причине элемент имеет внешнюю оболочку (из никелированной стали) для обеспечения механической прочности и внутреннюю оболочку из материала с соответствующим высоким перенапряжением

по отношению к выделению водорода для предотвращения коррозии анода. Внутренняя поверхность верхней части элемента также электрохимически совместима с цинковым анодом. Компоненты, используемые в элементе, дают возможность получать изделия точно заданных размеров при максимальной стабильности последних и с существенно лучшими

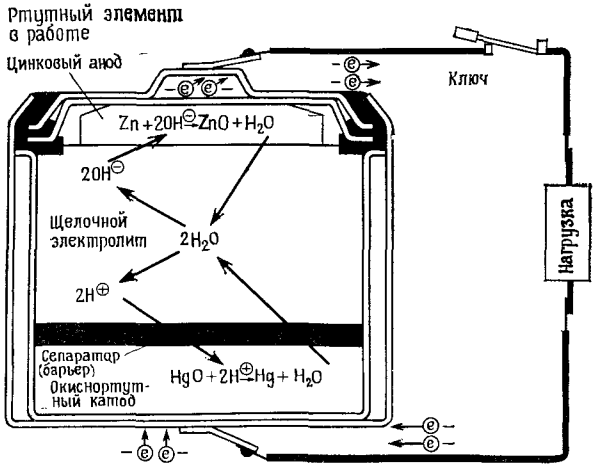


Рис. 4.2. Электрохимические процессы, происходящие в ртутно-цинковом элементе.

1. *При разомкнутом ключе* Цинковый анод и окиснортутный катод заряжены относительно щелочного электролита: Zn (+1,32 В) и HgO^- (−0,03 В) по отношению к нормальному водородному электроду в том же электролите (напряжение элемента 1,35 В). 2. *При замкнутом ключе.* Напряжение на элементе заставляет электроны двигаться по внешней цепи в соответствии с законом Ома ($U=IR$). 3. *Анод.* Потеря электронов через внешнюю цепь нарушает анодное равновесие; гидроксил-ионы из электролита разряжаются на аноде для того, чтобы восстановить заряд анода, при этом образуются окись цинка и вода. 4. *Катод.* Поступление электронов нарушает катодное равновесие; водородные ионы из электролита разряжаются на катоде, образуя ртуть и воду, содержание воды в электролите заметно не изменяется. 5. *Суммарная химическая реакция* может быть записана как $Zn+HgO \rightarrow ZnO+Hg$ с освобождением электрического заряда 820 мА·ч на каждый грамм цинка, находящегося в ячейке.

техническими характеристиками, чем у угольно-цинковых батарей.

Фирмы Union Carbide и Mallory — два основных производителя ртутно-цинковых элементов и батарей. Обе фирмы применяют вентильную конструкцию, которая делает выпускаемые ими элементы невытекающими и невздувающимися при всех нормальных режимах эксплуатации. Выпуск образующегося газа (например, избыточного газа, появляющегося внутри элемента в условиях продолжительного короткого замыкания) осуществляется автоматически. Упомянутые фирмы, используя всевозможные варианты соединений отдельных элементов, изготавливают батареи разных размеров, напряжения и емкости. Для изготовления контейнеров и

внешних оболочек используются различные материалы — от картона до металла.

Отметим характерные особенности серии элементов, выпускаемых фирмой Union Carbide.

1) Деполяризующие катоды из окиси ртути, к которой добавлено небольшое количество графита, имеют форму, показанную на рис. 4.1, и либо жестко связаны с внутренней оболочкой элемента (в случае плоских электродов), либо впрессованы в эту оболочку (в случае цилиндрической формы элемента).

2) В обоих типах конструкций аноды изготовлены из амальгамированного порошка цинка высокой степени чистоты.

3) Проницаемый барьер (сепаратор), выполняемый из специального материала, предотвращает миграцию любых твердых частиц внутри элемента, эффективно способствуя, таким образом, увеличению сохраняемости и срока службы элемента, а также замедляет диффузию и миграцию растворимых соединений гидроокиси ртути из области катода, приводящую к саморазряду цинкового анода.

4) Изолирующие и герметизирующие прокладки изготовлены путем формовки из нейлона, полиэтилена или неопрена в зависимости от той области применения, для которой предназначен элемент.

5) Верхняя часть элемента покрыта изнутри материалами, которые обеспечивают такую внутреннюю поверхность, с которой цинк, образуя амальгаму, давал бы хорошую связь.

6) В качестве материалов для оболочек и верхних внешних крышек используют никель или позолоченную сталь. Это необходимо для предотвращения коррозии, обеспечения возможно большей химической пассивности по отношению к материалам, использованным в элементе, и достижения хорошего электрического контакта.

7) Обычно каждый отдельный элемент заключают во внешнюю оболочку из никелированной стали. Эта внешняя оболочка является необходимой составной частью снабженной уплотнительными прокладками конструкции, применяемой в некоторых элементах, что дает возможность избыточному газу выходить из элемента. Это происходит в тех случаях, когда в результате отступления от нормальных условий эксплуатации, например пропускания тока в противоположном направлении или короткого замыкания, в элементе скапливается избыточное количество газа. При умеренно высоких давлениях крышка элемента смещается вверх и прижимается к внешнему завальцованному краю внешней оболочки, поджимая эту часть уплотнения и освобождая ту его часть, которая расположена между крышкой и внутренней стальной оболочкой элемента. Выпуск (стравливание) избыточного газа происходит в пространство между внутренней и внешней стальными оболочками элемента. Если в это пространство попадает некоторая часть электролита из элемента, она задерживается при помощи поглощающего предохранительного кольца. Поэтому вещества, которые могли бы вызвать коррозию, наружу через вентиляционные отверстия, расположенные в дне внешней стальной оболочки, вместе с выходящим газом не проникают. После стравливания избытка газа и снижения внутреннего давления элемент стабилизируется, крышка возвращается в первоначальное положение и продолжается нормальная работа элемента в цепи.

Следует отметить, что у некоторых окиснортутных элементов полярность выводов может быть обратной по отношению к полярности выводов угольно-цинковых элементов.

Характерными отличительными чертами окиснортутной электрохимической системы являются следующие:

1. Длительный срок службы.
2. Высокая объемная удельная емкость, приводящая к тому, что окиснортутные элементы имеют в несколько раз большую емкость, чем первичные элементы того же объема на основе других электрохимических систем (за исключением окисносеребряных), или пропорционально меньший объем при той же емкости.
3. Плоские разрядные характеристики.
4. Сравнительно высокое напряжение под нагрузкой.
5. Относительно постоянная емкость в ампер-часах.
6. Низкий и практически постоянный внутренний импеданс.
7. Элементам не требуется время для «отдыха», поэтому емкость не зависит от того, в каком режиме — прерывистом или непрерывном — происходит их разряд.
8. Хорошие характеристики при высоких температурах.
9. Высокая устойчивость к ударам, вибрациям и ускорениям.
10. Возможность использования соединений между элементами, выполненных точечной сваркой или обеспечиваемых прижимом.
11. Возможность использования одинарной или двойной стальной оболочки.
12. Химическая сбалансированность — полное превращение цинка к концу эксплуатации.
13. Автоматический выход газов.
14. Устойчивость к пониженному и повышенному давлению по сравнению с атмосферным.
15. Устойчивость к вызывающим коррозию примесям в окружающей атмосфере и к высокой относительной влажности.

Емкость в ампер-часах ртутных элементов и батарей остается относительно неизменной при изменениях графика нагрузки и до некоторой степени при изменениях разрядного

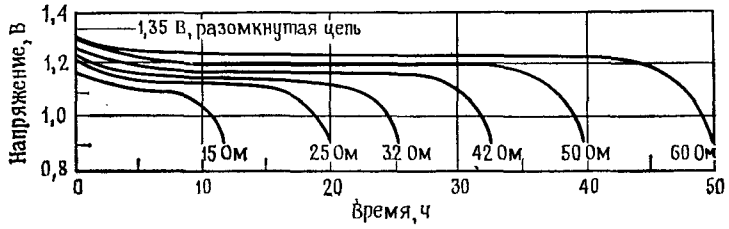


Рис. 4.3. Типичные характеристики ртутно-цинкового элемента при непрерывном разряде на нагрузку с постоянным омическим сопротивлением при 21 °С. При напряжении 1,25 В разрядные токи и сопротивления нагрузки имеют следующие значения: 83 мА при 15 Ом; 50 мА при 25 Ом; 40 мА при 32 Ом; 30 мА при 42 Ом; 25 мА при 50 Ом, 20 мА при 60 Ом.

тока. Рассматриваемые источники тока имеют относительно плоские разрядные характеристики (рис. 4.3). Батареи ртутной системы выдерживают как непрерывный, так и прерывистый разряд с отдачей примерно одинакового количества

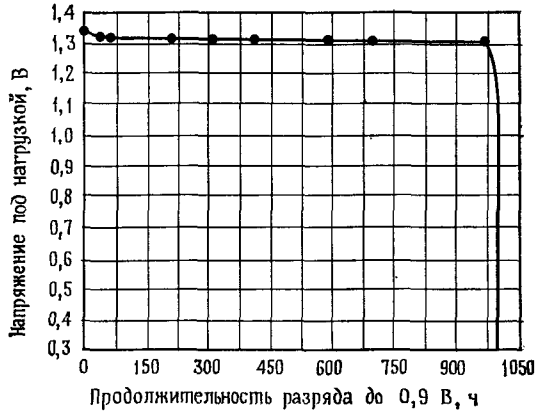


Рис. 4.4. Зависимость напряжения под нагрузкой ртутно-цинкового элемента Е1 от продолжительности разряда на постоянный резистор сопротивлением 1350 Ом при 21 °С. (Отбираемый ток равен 1 мА.)

ампер-часов, и это позволяет ввести для них такую техническую характеристику, как нормированная емкость. Они не нуждаются в периодах «отдыха», как угольно-цинковые элементы.

Окиснортутные батареи широко использовались в качестве эталонов стандартного (опорного) напряжения благодаря

высокой стабильности напряжения и способности нормально функционировать после временных нарушений установленных механических и электрических условий эксплуатации (рис. 4.4). Для того чтобы использовать источники тока в качестве элементов сравнения или источников опорного напряжения в блоках и источниках питания с регулируемым выходом, дозиметрической аппаратуре, переносных потенциометрах, ЭВМ, регистрирующих измерителях напряжения, научной и военной аппаратуре, слуховых аппаратах, электронных

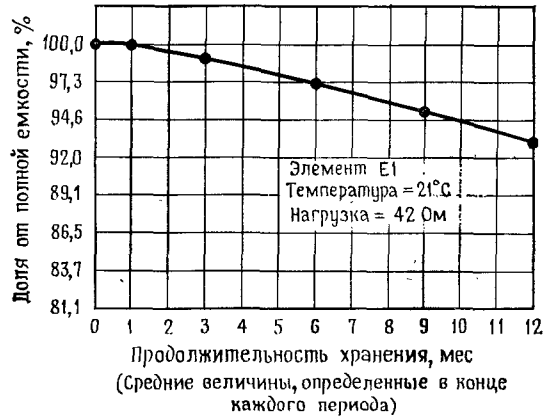


Рис. 4.5. Зависимость емкости ртутно-цинкового элемента от продолжительности хранения.

наручных часах, фотоаппаратах и других аналогичных устройствах, необходимо, чтобы источники имели следующие свойства:

1) Стабильность напряжения во времени. Неизменное напряжение ртутного элемента — это следствие эффективной работы катода. В течение длительных периодов времени напряжение должно оставаться стабильным в пределах 0,5—1,0 %, для более коротких периодов времени можно добиться стабильности 0,1 %.

2) Кратковременное короткое замыкание не должно приводить к необратимой порче элемента, а э. д. с. на разомкнутых электродах должна почти полностью восстанавливаться в течение нескольких минут.

3) В зависимости от типа используемого элемента при больших нагрузках возможность отбирать большие токи без повреждения элемента; э. д. с. на разомкнутых электродах должна быстро восстанавливаться до исходной величины.

Рабочая емкость окиснортутных батарей после года хранения при 21 °С, как правило, составляет более 90 % емкости свежеизготовленной батареи (рис. 4.5). Рис. 4.6 показывает

влияние длительности хранения на э. д. с. при 21 и 35 °С. Батареи можно хранить до трех лет, однако их более длительное хранение не рекомендуется.

Окиснортутные батареи выпускаются в двух вариантах, предназначенных для использования в различных областях. В общем случае элементы напряжением 1,35 В (иначе говоря, с деполяризатором, содержащим 100 % окиси ртути) или составленные из этих элементов батареи рекомендуется применять в качестве источников опорного напряжения, т.е.

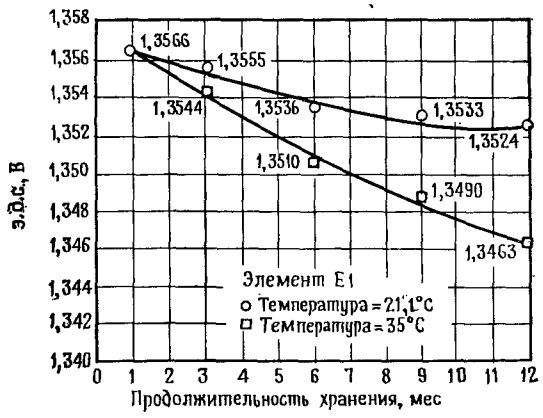


Рис. 4.6. Зависимость э. д. с. ртутно-цинкового элемента от продолжительности хранения.

источников, обладающих высокой степенью стабильности напряжения. Их другое назначение связано с использованием в устройствах, работающих при повышенных (по сравнению с нормальными) температурах, а также с применением в измерительной и научной аппаратуре. Элементы напряжением 1,4 В (с деполяризатором, содержащим смесь двуокиси марганца и окиси ртути) или батареи, состоящие из этих элементов, используются во всех типах промышленно выпускаемых приборов, за исключением тех, которые были перечислены выше. Элементы напряжением 1,4 В или батареи из этих элементов следует применять в устройствах, где требуется длительный отбор небольших по величине токов, а высокая стабильность напряжения не обязательна.

Влияние высоких температур мало сказывается на стабильности характеристик батарей. Окиснортутные элементы обладают хорошими температурными характеристиками. Эти элементы можно использовать до 65—70 °С включительно, а в течение нескольких часов они могут работать при 145 °С. Однако при низких температурах в общем случае характеристики окиснортутных элементов не являются удовлетворитель-

ными. Тем не менее в результате недавно проведенных исследований были выпущены элементы нескольких наиболее употребительных размеров с хорошими характеристиками

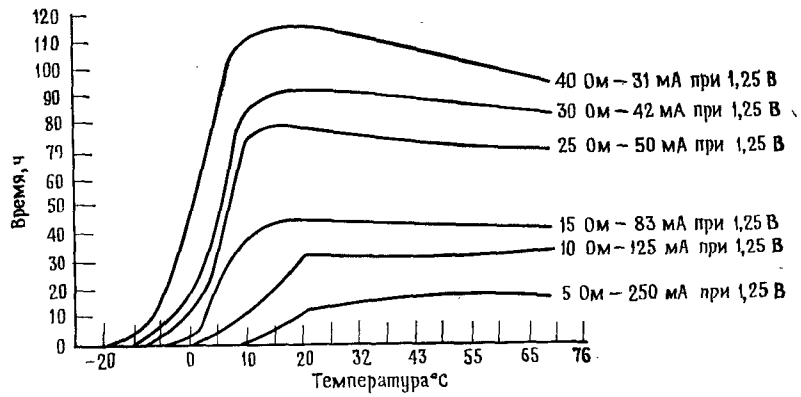


Рис. 4.7. Зависимость длительности работы ртутно-цинкового элемента от температуры (элемент типа Е12, емкость равна 3,6 А·ч).

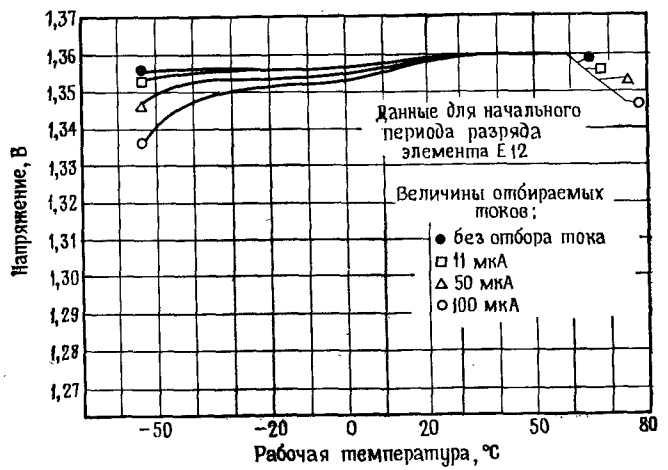
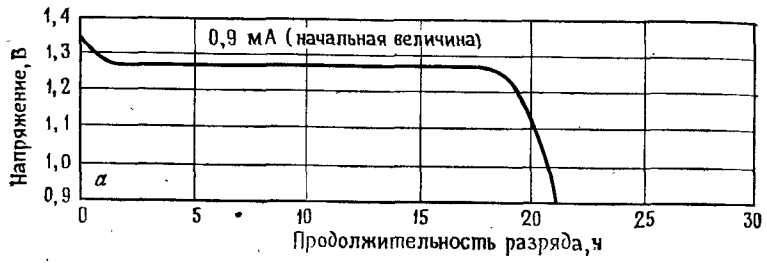
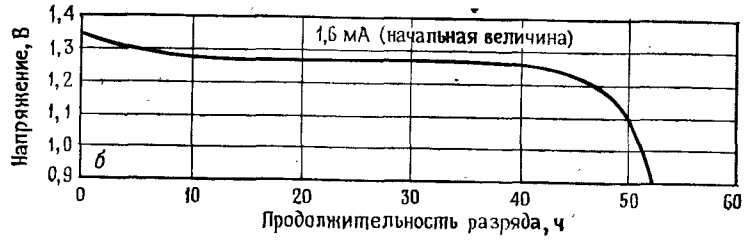


Рис. 4.8. Уменьшение начального значения рабочего напряжения ртутно-цинкового элемента Е12 при изменении температуры.

при низких температурах. Для других окиснортутных батарей, не относящихся к указанным типам, при температуре ~4,4 °С происходит резкое уменьшение отдаваемой емкости, а при ~ 0°С эти элементы имеют очень малую емкость, за исключением режимов с отбором малого тока.

На рис. 4.7 показана типичная зависимость длительности работы от изменения температуры окиснортутных элементов





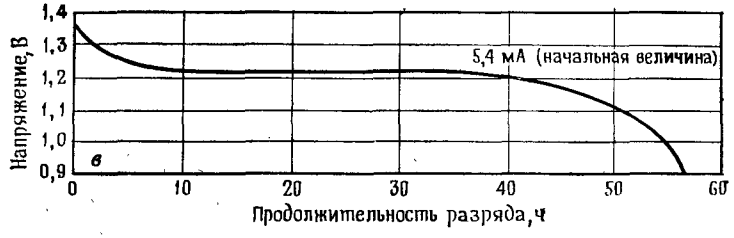
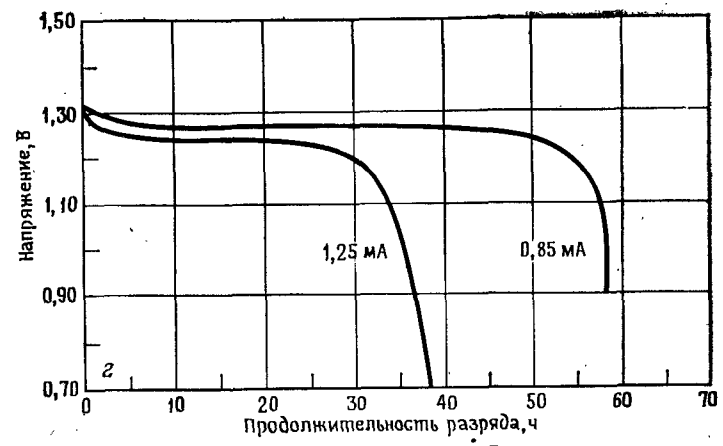
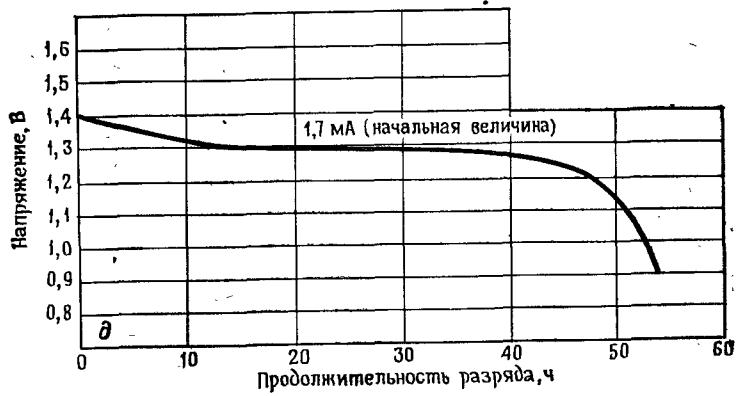


Рис. 4.9. Средняя продолжительность разряда некоторых ртутно-цинковых элементов фирмы Union Carbide напряжением 1,35—1,4 В при 21 °С.

а – 212E (16 мА·ч при разряде током 0,9 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 1500 Ом; начальный ток, т. е. ток по истечении 10% времени разряда[1]), составляет 0,9 мА; *б* – 400N (80 мА·ч при разряде током 1,5 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 833 Ом; *в* – EP625 и EP625N (250 мА·ч при разряде током 5 мА до 0,9 В): разряд при сопротивлении нагрузки 250 Ом; *г* – 312 и 312E (45 мА·ч при разряде током 0,85 мА до 0,9 В); при сопротивлении нагрузки 1500 Ом начальный ток 0,85 мА, при сопротивлении нагрузки 1000 Ом начальный ток 1,25 мА; *д* – E400 (80 мА·ч при разряде током 1,5 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 833 Ом; *е* – EP675 и EP675E (815 мА·ч при разряде током 6,25 мА до 0,9 В); при сопротивлении нагрузки 1000 Ом начальный ток 1,28 мА, при сопротивлении нагрузки 625 Ом начальный ток 2,05 мА); *ж* – E640N (500 мА·ч при разряде током 10 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 125 Ом; *з* – E401N (800 мА·ч при разряде током 16 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 78 Ом; *и* – E1N (1000 мА·ч при разряде током 20 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 60 Ом; *к* – E640 (500 мА·ч при разряде током 10 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 125 Ом; *л* – E401 (800 мА·ч при разряде током 16 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 78 Ом; *м* – E1 (1000 мА·ч при разряде током 20 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 60 Ом; *н* – E502 (2400 мА·ч при разряде током 48 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 28 Ом; *о* – E12N (3800 мА·ч при разряде током 83 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 16 Ом; *п* – E42N (1400 мА·ч при разряде током 280 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 4,4 Ом; *р* – E502E (2400 мА·ч при разряде током 48 мА до 0,9 В); разряд при сопротивлении нагрузки 26 Ом; *с* – E42 (14 000 мА·ч при разряде током 280 мА до 0,9 В); сопротивление нагрузки 4,4 Ом.

[1]) В такой форме приведены начальные значения отбираемого тока в режиме, когда разрядное напряжение в результате частичного разряда уже более или менее стабилизировалось. – *Прим. ред.*





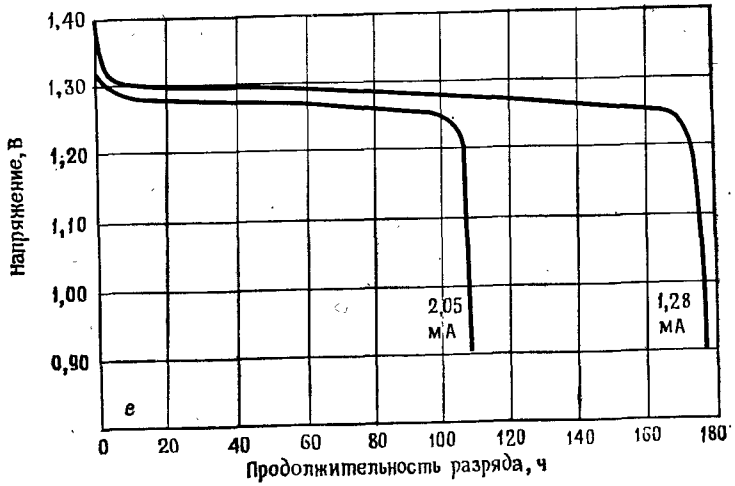
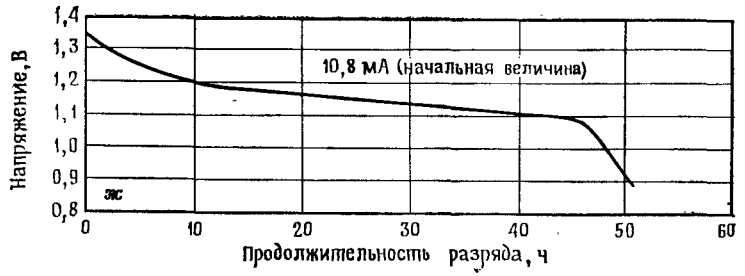
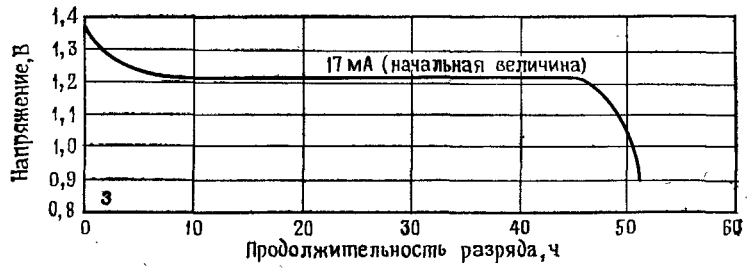
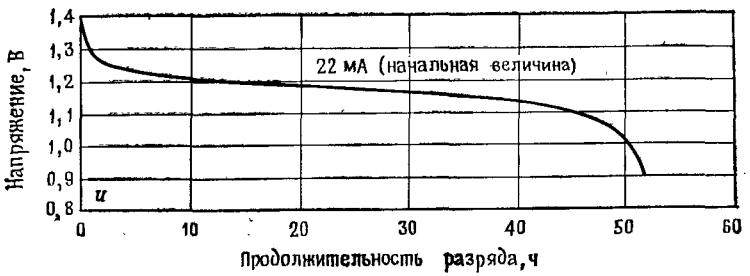


Рис. 4.9 (продолжение).







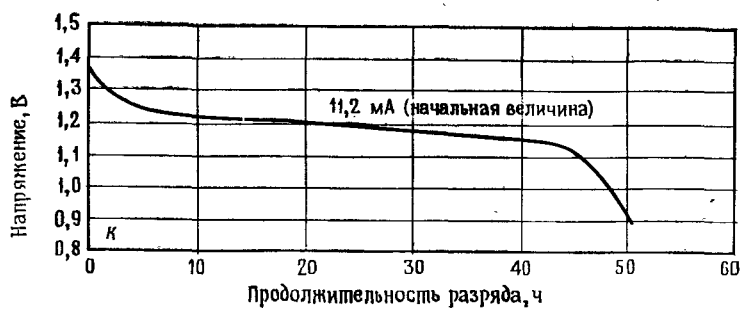
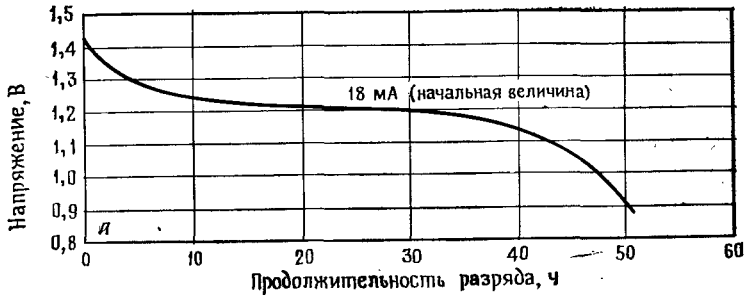
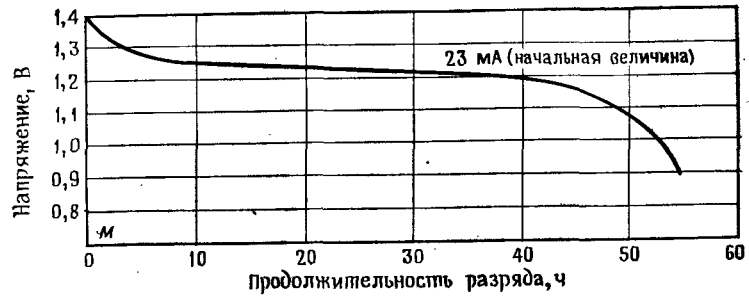
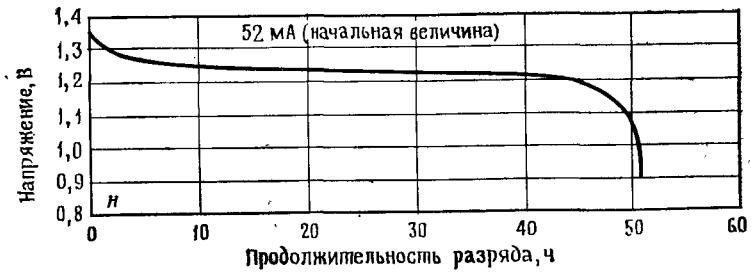


Рис. 4.9 (продолжение).







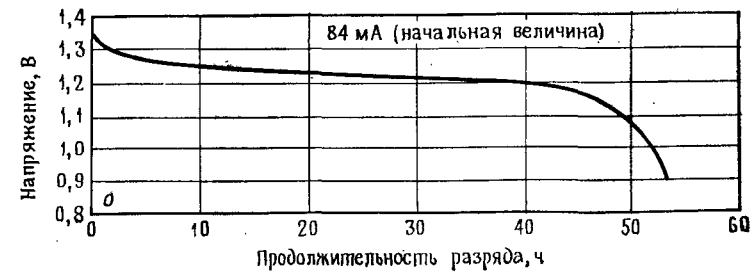


Рис. 4.9 (продолжение).

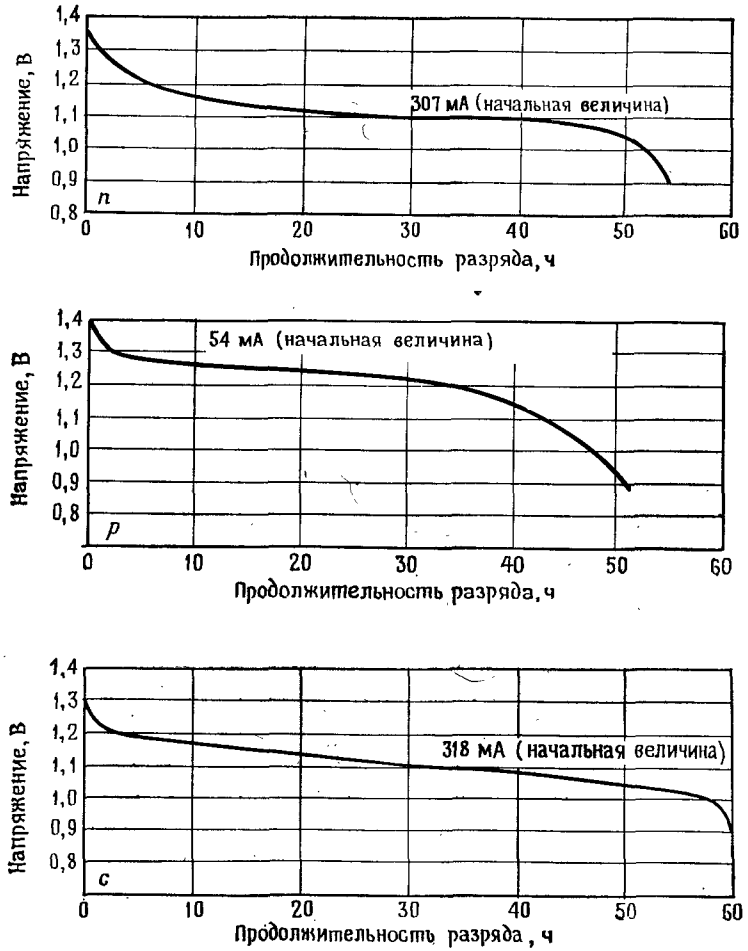


Рис. 4.9 (продолжение).

на примере цилиндрического типоразмера E12. Здесь для температурного интервала от —23 до +71 °C приведены кривые, соответствующие наиболее часто встречающимся значениям отбираемого тока. Сообщалось, что эти элементы в течение короткого времени успешно работали при температуре 120 °C, однако рекомендуется, чтобы рабочая температура не превышала 70 °C. Данные, приведенные на рис. 4.8, показывают, что при низких температурах напряжение снижается незначительно, если от больших батарей отбирать ток 100 мкА или менее или если от малых батарей отбирать токи примерно того же порядка в режиме прерывистого разряда.

4.1. РТУТНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ UNION CARBIDE

Фирма Union Carbide производит серию Eveready ртутно-цинковых элементов и батарей напряжением 1,35—97,2 В и емкостью 16—28 А·ч. Они выпускаются в виде дисковых элементов и батарей, а также в цилиндрическом исполнении.

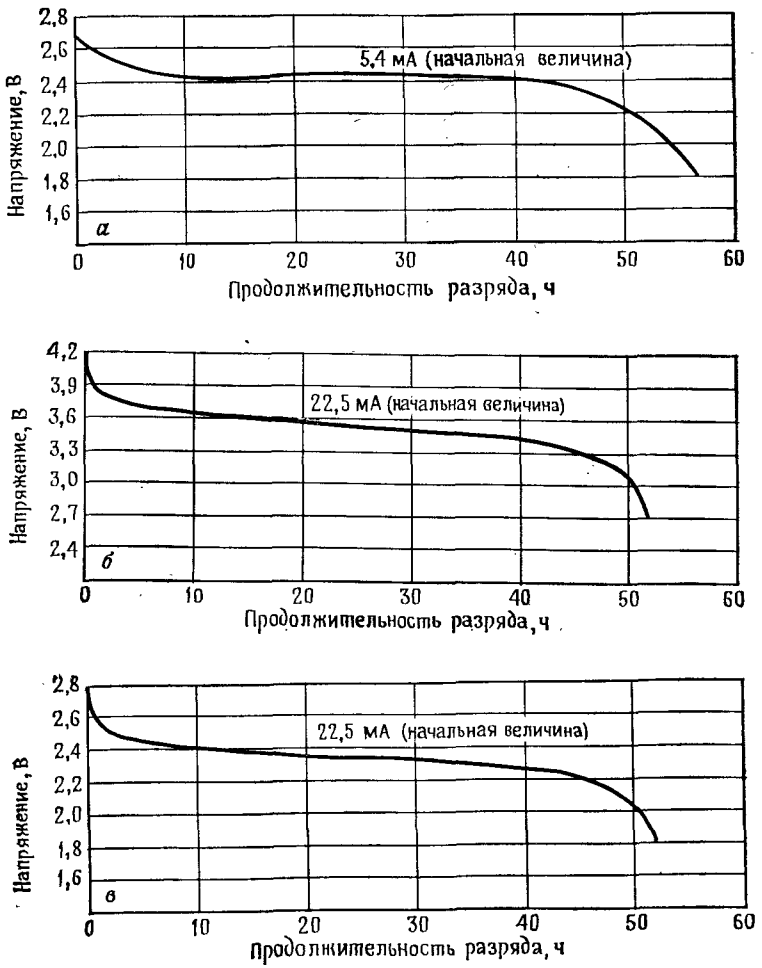


Рис. 4.10. Средняя продолжительность разряда некоторых ртутно-цинковых батарей серии Eveready фирмы Union Carbide напряжением 2,7—12,6 В при 21 °C.

а — EX14 (250 мА·ч при разряде током 5 мА до 1,8 В); разряд при сопротивлении нагрузки 500 Ом; *б* — E133N (1000 мА·ч при разряде током 20 мА до 2,7 В); разряд при сопротивлении нагрузки 180 Ом; *в* — E132N (1000 мА·ч при разряде током 20 мА до 1,8 В); разряд при сопротивлении нагрузки 120 Ом.

Таблица 4.1. **Характеристики ртутно-цинковых батарей Eveready производства фирмы Union Carbide**

Обозначение батареи в порядке возрастания емкости	Рекомендуемые токи разряда, мА	Рабочая емкость, мА·ч	Ток разряда, мА	Максимальные размеры, мм: диаметр	длина	ширина	высота	Количество элементов	Типоразмер	Применения	Масса, г	Токовыводы	Объем, см³	Маркировка напряжения
Батареи напряжением 1,35 и 4,0 В														
E212E	0–1,0	16	0,75	5,72			3,30	1	212	Слуховые аппараты	0,28	Плоские контакты	0,08	—, +1,35
E312	0–5,0	45	0,85	7,87			3,56	1	4–31141	Приборы	0,85	» »	0,13	—, +1,40
E312E	0–5,0	45	0,85	7,87			3,56	1	4–31141	Слуховые аппараты	0,85	» »	0,13	—, +1,40
325	0–0,1	50	0,104	7,87			3,63	1	5–31141	Часы	0,85	» »	0,13	—, +1,35
388	0–0,07	65	0,0675	8,84			3,30	1	5–34122	»	0,997	» »	0,20	—, +1,35
E400	0–7,0	80	1,50	11,60			3,43	1	400	Приборы, слуховые аппараты	1,42	» »	0,33	—, +1,40
E400N	0–7,0	80	1,50	11,60			3,43	1	400	Приборы	1,42	» »	0,33	—, +1,35
387	0–0,1	80	0,104	11,60			3,48	1	400	Часы	1,36	» »	0,34	—, +1,35
E13	0–5,0	85	0,85	7,87			5,33	1	4–31201	Приборы	1,13	» »	0,18	—, +1,40
E13E	0–5,0	85	0,85	7,87			5,33	1	4–31201	Слуховые аппараты	1,13	» »	0,18	—, +1,40
323	0–0,1	95	0,104	7,87			5,33	1	5–31202	Часы	1,42	» »	0,25	—, +1,35
E575E	0–10	105	1,28	11,60			3,51	1	4–45131	Слуховые аппараты	1,42	» »	0,30	—, +1,40
343	0–0,1	120	0,104	11,60			3,51	1	5–45131	Часы	1,70	» »	0,31	—, +1,35
E520	0–10	130	5,00	12,60			7,26	1	520	Различные применения	1,98	» »	0,82	—, +1,40
354	0–0,2	150	0,208	11,60			4,14	1	5–45161	Часы	1,98	» »	0,38	—, +1,35
E41	0–10	160	1,29	11,60			4,19	1	4–45161	Приборы	1,98	» »	0,33	—, +1,40
E41E	0–10	160	1,29	11,60			4,19	1	4–45161	Слуховые аппараты	1,98	» »	0,33	—, +1,40
E675E	0–10	190	2,20	11,60			5,33	1	4–45211	» »	2,55	» »	0,48	—, +1,40
E675	0–10	215	2,05	11,60			5,33	1	4–45212	Приборы	2,55	» »	0,48	—, +1,40
EP675E	0–10	215	2,20	11,60			5,33	1	4–45212	Слуховые аппараты	2,55	» »	0,48	—, +1,40
313	0–0,2	220	0,208	11,60			5,33	1	5–45211	Часы	2,55	» »	0,48	—, +1,35
EPX675	0–2,0	220	1,00	11,60			5,33	1	4–45213	Электрические диафрагмы	2,55	»	0,48	—, +1,35
EPX625	0–5,0	250	5,00	15,60			6,05	1	625	Фотоэкспонометры (для низких температур EPX13)	4,25	»	1,15	—, +1,35
EPX13	0–5,0	250	5,00	15,60			6,05	1	625	Фотоэкспонометры	4,25	»	1,15	—, +1,35
E625N	0–20	250	5,00	15,60			6,05	1	625	Приборы	4,25	»	1,15	—, +1,35
E625	0–20	350	7,00	15,60			6,05	1	625	Приборы, слуховые аппараты	4,25	»	1,15	—, +1,40
E450	0–30	350	7,00	11,60			14,50	1	450	Приборы	5,10	»	1,48	—, +1,35
E630	0–20	350	5,00	15,60			6,05	1	630	Радиоприемники, слуховые аппараты	4,80	»	1,15	—, +1,40
EPX640	0–5	500	5,00	15,90			11,20	1	640	Электрические диафрагмы	7,94	»	2,13	—, +1,35
E640	0–50	500	10,00	15,90			11,20	1	640	Радиоприемники, слуховые аппараты	7,94	»	2,13	—, +1,40
E640N	0–50	500	10,00	15,90			11,20	1	640	Радиоприемники	7,94	»	2,13	—, +1,35
E401	0–75	800	16,00	11,60			28,70	1	401 «N»	Приборы, радиоприемники	11,90	»	2,95	—, +1,40
E401E	0–75	800	16,00	11,60			28,70	1	401 «N»	Слуховые аппараты	11,90	»	2,95	—, +1,40
E401N	0–75	800	16,00	11,60			28,70	1	401 «N»	Приборы	11,90	»	2,95	—, +1,35
EP401E	0–75	1000	25,00	11,50			29,00	1		Слуховые аппараты	12,50	»	3,10	—, +1,40
EPX1	0–5	1000	1,00	15,90			16,40	1	1	Электрические диафрагмы (для низких температур)	12,20	»	3,28	—, +1,35
E1	0–100	1000	20,00	15,90			16,40	1	1	Приборы	12,20	»	2,90	—, +1,40
E1N	0–100	1000	20,00	15,90			16,40	1	1	»	12,20	»	2,90	—, +1,35
E601	0–80	1800	76,00	15,90			29,00	1	601	»	22,00	»	5,57	—, +1,35
E3	0–60	2200	42,00	25,00			16,80	1	3	»	28,40	»	8,20	—, +1,35
E502	0–200	2400	48,00	13,70			49,50	1	502 «AA»	»	29,00	»	7,10	—, +1,35
E502E	0–200	2400	48,00	13,70			49,50	1	502 «AA»	Слуховые аппараты	29,00	»	7,10	—, +1,40
E9	0–200	2500	50,00	14,20			50,00	1	502 «AA»	Радиоприемники	29,80	»	7,37	—, +1,40
E4	0–80	3400	68,00	30,40			16,80	1	4	Приборы	42,50	»	12,00	—, +1,35
E12	0–250	3800	83,00	15,90			49,90	1	12 «A	»	40,00	»	9,34	—, +1,40
E12N	0–250	3800	83,00	15,90			49,90	1	12 «A»	Приборы (опорное напряжение)	40,00	»	9,34	—, +1,35
E42	0–1000	14 000	280,00	30,40			60,70	1	42 «D»	Приборы	167,00	»	47,50	—, +1,40
E42N	0–1000	14 000	280,00	30,40			60,70	1	42 «D»	Приборы (опорное напряжение)	167,00	Плоские контакты	47,50	—, +1,35
E302651	0–1000	14 000	250,00	33,30			61,90	1	42 «D»	Приборы	174,00	Специальные токовыводы	47,50	—, +1,35
E302157	0–2000	28 000	500,00		63,50	34,90	108,00	2	42 «D»	Дозиметрические приборы	383,00	Разъемного типа	220,00	—, +1,35

Обозначение батареи в порядке возрастания емкости	Рекомендуемые токи разряда, мА	Рабочая емкость, мА·ч	Ток разряда, мА	Максимальные размеры, мм: диаметр	длина	ширина	высота	Количество элементов	Типоразмер
Батареи напряжением									
EPX14	0–5	250	5,00	16,90			15,40	2	625
E152	0–30	350	5,00	12,30			29,80	2	450
E132	0–100	1000	20,00	16,80			32,90	2	1
E132N	0–100	1000	20,00	16,80			32,90	2	1
E302702	0–60	2200	42,00	28,60			41,30	2	3
Батареи напряжением									
EPX29	0–1	160	1,00	12,10			17,30	3	675
EPX25	0–5	250	5,00	16,80			21,50	3	626
E153	0–30	350	5,00	12,30			43,40	3	450
E163	0–50	500	10,00	16,80			33,20	3	640
E303496	0–50	500	15,00	16,60			33,80	3	640
E133	0–100	1000	20,00	16,80			49,40	3	1
E133N	0–100	1000	20,00	16,80			49,40	3	1
E303236	0–100	1000	30,00	16,00			49,00	3	1
E233	0–60	2200	42,00	26,00			50,60	3	3
E233N	0–60	2200	42,00	26,00			50,60	3	3
Батареи напряжением									
EPX23	0–10	110	2,00	15,20			20,00	4	575
EPX32	0–50	500	10,00	17,20			44,90	4	640
E164	0–50	500	10,00	16,80			44,30	4	640
E164N	0–50	500	10,00	16,80			44,30	4	640
EPX4	0–50	500	10,00	16,80			49,90	4	640
E134	0–100	1000	20,00	16,80			65,90	4	1
E134N	0–100	1000	20,00	16,80			65,90	4	1
E234N	0–60	2200	42,00	25,80			66,70	4	3
E302351	0–60	2200	42,00	27,00			66,70	4	3
E302904	0–80	3400	63,00	34,10			74,60	4	4

Продолжение табл. 4.1

Применения	Масса, г	Токовыводы	Объем, см³	Маркировка напряжения
2,7 и 2,8 В				
Фотоаппараты с сульфидкадмиевым фотоэлементом	8,50	Плоские контакты	3,28	—, +2,70
Приборы	11,30	» »	3,10	—, +2,80
Транзисторные устройства, слуховые аппараты	26,70	» »	6,50	—, +2,80
Транзисторные устройства	26,70	» »	6,50	—, +2,80
Геофизические приборы	56,70	Проволочные контакты	21,30	—, +2,70
4,05 и 4,2 В				
Электрические диафрагмы (для киноокамер)	7,25	Плоские контакты	1,81	—, +4,05
То же	13,90	» »	4,59	—, +4,05
Приборы	17,00	» »	3,61	—, +4,20
Транзисторные устройства	25,50	» »	7,20	—, +4,20
Нумератор страниц	24,70	» »	7,37	—, +4,20
Радиоприемные устройства	40,30	» »	10,70	—, +4,20
Приборы	40,30	» »	10,70	—, +4,05
Нумератор страниц	36,30	» »	9,83	—, +4,20
Радиоприемники	89,30	Радиоприемные устройства (отрицательный контакт утоплен)	26,20	—, +4,20
Приборы	89,30	То же	26,20	—, +4,05
5,4 и 5,6 В				
Вспышки	7,75	Плоские контакты	3,44	—, +5,60
Фотокамеры	31,20	» »	10,00	—, +5,60
Радиоприемники	34,00	» »	10,00	—, +5,60
Приборы	34,00	» »	10,00	—, +5,40
Фотокамеры	34,00	» »	11,10	—, +5,60
Приборы	53,60	» »	13,10	—, +5,60
»	53,60	» »	14,80	—, +5,40
»	119,00	» »	34,90	—, +5,40
Системы противопожарной сигнализации	128,00	» »	37,70	—, +5,40
Измерители	170,00	Проволочные контакты	59,00	—, +5,40

Продолжение табл. 4.1

Обозначение батареи в порядке возрастания емкости	Рекомендуемые токи разряда, мА	Рабочая емкость, мА·ч	Ток разряда, мА	Максимальные размеры, мм: диаметр	длина	ширина	высота	Количество элементов	Типоразмер	Применения	Масса, г	Токовыводы	Объем, см³	Маркировка напряжения
Батареи напряжением 6,75 и 7 В														
E175	0–10	180	2,20	12,60			27,80	5	675	Радиоприемники	11,90	Плоские контакты (отрицательный контакт утоплен)	3,60	—, +7,00
E115N	0–20	250	5,00	16,80			33,50	5	625	Приборы	20,00	То же	7,20	—, +6,75
E302435	0–20	250	5,00	17,50			38,10	5	625	Дозиметрические приборы	21,30	»	8,70	—, +6,75
E115	0–20	350	5,00	17,00			33,50	5	625	Приборы	20,00	»	7,20	—, +7,00
E145	0–20	350	5,00	16,50			30,60	5	625	Транзисторные устройства	19,80	»	6,56	—, +7,00
E165	0–50	500	10,00	16,80			55,40	5	640	Телевизионные тюнеры	42,50	»	12,00	—, +7,00
E165N	0–50	500	10,00	16,80			55,40	5	640	Приборы	42,50	»	12,00	—, +6,75
E135	0–100	1000	20,00	16,80			82,40	5	1	»	67,20	»	18,40	—, +7,00
E135N	0–100	1000	20,00	16,80			82,40	5	1	»	67,20	»	18,40	—, +6,75
E302497	0–60	2200	42,00	26,40			106,00	5	3	Контрольно-измерительные устройства	170,00	Под винт	49,20	—, +6,75
E235N	0–60	2200	42,00	25,80			84,10	5	3	Приборы	149,00	Плоские контакты	42,00	—, +6,75
E302642	0–80	2400	63,00	32,50			66,70	5	4Z	Системы противопожарной сигнализации	170,00	» »	51,00	—, +7,00
E302905	0–80	3400	63,00	34,10			90,50	5	4	Контрольно-измерительные устройства	255,00	Проволочные контакты	73,70	—, +6,75
Батареи напряжением 8,1 и 8,4 В														
E146X	0–30	575	15,00		26,20	16,70	44,50	6	635	Радиоприемники	51,00	Миниатюрные разъемы	18,00	—, +8,40
E126	0–40	600	12,00	18,50			50,80	6	660	»	46,80	Плоские контакты (отрицательный контакт утоплен)	13,80	—, +8,40
E286	0–50	750	15,00	25,40			49,30	6	822	»	77,00	Разъемы	24,90	—, +8,40
E136	0–100	1000	20,00	16,80			98,90	6	1	Приборы	81,00	Плоские контакты	22,00	—, +8,40
E136N	0–100	1000	20,00	16,80			98,90	6	1	»	81,00	» »	22,00	—, +8,10
E236N	0–60	2200	42,00					6	3	»	179,00	» »	39,30	—, +8,10
E303145	0–250	3600	83,00		55,60	21,40	113,00	6	12	Глубиномеры	265,00	Разъемы	136,00	—, +8,40
Батареи напряжением 9,45 и 9,8 В														
E303219	0–10	160	5,00	3,10			41,30	7	675	Устройства для открывания дверей гаража	28,40	Плоские контакты	5,60	—, +9,80
E177	0–10	215	2,05	13,90			48,40	7	4–45212	Радиоприемники	24,00	Миниатюрные разъемы	5,60	—, +9,80
E302250	0–20	250	5,00	17,50			48,40	7	625	Дозиметрические приборы	28,40	Лепестки под печатный монтаж	11,10	—, +9,45
E137	0–100	1000	30,00	16,80			115,00	7	1	Приборы	94,70	Плоские контакты	25,90	—, +9,80
E137N	0–100	1000	30,00	16,80			115,00	7	1	»	94,70	» »	25,90	—, +9,45
E302478	0–80	2400	63,00	31,80			92,10	7	4Z	Записывающие устройства	255,00	» »	72,10	—, +9,80
E302907	0–80	3400	63,00	34,10			124,00	7	4	Приборы	329,00	Проволочные контакты	108,00	—, +9,45

Продолжение табл. 4.1

Обозначение батареи в порядке возрастания емкости	Рекомендуемые токи разряда, мА	Рабочая емкость, мА·ч	Ток разряда, мА	Максимальные размеры, мм: диаметр	длина	ширина	высота	Количество элементов	Типоразмер	Применения	Масса, г	Токовыводы	Объем, см³	Маркировка напряжения
Батареи напряжением 10,8 и 11,2 В														
E302358	0–20	250	5,00	19,10			55,60	8	625	Дозиметрические приборы	36,90	Проволочные контакты	12,80	—, +10,80
E302908	0–80	3400	63,00	34.10			141,00	8	4	» »	340,00	» »	116,90	—, +10,80
E303394	0–250	3600	83,00		63,50	44,50	57,90	8	12	Магнитофоны	397,00	Разъемы	126,00	—, +12,60
Батареи напряжением 12,6 В														
E169	0–50	500	15,00	16,80			102,00	9	640	Приборы	76,50	Плоские контакты	23,00	—, +12,60
E289	0–50	750	15,00	25,40			61,10	9	822	Приемопередатчики	102,00	Разъемы	35,70	—, +12,60
Батарея напряжением 15,4 В														
E303462	0–250	2200	50,00		53,90	54,40	45,70	11	15 «АА» (для низких температур)	» »	369,00	Плоские контакты (утоплены)	134,00	—, +15,40
Батареи напряжением 16,2 и 16,8 В														
E302362	0–20	250	5,00	19,10			80,20	12	625	Дозиметрические приборы	51,00	Проволочные контакты	18,50	—, +16,20
E303314	0–250	2200	50,00		72,40	71,40	33,50	12	15 «АА» (для низких температур)	Приемопередатчики	363,00	Плоские контакты (утоплены)	156,00	—, +16,80
Батарея напряжением 27 В														
E302580	0–80	3400	63,00		69,10	69,10	99,20	20	4	Приборы	953,00	Разъемного типа	472,00	—, +27,00
Батарея напряжением 29,7 В														
E302579	0–20	250	5,00		37,50	19,10	81,00	22	625	Контрольно-измерительные устройства	142,00	Проволочные контакты	47,50	—, +29,70
Батарея напряжением 47,25 В														
E302465	0–100	1000	30,00	54,00			95,30	36	1	Геофизические устройства	482,00	» »	198,00	—, +47,25
Батарея напряжением 97,2 В														
E302462	0–100	1000	30,00		71,40	38,90	163,00	72	1	Радиопередатчики «В»	907,00	» »	420,00	—, +97,20

Таблица 4.2. **Характеристики ртутно-цинковых батарей Eveready напряжением 1,35 и 1,4 В производства фирмы Union Carbide**

Обозначение батарен, принятое фирмой-изготовителем	Напряжение, В	Рекомендуемые токи разряда, мА	Обозначение согласно стандарту ANSI	Обозначение согласно МЭК	Средняя рабочая емкость, мА·ч	Расчетный срок службы при 21 °С					Средний импеданс при 1 000 Гц, Ом
						режим разряда, ч/день	начальный ток разряда, мА	сопротивление нагрузки, Ом	конечное напряжение, В	продолжительность работы, ч	
E212E	1,35	0—1	M4	—	16 (при разряде до 0,9 В при токе 0,9 мА)	24	0,9000	1 500	0,9	20	
							1,1000	1 250	0,9	16	
325	1,35	0—0,1	WM5	MR41	50 (при разряде до 1,2 В при $R_н$ = 13 кОм)	24	0,1040	13 000	1,2	540	65
						24	0,0054	25 000	1,2	14 мес	
388	1,35	0—0,07	—	—	65 (при разряде до 1,2 В при $R_н$ = 20 кОм)	24	0,0675	20 000	0,9	1 000	
									1,2	980	
387	1,35	0—0,1	—	—	80 (при разряде до 0,9 В при $R_н$ = 13 кОм)	24	0,1040	13 000	1,0	800	
E400N	1,35	0—7	M10	MR08	80 (при разряде до 0,9 В при токе 1,5 мА)	24	1,1000	1 250	0,9	75,9	
						24	3,2000	417	1,1	73,9	
									0,9	15,1	
									1,1	13,1	
323	1,35	0—0,1	WM6	MR48	95 (при разряде до 1,2 В при $R_н$ = 13 кОм)	24	0,1040	13 000	1,2	950	65
							0,0103	130 000	1,2	13 мес	
343	1,35	0—0,1	WM10	MR42	120 (при разряде до 1,2 В при $R_н$ = 13 кОм)	24	0,1040	13 000	0,9	1 200	
						24	0,0103	130 000	1,2	1 170	
									0,9	16 мес	80
									1,2	15,8 мес	
354	1,35	0—0,2	—	MR43	150 (при разряде до 0,9 В при $R_н$ = 6,5 кОм)	24	0,2080	6 500	0,9	730	
						24	0,2080	6 500	1,2	710	
						24	0,0143	94 000	0,9	14 мес	
									1,2	13,8 мес	
313	1,35	0—0,2	WM45	MR44	220 (при разряде до 1,2 В при $R_н$ = 6,50 кОм)	24	0,2080	6 500	1,2	1 100	25
						24	0,0143	94 000	1,2	21 мес	
EPX675	1,35	0—0,2	M15	MR07	220 (при разряде до 0,9 В при токе 1 мА)	24	0,5400	2 500	0,9	430	
						24	0,5400	2 500	1,2	425	
E625N	1,35	0—20	M20	MR9	250 (при разряде до 0,9 В при токе 5 мА)	24	5,4000	250	0,9	50,9	
						24	5,4000	250	1,1	47,3	
						14	16,0000	83	0,9	15	
						14	16,0000	83	1,1	11,9	
EPX13 и EPX625	1,35	0—5	M20	MR9	250 (при разряде до 0,9 В при токе 5 мА)	24	1,0000	1 350	0,9	280	
						24	5,4000	250	0,9	58	
EPX640	1,35	0—5	M30	—	500 (при разряде до 0,9 В при токе 5 мА)	24	1,1000	1 250	0,9	510	
						24	1,1000	1 250	1,1	495	
E640N	1,35	0—50	M30	—	500 (при разряде до 0,9 В и токе 10 мА)	24	10,8000	125	0,9	51	
						24	10,8000	125	1,1	46	
						24	27,0000	50	0,9	15,8	
						24	27,0000	50	1,1	7,5	
E401N	1,35	0—75	M35	MR1	800 (при разряде до 0,9 В при токе 16 мА)	24	13,5000	100	0,9	68,9	
						24	13,5000	100	1,1	67,7	
						24	54,0000	25	0,9	7,7	
						24	54,0000	25	1,1	2,8	
EPX1	1,35	0—5	M40	MR7	1 000 (при разряде до 0,9 В при токе 1 мА)	24	1,0000	1 350	0,9	1 056	
E1N	1,35	0—100	M40	—	1 000 (при разряде до 0,9 В при токе 20 мА)	24	22,0000	60	0,9	52,6	
						24	22,0000	60	1,1	42	
						24	37,0000	36	0,9	31,7	
						24	37,0000	36	1,1	18	
E3	1,35	0—60	M60	MR17	2 200 (при разряде до 0,9 В при токе 42 мА)	24	22,5000	60	0,9	125	
						24	22,5000	60	1,1	114	
						24	48,0000	28	0,9	52,2	
						24	48,0000	28	1,1	17,5	
E502	1,35	0—200	M55	MR6	2 400 (при разряде до 0,9 В при токе 48 мА)	24	16,0000	83	0,9	171	
						24	16,0000	83	1,1	155	
						24	52,0000	26	0,9	50,8	
						24	52,0000	26	1,1	49,8	

Продолжение табл. 4.2

Обозначение батареи, принятое фирмой-изготовителем	Напряжение, В	Рекомендуемые токи разряда, мА	Обозначение согласно стандарту ANSI	Обозначение согласно МЭК	Средняя рабочая емкость, мА·ч	Расчетный срок службы при 21 °С: режим разряда, ч/день	начальный ток разряда, мА	сопротивление нагрузки, Ом	конечное напряжение, В	продолжительность работы, ч	Средний импеданс при 1 000 Гц, Ом
E4	1,35	0—80	—	—	3400 (при разряде до 0,9 В при токе 68 мА)	24	34,0000	40	0,9	124	
						24	34,0000	40	1,1	103	
						24	90,0000	15	0,9	38	
						24	90,0000	15	1,1	5,3	
E12N	1,35	0—250	M70	—	3800 (при разряде до 0,9 В при токе 83 мА)	24	42,0000	32	0,9	100	
						24	42,0000	32	1,1	99	
						24	135,0000	10	0,9	33,5	
						24	135,0000	10	1,1	27	
E42N	1,35	0—1 000	M100	—	14 000 (при разряде до 0,9 В при токе 280 мА)	24	307,0000	4,4	0,9	54,7	
						24	307,0000	4,4	1,1	32	
						24	1 080,0000	1,25	0,9	8,6	
						24	1 080,0000	1,25	1,1	1	
E312 и E312E	1,40	0—5	M5	—	45 (при разряде до 0,9 В при токе 0,85 мА)	16	0,8500	1 500	0,9	58	5—20 на частоте 40—10 000 Гц при указанных токах разряда
						16	0,8500	1 500	1,1	57	
						16	1,2500	1 000	0,9	36	
						16	1,2500	1 000	1,1	34	
E400	1,40	0—7	M10	MR08	80 (при разряде до 0,9 В при токе 1,5 мА)	24	1,1000	1 250	0,9	74,3	
						24	1,1000	1 250	1,1	73,1	
						24	3,3000	417	0,9	25,0	
						24	3,3000	417	1,1	22,1	
E13 и E13E	1,40	0—5	M6	MR48	85 (при разряде до 0,9 В при токе 0,85 мА)	16	0,8500	1 500	0,9	99	8—15 на частоте 40—5 000 Гц при указанных токах разряда
						16	0,8500	1 500	1,1	97	
						16	1,2600	1 000	0,9	66	
						16	1,2600	1 000	1,1	64	
ES75	*1,40*	*0—10*	*M8*	—	*105 (при разряде до 0,9 В при токе 1,28 мА)*	16	1,2800	1 000	0,9	86	3—9 на частоте 40—5 000 Гц при указанных токах разряда
						16	1,2800	1 000	1,1	85	
						16	2,1000	625	0,9	50	
						16	2,1000	625	1,1	49	
E41 и E41E	1,40	0—10	M11	—	160 (при разряде до 0,9 В при токе 1,29 мА)	16	1,2900	1 000	0,9	126	То же
						16	1,2900	1 000	1,1	125	
						16	2,0500	625	0,9	78	
						16	2,0500	625	1,1	77	
E675E	1,40	0—10	M15	—	190 (при разряде до 0,9 В при $R_н = 6{,}25$ Ом)	16	1,2800	1 000	0,9	151	»
						16	1,2800	1 000	1,1	150	
						16	2,0500	625	0,9	90	
						16	2,0500	625	1,1	89	
E675 и EP675E	1,40	0—10	M15	—	215 (при разряде до 0,9 В при токе 2,05 мА)	16	1,2800	1 000	0,9	178	
						16	1,2800	1 000	1,1	177	
						16	2,0500	625	0,9	109	
						16	2,0500	625	1,1	108	
E625	1,40	0—20	M20	MR9	350 (при разряде до 0,9 В при токе 7 мА)	24	5,6000	250	0,9	70,1	
						24	5,6000	250	1,1	66,4	
						24	17,0000	83	0,9	18	
						24	17,0000	83	1,1	13,1	
E630	1,40	0—20	M20	MR9	350 (при разряде до 0,9 В при токе 5 мА)	24	5600	250	0,9	67	
						24	5600	250	1,1	61,8	
						24	17,0000	83	0,9	18,7	
						24	17,0000	83	1,1	12,8	
E640	1,40	0—50	M30	—	500 (при разряде до 0,9 В при токе 10 мА)	24	11,2000	125	0,9	50,8	
						24	11,2000	125	1,1	46,5	
						24	28,0000	50	0,9	22	
						24	28,0000	50	1,1	8,1	
E401 и E401E	1,40	0—75	M35	MR1	800 (при разряде до 0,9 В при токе 16 мА)	24	14,0000	100	0,9	69,8	
						24	14,0000	100	1,1	61,2	
						24	56,0000	25	0,9	11,7	
						24	56,0000	25	1,1	8,8	
EP401E	1,40	0—75	—	—	1000 (при разряде до 0,9 В при токе 25 мА)	24	5,6000	250	0,9	206	
						24	5,6000	250	1,1	204	
						24	93,3000	15	0,9	13,8	
						24	93,3000	15	1,1	10	

Продолжение табл. 4.2

Обозначение батареи, принятое фирмой-изготовителем	Напряжение, В	Рекомендуемые токи разряда, мА	Обозначение согласно стандарту ANSI	Обозначение согласно МЭК	Средняя рабочая емкость, мА·ч	Расчетный срок службы при 21 °С: режим разряда, ч/день	начальный ток разряда, мА	сопротивление нагрузки, Ом	конечное напряжение, В	продолжительность работы, ч	Средний импеданс при 1 000 Гц, Ом
E1	1,40	0—100	M40	MR7	1 000 (при разряде до 0,9 В при токе 20 мА)	24	23,0000	60	0,9	55,5	
						24	23,0000	60	1,1	49	
						24	39,0000	36	0,9	38	
						24	39,0000	36	1,1	27,7	
E502E	1,40	0—200	M55	MR6	2 400 (при разряде до 0,9 В при токе 48 мА)	24	17,0000	83	0,9	174	
						24	17,0000	83	1,1	154	
						24	54,0000	26	0,9	51,2	
						24	54,0000	26	1,1	42,7	
E9	1,40	0—200	M55	MR6	2 500 (при разряде до 0,9 В при токе 50 мА)	24	16,9000	83	0,9	180	
						24	16,9000	83	1,1	175	
						24	56,0000	25	0,9	55	
						24	56,0000	25	1,1	52	
E12	1,40	0—250	M70	—	3 800 (при разряде до 0,9 В при токе 83 мА)	24	44,0000	32	0,9	100	
						24	44,0000	32	1,1	91	
						24	140,0000	10	0,9	33	
						24	140,0000	10	1,1	28	
E42	1,40	0—1 000	M100	—	14 000 (при разряде до 0,9 В при токе 280 мА)	24	318,0000	4,4	0,9	60	
						24	318,0000	4,4	1,1	29	
						24	1 120,0000	1,25	0,9	7,5	
						24	1 120,0000	1,25	1,1	1	

Таблица 4.3. **Характеристики ртутно-цинковых батарей Eveready напряжением 2,7—12,6 В производства фирмы Union Carbide**

Обозначение батареи, принятое фирмой-изготовителем	Напряжение, В	Рекомендуемые токи разряда, мА	Обозначение согласно стандарту ANSI	Обозначение согласно МЭК	Средняя рабочая емкость, мА·ч	Расчетный срок службы при 21 °С: режим разряда, ч/день	начальный ток разряда, мА	сопротивление нагрузки, Ом	конечное напряжение, В	продолжительность работы, ч	Средний импеданс при 1000 Гц, Ом
EPX14	2,7	0—5	—	—	250 (при разряде до 1,8 В при токе 5 мА)	24	0,98	2750	1,8	280	
							5,40	500	1,8	58	
E132N	2,7	0—100	—	—	1000 (при разряде до 1,8 В при токе 20 мА)	24	22,50	120	1,8	52,6	
							22,50	120	2,2	42	
							37,50	72	1,8	31,7	
							37,50	72	2,2	18	
E152	2,8	0—30	—	—	350 (при разряде до 1,8 В при токе 7 мА)	24	5,60	500	1,8	75,8	
							5,60	500	2,2	74,7	
							22,40	125	1,8	12,8	
							22,40	125	2,2	10,5	
E132	2,8	0—100	—	—	1000 (при разряде до 1,8 В при токе 20 мА)	24	23,00	120	1,8	55,5	
							23,00	120	2,2	49	
							39,00	72	1,8	38	
							39,00	72	2,2	27,7	
E133N	4,05	0—100	—	—	1000 (при разряде до 2,7 В при токе 20 мА)	24	22,50	180	2,7	52,6	
							22,50	180	3,3	42	
							37,50	108	2,7	31,7	
							37,50		3,3	18	

Продолжение табл. 4.3

Обозначение батареи, принятое фирмой-изготовителем	Напряжение, В	Рекомендуемые токи разряда, мА	Обозначение согласно стандарту ANSI	Обозначение согласно МЭК	Средняя рабочая емкость, мА·ч	Расчетный срок службы при 21 °С: режим разряда, ч/день	начальный ток разряда, мА	сопротивление нагрузки, Ом	конечное напряжение, В	продолжительность работы, ч	Средний импеданс при 1000 Гц, Ом
E163	4,2	0—50	—	—	500 (при разряде до 2,7 В при токе 10 мА)	24	11,20	375	2,7	50,8	
							11,20	375	3,3	46,5	
							28,00	150	2,7	22	
							28,00	150	3,3	8,1	
E133	4,2	0—100	—	—	1000 (при разряде до 2,7 В при токе 20 мА)	24	23,00	180	2,7	55,5	
							23,00	180	3,3	49	
							39,00	108	2,7	38	
							39,00	108	3,3	27,7	
E233	4,2	0—60	—	—	2200 (при разряде до 2,7 В при токе 42 мА)	24	23,00	180	2,7	122	
							23,00	180	3,3	96	
							50,00	84	2,7	53	
							50,00	84	3,3	17,4	
E164N	5,4	0—50	—	—	500 (при разряде до 3,6 В при токе 10 мА)	24	10,80	500	3,6	51	
							10,80	500	4,4	46	
							27,00	200	3,6	15,8	
							27,00	200	4,4	7,5	
E134N	5,4	0—100	—	—	1000 (при разряде до 3,6 В при токе 20 мА)	24	22,50	240	3,6	52,6	
							22,50	240	4,4	42	
							37,50	144	3,6	31,7	
							37,50	144	4,4	18	
EPX23	5,6	0—10	—	—	110 (при разряде до 3,6 В при токе 2 мА)	24	1,70	3340	3,6	66,3	
							1,70	3340	4,4	61,7	
							5,60	1000	3,6	16,5	
							5,60	1000	4,4	15	
EPX32 и E164	5,6	0—60	—	—	500 (при разряде до 3,6 В при токе 10 мА)	24	11,00	500	3,6	50,8	
							11,00	500	4,4	46,5	
							28,00	200	3,6	22	
							28,00	200	4,4	8,1	
E134	5,6	0—100	—	—	1000 (при разряде до 3,6 В при токе 20 мА)	24	23,00	240	3,6	55,5	
							23,00	240	4,4	49	
							39,00	144	3,6	38	
							39,00	144	4,4	27,7	
E135N	6,75	0—100	—	—	1000 (при разряде до 4,5 В при токе 20 мА)	24	22,50	300	4,5	52,6	
							22,50	300	5,5	42	
							37,50	180	4,5	31,7	
							37,50	180	5,5	18	
E175	7,0	0—10	—	—	180 (при разряде до 4,5 В при токе 2,2 мА)	24	2,30	3000	4,5	87	
							2,30	3000	5,5	86	
E115	7,0	0—20	—	—	350 (при разряде до 4,5 В при токе 5 мА)	24	5,60	1250	4,5	70,1	
							5,60	1250	5,5	66,4	
							17,00	415	4,2	18	
							17,00	415	5,5	13,1	
E165	7,0	0—50	—	—	500 (при разряде до 4,5 В при токе 10 мА)	24	11,20	625	4,5	50,8	
							11,20	625	5,5	46,5	
							28,00	250	4,5	22	
							28,00	250	5,5	8,1	
E135	7,0	0—100	—	—	1000 (при разряде до 4,5 В при токе 20 мА)	24	23,00	300	4,5	55,5	
							23,00	300	5,5	49	
							39,00	180	4,5	38	
							39,00	180	5,5	27,7	
E136N	8,1	0—100	—	—	1000 (при разряде до 5,4 В при токе 20 мА)	24	22,50	360	5,4	52,6	
							22,50	360	6,6	42	
							37,50	216	5,4	31,7	
							37,50	216	6,6	18	

Продолжение табл. 4.3

Обозначение батареи, принятое фирмой-изготовителем	Напряжение, В	Рекомендуемые токи разряда, мА	Обозначение согласно стандарту ANSI	Обозначение согласно МЭК	Средняя рабочая емкость, мА·ч	Расчетный срок службы при 21 °С: режим разряда, ч/день	начальный ток разряда, мА	сопротивление нагрузки, Ом	конечное напряжение, В	продолжительность работы, ч	Средний импеданс при 1000 Гц, Ом
E146X	8,4	0—30	—	—	575 (при разряде до 5,4 В при токе 15 мА)	24	11,00 11,00 28,00 28,00	750 750 300 300	5,4 6,6 5,4 6,6	60 44 19 5	
E126	8,4	0—30	—	—	600 (при разряде до 5,4 В при токе 12 мА)	24	11,00 11,00 28,00 28,00	750 750 300 300	5,4 6,6 5,4 6,6	67 57,2 25 5	
E136	8,4	0—100	—	—	1000 (при разряде до 5,4 В при токе 20 мА)	24	23,00 23,00 39,00 39,00	360 360 216 216	5,4 6,6 5,4 6,6	55,5 49 38 27,7	
E177	9,8	0—10	—	—	215 (при разряде до 6,3 В при токе 2,05 мА)	2 4	5,40 5,40 9,80 9,80	1800 1800 1000 1000	4,2 6,6 4,2 6,9	44 42 25 21	
E289	12,6	0—50	—	—	750 (при разряде до 8,1 В при токе 15 мА)	24	17,50 17,50 56,00 56,00	720 720 225 225	0,9 1,1 0,9 1,1	51,5 41,5 12 4,6	

Данные об электрических характеристиках, размерах и типичных применениях ртутно-цинковых элементов и батарей приведены в табл. 4.1. Дополнительная информация об электрических параметрах, включая емкость и ожидаемую длительность работы при 21°С в различных условиях, представлена в табл. 4.2 (для элементов напряжением 1,35—1,4 В) и 4.3 (для батарей напряжением 2,7—12,6 В). Типичные разрядные кривые при 21° С для некоторых элементов серии Eveready приведены на рис. 4.9 и 4.10.

4.2. РТУТНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ MALLORY

Напряжение, емкость и размеры ртутно-цинковых батарей серии Duracell приведены в табл. 4.4 и 4.5. Батареи типа 304116 (напряжением 12,6 В) и TR431 (11,2 В) рекомендуются в качестве источника питания для централизованной системы противопожарной сигнализации, реагирующей на дым. Интересно отметить, что фирма Mallory предлагает, чтобы контактные устройства аппаратуры для лучшего контакта с полюсами окиснортутных батарей изготавливались из таких пружинящих материалов (например, фосфористой бронзы или бериллий-медных сплавов), которые обеспечивали бы прижимное усилие не менее 50 г в течение длительного времени. Контакты следует покрыть гладким сплошным слоем никеля толщиной ≈50,8 мкм, поверх которого необходимо нанести слой золота толщиной не менее 0,508 мкм. Надежность контакта может быть еще более повышена, если обеспечить несколько индивидуальных контактных точек, разделив основную контактирующую деталь на два, три или более зубца, подобных зубцам вилки.

На рис. 4.11 приведены разрядные кривые для нескольких батарей серии Duracell. Эти данные показывают, как изменяется среднее ожидаемое время наработки при 20 °С в зависимости от величины отбираемого тока. На рис. 4.12 приведены данные по длительности работы при 20 °С при разряде на постоянный резистор некоторых элементов серии Duracell напряжением 1,35 и 1,4 В и емкостью, лежащей в интервале от 85 до 14000 мА·ч.

Фирма Mallory выпускает специальные ртутные батареи, конструкция которых основана на использовании свернутого спиралью цинкового анода. Эти батареи особенно хорошо подходят для использования при температурах ниже тех, которые рекомендованы для работы обычных ртутных элементов. Так, батареи типа RM1438, RM1450R, RM2550R эффективно работают при температуре на 15 °С ниже рабочих температур стандартных ртутных элементов.

Таблица 4.4. **Характеристики ртутно-цинковых элементов серии Duracell производства фирмы Mallory**

Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мА·ч	Тип	Максимальный диаметр, мм	Максимальная высота, мм	Масса, г
1,35	45	RM312	7,75	3,56	0,6
1,35	50 *	WH1	7,80	3,60	0,8
1,35	62 *	10R10	8,84	3,30	0,9
1,35	80 *	PX400	11,60	3,43	1,1
1,35	80 *	W2	11,56	3,55	1,4
1,35	95 *	WH6	7,75	5,33	1,2
1,35	110 *	WH12NM	11,58	3,60	1,4
1,35	120 *	WH8	11,56	3,84	1,6
1,35	210 *	PX675	11,60	5,40	2,6
1,35	220 *	WH3	11,56	5,40	2,9
1,35	250	PX625	15,60	6,20	4,0
1,35	350 *	PX450	11,56	14,50	5,1
1,35	350	RM450R	11,56	14,50	5,4
1,35	350	RM625N	15,60	6,20	4,3
1,35	500 *	PX640	15,90	11,20	7,9
1,35	500	RM640R	15,90	11,20	7,9
1,35	750	RM822N	22,96	6,10	11,0
1,35	800	RM401R	12,00	29,00	11,0
1,35	1 000 *	PX1	16,40	16,80	12,0
1,35	1 000	RM1N	16,40	16,80	12,0
1,35	2 200	RM3R	25,00	17,00	29,0
1,35	2 400	RM502R	14,20	50,00	30,0
1,35	2 700	RM1438R	37,20	10,29	40,0
1,35	3 400	RM4R	30,35	17,00	43,0
1,35	3 600	RM12R	16,26	50,00	39,0
1,35	4 500	RM1450R	37,20	13,50	53,0
1,35	13 000	RM2550R	65,00	13,97	178,0
1,35	14 000	RM42R	34,00	60,70	167,0
1,40	16	RM212H	5,59	3,10	0,32
1,40	75	RM400H	11,60	3,43	1,1
1,40	85	RM13H	7,87	5,34	1,0
1,40	100	RM575H	11,60	3,50	1,4
1,40	150	RM41	11,60	4,07	2,0
1,40	210	MP675H	11,60	5,40	2,6
1,40	230	SP675	11,60	5,40	2,6
1,40	500	RM640H	15,90	11,20	7,9
1,40	600	RM660	17,40	7,57	7,6
1,40	800	RM401	12,00	29,00	11,0
1,40	1 000	MP401	12,00	30,20	13,0
1,40	1 000	RM1	16,40	16,80	12,0
1,40	2 400	ZM9C	14,50	50,00	30,0
1,40	3 600 *	ZM12	16,26	49,71	40,0
1,40	45	RM312	7,75	3,56	0,6

Продолжение табл. 4.4

Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мА·ч	Тип	Максимальный диаметр, мм	Максимальная высота, мм	Масса, г
1,35	50 *	WH1	7,80	3,60	0,8
1,35	62 *	10R10	8,84	3,30	0,9
1,35	80 *	PX400	11,60	3,43	1,1
1,35	80 *	W2	11,56	3,55	1,4
1,35	95 *	WH6	7,75	5,33	1,2
1,35	110 *	WH12NM	11,58	3,60	1,4
1,35	120 *	WH8	11,56	3,48	1,6
1,35	210 *	PX675	11,60	5,40	2,6
1,35	220 *	WH3	11,56	5,40	2,9
1,35	250	PX625	15,60	6,20	4,0
1,35	350 *	PX450	11,56	14,50	5,1
1,35	350	RM450R	11,56	14,50	5,4
1,35	350	RM625N	15,60	6,20	4,3
1,35	500 *	PX640	15,90	11,20	7,9
1,35	500	RM640R	15,90	11,20	7,9
1,35	750	RM822N	22,96	6,10	11,0
1,35	800	RM401R	12,00	29,00	11,0
1,35	1 000 *	PX1	16,40	16,80	12,0
1,35	1 000	RM1N	16,40	16,80	12,0
1,35	2 200	RM3R	25,00	17,00	29,0
1,35	2 400	RM502R	14,20	50,00	30,0
1,35	2 700	RM1438R	37,20	10,29	40,0
1,35	3 400	RM4R	30,35	17,00	43,0
1,35	3 600	RM12R	16,26	50,00	39,0
1,35	4 500	RM1450R	37,20	13,50	53,0
1,35	13 000	RM2550R	65,00	13,97	178,0
1,35	14 000	RM42R	34,00	60,70	167,0
1,40	16	RM212H	5,59	3,10	0,32
1,40	75	RM400H	11,60	3,43	1,1
1,40	85	RM13H	7,87	5,34	1,0
1,40	100	RM575H	11,60	3,50	1,4
1,40	210	MP675H	11,60	5,40	2,6
1,40	230	SP675	11,60	5,40	2,6
1,40	500	RM640H	15,90	11,20	7,9
1,40	600	RM660	17,40	7,57	7,6
1,40	800	RM401	12,00	29,00	11,0
1,40	1 000	MP401	12,00	30,20	13,0
1,40	1 000	RM1	16,40	16,80	12,0
1,40	2 400	ZM9C	14,50	50,00	30,0
1,40	3 600 *	ZM12	16,26	49,71	40,0

* Элементы, рассчитанные на небольшой ток разряда.

Таблица 4.5. **Характеристики многоэлементных ртутно-цинковых батарей серии Duracell производства фирмы Mallory**

Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мА·ч	Обозначение батареи	Максимальные размеры: диаметр, мм	Максимальные размеры: высота, мм	Масса, г	Исполнение (см. ниже)	Обозначение элемента	Количество элементов в батарее
2,70	250	PX14	16,40	15,40	8,3	A	PX625	2
2,70	350	TR112N	16,76	15,49	8,2	A	RM625N	2
2,70	350	TR152R	12,70	28,90	11,0	A	RM450R	2
2,70	500	TR162R	16,81	22,53	17,0	A	RM640R	2
2,70	1000	TR132N	17,10	33,52	27,0	A	RM1N	2
2,70	2200	TR232R	26,04	34,04	60,0	A	RM3R	2
4,05	210 *	PX29	11,71	16,51	7,7	A	PX675	3
4,05	250	PX25	16,76	21,46	14,0	A	PX625	3
4,05	350	TR113N	16,76	21,46	14,0	A	RM625N	3
4,05	350	TR153R	12,70	43,38	17,0	A	RM450R	3
4,05	500	TR163R	16,81	22,53	26,0	A	RM640R	3
4,05	1000	TR133N	17,10	50,04	41,0	A	RM1N	3
4,05	2200	TR233R	26,04	50,67	89,0	A	RM3R	3
4,20	225	7R31	17,02 × 11,43 × 40,64		14,0			
5,40	350	TR114N	16,76	27,43	16,0	A	RM625N	4
5,40	350	TR154R	12,70	57,89	23,0	A	RM450R	4
5,40	500	TR164R	16,81	44,90	34,0	A	RM640R	4
5,40	1000	TR134N	17,10	66,68	54,0	A	RM1N	4
5,40	2200	TR234R	26,04	67,56	119,0	A	RM3R	4
5,60	100	PX23	15,20	20,00	8,0	A	RM575H	4
5,60	150	PX27	12,70	20,50	9,2	A	RM41	4
5,60	175	7H34	13,00	25,40	11,0	A		
5,60	500	TR164	16,81	44,90	34,0	A	RM640H	4
6,75	350	TR115N	16,76	33,53	20,0	A	RM625N	5
6,75	500	TR165R	16,81	56,13	43,0	A	RM640R	5
6,75	1000	TR135N	17,10	83,31	67,0	A	RM1N	5
6,75	2200	TR235R	26,04	84,46	149,0	A	RM3R	5
7,00	210	TR175	12,70	27,18	12,0	A	MP675H	5
8,10	1000	TR136N	17,10	99,95	81,0	A	RM1N	6
8,40	575	TR146X	26,20 × 16,76 × 44,50		53,0			
8,40	600	TR126	19,20	50,80	50,0	A	RM660	6
8,40	750	TR286	25,40	49,20	77,0	B		
9,45	1000	TR137N	17,10	116,59	95,0	A	RM1N	7
9,80	210	TR177	12,95	48,31	19,0	B	MP675H	7
10,80	350	TR118N	16,76	51,94	32,0	A	RM625N	8
11,20	210	TR178	12,70	43,31	19,0	A	MP675H	8
11,20	1000	TR431	26,16	81,26	116,0	B		
12,60	100	TR149	14,99	35,00	17,0	A	RM575H	9
12,60	750	TR289	25,40	61,11	102,0	B		
12,60	900	304116	25,16	81,28	127,0	B		

*—батарея, рассчитанная на малый ток разряда.

Исполнение

A B

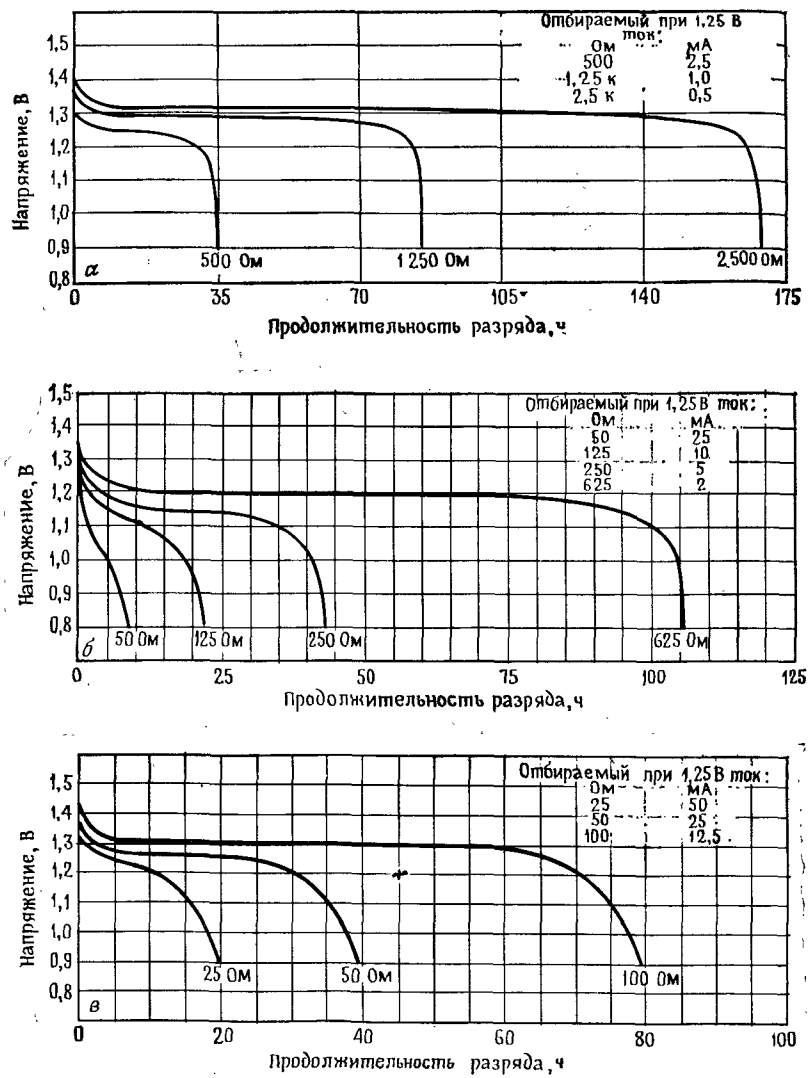


Рис. 4.11. Средняя продолжительность разряда некоторых ртутно-цинковых элементов и батарей серии Duracell фирмы Mallory напряжением 1,35—12,6 В при 20 °С.

а — разряд элемента RM13H [емкость 85 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 1250 Ом; импеданс (среднее значение при 15 %-ной разряженности) равен 7,6 Ом при 10 Гц, 7,0 Ом при 1000 Гц, 6,0 Ом при 100 000 Гц]; *б* — разряд элемента MP675H [емкость 210 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 500 Ом; импеданс (среднее значение при 15 %-ной разряженности) равен 2,5 Ом при 10 Гц, 2,0 Ом при 1000 Гц, 1,0 Ом при 100 000 Гц]; *в* — разряд элемента MP401 (емкость 1000 мА·ч при разряде на нагрузку 50 Ом); *г* — разряд элемента RM1438R (емкость 2700 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 25 Ом); *д* — разряд элемента RM42R (емкость 14 000 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 50 Ом); *е* — разряд батареи 304 116 (при нагрузке 13 000 Ом емкость при разряде до 10,3 В равна 630 мА·ч, а при разряде до 7,0 В — 900 мА·ч).

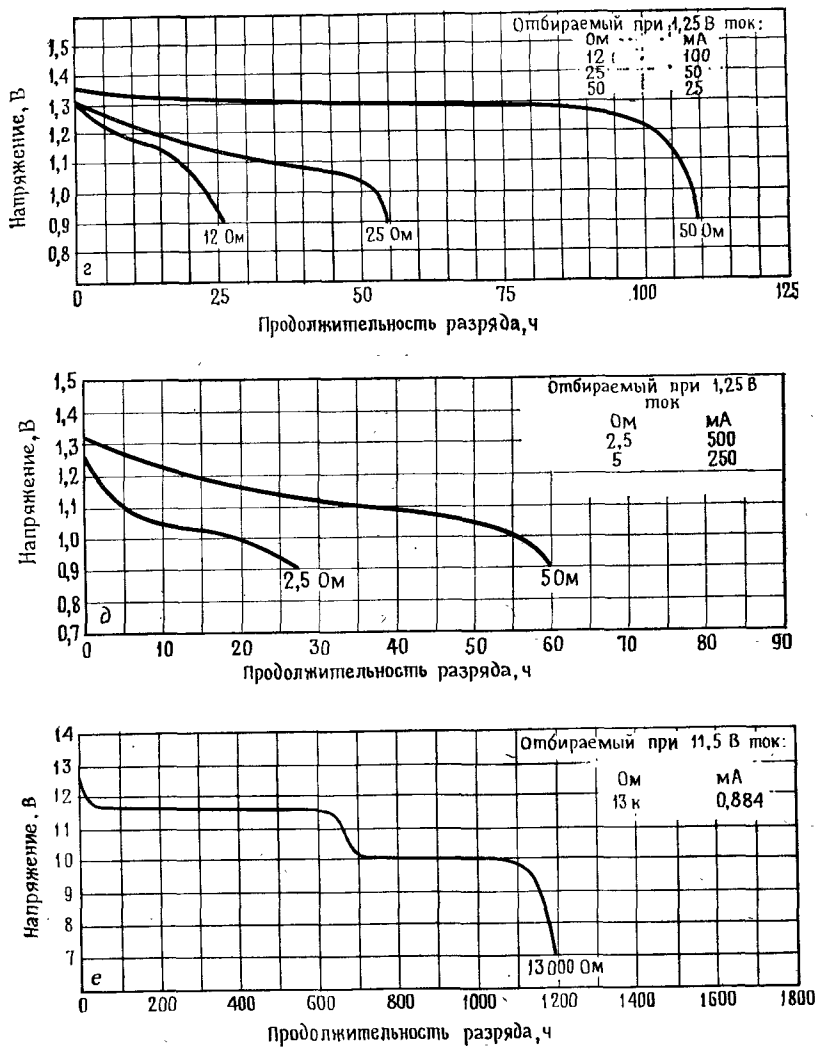


Рис. 4.11 (продолжение).

Ртутно-цинковые источники питания для кардиостимуляторов

Впервые батареи для кардиостимуляторов были изготовлены в 1973 г. С тех пор их конструкция значительно усовершенствована. Конструкция одной из ртутно-цинковых батарей для кардиостимулятора производства фирмы Mallory показана на рис. 4.13. Анод состоит из амальгамированного цинка,

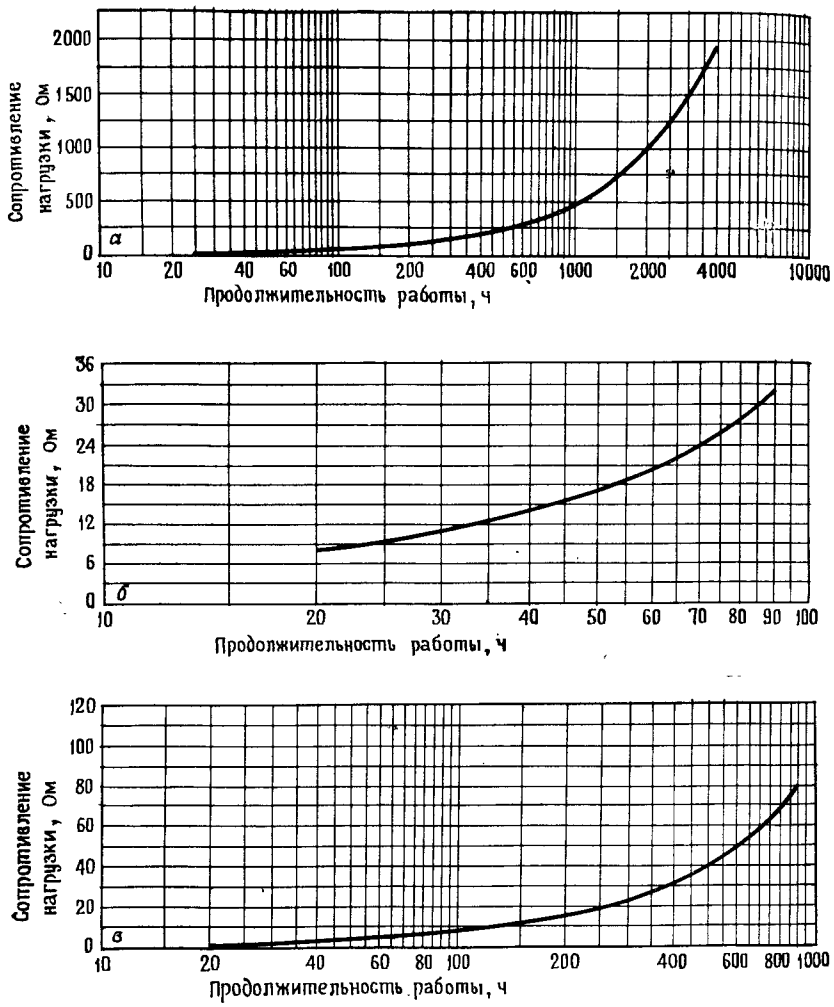


Рис. 4.12. Типичные характеристики ртутно-цинковых элементов фирмы Mallory напряжением 1,35—1,4 В при разряде на нагрузку с постоянным омическим сопротивлением при 20 °С.

а — элемент 2M9C (1,4 В; емкость 2400 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 1250 Ом); *б* — элемент RM12R (1,35 В; емкость 3600 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 25 Ом); *в* — элемент RM42R (1,35 В; емкость 14 000 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 5 Ом).

находящегося в контакте со сварным узлом крышки, внутренняя поверхность которого также амальгамирована для достижения электрохимической совместимости с анодом. Анод окружен абсорбирующим сепаратором, пропитанным насыщенным окисью цинка раствором NaOH. В этом типе элек-

тролита обеспечивается минимальное саморастворение цинка, которое вызывает выделение водорода и приводит к потере емкости. Кольцеобразный катод состоит из окиси ртути, смешанной с серебряным порошком, который образует твердую амальгаму с ртутью, появляющейся в процессе разряда батареи. Катод находится в контакте со сварным узлом корпуса, являющимся положительным выводом батареи. Герметизирующее кольцо и изолирующие прокладки, которые делят батарею на два отделения, уменьшают опасность короткого

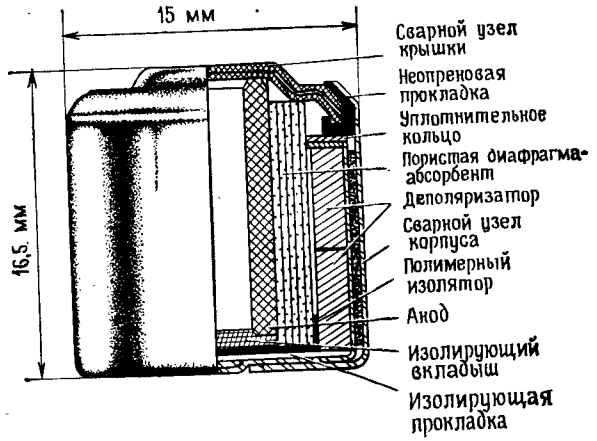


Рис. 4.13. Ртутно-цинковая батарея для кардиостимулятора (тип I) производства фирмы Mallory.

замыкания и электрической утечки. Герметизирующее кольцо изготовлено из неопрена; этот материал сохраняет эластичность в течение длительного времени даже под действием механической нагрузки, обеспечивая, таким образом, наилучшую возможную герметизацию.

Батарея, показанная на рис. 4.13, имеет номинальное напряжение 1,35 В и номинальную емкость 1000 мА·ч, определенную для нагрузки сопротивлением 1250 Ом при конечном напряжении 0,9 В. Что касается работы при меньших нагрузках, то результаты испытаний одного из типов элементов более раннего выпуска приведены в табл. 4.6.

Данные табл. 4.6 следует рассматривать как минимальные значения указанных величин. Нетрудно заметить, что уменьшение величины отбираемого тока не приводит к пропорциональному увеличению длительности работы. Чтобы удовлетворить требование увеличения срока службы, фирма Mallory разработала новую конструкцию элемента (рис. 4.14) со следующими отличиями от конструкции ранее разработанных типов:

Таблица 4.6. **Разряд элемента 317653 фирмы Mallory при температуре 73 °С**

Сопротивление нагрузки, кОм	Разрядный ток и время работы		
	минимальный	средний	максимальный
11	954 10,5	1066 12,0	1080 мА·ч 12,25 мес
22	690 15,2	941 20,7	1035 мА·ч 23,2 мес
33	622 20,8	797 26,0	1000 мА·ч 33,0 мес

1) Коллектор в виде пружины обеспечивает лучший контакт с материалом анода и увеличивает эффективность его работы.

2) Многослойный микропористый барьер загерметизирован горячим способом.

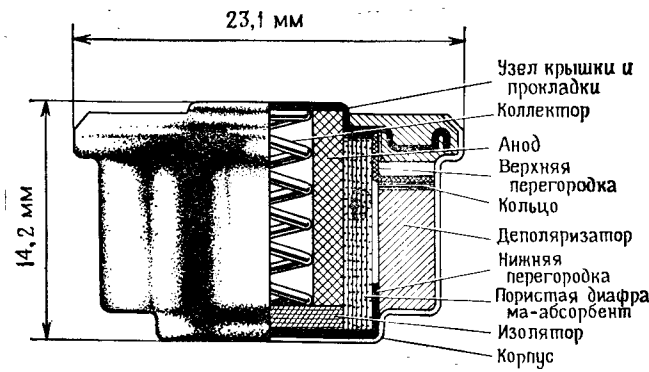


Рис. 4.14. Ртутно-цинковая батарея для кардиостимулятора (тип RM2), выпускаемая фирмой Mallory.

3) Другой микропористый барьер наложен сверху на сборку абсорбент — сепаратор для того, чтобы замкнуть анодное отделение.

4) Добавлен вспомогательный барьер для того, чтобы свести к минимуму возможность образования и проникновения цинковых дендритов.

5) Цельный корпус изготовлен из чистого никеля.

6) Цельная двухслойная крышка впрессована в герметизирующую прокладку.

Номинальная емкость рассмотренного элемента составляет 1800 мА·ч, и, согласно документации фирмы — изготовителя, при разряде в течение 28 мес удается использовать 93 % этой емкости. Срок службы элемента, по-видимому, не превышает пяти лет.

4.3. РТУТНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ DURACELL EUROPE

Фирма Duracell Europe выпускает ряд ртутно-цинковых батарей, аналогичных тем, которые производит фирма Mallory, и под теми же обозначениями. Ниже приводится список этих батарей со ссылками на номера таблиц, в которых содержатся более подробные сведения.

Тип	Напряжение, В	Емкость при 20 °С, мА·ч	Номер таблицы
RM1N	1,35	1000	4.4
RM13H	1,4	85	4.4
MP401	1,4	1000	4.4
PX626	1,35	250	4.4
RM625N	1,35	350	4.4
PX640	1,35	500	4.4
MP675H	1,4	210	4.4
SP675	1,4	240	4.4
PX23	5,6	80	4.5
PX27	5,6	150	4.5
TR132N	2,7	1000	4.5
TR133N	4,05	1000	4.5
TR134N	5,4	1000	4.5
TR162	2,7	500	4.5
TR163	4,05	500	4.5
TR164	5,4	500	4.5

4.4. ДРУГИЕ ФИРМЫ-ИЗГОТОВИТЕЛИ РТУТНО-ЦИНКОВЫХ БАТАРЕЙ

Наряду с фирмами Union Carbide и Mallory, являющимися ведущими фирмами по выпуску ртутно-цинковых элементов и батарей, существуют и другие изготовители, такие, как фирмы BEREC (Великобритания), Crompton Parkinson (Hawker Siddeleu) (Великобритания) и VARTA (ФРГ). В табл. 4.7 приведены эквивалентные типы батарей, производимые четырьмя из упомянутых здесь фирм. Нетрудно заметить, что зачастую эквивалентные элементы производятся несколькими фирмами. В таких случаях покупателя будут интересовать сравнительные данные о стоимости этих элементов.

Таблица 4.7. **Аналоги ртутно-цинковых элементов различных фирм-изготовителей**

Обозначение МЭК	Элемент Eveready фирмы Union Carbide			Элемент Duracell фирмы Mallory			Элемент фирмы VARTA		Элемент Ever Ready фирмы BEREC	
	обозначение	напряжение, В	емкость, мА·ч	обозначение	напряжение, В	емкость, мА·ч	обозначение	напряжение, В	обозначение	напряжение, В
MR41	325	1,35	50							
MR08	E400N	1,35	80							
	E400	1,40	80							
NR48				RM13H	1,40	85	7106	1,40	RM13H	1,40
MR48	E138, E13E	1,40	85	WH6	1,35	95				
	323	1,35	95							
NR08				RM575H	1,40	100	7109	1,40	RM575H	1,40
MR42	343	1,35	120	WH12NM	1,35	110				
NR43				RM41	1,40	150				
MR43	354	1,35	150							
MR07	EPX675	1,35	220	RX675	1,35	210	7001	1,35	MP6754	1,40
NR07				MP675H	1,40	210	7103			
				SP675	1,40	230				
MR44	313	1,35	220	WH3	1,35	220				
MR9	E625	1,40	350							
	E630	1,40	350							
	E625N	1,35	250							
	EPX625	1,35	250	PX625	1,35	250	7002	1,35	PX625	1,35
	EPX13	1,35	250	RM625N	1,35	350			RM625N	1,35
MR52				PX640	1,35	500				
NR52				RM640H	1,40	500				
MR1	E401N	1,35	800							
	E401, E401N	1,40	800							
				RM1N	1,35	1000			RM1N	1,35
MR50				PX1	1,35	1000			PX1	1,35
MR7	EPX1	1,35	1000							
	E1	1,40	1000							
				RM1	1,40	1000				
NR50				MP401	1,40	1000				
NR1										
MR17	E3	1,35	2200							
NR6				ZM9C	1,40	2400			ZM9C	1,40
MR6	E502E	1,40	2400							
	E9	1,40	2500							
	E502	1,35	2400							
				RM12R	1,35	3600				
MR51				RM675H	1,40		7101	1,40	RM675H	1,40
				RM625			7102	1,40		
				RM312H			7107	1,40		
				RM41H			7108	1,40		
				PX825			7201	1,50		
									RM1H	1,40
									RM401H	1,40

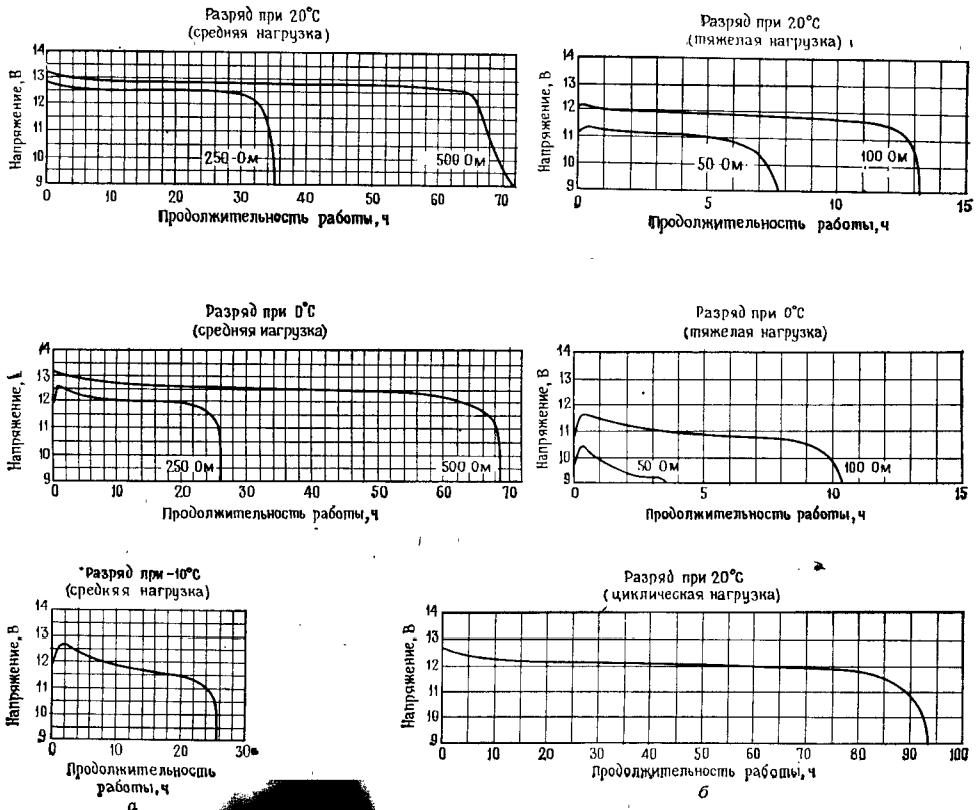


Рис. 4.15. Типичные разрядные характеристики при температуре от −10 до +20 °С (разряд на постоянное омическое сопротивление) ртутно-цинковой сухой батареи типа Vidor K-13-4-1499.

а — типичные разрядные характеристики при периодическом графике нагрузки: разряд током 100 мА в течение 1 мин с последующим разрядом током 10 мА в течение 9 мин; *б* — отображены типичные значения напряжения в конце каждого периода разряда током 100 мА.

Таблица 4.8. **Характеристики ртутно-цинковых дисковых элементов и батарей фирмы VARTA**

Обозначение, принятое фирмой	Напряжение, В	Емкость [1], мА·ч	Внутренний импеданс, Ом	Размеры, мм		Масса, г	Обозначение, принятое МЭК	Применения	Номер
				диаметр	высота				
V400PX	1,35	80	—	11,6	3,6	1,1	—	Фотография	4400
V675PX	1,35	230	2,5—4,5	11,6	5,4	2,7	MR 07	»	4677
V625PX	1,35	350	1,5—2,2	16,0	6,2	4,6	MR 9	»	4625
V640PX	1,35	500	—	15,9	11,2	7,9	MR 52	»	4640
V1PX	1,35	1000	—	16,4	16,8	12,0	MR 50	»	4002
V312HM	1,40	40	9,0—14,0	7,9	3,6	0,78	NR 41	Слуховые аппараты	4312
V13HM	1,40	95	7,0—12,0	7,9	5,4	1,2	NR 48	» »	4013
V575HM	1,40	100	3,4—5,0	11,6	3,6	1,5	NR 08	» »	4575
V41HM	1,40	150	2,5—4,0	11,6	4,2	1,8	NR 43	» »	4042
V675HM	1,40	180	3,6—5,4	11,6	5,4	2,6	NR 07	» »	4676
V675HP	1,40	250	1,8—3,5	11,6	5,4	2,6	NR 07	» »	4675
V625HM	1,40	350	1,8—2,7	16,0	6,2	4,6	NR 9	» »	4627
V14PX	2,70	350	3,0—4,5	16,8	16,0	10,0	—	Фотография	4015
V164PX	5,40	500	—	16,8	44,9	34,0	—	»	4164
V23PX	5,60	100	14,0—20,0	15,2	20,0	12,0	—	»	4023
V27PX	5,60	150	10,0—16,0	12,85	20,5	10,2	—	»	4027

[1] Среднее значение при конечном напряжении разряда, равном 0,9 В/элемент.

Таблица 4.9. **Характеристики ртутно-цинковых элементов фирмы VARTA для режима разряда малым током, предназначенных для электромеханических и электронных часов с аналоговой индикацией**

Обозначение	Напряжение, В	Емкость, мА·ч	Размеры, мм	Масса, г	Количество в одной упаковке, шт.	Эквивалентные элементы
501	1,35	230	11,6×5,4	2,69	10/100	313, RW 52, WH3, 13
502	1,35	90	11,5×3,6	1,05	10/100	387, RW 51, W2, 214
503	1,35	70	8,5×3,15	0,92	10/100	388, 10R10, 221
506	1,35	95	7,9×5,4	1,24	10/100	323, RW 58, WH6, C, 8, SB-C3
507	1,35	50	7,9×3,6	0,78	10/100	325, RW 52, WH1, 6UDC, 5, SB-C1
508	1,35	150	11,6×4,2	2,05	10/100	354, RW 54, 10R11, 4, SB-C8
509	1,35	110	11,6×3,6	1,63	10/100	343, RW 56, WH8, B, 218, 3

Ртутно-цинковые батареи производства фирмы Crompton Parkinson

Эта фирма под торговой маркой Vidor выпускает ртутно-цинковые батареи напряжением 13,4 В (К13-4-1499), в которых составляющие их элементы залиты эпоксидной смолой и образуют прочный блок, стойкий против любых видов разрушающих воздействий. Эти батареи рекомендуется использовать в электронном оборудовании, приемопередающих станциях и ракетных зондах, а также в качестве простого источника эталонного напряжения. Батарея этого типа имеет габариты 59×40×59 мм и массу 285 г. Напряжение разомкнутой цепи равно 13,56 В при 0 °С, 13,57 В при 20 °С и 13,58 В при 30 °С. При непрерывном разряде током 10 мА в интервале температур от —10 до +20 °С время работы батареи составляет примерно два года и уменьшается до года при температурах, лежащих вне этого интервала. Типичные разрядные характеристики для батарей этого вида в интервале температур —10 ÷ +20 °С при постоянной нагрузке показаны на рис. 4.15. Разрядные характеристики мало зависят от того, в каком режиме — непрерывном или прерывистом — они получены.

Ртутно-цинковые батареи производства фирмы VARTA

Фирма VARTA поставляет на рынок широкую серию окиснортутных батарей и дисковых элементов напряжением 1,35—5,6 В и емкостью 40—1000 мА·ч

(табл. 4.8). Эти батареи применяются главным образом в устройствах для фотографии и в слуховых аппаратах.

Кроме того, фирма VARTA изготовляет серию элементов, предназначенных для работы с отбором малого тока в электрических и электронных часах с аналоговой индикацией (табл. 4.9).

4.5. БАТАРЕИ СИСТЕМ ОКИСЬ РТУТИ — ИНДИЙ — ВИСМУТ И ОКИСЬ РТУТИ — КАДМИЙ

Батареи таких систем выпускает фирма Crompton Parkinson. Они представляют собой щелочные системы, рекомендуемые для работы в аппаратуре, где основным требованием является надежность при длительном хранении и использовании в особо тяжелых условиях.

Например, определенное преимущество ртутно-кадмиевой системы состоит в том, что она имеет хорошие характеристики при низких температурах, даже ниже —20 °С, когда большинство других первичных систем оказываются неработоспособными. Однако, как и следует ожидать, по мере понижения температуры падает рабочее напряжение. Если температуры не слишком низкие, система ртуть-индий имеет более высокую объемную удельную энергию, чем система ртуть — кадмий, и, кроме того, проявляет исключительно хорошую работоспособность при неблагоприятных внешних условиях. Еще одно преимущество обеих систем заключается в том, что они обладают плоскими разрядными характеристиками. Типичные устройства, в которых используются батареи этих систем, — аппаратура управления реакторами и высокотемпературными установками, телеметрические системы и устройства военного назначения.

Окиснортутно-кадмиевый элемент содержит кадмиевый анод (аналогичный тому, который применяется в никель-кадмиевом элементе), окиснортутный катод и раствор КОН в качестве электролита. Батареи выпускаются в призматическом или дисковом исполнении. Напряжение разомкнутой цепи этих элементов составляет ~ 0,9 В, а рабочее напряжение находится в диапазоне 0,75—0,9 В в зависимости от величины нагрузки. Удельная энергия по массе для ртутно-кадмиевых систем лежит в интервале 44—66 Вт·ч/кг и зависит от интенсивности разряда. Элемент с системой окись ртути — кадмий отличается хорошей стабильностью, поскольку оба электрода проявляют высокую стойкость к растворению в электролите. Результатом этого и оказывается основное преимущество рассматриваемого элемента — превосходная сохраняемость (5—10 лет). В отличие от других первичных

систем этим элементам присуща также лучшая сохраняемость при высоких температурах. Рабочие характеристики ртутно-кадмиевого элемента показаны на рис. 4.16. Низкое

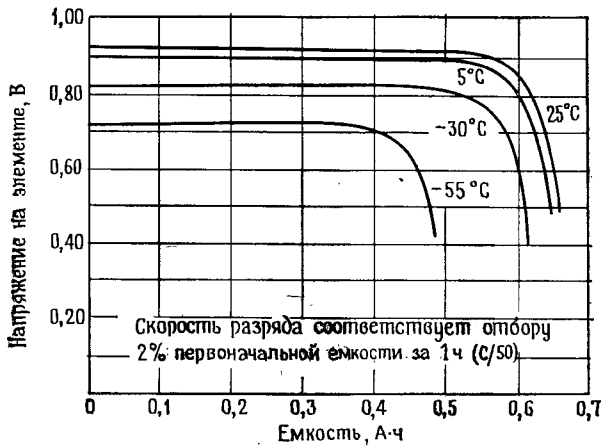


Рис. 4.16. Рабочие характеристики окиснортутно-кадмиевого элемента емкостью 0,6 А·ч при различных температурах.

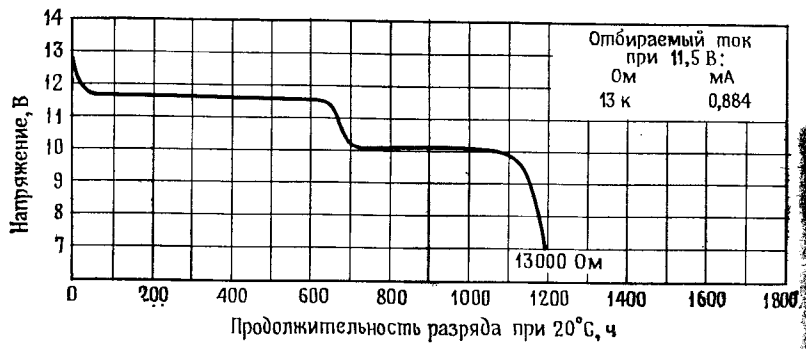


Рис. 4.17. Двухступенчатая разрядная кривая окиснортутно-кадмиевой батарен напряжением 12,6 В типа 304116 производства фирмы Mallory.

напряжение и высокая стоимость материалов являются основными недостатками элементов этой системы как первичных.

Фирма Mallory также выпускает ртутно-кадмиевую батарею, входящую в серию Duracell. Эта батарея (тип 304116) имеет напряжение 12,6 В и емкость 630 мА·ч при конечном напряжении 10,3 В и 900 мА·ч при конечном напряжении

7,0 В; в обоих случаях разряд производится на нагрузку сопротивлением 13 000 Ом при 20 °С. Батарея в цилиндрическом исполнении имеет массу 127 г, объем 40,5 см^3 и рекомендуется для использования в аппаратуре, где применяются чувствительные к напряжению индикаторы разряженности батарей, например в системах аварийной сигнализации. Типичные двухступенчатые разрядные характеристики этой батареи показаны на рис. 4.17.

5

СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ

Масса и размеры серебряно-цинковых батарей и элементов составляют менее половины тех же величин для кислотных (свинцовых) и никель-кадмиевых батарей той же емкости. Создание первичного элемента на основе системы окись серебра — щелочь — цинк ($Ag_2O/KOH/Zn$) явилось важнейшим вкладом в разработку миниатюрных источников энергии, а сами элементы хорошо подходят для использования в слуховых аппаратах, приборах, фотоэлектрических экспонометрах, электронных наручных часах, а также в качестве источников опорного напряжения.

Окисносеребряные элементы обеспечивают более высокое напряжение, чем окиснортутные. Они обладают плоскими разрядными характеристиками и хорошо работают при низких температурах. Эти батареи характеризуются низким и слабо зависящим от частоты значением импеданса.

Рабочее напряжение окисносеребряного элемента составляет 1,5 В (напряжение на разомкнутых электродах равно 1,6 В), в то время как рабочее напряжение ртутного элемента $\approx$1,3 В. Два основных изготовителя рассматриваемых здесь элементов — фирмы Union Carbide и Mallory — выпускают серебряно-цинковые дисковые элементы со значениями емкости 35—210 мА·ч и 36—250 мА·ч соответственно.

Окисносеребряный элемент состоит из «деполяризующего» катода из окиси серебра, цинкового анода с большой площадью поверхности и электролита из сильной щелочи. Электролит на основе КОН используют в элементах, предназначенных для применения в слуховых аппаратах. Это делается для того, чтобы получить максимальную удельную энергию при тех величинах отбираемого тока, которые требуются для функционирования слухового аппарата. Электролит в элементах, предназначенных для наручных часов, может быть при-

готовлен на основе как NaOH, так и КОН. Смеси окиси серебра и двуокиси марганца могут быть подобраны так, чтобы обеспечить либо плоскую разрядную кривую, либо увеличенный срок службы.

Конструкция окисносеребряного дискового элемента показана на рис. 5.1. Приведенный вариант конструкции обеспечивает высокий коэффициент использования полезного объема. Эффективная герметизация путем радиального обжатия является общей характерной особенностью конструкции

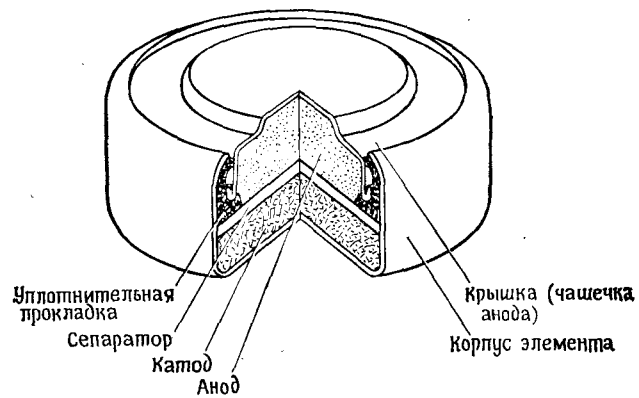


Рис. 5.1. Конструкция окисносеребряного элемента.

многих типов серебряно-цинковых элементов, например выпускаемых фирмой Union Carbide. Этот метод герметизации, разработанный в конце 50-х годов, позволил создать элементы, превосходно защищенные от случайной карбонизации электролита. При методе герметизации путем радиального обжатия используют нейлоновую прокладку и крышку, которая представляет собой позолоченный с двух сторон анодный колпачок из нержавеющей стали, служащий отрицательным выводом. Катод обычно помещают в никелированный стальной стаканчик, который служит положительным выводом. Герметизация путем радиального обжатия проводится на заключительных стадиях изготовления элемента. Корпус элемента (катодный стаканчик) подвергают операции, в результате которой уменьшается его первоначальный диаметр. Вследствие этого нейлоновая прокладка плотно прижимается к верхней стальной крышке, создавая первоначальную радиальную герметизацию. Такая операция оказывается возможной, поскольку стальной анодный колпачок способен выдерживать очень высокие обжимающие нагрузки, возникающие в процессе уменьшения диаметра корпуса. Выбор нейлона в качестве материала для уплотнительной прокладки

Таблица 5.1. **Характеристики и применение первичных серебряно-цинковых батарей типа АНР фирмы Yardney в устройствах космической техники**

Обозначение батареи	Форма	Система активации	Масса, кг	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Объем, дм	Энергия, Вт·ч	Удельная емкость, Вт·ч/кг	Удельная емкость, Вт·ч/дм³	Примечания	Применения
7×0,4 АНР	Цилиндрическая	Змеевик	0,3	51	51	51	0,102	4,2	14,1	40,4	EGLIN: ударного взвода, цилиндрический элементный блок	Ракеты
40×1,0 АНР	Прямоугольная	»	4,4	229	114	106	2,79	70,0	15,9	25,6	ESI: многослойная конструкция, тонкая пластина, средняя скорость разряда, срок службы во влажном состоянии (после активации) 6 ч	АТЗК ракеты «Поларис»
19×1,3 АНР 20×9,5 АНР	То же	Резервуар	13,0	289	134	178	6,95	470,0	36,8	67,1	SRAM: фильтр EMI, срок службы во влажном состоянии (после активации) 60 мин	Гидроприводы (SRA 17)
20×1,8 АНР	»	»	9,0	254	159	127	5,11	181,0	20,0	35,4	TITAN III HYD: срок службы во влажном состоянии (после активации) 5 ч, разряд большим током, тонкий пластинчатый элемент	Гидравлические системы FB (TITAN III)
10×2,2 АНР	Почка	Змеевик	1,2				0,96	32,0	19,6	24,4	GAR: корпус из нержавеющей стали, футляр с гнездами для элементов, подогреватель	Ракеты (Falcon)
24×3,2 АНР	Прямоугольная	»	9,0	292	152	171	7,62	166,0	18,3	21,9	NIKE-X: время разряда 600 с, разряд малым током	Управляющее устройство (Nike X)
29×3,3 АНР	Цилиндрическая	»	6,0	203	203	127	4,11	209,0	34,1	50,6	TADIRAN: подогреватель, корпус из нержавеющей стали	Ракеты
20×4,2 АНР	Прямоугольная	»	5,0	160	100	153	2,46	145,0	29,0	58,5	BA472: теплоизоляционное покрытие, термостат, время активации 1 с	Гидравлические системы (Hercules BA 472)
19×4,5 АНР 20×21,5 АНР	То же	»	20,0	336	254	163	14,25	767,0	39,1	53,7	BA486: время службы во влажном состоянии (после активации) 15 мин, подогреватель, термостат, начальный разряд большими токами, тонкие пластины	Першинг (BA 486)
39×6 АНР	Тороидальная	Резервуар	7,3				4,73	302,0	41,6	64,0	SAM-D: тонкие пластины, термостат, подогреватель	Управляющее устройство (SAM D)
20×9 АНР	Прямоугольная	»	8,4	250	218	155	8,53	311,0	36,9	36,0	TITAN GUIDANCE: корпус из нержавеющей стали, резервуар с ножевой системой активации	То же
29×10 АНР	Цилиндрическая	Змеевик	5,0	176	176	127	3,08	342,0	68,2	111,0	C4 INSTR: разряд малыми токами, тонкие пластины, срок службы во влажном состоянии (после активации) 6 ч, корпус из нержавеющей стали.	Контрольно-измерительные приборы C4 (Trident)
22×11 АНР	Прямоугольная	Резервуар	14,0	330	184	165	10,0	574,0	40,7	57,4	A3 HYD: алюминиевый корпус, время службы во влажном состоянии (после активации) 2/3 ч.	Гидравлические системы
20×12 АНР	»	»	17,0	250	218	216	11,98	540,0	50,4	45,2		Телеметрическая система ракеты Titan II
18×22 АНР 56×79 АНР	»	»	140,0	772	400	411	126,90	7048,0	59,4	55,5	MK46 MOD O: двигатель и система управления торпедой, разряд большими токами, небольшое время работы	Силовая установка (MK Mod I)
2×20×2,1 АНР	Цилиндрическая	»	7,3	130	130	370	4,96	210,0	28,6	42,7	A3 ELEC: тонкие пластины, алюминиевый корпус, срок службы во влажном состоянии (после активации) 6 ч, разряд средними и малыми токами	Электронные системы A3 (Поларис)
20×3,15 АНР 21×4,8 АНР	»	»	13,0	190	190	342	9,77	522,0	40,9	53,7	C3 ELEC: алюминиевый корпус, срок службы во влажном состоянии (после активации) 6 ч, разряд малыми пульсирующими токами	Электронные системы C4
30×3,4 АНР 21×4,8 АНР	»	»	13,0	190	190	342	9,77	501,0	38,3	51,2	C4 ELEC: срок службы во влажном состоянии (после активации) 6 ч, разряд большими пульсирующими токами в течение 10 мин, тонкие пластины	—

имеет важное значение, поскольку этот материал после обжатия стремится занять свое первоначальное положение. После уменьшения диаметра корпуса производится вторичная герметизация путем завальцовки края стаканчика внутрь, в сторону уплотнительного кольца. В этом случае также существенно то, что используется нейлоновая прокладка, поскольку в результате второй операции герметизации нейлон будет оказывать еще большее давление на корпус и крышку. Этот радикальный метод герметизации оказался исключительно эффективным для предохранения элемента от случайной карбонизации электролита.

Импеданс окисносеребряных элементов, предназначенных для использования в слуховых аппаратах, имеет низкое и достаточно постоянное значение и заметно увеличивается только после уменьшения напряжения элемента ниже уровня работоспособности.

Окисносеребряные элементы хорошо сохраняют работоспособность (обычно сохраняется 90% емкости после одного года хранения при 21 °С) и могут храниться до двух лет без существенного ухудшения свойств. В загерметизированной неактивной атмосфере их можно хранить до пяти лет.

5.1. СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ YARDNEY

Существуют многочисленные устройства, в частности в области аэрокосмической техники, где требуются батареи с высокой удельной энергией, обеспечивающие как быструю активацию, так и длительный срок службы в активированном состоянии. Именно для удовлетворения таких требований фирма Yardney наладила выпуск первичных батарей типа PM Silvercel.

Эта собираемая вручную серебряно-цинковая батарея, имеющая, согласно документации фирмы, более высокую удельную энергию, чем любая другая батарея, обеспечивает быструю активацию и более долгий срок службы в активированном состоянии, чем какие-либо другие первичные источники с высокой удельной энергией. Кроме того, батарея дает возможность провести ограниченное число циклов перезаряда, что позволяет диагностировать ее техническое состояние перед фактическим использованием. Механические свойства батарей типа PM Silvercel оказались даже выше тех, которые требуются от батарей, предназначенных для применения в аппаратуре, устанавливаемой на ракетах. Батареи данного типа доказали свою надежность при использовании в этой

области техники. Применение батарей системы PM Silvercel имеет следующие преимущества по сравнению с использованием батарей других систем:

1) либо более высокое значение емкости (до 75%),

2) либо более высокое значение емкости при оптимальном сроке службы,

3) либо более высокие напряжения при пиковых импульсных режимах отбора тока.

Тщательно выбирая критические требования, предъявляемые к емкости, сроку службы и напряжению, которым должна отвечать используемая в данном устройстве батарея, а затем оптимизируя их по отношению друг к другу, можно удовлетворить всему комплексу самых жестких требований. Технические характеристики элементов типа PM Silvercel аналогичны характеристикам перезаряжаемых батарейных систем HR Silvercel и LR Silvercel производства фирмы Yardney (см. вышеупомянутую книгу Т. Кромптона), за исключением того, что ограничения на число циклов перезаряда и срок службы в активированном состоянии у них более жесткие.

В табл. 5.1 приведены данные о некоторых первичных серебряно-цинковых батареях типа AHP, выпускаемых фирмой Yardney для питания различных устройств, используемых в аэрокосмической технике.

5.2. СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ UNION CARBIDE

Данные о серебряно-цинковых элементах напряжением 1,5 В серии Eveready и составленных из них батареях напряжением 6 В приведены в табл. 5.2. В табл. 5.3 даны среднее время работы и электрические характеристики этих источников. На рис. 5.2 показаны типичные разрядные характеристики, связывающие ожидаемую продолжительность работы при 35 °С с напряжением на выводах батареи под нагрузкой при различных значениях отбираемого тока и сопротивления нагрузки при тестовом разряде в течение 24 ч/день. На рис. 5.3 приведены разрядные характеристики различных серебряно-цинковых элементов серии Eveready при разряде в течение 16 ч/день при 21 °С. Как можно заметить, при этом графике разряда продолжительность работы серебряно-цинковых элементов может достигать 120 ч, если отбор тока составляет 1—2,5 мА на нагрузку сопротивлением 625—1500 Ом, в то время как при отборе меньшего тока (от 100 до 250 мкА) и бо́льшем значении сопротивления нагрузки (6500—15 000 Ом) срок службы может составить 1100 ч (см. рис. 5.2).

Таблица 5.2. **Характеристики первичных серебряно-цинковых элементов напряжением 1,5 В и батарей напряжением 6 В серии Eveready фирмы Union Carbide**

Марка элемента и батареи (в порядке возрастания емкости)	Рекомендуемый диапазон токов разряда, мА	Номинальная емкость, мА·ч	Номинальный ток, мА	Максимальные размеры, мм		Число и размер элементов	Типичные применения	Масса батареи, г	Примерный объем батареи, см³	Маркировка напряжения
				диаметр	высота					
Элементы напряжением 1,5 В										
384	0–0,06	35	0,10	7,87	3,63	1×7-31141	Часы	0,57	0,13	—, +1,5
S312	0–5	38	1,00	7,87	3,56	1×6-31141	Транзисторные радиоприемники	0,57	0,16	—, +1,5
S312E	0–5	38	1,00	7,87	3,56	1×6-31141	Слуховые аппараты	0,57	0,16	—, +1,5
392	0–5	38	0,10	7,87	3,56	1×6-31142	Часы	0,57	0,16	—, +1,5
309	0–,01	60	0,10	7,87	5,33	1×7-31201	»	1,13	0,21	—, +1,5
S13	0–5	75	1,07	7,87	5,33	1×6-31202	Транзисторные радиоприемники	1,13	0,18	—, +1,5
S13E	0–5	75	1,07	7,87	5,33	1×6-31201	Слуховые аппараты	1,13	0,18	
393	0–5	75	0,10	7,87	5,33	1×6-31202	Часы	1,13	0,18	—, +1,5
301	0–0,1	100	0,10	11,60	4,06	1×7-45161	»	1,70	0,88	—, +1,5
S41	0–10	120	1,60	11,60	4,19	1×6-45161	Для питания микроминиатюрных ламп	1,70	0,33	—, +1,5
S41E	0–10	120	1,60	11,60	4,19	1×6-45161	Слуховые аппараты	1,70	0,33	—, +1,5
386	0–10	120	0,25	11,60	4,19	1×6-45163	Часы	1,70	0,33	—, +1,5
303	0–0,24	165	0,25	11,60	5,59	1×7-45215	»	2,55	0,51	—, +1,5
S76	0–10	190	2,56	11,60	5,36	1×6-45201	Транзисторные радиоприемники	2,30	0,48	—, +1,5
S76E	0–10	190	2,56	11,60	5,36	1×6-45201	Слуховые аппараты	2,30	0,48	—, +1,5
357	0–10	190	0,25	11,60	5,36	1×6-45202	Часы	2,30	0,48	—, +1,5
355	0–10	210	0,25	15,50	4,83	1×-	»	3,69	0,90	—, +1,5
Батареи напряжением 6 В										
544	0–10	190	2,50	13,00	25,20	4×6-45 201	Электронные диафрагмы и экспонометры	14,20	2,80	—, +6

Все элементы и батареи имеют плоские контакты.

Для обеспечения лучшего контакта с выводами окисносеребряных батарей рекомендуется изготавливать контактные узлы из пружинного материала, такого, как фосфорная бронза или бериллиевая медь, который будет поддерживать контактное усилие не менее 50 г в течение длительного времени. Контакты следует покрыть сплошным слоем никеля толщиной 50,8 мкм, а затем слоем золота минимальной толщиной 5,08 мкм. Надежность контакта может быть увеличена разделением основного контакта на две, три и более отдельных точек или выступов, подобных зубцам вилки.

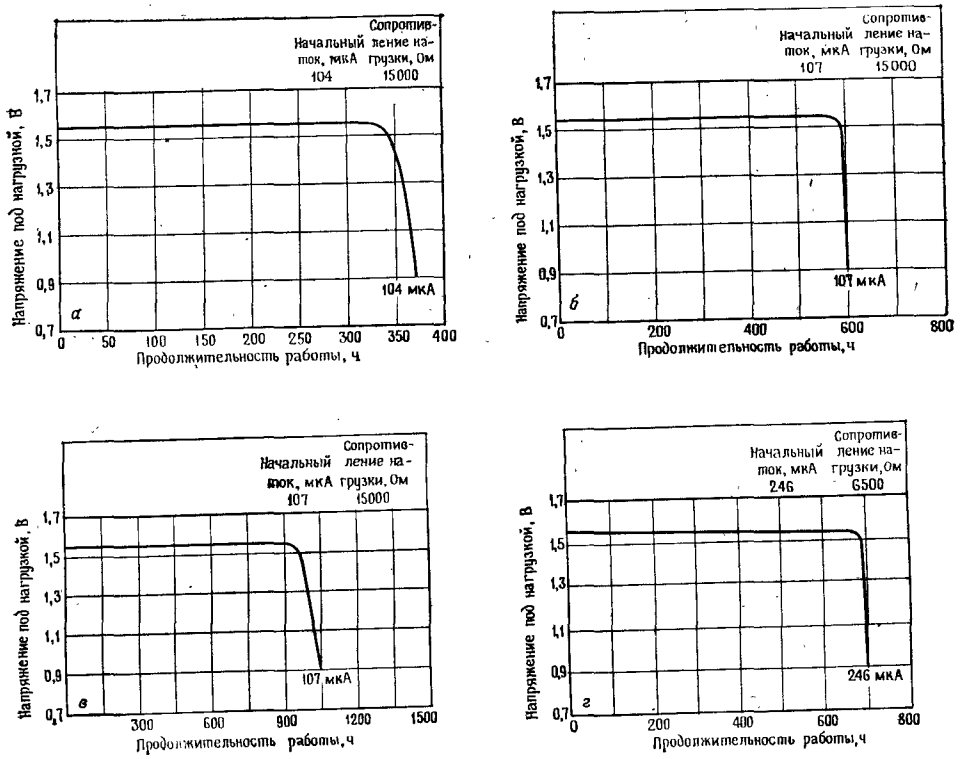


Рис. 5.2. Разрядные характеристики серебряно-цинковых элементов серии Eveready фирмы Union Carbide при 35 °С (непрерывный разряд).

а — элемент 384 (емкость 35 мА·ч при разряде до 1,3 В на номинальную нагрузку 15 кОм); *б* — элемент 309 (емкость 60 мА·ч при разряде до 1,3 В на номинальную нагрузку 15 кОм); *в* — элемент 301 (емкость 100 мА·ч при разряде до 1,3 В на номинальную нагрузку 15 кОм); *г* — элемент 303 (емкость 165 мА·ч при разряде до 1,3 В на номинальную нагрузку 6500 Ом).

Таблица 5.3. **Характеристики серебряно-цинковых элементов серии Ev**

Марка элемента серии	Напряжение, В	Рекомендуемый диапазон токов разряда, мА	Обозначение согласно стандарту ANSI	Обозначение, принятое МЭК	Средняя полезная емкость, мА·ч
544 (4 элемента 6-45201)	6,0	0—10	—	—	190 при разряде до 3,6 В током 2,5 мА
355	1,5	0—10	—	—	210 при разряде до 1,3 В и нагрузке 6500 Ом
357	1,5	0—10	—	SR44	190 при разряде до 0,9 В и нагрузке 6500 Ом
S76E и S76	1,5	0—10	515	—	190 при разряде до 0,9 В током 2,56 мА
303	1,5	0—0,24	WS16	SR47	165 при разряде до 1,3 В и нагрузке 6500 Ом
386	1,5	0—10	WS10	SR43	120 при разряде до 0,9 В и нагрузке 6500 Ом
SHE и S41	1,5	0—10	S10	—	120 при разряде до 0,9 В током 1,6 мА
SH301	1,5	0—100	WS10	SR43	100 при разряде до 1,3 В и нагрузке 15 000 Ом
393	1,5	0—5	WS5	—	75 при разряде до 0,9 В и нагрузке 15 000 Ом
S13E и S13	1,5	0—5	S5	SR48	75 при разряде до 0,9 В током 1,07 мА
309	1,5	0—0,1	WS5	SR48	60 при разряде до 1,3 В и нагрузке 15 000 Ом
392	1,5	0—5	—	SR41	38 при разряде до 0,9 В и нагрузке 15 000 Ом
S312E и S312	1,5	0—5	S4	SR41	38 при разряде до 0,9 В током 1 мА
384	1,5	0—0,06	—	SR41	35 при разряде до 1,3 В и нагрузке 15 000 Ом

eready фирмы Union Carbide

Ожидаемое среднее время работы при 35 °С (если нет особого указания) для приводимых ниже условий					Импеданс
Режим разряда, ч/день	Начальный ток	Нагрузка, Ом	Конечное напряжение, В	Продолжительность работы, ч	
24	2,5 мА	2 400	3,6	60 (21 °С)	
24	246 мкА	6 500	0,9	915	<4 Ом при разомкнутой цепи и 1 000 Гц
			1,3	905	
24	246 мкА	6 500	1,3	810	
16	1,6 мА	1 000	1,3	80 (21 °С)	От 3 Ом при разомкнутой цепи до 12 Ом при отборе тока в диапазоне 40—5 000 Гц
16	2,5 мА	625	1,3	117 (21 °С)	
24	17 мкА	94 000	0,9	13 мес	
	17 мкА	94 000	1,3	12,8 мес	
24	246 мкА	6 500	0,9	700	
24	246 мкА	6 500	1,3	685	
24	240 мкА	6 500	1,3	510	
16	1,6 мА	100	1,3	80 (21 °С)	От 3 Ом при разомкнутой цепи до 12 Ом при отборе тока в диапазоне 40—5 000 Гц
16	2,56 мА	625	1,3	50 (21 °С)	
24	10,6 мкА	150 000	0,9	~ 12,5 мес	
	10,6 мкА	150 000	1,3	~ 12 мес	
24	107 мкА	15 000	0,9	1 050	
	107 мкА	15 000	1,3	1 000	
24	104 мкА	15 000	1,3	725	
16	1,07 мА	1 500	1,3	74 (21 °С)	От 8 Ом при разомкнутой цепи до 20 Ом при отборе тока в диапазоне 40—5 000 Гц
16	1,6 мА	1 000	1,3	52 (21 °С)	
24	107 мкА	15 000	1,3	600	~35 Ом при разомкнутой цепи и частоте 1000 Гц
	5,9 мкА	270 000	1,3	~ 14 мес	
24	104 мкА	15 000	1,3	370	
16	1,0 мА	1 500	1,3	38 (21 °С)	
	1,5 мА	1 000	1,3	22 (21 °С)	
24	104 мкА	15 000	0,9	370	~65 Ом при разомкнутой цепи и частоте 1000 Гц
	104 мкА	15 000	1,3	360	
	3,1 мкА	500 000	0,9	—	
	3,1 мкА	500 000	1,3	~ 15 мес	

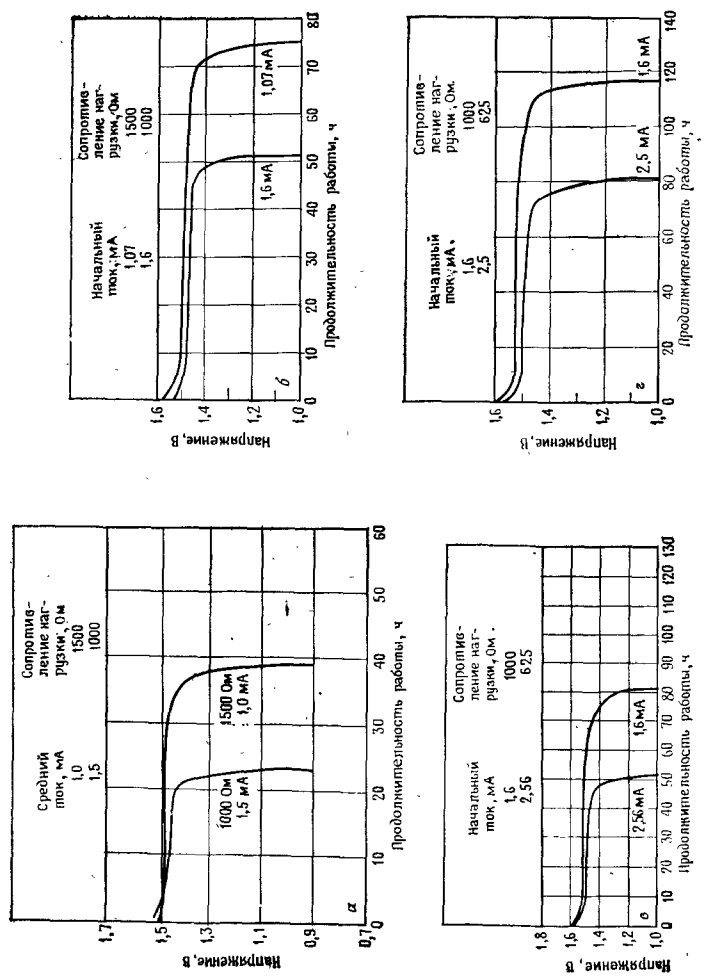


Рис. 5.3. Разрядные характеристики серебряно-цинковых элементов фирмы Union Carbide при 21 °С (разряд по 16 ч в день).

а — элементы S312 и S312E (емкость 38 мА·ч при разряде до 0,9 В номинальным током 1 мА); элементы S13E и S13 (емкость 75 мА·ч при разряде до 0,9 В номинальным током 1,07 мА); *б* — элементы S41 и S41E (емкость 120 мА·ч при разряде до 0,9 В номинальным током 1,6 мА); *в* — элемент S76E (емкость 190 мА·ч при разряде до 0,9 В номинальным током 2,56 мА).

5.3. СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ MALLORY

Данные об элементах серии Duracell напряжением 1,5 В и составленных из них батарей напряжением 6 В, заимствованные из технической документации фирмы Mallory, при-

Таблица 5.4. **Характеристики серебряно-цинковых элементов напряжением 1,5 В и батарей напряжением 6 В серии Duracell фирмы Mallory**

Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, А·ч	Марка	Максимальный диаметр, мм	Максимальная высота, мм	Масса, г
1,50	36	MS312H [2]	7,75	3,56	0,57
1,50	38	10L125 [2]	7,75	3,58	0,8
1,50	70	10L122 [2]	11,56	2,79	1,0
1,50	70	MS13H [2]	7,75	5,33	1,0
1,50	75	10L123 [2]	7,75	5,33	1,0
1,50	83	WS12 [1]	11,56	3,43	1,4
1,50	85	10L120 [2]	11,56	3,48	1,3
1,50	115	WS11 [1]	11,56	4,19	1,7
1,50	120	10L124 [2]	11,56	4,19	1,7
1,50	120	MS41H [2]	11,56	4,07	2,0
1,50		10L14	11,56	5,33	2,2
1,50	180	MS76H [2]	11,56	5,33	2,9
1,50	200	WS14 [1]	11,56	5,59	2,2
1,50	250	10L129 [2]	15,49	4,83	3,5
6,00	180	PX28 [3]	12,95	25,2	11,0

[1] Элементы для разряда малым током.

[2] Элементы 10L125, 10L123, 10L120, 10L124, 10L129, 10L14 для разряда малым током; имеется также возможность разряда импульсами большого тока.

[3] Состоит из четырех элементов 10L14 напряжением 1,5 В.

Таблица 5.5. **Характеристики дисковых серебряно-цинковых элементов напряжением 1,5 В фирмы Duracell Europe**

Марка	Емкость при 20 °С, мА·ч	Масса, г	Объем, см³	Марка	Емкость при 20 °С мА·ч	Масса, г	Объем, см³
D393	75 при разряде до 0,9 В и нагрузке 20 кОм	0,99	0,25	D391	35 при разряде до 0,9 В и нагрузке 6,5 кОм	0,8	0,23
D386	120 при разряде до 0,9 В и нагрузке 15 кОм	1,7	0,44	D392	38 при разряде до 0,9 В и нагрузке 30 кОм	0,8	0,16
10L14	130 при разряде до 0,9 В и нагрузке 1,5 кОм	2,0	0,55	D389	70 при разряде до 0,9 В и нагрузке 13 кОм	0,99	0,26

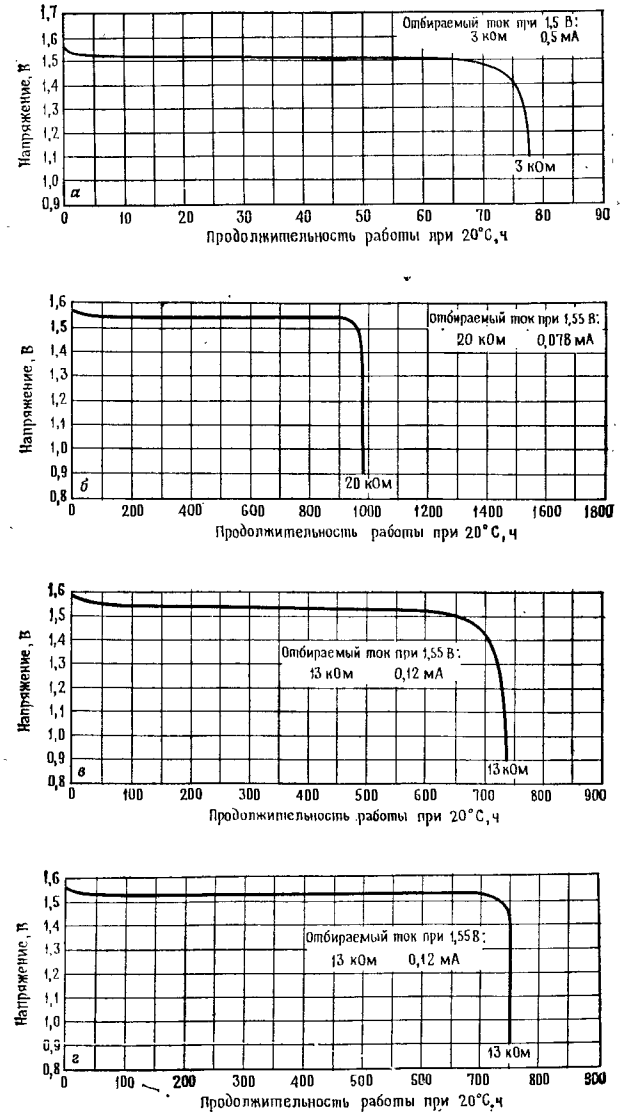


Рис. 5.4. Типичные разрядные характеристики серебряно-цинковых элементов напряжением 1,5 В серии Duracell фирмы Mallory при 20 °С.

а — элемент 10L125 (емкость 38 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 30 кОм); *б* — элемент 10L123 (емкость 75 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 20 кОм); *в* — элемент WS12 (емкость 83 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 13 кОм); *г* — элемент 10L120 (емкость 85 мА·ч при разряде до 0,9 В нагрузку 13 кОм); *д* — элемент WS11 (емкость 115 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 13 кОм); *е* — элемент 10L124 (емкость 120 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 15 кОм); *ж* — элемент WS14 (емкость 200 мА·ч при разряде до 0,9 В на нагрузку 10 кОм); *з* — элемент 10L129 (емкость 250 мА·ч при разряде 0,9 В на нагрузку 600 Ом).

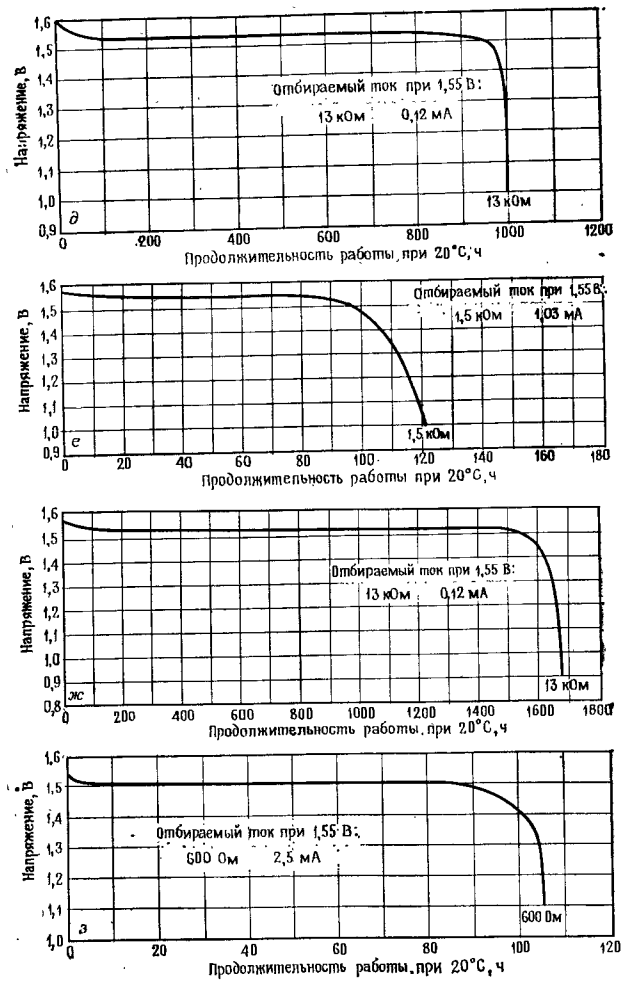


Рис. 5.4 (продолжение).

ведены в табл. 5.4. Производятся батареи со значениями емкости 36—250 мА·ч (батареи фирмы Union Carbide имеют значения емкости 35—210 мА·ч). Типичные разрядные характеристики при заданных величинах отбираемого тока и сопротивления нагрузки при 20 °С для некоторых серебряно-цинковых элементов Duracell воспроизведены на рис. 5.4.

5.4. СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ DURACELL EUROPE

Фирма Duracell Europe выпускает серию дисковых серебряно-цинковых элементов напряжением 1,5 В (табл. 5.5).

5.5. СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ VARTA

Фирма производит серию серебряно-цинковых элементов напряжением 1,55 В и емкостью 45—175 мА·ч и батареи на напряжением 6 В и емкостью 170 мА·ч (табл. 5.6). Эти источники используются главным образом в калькуляторах, слуховых аппаратах и фототехнике.

Таблица 5.6. **Характеристики серебряно-цинковых элементов напряжением 1,55 В и батарей напряжением 6 В фирмы VARTA**

Марка	Напряжение, В	Емкость, мА·ч	Внутреннее сопротивление, Ом	Размеры, мм		Масса, г	Обозначение, принятое МЭК	Применения
				диаметр	высота			
V8 GS	1,55	45	20,0	11,6	2,1	0,9		Калькуляторы
V13 HS	1,55	75	4,2—6,5	7,9	5,4	1,1	SR 48	Слуховые аппараты
V10 GS	1,55	85	10,0	11,6	3,1	1,4	—	Калькуляторы
V41 HS	1,55	120	3,2—5,0	11,6	4,2	1,8	SR 43	Слуховые аппараты
V12 GS	1,55	130	6,0	11,6	4,2	1,9	SR 43	Калькуляторы
V76 HS	1,55	175	3,5—5,5	11,6	5,4	2,4	SR 44	Слуховые аппараты
V76 PX	1,55	175	3,5—5,5	11,6	5,4	2,4	SR 44	Фотоаппаратура
V13 GS	1,55	175	3,5—5,5	11,6	5,4	2,4	SR 44	Калькуляторы
V28 PX	6,00	170	15,0—22,0	13,0	25,8	12,8	—	Фотоаппаратура

Таблица 5.7. **Характеристики серебряно-цинковых элементов для разряда малым током фирмы VARTA, предназначенных для электромеханических и электронных часов с аналоговым индикатором или индикатором на жидких кристаллах**

Марка	Напряжение, В	Емкость, мА·ч	Размеры, мм	Масса, г	Аналоги
521	1,5	180	11,6×5,4	2,33	303, RW 22/42, WS14, A, 9, SB-A9
523	1,5	55	9,5×2,6	0,75	395, 25, SB-Ap
524	1,5	67	9,5×3,6	1,04	394, 27, SB-A4
526	1,5	75	7,9×5,4	1,08	309, RW 28/48, 10L13, 70T, 16
527	1,5	50	7,9×3,6	0,69	384, RW 37/47, 10L15, 10, SB-A1
528	1,5	120	11,6×4,2	1,78	301, RW 24/44, WS11, D, 226, 1, SB-A8
529	1,5	110	11,6×3,6	1,49	344, RW 36, 10L120, 242, 12
531	1,5	15	6,8×2,15	0,33	364, SR620SW, SB-DG
532	1,5	20	7,9×2,1	0,40	362, RW 310, 19, SB-DK
533	1,5	45	11,6×2,1	0,90	381, RW 30, 23, SB-DS
543	1,5	85	11,6×3,1	1,32	390, RW 39, 10L122, 11/17, SB/BU
536	1,5	30	7,9×2,6	0,50	397, 26, SB-AL
537	1,5	30	9,5×2,1	0,61	371

Выпускается также серия серебряно-цинковых элементов напряжением 1,5 В для разряда малым током, предназначенных для электромеханических и электронных часов с аналоговой индикацией или индикацией с использованием жидких кристаллов; емкость этих элементов лежит в интервале 50—180 мА·ч (табл. 5.7).

Фирма VARTA выпускает серебряно-цинковые элементы напряжением 1,5 В для разряда большим током со значениями емкости от 38 до 190 мА·ч, предназначенные для использования в наручных часах на интегральных микросхемах с индикаторами на светодиодах или жидких кристаллах с подсветкой (табл. 5.8).

Таблица 5.8. **Характеристики серебряно-цинковых элементов для разряда большим током фирмы VARTA, предназначенных для наручных часов со светодиодными матрицами или индикацией на жидких кристаллах**

Марка	Напряжение, В	Емкость, мА·ч	Размеры, мм	Масса, г	Аналоги
541	1,5	190	11,6×5,4	2,33	357, RW 22/42, 10L14, J, 228, 7, SB-B9
546	1,5	75	7,9×5,4	1,08	393, RW 28/48, 10L123, F, 255, 15
547	1,5	38	7,9×3,6	0,69	392, RW 27/47, 10L125, K, 247, 2, SB-B1
548	1,5	130	11,6×4,2	1,78	386, RW 24/44, 10L124, H, 260, 6, SB-B8
549	1,5	100	11,6×3,6	1,40	10L120, 14
553	1,5	45	11,6×2,1	0,90	391, RW 40, 10L130, 31, SB-BS
554	1,5	85	11,6×3,1	1,32	189, RW 49, 10L122, 17, SB-BU

5.6. СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ YUASA

Фирма Yuasa также производит дисковые и цилиндрические первичные и перезаряжаемые серебряно-цинковые

Таблица 5.9. **Характеристики серебряно-цинковых элементов напряжением 1,5 В фирмы Yuasa, предназначенных для наручных часов**

Марка	Номинальный ток, мА	Начальный ток, мА	Конечное напряжение, В	Емкость, мА·ч	Диаметр, мм	Высота, мм	Масса, г
Y384 G33	0,1	0,06	1,3	35	7,9	3,6	0,7
Y392 G3	5,0	0,1	1,3	38	7,9	3,6	0,7
Y309 G55	0,2	0,1	1,3	60	7,9	5,4	1,1
Y393 G5	5,0	0,1	1,3	75	11,6	5,4	1,1
Y301 G12	0,25	0,1	1,3	100	11,6	4,2	1,7
Y386 G12	10,0	0,23	1,3	120	11,6	4,2	1,7
Y303 G514	0,5	0,23	1,3	165	11,6	5,6	2,4
Y357 G13	10,0	0,23	1,3	190	11,6	5,4	2,5
Y389	0,25	0,1	1,3	70	11,6	3,0	1,3

элементы и батареи. Данные фирмы о серии элементов напряжением 1,5 В для наручных часов приведены в табл. 5.9,

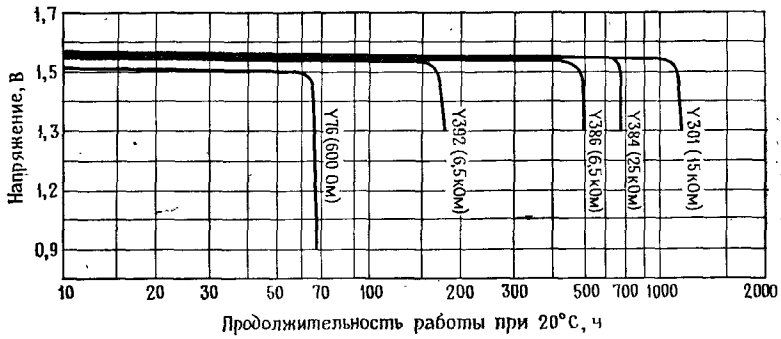


Рис. 5.5. Связь между продолжительностью работы при 20 °С и напряжением для различных элементов фирмы Yuasa (Y301, Y384, Y386, Y392 — элементы напряжением 1,5 В; Y76 — батарея напряжением 9 В).

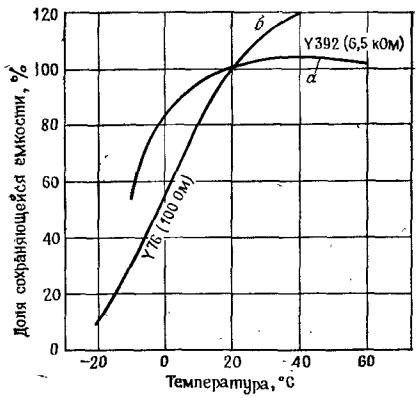


Рис. 5.6. Влияние температуры на сохраняемость емкости серебряно-цинковых элементов и батарей фирмы Yuasa.

а — элемент напряжением 1,5 В и емкостью 35 мА·ч при разряде на нагрузку 6,5 кОм; *б* — батарея напряжением 9 В и емкостью 190 мА·ч при разряде на нагрузку 100 Ом.

Таблица 5.10. **Характеристики серебряно-цинковых элементов и батарей напряжением 1,5—9 В фирмы Yuasa**

Марка	Напряжение, В	Допустимый ток, мА	Начальный ток, мА	Конечное напряжение, В	Емкость, мА·ч	Диаметр, мм	Высота, мм	Масса, г
Y312	1,5	5,0	1,0	0,9	38	7,9	3,6	0,7
Y13 G5	1,5	5,0	1,0	0,9	75	7,9	5,4	1,1
Y41 G12	1,5	10,0	1,6	0,9	120	11,6	4,2	1,7
Y76 G13	1,5	25,0	2,5	0,9	190	1,6	5,4	2,5
Y542 2G13	3,0	25,0	2,5	1,8	190	12,9	14,7	6,5
Y544 4G13	6,0	25,0	2,5	3,6	190	12,9	24,8	12,1
6Y76 6G13	9,0	25,0	2,5	5,4	190	13,4	34,7	17,5

а данные о батареях напряжением до 9 В — в табл. 5.10. На рис. 5.5 представлены данные о продолжительности работы элементов и батарей фирмы Yuasa, а на рис. 5.6 показано влияние окружающей температуры на величину сохраняющейся емкости серебряно-цинковых элементов и батарей этой фирмы.

5.7. СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ, ВЫПУСКАЕМЫЕ ДРУГИМИ ФИРМАМИ

В табл. 5.11 перечислены некоторые серебряно-цинковые элементы производства других фирм, которые эквивалентны элементам серии Duracell фирмы Mallory.

5.8. ДИСТАНЦИОННО АКТИВИРУЕМЫЕ СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫЕ БАТАРЕИ

Серебряно-цинковые первичные батареи однократного использования могут быть дистанционно приведены в активированное состояние в течение нескольких секунд или долей секунды даже после длительного хранения путем введения в батарею электролита под давлением. Эти батареи, кроме

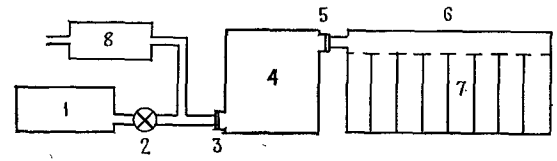


Рис. 5.7. Схема устройства дистанционно активируемой серебряно-цинковой батареи.

1 — баллон с газом под давлением или генератор газа; *2* — запальное устройство; *3* — мембрана для выпуска газа в емкость с электролитом *4* — емкость, содержащая электролит; *5* — выход для электролита; *6* — трубопровод для электролита; *7* — блок элементов; *8* — выпускной клапан на газораспределительном трубопроводе с ловушкой для электролита.

блока, где размещаются сухие заряженные пластины, имеют также емкость для электролита, из которой он подается в элементы при помощи электрических или механических устройств. Создание батарей с блоком элементов явилось новым шагом в разработке дистанционно активируемых первичных источников тока. В основе этой конструкции лежит использование биполярных электродов, обеспечивающих очень высокую удельную энергию батареи. Схематическое изображение такой дистанционно активируемой серебряно-цинковой батареи приведено на рис. 5.7. Эти батареи выпускает фирма Silberkraft (табл. 5.12); рекомендуется их применять в аэрокосмических аппаратах, торпедах и запалах взрывных устройств.

Таблица 5.11. **Серебряно-цинковые элементы напряжением 1,5 В, эквивалентные элементам серии Duracell фирмы Mallory**

Марка элемента серии Duracell	Система	Номинальная емкость, мА·ч	Высота, мм	Диаметр, мм	Обозначение, принятое МЭК	Эквивалентные элементы фирм			
						National	Ray-O-Vac	Union Carbide	VARTA
WS11	Оксид серебра	115	4,19	11,56	SR43	WS11	RW14, RW34	301	528
WS12	»	83	3,43	11,56					529
10L14	»	—	5,33	11,56	SR44	WL14	RW22, RW42	357	541
10L120	»	85	3,48	11,56					549
10L122	»	70	2,79	11,56					
10L123	»	75	5,33	7,75	SR48	WS6	RW18, RW28, RW28, RW48	309, 393	546
10L124	»	120	4,19	11,56	SR43	WL11	RW24, RW44	386	548
10L125	»	38	3,58	7,75	SR41	WS1/WL1	RW27, RW37, RW47	384, 392	527, 547
10L129	»	250	4,83	15,49			RW15, RW25, RW35	355	
WS14	»	200	5,59	11,56		WS14	RW12, RW32	303 EPX 77	521
MS76H	»	180							7301
MS13H	»	70							7306
MS41H	»	120							7308

Таблица 5.12. **Характеристики дистанционно активируемых первичных серебряно-цинковых батарей фирмы Silberkraft**

Тип батарей	Напряжение, В	Ток разряда, А	Время разряда, мин	Масса, кг	Объем, дм³
Торпедные батареи					
150PA/110/	210,0	480	13	400	285,0
20PA/29	28,0	40	45		
116PA/60/	156,0	480	6,5	196	124,3
20PA/7	28,0	40	25		
150PA 120	210,0	480	13	399	265,0
Батареи для ракет и реактивных снарядов					
21PA9	30,5	35	5	14,5	9,5
20PA3, 5/4 PA3, 5	33,6	30	3	5,6	2,9
22PA30	31,5	260	5	33,0	21,5
Батареи для пиротехнического поджигающего электрода и взрывателя					
21PAB0, 19LS	30,0	1,5	0,18	0,042	0,02

Фирма Eagle-Picher также изготовляет дистанционно активируемые серебряно-цинковые батареи (рис. 5.8). В этих батареях резервуар, содержащий электролит, загерметизирован с обоих концов металлическими диафрагмами, рассчитанными на высокое давление (выдерживают ударные напряжения 6,89 МПа). Газогенератор, предназначенный для перекачки электролита, запускается электрозапалом или капсюлем, приводимым в действие при помощи электрического, механического или инерционного устройства (рис. 5.9). Расширяющийся газ разрывает диафрагмы и проталкивает электролит в трубопровод и элементы батареи. В конструкции элементов предусмотрена выхлопная система, которая обеспечивает быстрое освобождение трубопровода и устраняет лишние пути утечки тока между элементами. В этой батарее отсутствуют подвижные части. Ее можно хранить продолжительное время и подключать непосредственно к нагрузке или параллельно действующей сети еще до активирования. Напряжение на разомкнутых электродах этой батареи составляет 1,6—1,87 В, напряжение под нагрузкой равно 1,20—1,55 В. Батарея работает в диапазоне температур от —29 до +71 °С, а при наличии водяной рубашки от —48 до +71 °С. Удельная энергия в зависимости от размеров батареи может составлять 11—66 Вт·ч/кг или 24—213 Вт·ч/дм³. Выпускаемые батареи имеют массу от 0,14 до 135 кг. Типичные характеристики дистанционно активируемых батарей фирмы Eagle-Picher, полученные при 27 °С, представлены на рис. 5.10. На рис. 5.11 показано влияние температуры на

величину емкости, обеспечиваемой батареей в режиме непрерывного разряда. Батарея имеет хорошую сохраняемость в неактивированном состоянии при температуре до 51 °С (рис. 5.12).

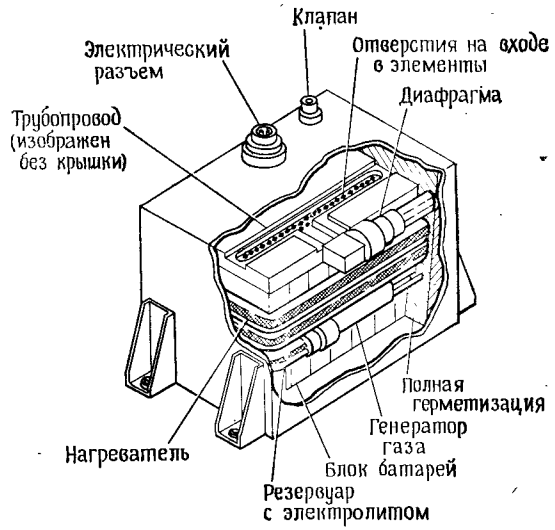


Рис. 5.8. Конструкция дистанционно активируемой первичной серебряно-цинковой батареи фирмы Eagle-Picher.

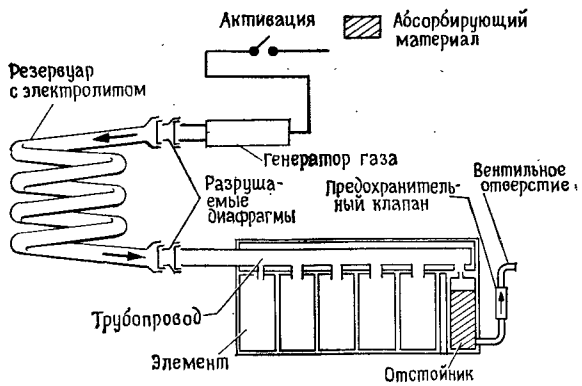


Рис. 5.9. Схематическое изображение дистанционно активируемой первичной серебряно-цинковой батареи фирмы Eagle-Picher.

Фирма Eagle-Picher производит газогенераторные пиротехнические устройства, которые могут быть использованы для активации дистанционно активируемых батарей путем подачи электролита из резервуара в элементы батареи. Она разработала более 70 вариантов конструкции газогенератора с объемом газа от 20 до 200 000 см³ (приведенным к нормальным условиям). В большинстве систем ракета — космический корабль используются многие из упомянутых конструкций.

Фирма Chloride of Silver Dry Cell Battery (Балтимор, США) производит серебряно-цинковые батареи со слабокис-

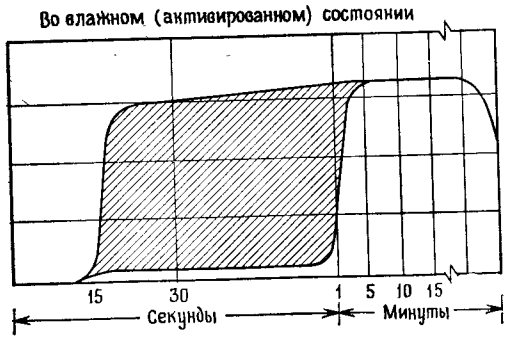


Рис. 5.10. Типичные характеристики при 27 °С дистанционно активируемой первичной серебряно-цинковой батареи фирмы Eagle-Picher.

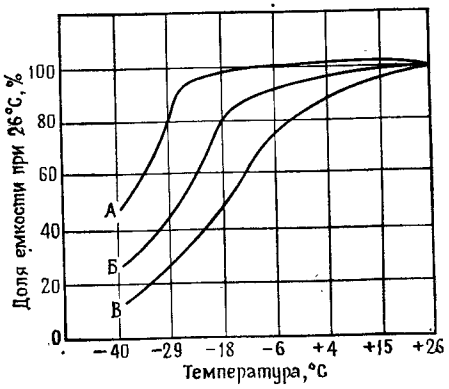


Рис. 5.11. Влияние температуры на емкость в режиме непрерывного разряда дистанционно активируемой первичной серебряно-цинковой батареи фирмы Eagle-Picher.

лым электролитом, содержащие хлористое серебро в качестве деполяризатора. Эти батареи рекомендуются в качестве источника энергии для измерительных приборов, таких, как

гальванометры, тестеры, вольтомметры и часы. Фирма выпускает многоэлементные батареи для цепей питания и смещения в электронных схемах, для медицинских электронных приборов и других специальных устройств с малым потреблением тока, где важны стабильность напряжения и долгий

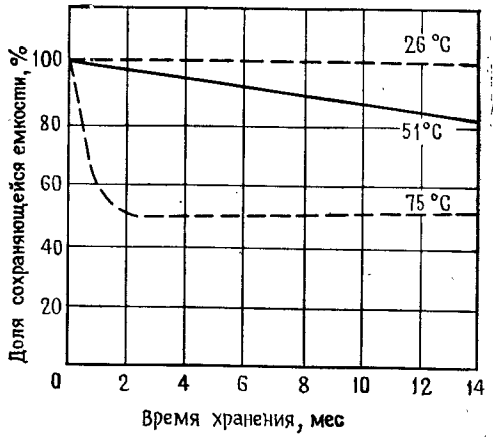


Рис. 5.12. Характеристики сохраняемости в неактивированном состоянии дистанционно активируемых первичных серебряно-цинковых батарей фирмы Eagle-Picher.

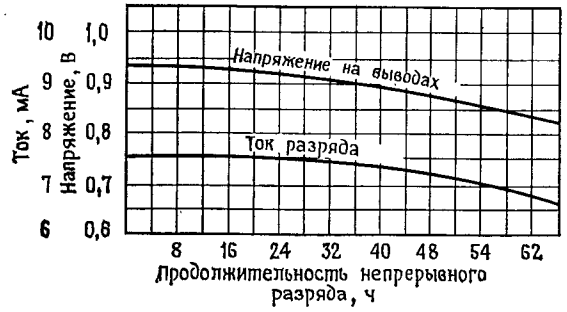


Рис. 5.13. Типичная характеристика батареи системы хлорид серебра — цинк типа DAH1 (цилиндрическая конструкция, масса 40 г, размеры 66 × 19 мм, сопротивление нагрузки 120 Ом) фирмы Chloride of Silver.

срок службы. Напряжение на разомкнутых электродах батареи равно 1,05 В. Под нагрузкой напряжение уменьшается пропорционально величине нагрузки, однако остается постоянным на всем рабочем участке разрядной характеристики (рис. 5.13). Срок годности (сохраняемость) рассматриваемых элементов в несколько раз выше срока годности обычных сухих элементов при комнатной температуре. Однако не рекомендуется хранить эти элементы при температуре ниже 0 °C. Срок годности элементов при правильных условиях хранения составляет 6 мес и может быть еще более увеличен, если понизить температуру хранения.

6

БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ДВУОКИСЬ МАРГАНЦА — ПЕРХЛОРАТ МАГНИЯ

Магниевые сухие элементы состоят из магниевого анода, двуокисномарганцевого (с добавлением графита) катода и электролита, в качестве которого обычно используют водный раствор перхлората либо бромида магния. В основе работы элемента лежит реакция

$$Mg + 2MnO_2 + H_2O \longrightarrow Mg(OH)_2 + Mn_2O_3.$$

Сепаратор из крафт-бумаги отделяет катод от анода, но не препятствует ионной проводимости. Магниевый анод изготовляют из сплава AZ21A. Конструкция магниевого элемента, где магниевый анод служит также контейнером для элемента, аналогична конструкции обычного цилиндрического сухого элемента. Вид элемента в разрезе дан на рис. 6.1. Изготавливаемые в настоящее время элементы на основе системы двуокись марганца — перхлорат магния имеют механическое уплотнение с вентиляционным отверстием, позволяющим водороду, выделяющемуся в результате паразитной побочной реакции, выводиться из элемента:

$$Mg + 2H_2O \longrightarrow Mg(OH)_2 + H_2.$$

Напряжение на разомкнутых электродах магниевого элемента составляет ~2,0 В (сравните с напряжением 1,5 В цинкового сухого элемента). Кроме более высокого напряжения магниевый элемент имеет и другие преимущества перед обычными сухими элементами. На магниевом элементе можно реализовать вдвое большие значения удельной энергии (Вт·ч/кг) при средних скоростях разряда (в течение 10—50 ч). Магниевые сухие элементы обладают также превосходной сохраняемостью. Они могут храниться при повышенных температурах. Так, после 12 нед хранения при 71 °C сохраняется 75% первоначальной емкости. На рис. 6.2 дано

сравнение значений начальной емкости (продолжительности работы) и сохраняемости магниевого и эквивалентного цин-

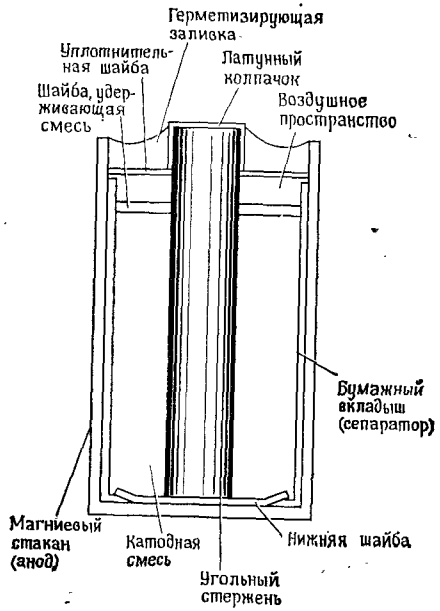


Рис. 6.1. Конструкция двуокисномарганцево-перхлоратмагниевого сухого элемента.

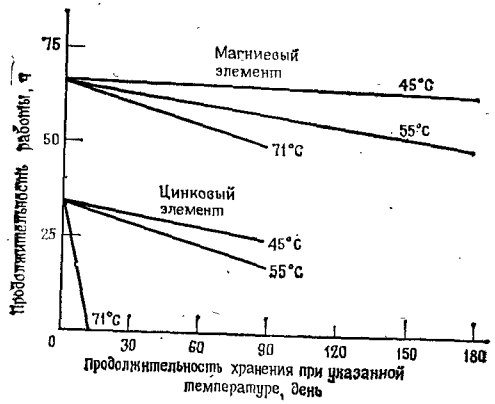


Рис. 6.2. Сравнение емкости и сохраняемости магниевого и цинкового сухих элементов.

кового сухих элементов. Способность магниевых сухих элементов хорошо сохранять заряд означает, что для их хранения не требуются специальные охлаждаемые помещения, как в случае обычных цинковых сухих батарей.

Нежелательным свойством магниевого сухого элемента является так называемая задержка напряжения в начале работы, которая состоит в том, что в момент подключения к нагрузке происходит кратковременное уменьшение напряжения элемента. Затем напряжение постепенно достигает нормального уровня. Задержка напряжения в начале работы измеряется временем от момента подключения нагрузки до момента, когда напряжение достигнет наименьшего допустимого уровня (обычно конечного напряжения). Эффект задержки напряжения обусловлен временем, которое требуется для разрушения окисной или гидроокисной пленки на поверхности магния.

Существует непосредственная связь между временем задержки и величиной нагрузки. Повышение величины отбираемого тока приводит к увеличению времени задержки. Благодаря правильному подбору магниевых сплавов, электролитов и ингибиторов (например, хроматов в небольших концентрациях) в большинстве устройств удалось снизить время задержки до величин менее 0,3 с. Магниевые сухие батареи в настоящее время нашли широкое применение в аппаратуре военной связи. По мере увеличения масштабов использования и производства этих батарей цена на них существенно снизилась. Например, цена батареи типа BA-4386/U, состоящей из 16 удлиненных элементов типоразмера С, за три года упала с 12,5 долл. до менее чем 5 долл. Цена эквивалентной цинковой батареи составляет ~3 долл.

Попытки изготовить магниевый сухой элемент в дисковом исполнении до настоящего времени были неудачными. Причина этих неудач кроется в нерешенной проблеме расширения активной массы, возникающей вследствие того, что образующиеся продукты реакции имеют больший объем, чем исходные компоненты.

Существуют два основных типа первичных источников тока: источники нерезервного типа, которые можно использовать сразу же после хранения в нерабочем состоянии (они не требуют активации или предварительного приведения в рабочее состояние), и источники резервного типа, обычно содержащие электродные материалы, но для их активации необходимо введение воды или электролита непосредственно перед использованием. Двуокисномарганцево-перхлоратмагниевые батареи резервного типа изготавливает фирма Eagle-Picher.

Преимущество резервных батарей на основе системы двуокись марганца — перхлорат магния состоит в том, что они могут храниться в течение нескольких лет в неактивированном состоянии (т. е. дольше, чем батареи нерезервного типа) и требуют активации путем введения электролита только

непосредственно перед использованием. В отличие от батарей нерезервного типа резервную батарею после активации необходимо достаточно быстро использовать, поскольку она подвержена саморазряду.

6.1. РЕЗЕРВНЫЕ ПЕРВИЧНЫЕ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ДВУОКИСЬ МАРГАНЦА — ПЕРХЛОРАТ МАГНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ EAGLE-PICHER

Батареи этой фирмы могут быть приведены в активированное состояние путем введения электролита как вручную, так и автоматически при помощи электрических или механических устройств. Их рекомендуется применять в переносных радиостанциях, локационных радиомаяках, устройствах радиопротиводействия и в других электронных устройствах. Теплота, выделяемая при коррозии магниевого анода, в определенной степени улучшает работу батареи в широком интервале температур и скоростей разряда. Батареи, выпускаемые фирмой Eagle-Picher, удовлетворяют требованиям стандарта SCS ELCD-2010/0001. Батареи безопасны в эксплуатации, поскольку имеют сообщение с атмосферой, и взрывобезопасны; применяемый в них электролит гораздо менее коррозионно-активен, чем электролит, применяемый в обычных щелочных батареях.

Положительные пластины представляют собой высокоэлектропроводную тянутую металлическую сетку, а отрицательные пластины изготовлены из листового магния. Электролит состоит из концентрированного раствора перхлората магния. Корпусы батарей могут быть изготовлены из стекловолокна, акрилонитрила, бутадиен-стирольного каучука, бумаги, резины или нейлона. Теоретическое значение удельной энергии этой батареи равно 242 Вт·ч/кг, однако практически удалось достичь только 110 Вт·ч/кг (130 Вт·ч/дм^3) для одиночных элементов и 88 Вт·ч/кг (120 Вт·ч/дм^3) для батарей. Напряжение на разомкнутых электродах составляет 2,0 В на элемент, номинальное рабочее напряжение равно 1,55 В на элемент. Выпускаются батареи, рассчитанные на отбор мощности 2—300 Вт с номинальными значениями емкости 3—120 А·ч.

Рабочие температуры и температуры хранения лежат соответственно в интервале $-54 \div +18$ °С и $-68 \div +18$ °С. Согласно документации фирмы, срок хранения батарей составляет от трех до пяти лет.

На рис. 6.3 приведены зависимости напряжения от времени, прошедшего с момента активации 92-граммовой двуокисномарганцево-перхлоратмагниевой резервной батареи путем введения электролита при температурах —54, —40 и

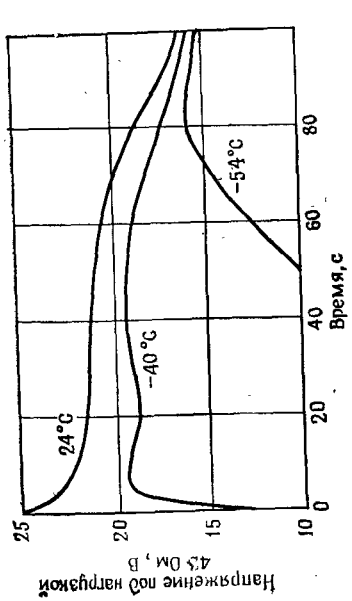


Рис. 6.3. Изменение во времени напряжения под нагрузкой после активации при различных температурах резервной двуокисномарганцево-перхлоратмагниевой первичной батареи фирмы Eagle-Picher.

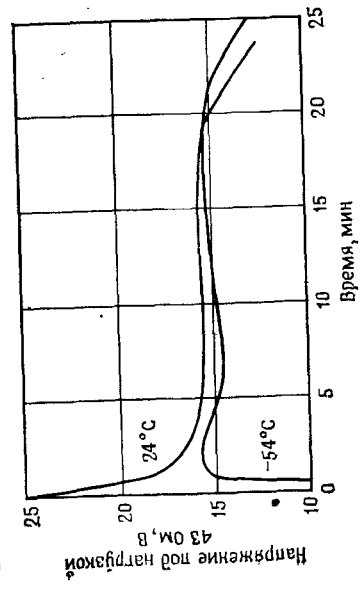


Рис. 6.4. Разрядные характеристики после активации при —54 и +24 °С резервной первичной двуокисномарганцево-перхлоратмагниевой батареи фирмы Eagle-Picher (размеры батареи 6,6×6,6×2,5 см при массе 94 г).

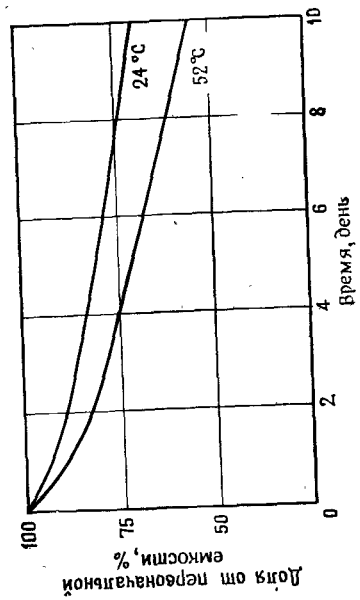
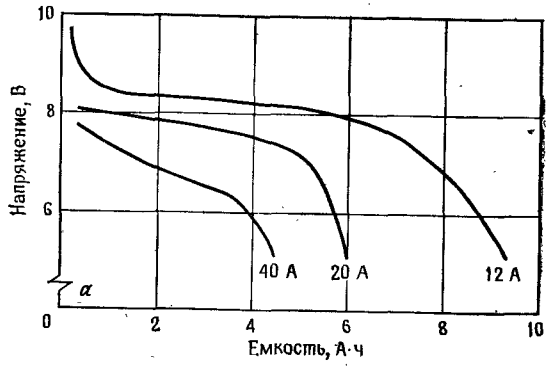


Рис. 6.5. Сохраняемость емкости резервной первичной двуокисномарганцево-перхлоратмагниевой батареи (в активированном состоянии) фирмы Eagle-Picher (данные приведены для разряда до конечного напряжения 1,0 В на элемент).

+24 °С (сопротивление нагрузки 43 Ом). Даже при температуре —54 °С напряжение, близкое к максимальному, достигается за время, меньшее 80 с. На рис. 6.4 показано, как ведут себя в дальнейшем разрядные кривые при температурах —54 и +24 °С. Рис. 6.5 дает представление о том, как



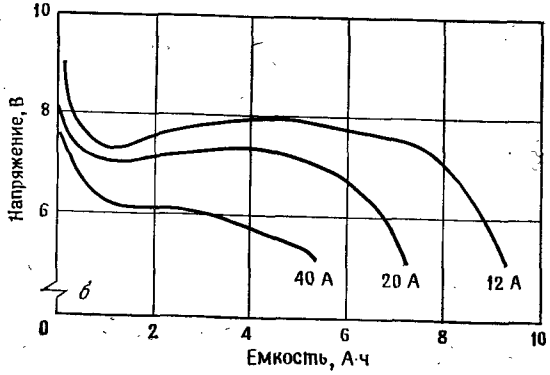


Рис. 6.6. Разрядные характеристики резервной первичной двуокисномарганцево-перхлоратмагниевой батареи фирмы Eagle-Picher (номинальная емкость 10 А·ч).

а — при 52° С, размерах батареи 10,7×10×5,6 см = =656 см³ и массе 60 г; *б* — при —40° С и тех же размерах и массе.

сохраняется емкость батареи в активированном состоянии при температурах +24 и +52 °С. На рис. 6.6 приведены разрядные характеристики при номинальном токе и температура —40 и +52 °С пятиэлементной батареи массой 953 г и объемом 0,656 дм³.

6.2. НЕРЕЗЕРВНЫЕ ПЕРВИЧНЫЕ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ДВУОКИСЬ МАРГАНЦА — ПЕРХЛОРАТ МАГНИЯ

В последние годы многие фирмы делали попытки заменить цинковый анодный стакан в первичном угольно-цинковом элементе на магниевый, чтобы воспользоваться преимуществами, которые дает более высокий электрохимический по-

тенциал магния. Недавно фирма Marathon сообщила о создании таких батарей. В настоящее время эти батареи используются в военной технике, в частности в оборудовании, которое работает в тропических климатических условиях. Наиболее широкое распространение из выпускаемых в настоящее время фирмой Marathon магниевых батарей получили батареи типа BA4386, которые используются в качестве источника питания в портативных приемопередатчиках PRC 25 и PRC 77, где до этого применялись исключительно угольно-цинковые батареи типа BA386. Батарея типа BA4386 состоит из 18 элементов типоразмера CD, соединенных последовательно-параллельно. Она используется в аппаратуре военного назначения не только потому, что обладает большей емкостью по объему и по массе, чем ее угольно-цинковый аналог, но и вследствие лучшей сохраняемости при нормальных и повышенных температурах.

Эта батарея может применяться и в других устройствах, включая следующие:

противопожарные и охранные сигнальные системы;

импульсные светильники предупредительного назначения;

осветительные и импульсные световые устройства;

устройства, содержащие электродвигатели постоянного тока небольшой мощности, например магнитофоны, игрушки и т. д.;

световые комплекты для аварийных скользящих контейнеров, используемых в самолетах гражданской авиации;

аварийные локационные передатчики на самолетах.

Высокая удельная энергия этих элементов как по массе, так и по объему объясняется более высоким напряжением на электродах магниевого элемента, а также малой плотностью металлического магния. Эти преимущества становятся наиболее очевидными при изготовлении многоэлементных батарей, когда более высокое напряжение на каждом элементе позволяет набирать в батарею меньшее количество элементов, чем в случае использования первичных источников других электрохимических систем. Таким образом, магниевые батареи легче, меньше по размерам и имеют бо́льшую надежность, что является естественным следствием использования меньшего числа элементов.

Элементы типоразмера CD

Конструкция магниевого элемента типоразмера CD показана на рис. 6.7. Она аналогична конструкции цилиндрического угольно-цинкового элемента с бумажным вкладышем — диафрагмой. Корпус, выдавленный из специального магниевого сплава, служит анодом. Катод состоит из смеси двуокиси марганца и сажи, пропитанной водным раствором перхлората

или бромида магния, служащим электролитом. Абсорбирующий бумажный сепаратор изолирует электроды друг от друга и в то же время не препятствует движению ионов (т. е. прохождению тока), когда к элементу подключают нагрузку, на которую он разряжается. Открытый конец корпуса загерме-

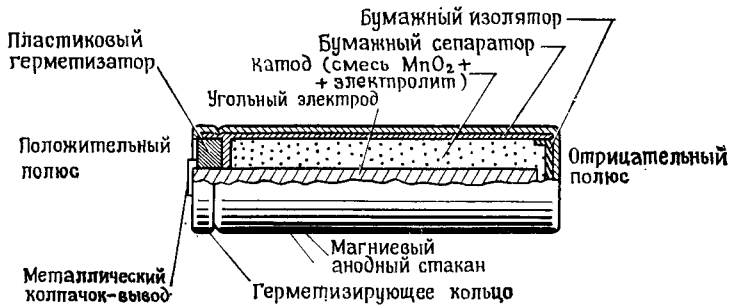


Рис. 6.7. Конструкция магниевого элемента типоразмера CD фирмы Marathon.

тизирован при помощи пластмассовой крышки, удерживаемой плакированным стальным кольцом. В крышке имеется предохранительное отверстие на случай аномального режима работы, например случайного короткого замыкания элемента, которое может привести к выделению газа и повышению внутреннего давления.

Электрические и физические характеристики этого элемента приведены в табл. 6.1, а разрядные кривые при температуре 24 °С показаны на рис. 6.8.

Таблица 6.1. **Электрические и физические характеристики магниевых элементов типоразмера CD фирмы Marathon**

Электрические	
Номинальное рабочее напряжение	1,5 В
Номинальная емкость	6 А · ч
Удельная энергия по массе	132 Вт · ч/кг
Объемная удельная энергия	210 Вт · ч/дм³
Срок годности при 20 °С	5 лет
Срок годности при 71 °С	3 мес
Физические	
Максимальная высота	83,8 мм
Максимальный диаметр	22,8 мм
Материал корпуса	Магниевый сплав
Максимальная масса	58,1 г

Хорошая сохраняемость элемента типоразмера CD при высоких температурах — это результат образования на внутренней поверхности магниевого стаканчика пленки, препятствующей коррозии. Для того чтобы элемент мог работать, когда к нему подключают нагрузку, необходимо прорвать эту защитную пленку. Так возникает характерная для этого элемента задержка напряжения, иначе говоря, существует

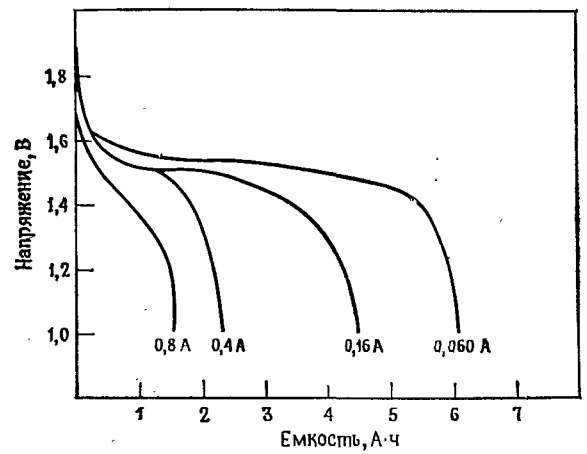


Рис. 6.8. Разрядные характеристики в режиме заданного тока при 24 °С магниевого элемента типоразмера CD фирмы Marathon.

некоторый отрезок времени, необходимый для того, чтобы после подключения нагрузки напряжение на выводах элемента достигло значения, соответствующего нормальному напряжению под нагрузкой. Опыт показывает, что это время задержки зависит от окружающей температуры, продолжительности хранения и степени разряженности. Для свежеизготовленной батареи время задержки составляет менее 3 с.

Максимальная емкость магниевой батареи обеспечивается в режиме, когда она разряжается непрерывно в течение ~100 ч. Однако в режиме, когда время разряда превышает 200 ч, наблюдается заметное уменьшение отдаваемой емкости. Это происходит вследствие процесса саморазряда на

Таблица 6.2. **Зависимость отдаваемой емкости от тока разряда элементов типоразмера CD фирмы Marathon**

Ток разряда, А	Длительность работы, ч	Емкость, А·ч	Доля емкости, отдаваемой при 100-часовом разряде, %
0,060	100	6,0	100
0,16	28	4,5	75
0,40	5,5	2,2	38
0,80	1,9	1,5	25

магниевом аноде (см. уравнение, приведенное в начале главы). При полном разряде за относительно короткий непрерывный промежуток времени у магниевой батареи, так же, как и у других первичных батарей, наблюдается уменьшение отдаваемой емкости. Рис. 6.8 и табл. 6.2 иллюстрируют это свойство магниевого элемента при непрерывном разряде с различными скоростями при комнатной температуре.

Наряду с элементами типоразмера CD фирма Marathon выпускает также элементы типоразмера A, C, D и F. При скорости, соответствующей разряду за 50 ч, они имеют следующие расчетные величины емкостей: типоразмер A — 0,6 А·ч, типоразмер C — 3,0 А·ч, типоразмер D — 6,0 А·ч, типоразмер F — 12,0 А·ч.

Батареи BA4386.18 типоразмера CD

Элементы типоразмера CD, выпускаемые фирмой Marathon, при необходимости можно соединять как последовательно, так и последовательно-параллельно. Соединения выполняют проводниками при помощи пайки. Конструкция выводных полюсов батареи может быть самой различной и определяется требованиями потребителя. Наружная упаковка батареи в зависимости от предполагаемой области использования может иметь различный вид — от картонного контейнера до металлической оболочки. Обычно элементы многоэлементной батареи заливают гудроном для предотвращения смещения относительно друг друга и для обеспечения механически прочной упаковки. Правильная конструкция упаковки элементов в батарею позволяет последней выдерживать самые жесткие испытания на вибростойкость и ударную прочность, а также обеспечивать сохранение работоспособности в условиях высокой влажности.

Электрические и физические характеристики батарей рассматриваемого вида приведены в табл. 6.3.

Полевые испытания показали, что исключительная сохраняемость является отличительной чертой батарей фирмы Marathon. После 18 мес хранения при комнатной температуре магниевые батареи обеспечивали 90% первоначального значения емкости; после 90 дней хранения в газовой атмосфере при температуре 55 °С батареи еще сохранили 85% первоначальной емкости; такая же величина емкости оставалась после 30 дней хранения при температуре 71 °С. Сохраняемость батарей типа BA4386 иллюстрируют кривые, приведенные на рис. 6.9. Эти кривые получены при разряде батарей после хранения при различных температурах в интервале 21—71 °С в условиях, соответствующих работе приемопередающей аппаратуры.

Таблица 6.3. **Электрические и физические характеристики магниевых батарей типа BA 4386 производства фирмы Marathon**

	Секция A1	Секция A2
Электрические		
Батарея состоит из двух секций, содержащих элементы типоразмера CD: секции A1 напряжением 3В и секции A2 напряжением 14,1 В		
Номинальное напряжение	3 В [1]	14,4 В
Разряд при сопротивлении нагрузки	6,75 Ом, 2 мин, затем отдых 18 мин	14,2 Ом, 2 мин, затем 291 Ом, 18 мин
Конечное напряжение	2,12 В	10 В
Длительность работы при комнатной температуре	60 ч для свежеизготовленной, 55 ч после хранения в течение 7 дней при 71 °С	
Физические		
Максимальная высота	53,97 мм	
Максимальная ширина	92,07 мм	
Максимальная длина	24,13 мм	
Масса	1,36 кг	
Количество элементов	18 [2]	
Материал внешней оболочки батареи	Стойкий к воздействию электролита картон	
Токовыводы	5-штырьковый разъем	
Типоразмер элементов	CD	

[1] С последовательно соединенным гасящим резистором.
[2] 18 параллельно-последовательно соединенных элементов (секции A1 и A2).

В условиях прерывистого разряда отдаваемая емкость магниевой батареи зависит от различных факторов, например от длительности пребывания в выключенном состоянии, скорости разряда, частоты следования разрядных интервалов и окружающей температуры. Влияние каждого из этих факторов и их взаимосвязь делают затруднительным предсказание, какую емкость будет иметь батарея, пока не будет точно известен режим ее работы. В общем случае можно утверждать, что прерывистый разряд при больших отбираемых токах создает благоприятные условия для реализации оптимальных характеристик батареи.

Характеристики магниевой батареи улучшаются при рабочих температурах, превышающих 21 °С, особенно при отборе большого тока. Это легко увидеть, сравнивая семейство кривых на рис. 6.10 (разряд при 71 °С) с кривыми на рис. 6.8 (разряд при 24 °С). Как и в случае батарей других систем из элементов, характеристики магниевых батарей ухудшаются при разрядке в условиях пониженных температур (рис. 6.11). Однако магниевые батареи продолжают оставаться работоспособными даже при температуре —18 °С,

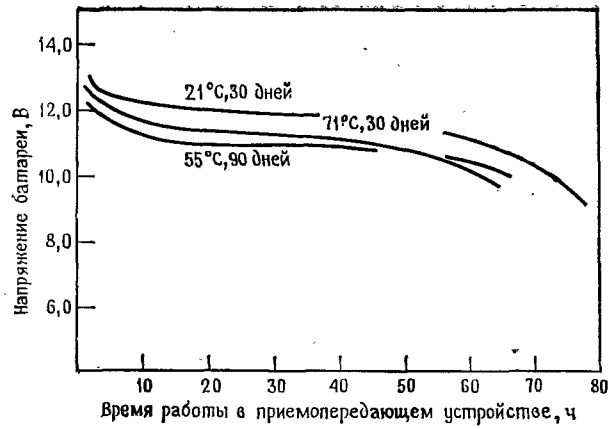


Рис. 6.9. Сохраняемость батареи типа BA4386, составленной из магниевых элементов типоразмера CD фирмы Marathon при работе при повышенных температурах.

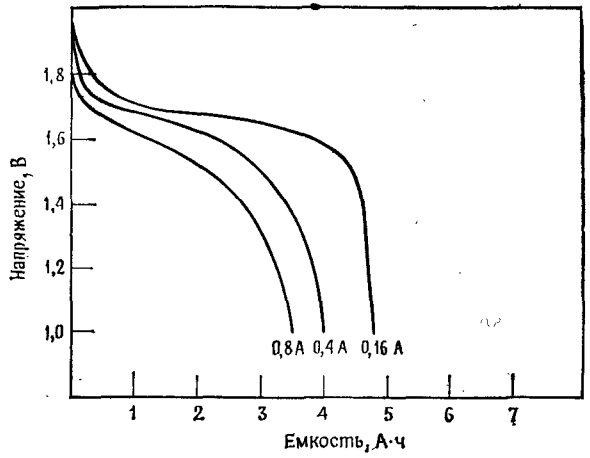


Рис. 6.10. Разрядные характеристики в режиме заданного тока при 71 °С магниевого элемента типоразмера CD фирмы Marathon.

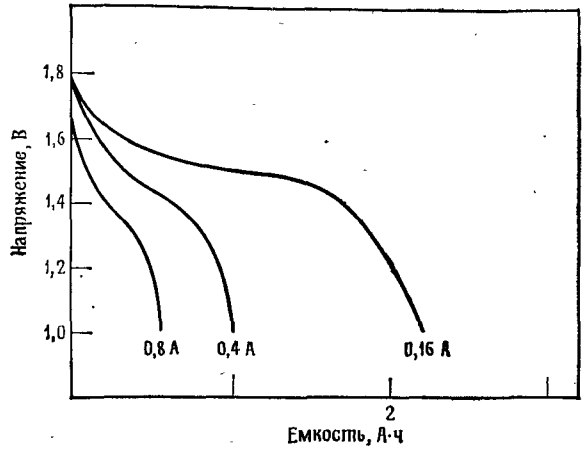


Рис. 6.11. Разрядные характеристики в режиме заданного тока при 10 °С магниевого элемента типоразмера CD фирмы Marathon.

особенно при скорости разряда, соответствующей отбору малого тока.

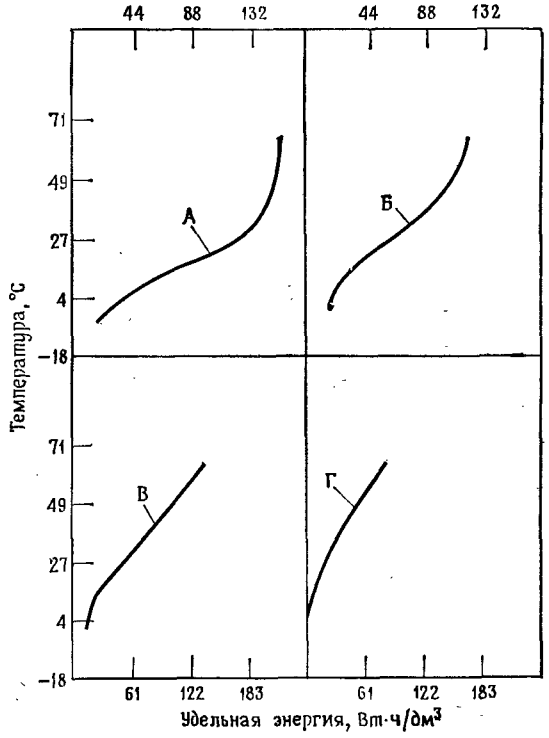


Рис. 6.12. Влияние величины тока и температуры на отдаваемую емкость в режиме непрерывного разряда магниевого элемента типоразмера CD фирмы Marathon.

А — разрядный ток 0,16 А, что эквивалентно удельной энергии 4,6 Вт·ч/кг (7,3 Вт·ч/дм³) при 24° С; *Б* — разрядный ток 0,4 А, что эквивалентно удельной энергии 11,9 Вт·ч/кг (18,3 Вт·ч/дм³) при 24° С; *В* — разрядный ток 0,8 А, что эквивалентно удельной энергии 22,2 Вт·ч/кг (34 Вт·ч/дм³) при 24° С; *Г* — разрядный ток 1,6 А, что эквивалентно удельной энергии 41 Вт·ч/кг (63 Вт·ч/дм³) при 24° С.

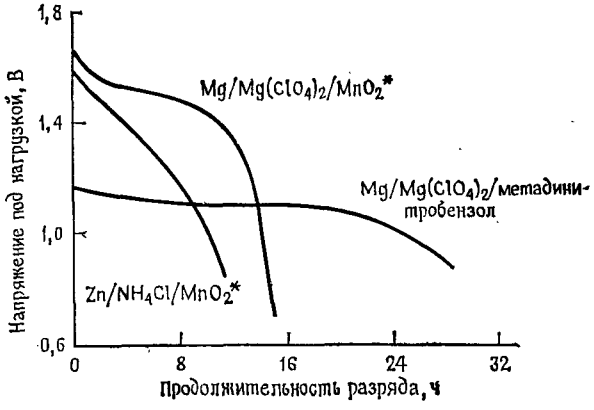


Рис. 6.13. Разрядные характеристики при 21 °С сухих элементов различных электрохимических систем (типоразмер А, разряд на резистор сопротивлением 16,66 Ом). (* — электролитическая MnO_2.)

Обобщенные температурные характеристики магниевой батареи приведены на рис. 6.12, где показана температурная зависимость удельной энергии этой первичной системы при четырех различных скоростях разряда.

6.3. МАГНИЕВЫЕ БАТАРЕИ С ОРГАНИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ

Теоретические исследования дают основания предполагать, что такие органические соединения, как метадинитробензол (м-ДНБ), весьма привлекательны как возможные материалы для катода в первичных элементах. Например, если предположить, что м-ДНБ полностью восстанавливается, то можно получить систему с удельной энергией 1915 Вт·ч/кг. Эта величина существенно превышает теоретическое значение удельной энергии для систем с неорганическими материалами, которое ниже 440 Вт·ч/кг.

Значительная работа была проведена различными фирмами — изготовителями батарей, в том числе и фирмой Marathon, по созданию элементов на основе системы $Mg/Mg(ClO_4)_2$/м·ДНБ. Эти элементы имели цилиндрическую конструкцию, аналогичную той, которая используется в двуокисномарганцево-перхлоратмагниевых сухих элементах. Для элемента с органическим электролитом требуется применение абсорбента для м-ДНБ (сажи) с большей суммарной поверхностью, чем для элемента с двуокисью марганца. Следовательно, в рассматриваемом случае отношение количества м-ДНБ к количеству сажи (порядка 2 : 1) ниже, а содержание воды выше, чем в двуокисномарганцевом элементе. Вода принимает участие в электрохимических реакциях м-ДНБ, поставляя ионы водорода и гидроксила. Рабочее напряжение этого элемента ниже, чем других сухих элементов, однако разрядная кривая — плоская (рис. 6.13). Для элемента типоразмера А была достигнута удельная энергия 121 Вт·ч/кг при 21 °С в режиме 25-часового разряда (время «полного» разряда) по сравнению со 100 Вт·ч/кг для эквивалентного двуокисномарганцево-перхлоратмагниевого элемента. Однако требуется еще улучшить характеристики этой системы при разряде в режимах с отбором большого тока.

7

ЦИНКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВОЗДУШНОЙ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ

В данной главе проводится сравнение характеристик первичных цинковых элементов воздушной деполяризации (ВД) с характеристиками других первичных элементов. Более подробно рассматриваются дисковые цинковые элементы воздушной деполяризации, выпускаемые фирмами Gould и BEREC; эти элементы упоминались в гл. 1. Что же касается металловоздушных и топливных элементов, то они в настоящей книге описаны не будут.

Цинковые батареи воздушной деполяризации (в зависимости от размеров) обладают большей удельной энергией по массе (более 220 Вт·ч/кг), чем любые другие типы первичных батарей. Они имеют и другие преимущества, в том числе способность отдавать большие токи в течение более длинных промежутков времени и почти неизменное напряжение в течение всего периода разряда. В импульсном режиме элементы ВД могут отдавать токи, превышающие номинальные в 10 раз. Типоразмеры выпускаемых элементов соответствуют международным стандартам. Самый большой из них имеет емкость 18 А·ч при номинальном токе 2 А; его диаметр 33 мм, длина 61 мм и масса 85 г.

Один из типов цинкового первичного элемента ВД представляет собой конструкцию, в которой активные электроды помещены в электролит. Это так называемая механически перезаряжаемая система.

Хотя цинковые батареи ВД используются в течение многих лет, область их применения ограничивалась устройствами, потребляющими очень малые токи. В результате исследований, проведенных при создании топливных элементов, и успехов в технологии изготовления тонких газовых электродов, работающих при больших плотностях тока, в настоящее время повысился интерес к цинковым элементам ВД как

источникам энергии. Были сконструированы элементы, содержащие два параллельных катода (воздушных электрода) и один анод (рис. 7.1, *а*). Оба катода жестко скреплены с каркасом и образуют контейнер элемента. Нет необходимости

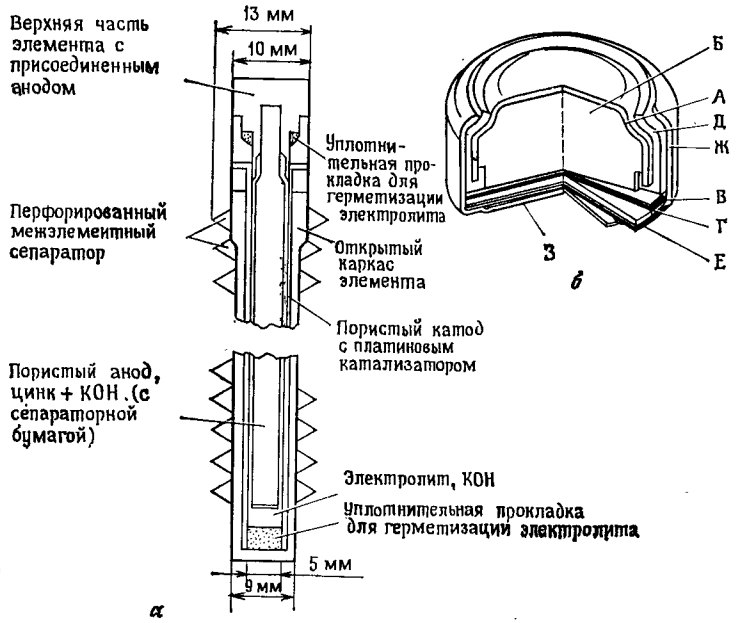


Рис. 7.1.

а — цинковый элемент воздушной деполяризации, *б* — конструкция дискового цинкового элемента ВД фирмы BEREC. *А* — крышка элемента, изготовлена из стали с гальваническим покрытием, служит отрицательным выводом элемента; *Б* — цинковый анод (отрицательный электрод), амальгамированный цинковый порошок высокой чистоты, который удерживает также щелочной электролит; *В* — сепаратор и синтетическая ионопроницаемая мембрана; *Г* — катод, смесь углерода, катализатора и предотвращающего промокание катода вещества, нанесенная на подложку из стальной сетки с гальваническим покрытием и с наружным слоем из газопроницаемого пористого гидрофобизатора (политетрафторэтилена); *Д* — герметизирующая прокладка, изолирует друг от друга положительный и отрицательный выводы и крепит катод к основе; *Е* — диффузионная мембрана, воздухопроницаемый слой, распределяет воздух, поступающий из вентиляционных отверстий равномерно по поверхности катода; *Ж* — корпус-катод, изготовлен из стали с гальваническим покрытием, является держателем катода, а также служит контейнером для всего элемента и положительным выводом. Отверстия в катоде обеспечивают доступ воздуха, как только удаляют герметизирующую их пленку; *З* — вентиляционные отверстия.

иметь в составе элемента ВД такой деполяризатор, как двуокись марганца. Это связано с тем, что здесь в качестве деполяризатора используется кислород воздуха. После использования заменяют часть элемента, состоящую из высокопористого цинкового анода, содержащего необходимое количество сухого КОН и обернутого сепаратором из соответствующего материала. Когда элемент готов к активации, его контейнер заполняют водой. После этого цинковый анод с сухим КОН

и сепаратором вводят в элемент. Теперь элемент можно использовать в работе.

Несколько элементов можно собирать в батареи. Между элементами помещают прокладки, допускающие конвективный проток воздуха. Для работы с мощными нагрузками набирают большие батареи, где конвекции может быть недостаточно и требуется применение вентиляторов. После израсходования цинковых анодов их заменяют новыми для обеспечения следующего разрядного цикла. Такие цинковые батареи ВД способны обеспечивать удельную энергию до 220 Вт·ч/кг, что

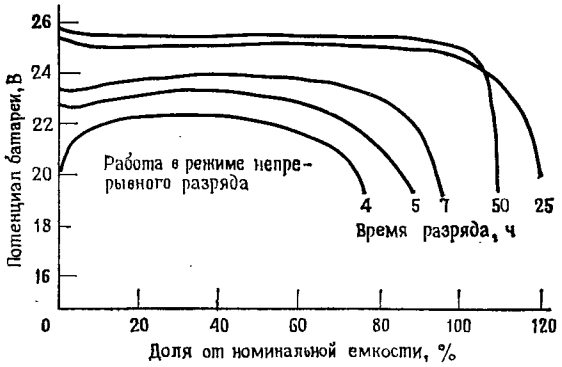


Рис. 7.2. Разрядные характеристики батареи, состоящей из 20 цинковых элементов ВД.

существенно выше, чем у батарей на основе системы двуокись марганца — магний.

На рис. 7.2 представлены разрядные характеристики цинковой батареи ВД при различных скоростях разряда. Цинковая система ВД может работать до температуры —18°С включительно; при этом ее емкость составляет 80 % емкости, соответствующей разряду при 21 °С. Цинковая батарея нуждается в некотором времени «разгона», необходимом для саморазогрева элементов и установления соответствующей скорости воздушной конвекции. По достижении этих условий может поддерживаться нормальная работа элемента. При более высокой температуре возникает проблема высыхания, которую можно разрешить, если ввести в конструкцию элемента емкость с водой. При 54 °С от батареи может быть получено ~60 % емкости, отдаваемой при 21 °С. Разумеется, цифры, приведенные для работы при экстремальных значениях температуры, зависят от скорости разряда. Цинковые батареи ВД способны выдерживать до 100 разрядных циклов (замен анодно-электролитных композитов). Большое число циклов весьма желательно вследствие высокой стоимости воздушных катодов, в состав которых входят дорогие катализаторы из благородных металлов. Предполагаемое направление дальнейших работ в этой области — создание однократно

используемых и заменяемых целиком батарей с применением дешевых катализаторов для воздушных электродов, таких, как шпинели и смешанные окислы, и активированного угля, например марки Darco G 60. Имеются два типа элементов однократного использования: резервного типа, когда воду добавляют непосредственно перед использованием элемента, и нерезервного типа — в этом случае требуется только удалить пластиковые защитные полоски, прикрывающие отверстия для прохода воздуха.

Как упоминалось в гл. 1, отказ от использования цинковых элементов ВД был вызван экономическими, а не техническими причинами. Совсем по-другому обстоит дело с производством дисковых цинковых элементов ВД. Так, фирма

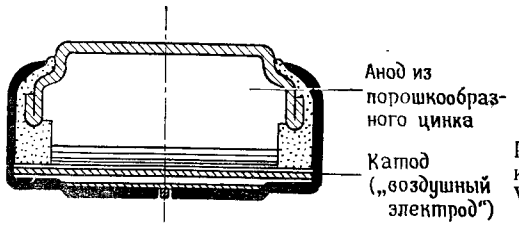


Рис. 7.3. Конструкция цинкового элемента ВД типа V4600 фирмы VARTA.

Gould вот уже в течение нескольких лет выпускает такие элементы, предназначенные для использования в слуховых аппаратах и часах. Изделия фирм Gould и BEREC поступили на рынок в Великобритании в 1980 г. На рис. 7.1, *б* представлена конструкция дискового цинкового элемента ВД, изготовляемого фирмой BEREC.

Фирма VARTA освоила производство цинкового элемента ВД (типа V4600) напряжением 1,4 В и емкостью 300 мА·ч, предназначенного для слуховых аппаратов. Эти элементы — их можно собирать в батареи — имеют диаметр 11,5 мм, толщину 5,4 мм и массу 1,75 г. Конструкция такого элемента показана на рис. 7.3. Рассматриваемый элемент содержит положительный (воздушный) электрод, представляющий собой сложную структуру из политетрафторэтилена и активированного древесного угля в качестве катализатора, и анод из цинка высокой чистоты с сильно развитой поверхностью. Сепараторы проницаемы для ионов и выполнены многослойными. Они предотвращают перенос образующихся продуктов реакции и таким образом обеспечивают даже длительный разряд очень малыми токами без возникновения коротких замыканий.

Электролит представляет собой раствор KOH. Этот элемент обладает объемной удельной энергией, равной 650—800 мВт·ч/см³, по сравнению с величинами 400—520, 350—430

и 200—300 мВт·ч/см³, которые свойственны соответственно ртутно-цинковым, серебряно-цинковым и щелочным двуокисномарганцевым элементам. Диапазон рабочих температур элемента фирмы VARTA составляет $-10 \div +60$ °С, напряжение под нагрузкой равно 1,15—1,3 В. Элемент обладает хорошей сохраняемостью, поскольку отверстия для воздуха в период хранения закрыты тонкой пленкой, которая предотвращает поступление воздуха, необходимого для активации

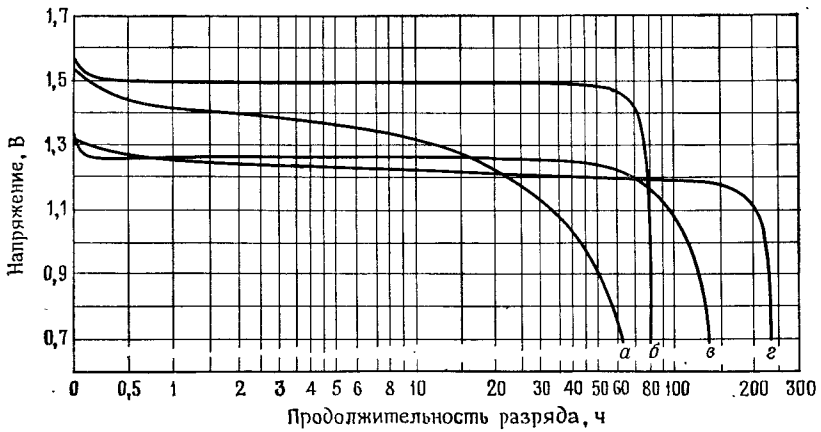


Рис. 7.4. Разрядные характеристики элементов: *а* — щелочного марганцево-цинкового; *б* — щелочного серебряно-цинкового; *в* — щелочного ртутно-цинкового; *г* — цинкового ВД фирмы VARTA.

элемента. Разрядная характеристика цинковых элементов ВД, выпускаемых фирмой VARTA, представлена на рис. 7.4, где для сравнения приведены разрядные кривые щелочного марганцево-цинкового, щелочного серебряно-цинкового и щелочного ртутно-цинкового элементов.

7.1. ЦИНКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И БАТАРЕИ ВД ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ McGRAW EDISON

Фирма McGraw Edison выпускает серию Carbonaire цинковых элементов и батарей ВД. В этих батареях использована пара уголь — цинк и электролит, состоящий из едкого кали и извести; батарея активируется путем добавления воды. Известь взаимодействует с продуктами реакции цинка и тем самым удаляет их, способствуя, таким образом, продлению работоспособности электролита. Существуют шесть основных типов батарей этой серии.

Батареи типа ST-22 и ST-83 для навигационного оборудования

Батареи указанного типа состоят соответственно из двух или трех элементов, заключенных в прозрачные полиакриловые контейнеры. Батареи поставляются упакованными в пластиковые мешки, для того чтобы во время хранения предотвратить поступление воздуха и влаги, вызывающих коррозию анода. Активация батарей производится заполнением водой. Отдельные элементы могут быть соединены последовательно или параллельно при помощи внешних соединений. Обычно батареи ST Carbonaire не требуют постоянного обслуживания или проверки в течение первого года работы. Если же период работы значительно больше года, то желательна ежегодная визуальная проверка уровня раствора в батарее. Прозрачная оболочка позволяет пользователю установить, подлежит ли данная батарея замене.

Типичные примеры использования в навигации батарей серии ST Carbonaire следующие: береговые огни всех типов, как импульсные, так и постоянного свечения, обозначающие места, опасные для плавания; огни на нефтедобывающих платформах, расположенных в открытом море; звуковые сигналы (сирена), подаваемые в отсутствие видимости; склянки; створные огни; буксирные огни на баржах; огни на мостике; пирсовые и доковые огни; предупредительные огни; маркерные огни рыболовных сетей; буи.

Выпускают два стандартных батарейных блока для питания буев напряжением 12 В и емкостью 1100 и 3300 А·ч. Фирма McGraw Edison изготовляет другие варианты этих батарей емкостью 1100—3300 А·ч и напряжением 6—22,5 В.

Батареи типа Y

Эти батареи содержат единственный элемент емкостью 2800 А·ч и напряжением 1,25 В, герметически упакованный в твердую оболочку из литой резины (рис. 7.5). Во многих устройствах срок службы батареи в активированном состоянии составляет примерно три года; при этом температура электролита не должна быть ниже —18 °С. Батареи такого типа рекомендуются для использования во вспомогательных устройствах навигационного оборудования.

Батареи типа BY-301

Представляют собой элемент емкостью 3000 А·ч и напряжением 1,25 В в твердой резиновой оболочке. Предназначены для использования во вспомогательных навигационных сигнальных устройствах, подающих как световые, так и звуковые сигналы. Размеры и форма этих батарей позволяют

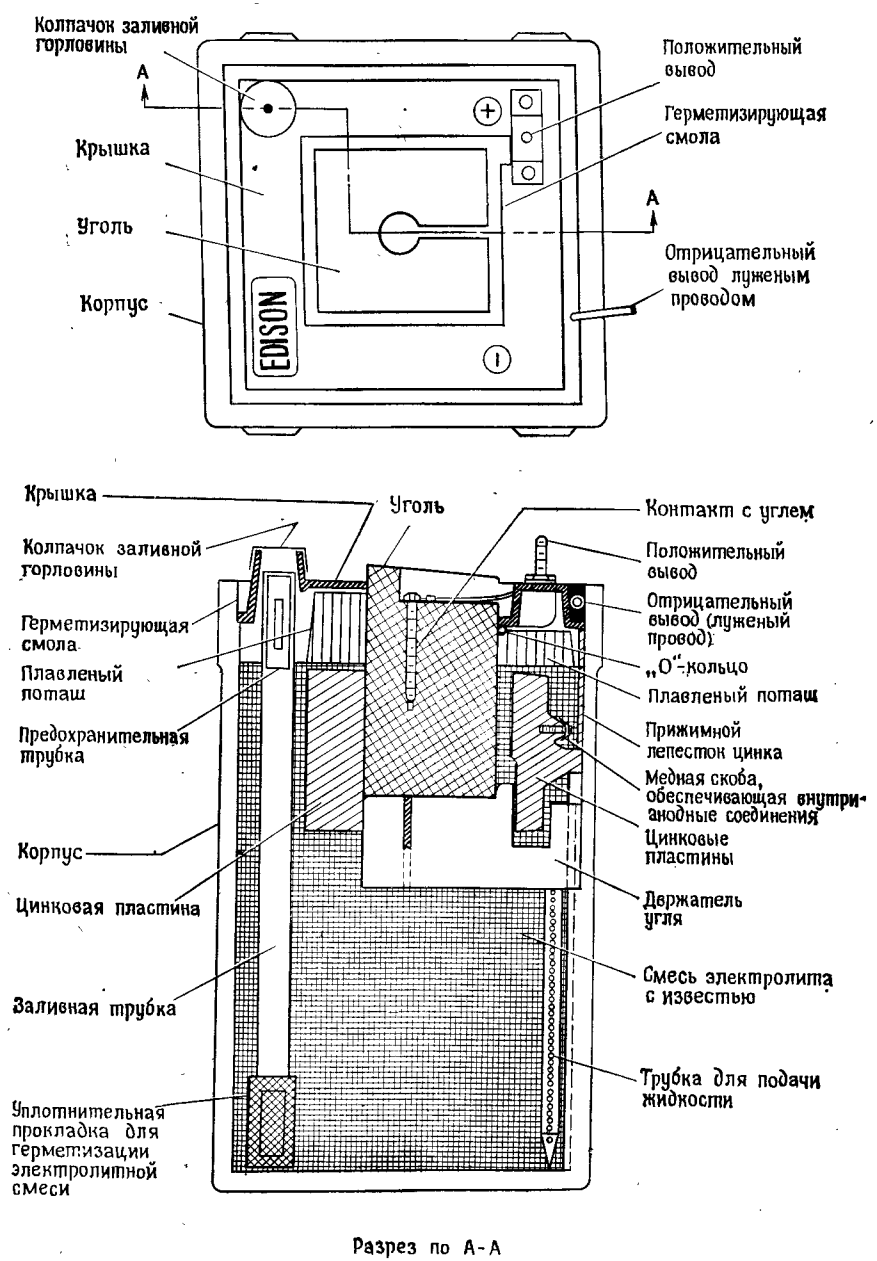


Рис. 7.5. Элемент типа Y серии Carbonaire фирмы McGraw Edison.

заменять ими свинцовые аккумуляторы, широко используемые для питания этих устройств. В настоящее время выпускаются специальные сменные контейнеры для батарей, предназначенные для использования в буях, имеющих батарейную камеру с размерами 559 и 610 мм. Эти контейнеры поставляются уже укомплектованными соответствующим количеством батарей серии BY Carbonaire, которые предварительно коммутируют.

Возможная утечка электролита устраняется благодаря применению специального («непроливаемого») клапана, который устанавливают после активации батареи. В зависимости от потребляемой энергии один комплект батарей типа BY-301 Carbonaire может непрерывно работать до двух лет.

Батареи типа TR

Представляют собой элемент емкостью 3300 А·ч и напряжением 1,25 В, упакованный в оболочку из твердой резины. Предназначены для работы в железнодорожных рельсовых цепях. Элементы типа TR обладают плоской разрядной характеристикой, что существенно для источника питания, предназначенного для работы в рельсовых цепях. На рис. 7.7, *а* показан этот узкий интервал напряжений, в котором лежат разрядные характеристики на протяжении всего срока службы батарей TR Carbonaire при разряде в рекомендованном режиме: 1,0 и 0,5 А при температуре электролита соответственно 23,9 и —3,9 °С.

Другое преимущество используемых батарей этого типа состоит в том, что их легко транспортировать. Используя специально сконструированное фирмой Edison приспособление, можно транспортировать одновременно две батареи в естественном положении, что сводит к минимуму опасность случайной утечки электролита из активированных батарей.

Батареи типа F

Состоят из двух последовательно соединенных элементов. Емкость этих батарей составляет 1300 А·ч, а напряжение равно 2,5 В. Батареи предназначены для устройств железнодорожной сигнализации и отличаются высокой степенью стабильности напряжения. В общем случае батарея типа F Cristalaire может отдать полную номинальную емкость при любых разрядных токах до 0,15 А в режиме непрерывного разряда. При благоприятных условиях эксплуатации батарею можно непрерывно разряжать токами, превышающими 0,15 А. В интервале очень низких температур максимальные рекомендуемые токи в режиме непрерывного разряда могут быть самыми различными в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

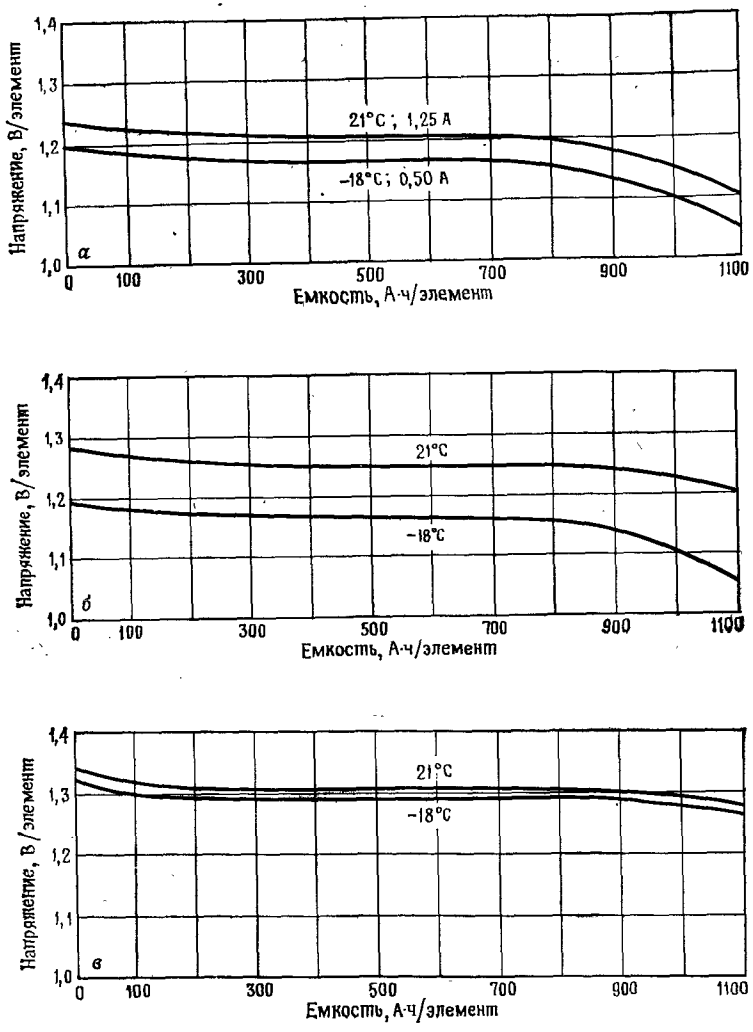


Рис. 7.6. Разрядные характеристики при максимальном (допустимом) токе в режиме непрерывного разряда батареи ВД типа ST-22 и ST-33 серии Carbonaire фирмы McGraw Edison.

а — при разряде элемента емкостью 1100 А·ч; *б* — при разряде током 0,5 А элемента емкостью 1100 А·ч; *в* — при разряде током 0,15 А элемента емкостью 1100 А·ч. Для того чтобы определить напряжение батареи, величину напряжения, найденную из графика, следует умножить на число последовательно соединенных элементов. Для определения тока и емкости батареи величины, найденные из графика, следует умножить на число параллельно соединенных элементов. Каждая батарея типа ST-22 содержит два элемента, батарея ST-33 включает три элемента.

Разрядные кривые для четырех типов элементов серии Carbonaire представлены на рис. 7.6 и 7.7.

Фирма McGraw Edison выпускает также батареи типа 2-S-J-1 (напряжением 2,5 В и емкостью 1 000 А·ч) и 3-S-J-1 (напряжением 3,75 В и емкостью 1000 А·ч). Эти батареи

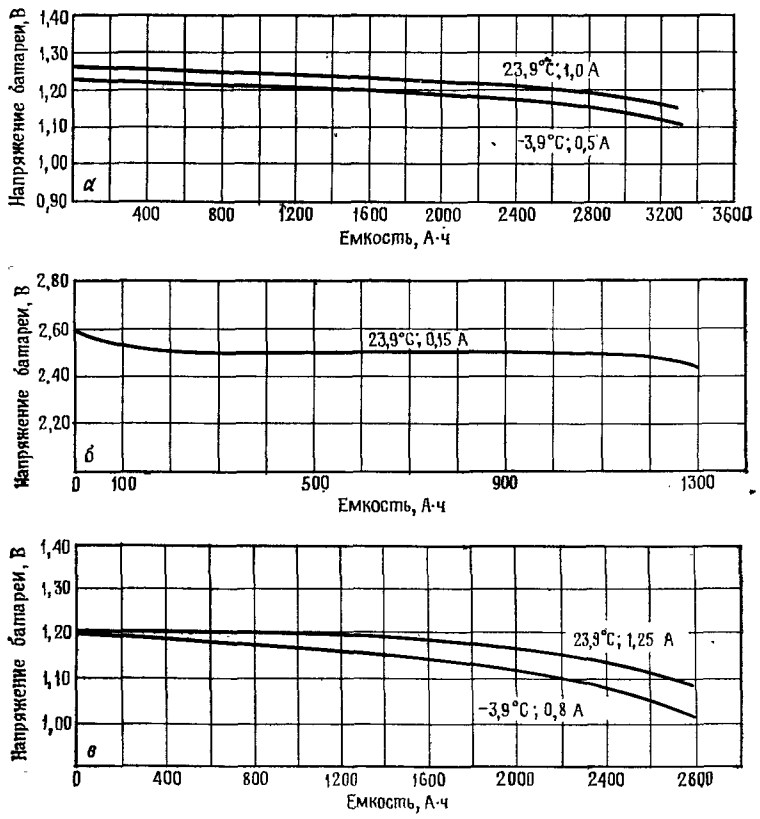


Рис. 7.7. Разрядные характеристики цинковых батарей ВД типа TR (*а*), *F* (*б*) и *Y* (*в*) фирмы McGraw Edison.

вместе с батареей типа Y (напряжением 1,25 В и емкостью 2800 А·ч) можно комбинировать различным образом для получения источников тока разного напряжения (табл. 7.1).

Фирма McGraw Edison выпускает также батарейные блоки для буев, составленные из элементов серии Carbonaire. Все батареи имеют номинальное напряжение 12 В. Батарея типа ST-1010 состоит из двух двухэлементных и двух трехэлементных батарей серии Carbonaire, соединенных последовательно, и имеет емкость 1000 А·ч. Батарея типа ST-2010 содержит десять батарей, в свою очередь состоящих из двух параллельно соединенных элементов. Эти десять батарей соединены последовательно в блок емкостью 2000 А·ч. Батарея типа ST-3010 включает десять батарей содержащих по три параллельно соединенных элемента. Включенные последовательно эти батареи образуют блок емкостью 3000 А·ч.

Таблица 7.1. **Классификация батарей ВД**

Требуемое напряжение, В	Тип и количество элементов в батарее
2,5	1 × 2-S-J-1 или 2 × Y [1]
3,75	1 × 3-S-J-1 или 3 × Y [1]
6,0	1 × 2-S-J-1, 1 × 3-S-J-1 [1] или 5 × Y [1]
10,0	4 × 2-S-J-1 [1] или 8 × Y [1]
12,0	2 × 2-S-J-1, [1] 2 × 3-S-J-1, [1] или 5 × 2-S-J-1, [1] или 10 × Y [1]

[1] Элементы следует соединить последовательно.

Одно из существенных преимуществ батарей серии Carbonaire заключается в том, что их можно активировать морской водой. Это означает, что батареи, предназначенные для использования во вспомогательных навигационных устройствах, можно доставлять в сухом виде к месту эксплуатации. Таким образом, сводится к минимуму вес транспортируемого груза и полностью исключается возможность утечки электролита во время перевозки.

Отметив эту важную для практического использования особенность, добавим также, что наиболее желательно использовать в навигационных устройствах первичные батареи такого типа, которые сочетают в себе большую емкость и минимальные затраты труда на установку и замену. До настоящего момента этими преимуществами в отдельности обладали различные типы первичных батарей, батареи серии Carbonaire — это первый тип батарей, в котором сочетаются указанные свойства.

Батареи с рабочей емкостью до 2800 А·ч приходится заменять лишь изредка. Это приводит к существенной экономии времени и средств, особенно в тех случаях, когда навигационные устройства расположены в отдаленных, изолированных или труднодоступных местах. Другой существенной особенностью, характеризующей работу батарей серии Carbonaire, является узкий интервал изменения напряжения батарей, что избавляет от необходимости подключать (или отключать) дополнительные элементы в соответствующие моменты в течение периода эксплуатации батареи,

8

СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЛИТИЯ

О целесообразности создания источников тока на основе лития известно довольно давно. Успехи, достигнутые в 60-х годах в области получения и обработки металлов, а также в области создания неводных электролитов, позволили реализовать эту возможность, изготовить литиевый элемент и продемонстрировать его преимущества, которые ранее были предсказаны теоретически.

В течение нескольких последних лет становилось все более ясным, что потребность в герметичном элементе, способном отдавать большую мощность, не может быть удовлетворена за счет источников, основанных на ртутных, серебряных или щелочно-марганцевых электрохимических системах. Необходимость создания систем с большей удельной энергией при приемлемых затратах на их изготовление привела различные фирмы-изготовители к разработке конструкций литиевых батарей с органическим электролитом.

Литиевые батареи обеспечивают удельную энергию по массе до 330 Вт·ч/кг, что в ~3 раза выше, чем у ртутных и серебряных батарей, и в 4 раза выше, чем у щелочно-марганцевых. Удельная энергия по объему у литиевых батарей на 50 % выше, чем у ртутных, и на 100 % выше, чем у щелочно-марганцевых. Использование литиевых элементов дает возможность уменьшать размеры и массу существующей аппаратуры, а также разрабатывать новые устройства с меньшей массой. Кроме того, свойство хорошей сохраняемости этих элементов открывает новые возможности перед конструкторами.

В настоящее время промышленным способом изготавливают три основных типа литиевых батарей с органическим электролитом: на основе систем литий — тионилхлорид, литий — пятиокись ванадия и литий — двуокись серы. Все эти батареи могут работать с отбором большого тока. Ниже

приведены примерные значения равновесных напряжений на разомкнутых электродах элементов нескольких систем, в том числе с вышеупомянутыми катодными материалами.

Материал катода	Напряжение, В
Тионилхлорид ($SOCl_2$)	3,6
Пятиокись ванадия (V_2O_5)	3,4
Двуокись серы (SO_2)	2,9
Трехокись молибдена (MoO_3)	2,9
Фторид меди (CuF_2)	3,4
Хромат серебра (Ag_2CrO_4)	3,0
Сульфид меди (CuS)	2,2

Катодную и суммарную реакции элемента на основе системы литий — двуокись серы можно представить следующим образом:

Катодная реакция $2SO_2 + 2e^- \longrightarrow S_2O_4^{2-}$

Суммарная реакция $2Li + 2SO_2 \longrightarrow Li_2S_2O_4$.

Превосходство литиевых систем над другими системами по объемной удельной энергии показано на рис. 8.1. Представленные данные для трех литиевых систем отражают

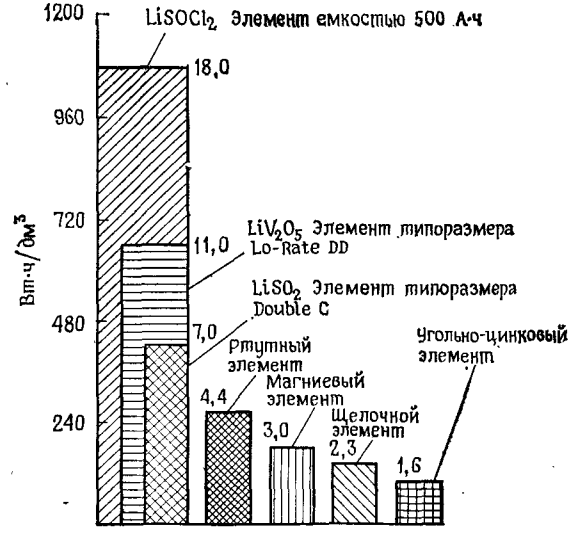


Рис. 8.1. Сравнение удельной энергии литиевых элементов с объемной удельной энергией элементов других типов.

фактические характеристики, достигнутые фирмами — изготовителями батарей. Выигрыш в удельной энергии по массе, который виден из данных, представленных на рис. 8.2 и рис. 8.3, может быть частично отнесен за счет малой массы

активных веществ, используемых в литиевых элементах. Так, удельная энергия по массе ртутно-цинкового элемента со-

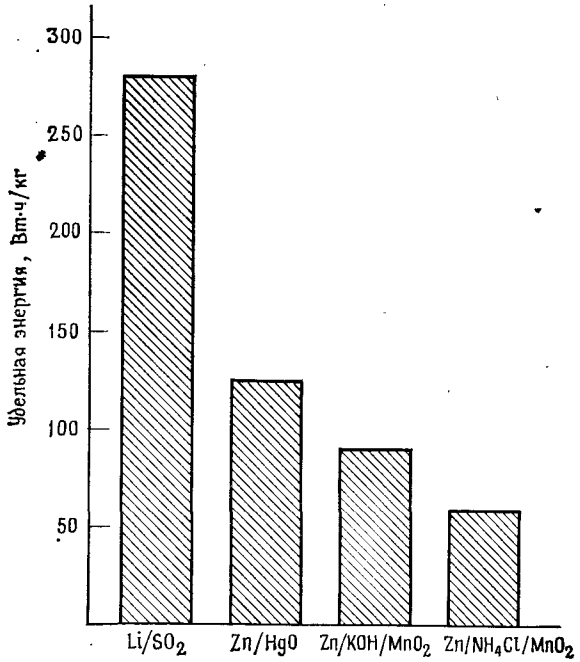


Рис. 8.2. Сравнение удельной энергии по массе элемента на основе системы литий — двуокись серы с удельной энергией элементов других типов.

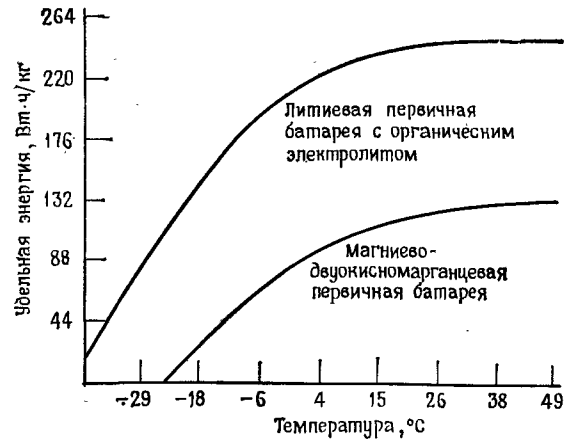


Рис. 8.3. Сравнение удельной энергии по массе батареи с органическим электролитом с удельной энергией магниевой батареи при различных температурах; номинальная емкость батарей соответствует 30-часовому режиму разряда.

ставляет менее половины удельной энергии литиевого элемента, а щелочной марганцево-цинковый элемент и элемент Лекланше обладают еще меньшей удельной энергией. Однако удельная энергия по объему для литиевых систем не

всегда так сильно отличается от того же параметра систем с водными электролитами. В том, что литиевые системы обладают большей удельной энергией по массе, можно убедиться, если сравнить массу стандартных элементов на основе различных систем.

Система	Масса элемента типоразмера D, г
Литий — двуокись серы	94
Уголь — цинк (Лекланше)	94
Перхлорат магния — двуокись марганца	99
Литий — тионилхлорид	100
Литий — пятиокись ванадия	128
Щелочь — двуокись марганца	128
Ртуть — цинк	167

На рис. 8.4 дано сравнение типичных разрядных характеристик батарей системы литий — двуокись серы с разрядными характеристиками первичных батарей другого типа.

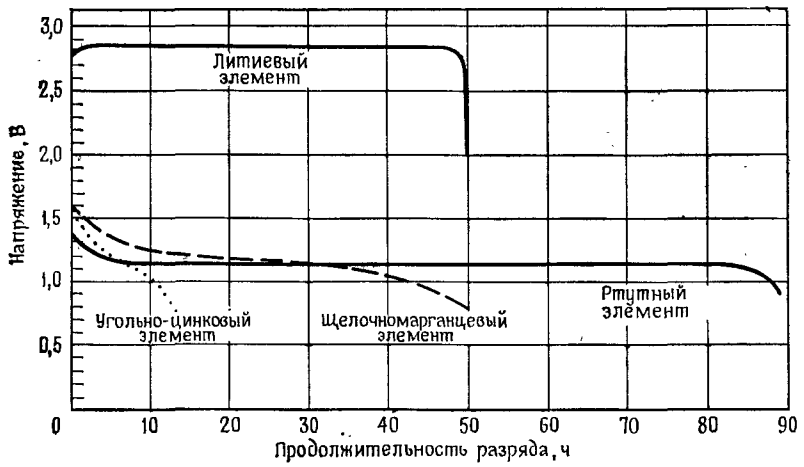


Рис. 8.4. Типичные разрядные характеристики при средних нагрузках литиевой и других типов батарей.

Обращает на себя внимание существенно более высокое напряжение батареи литиевой системы.

Конструкция литиевого элемента с органическим электролитом несколько отличается от конструкции ртутного или щелочно-марганцевого элементов. Анод из литиевой фольги, сепаратор и катод из углеродного материала спирально свернуты вместе. Этот блок помещен в стальной корпус, а анод

и катод соединены при помощи приваренных лепестков соответственно с корпусом и узлом крышки. Поскольку электролит неводный, во время разряда выделения водорода не происходит. В конструкции предусмотрена стравливающая система для предотвращения повышения внутреннего давления вследствие газовыделения при неправильном использовании или хранении.

Отличительные особенности литиевых элементов с органическим электролитом следующие:

высокая удельная энергия,
хорошие низкотемпературные свойства,
большой срок годности,
экономическая эффективность.

Высокая удельная энергия

Более высокая удельная энергия литиевых элементов по сравнению с другими в значительной степени связана с повышенным рабочим напряжением большинства электрохимических пар на основе лития. Литий, который имеет самый высокий потенциал среди металлов в ряду напряжений, дает

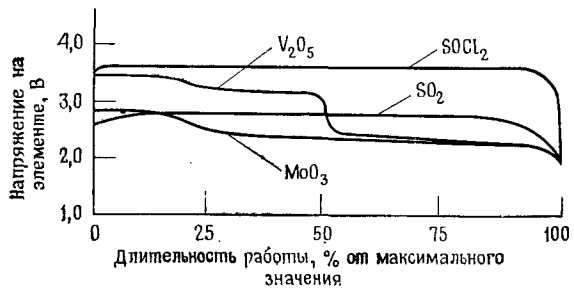


Рис. 8.5. Разрядные характеристики элементов на основе систем: литий — пятиокись ванадия (V_2O_5), литий — тионилхлорид ($SOCl_2$), литий — двуокись серы (SO_2) и литий — трехокись молибдена (MoO_3).

возможность получить рабочее напряжение, превышающее примерно вдвое напряжение традиционных систем. Разрядные характеристики для литиевых систем, о которых говорилось выше, приведены на рис. 8.5.

Хорошие низкотемпературные свойства

Вследствие неводной природы электролитов, используемых в литиевых системах, электропроводность таких систем при низких температурах существенно выше, чем электропроводность ранее изготовлявшихся систем. В табл. 8.1 приведено сравнение низкотемпературных характеристик двух литиевых систем и других систем. Данные для систем литий — пятиокись ванадия (Li/V_2O_5) и литий — двуокись серы (Li/SO_2) получены в результате испытаний серийно изготавливаемых элементов при средних скоростях разряда. Они

Таблица 8.1. **Сравнение уменьшения емкости литиевых систем с органическим электролитом и традиционных систем, обусловленного понижением температуры разряда (в процентах от емкости при комнатной температуре)**

Температура, °C	Литиевые системы		Ртутная система	Магниевая система	Щелочная марганцево-цинковая система	Угольно-цинковая система (Лекланше)
	V_2O_5	SO_2				
—7	88	96	0	58	15	5
—29	78	85	0	23	3	0
—40	73	60	0	0	0	0

показывают, какая доля (процент) емкости при комнатной температуре реализуется при более низких температурах. Системы Li/V_2O_5 и Li/SO_2 удовлетворительно работают даже при температуре —55 °C, отдавая ~50 % емкости.

Большой срок годности

Еще одним существенным преимуществом систем на основе лития является их способность к длительному хранению в состоянии готовности к работе. Герметизация элементов, возможная вследствие использования систем, не выделяющих газы в процессе разряда, защищает элементы от проникновения загрязнений из окружающей среды и предотвращает утечку электролита из элементов. Эти особенности в сочетании с отсутствием или очень малыми скоростями реакций саморазряда делают возможным сохранение первичных батарей литиевой системы в состоянии готовности к работе в течение 5—10 лет без необходимости создания специальных условий хранения. Кроме того, в большинстве литиевых систем вещества, образующиеся в результате реакции саморазряда, в дальнейшем не участвуют в этой реакции и не увеличивают ее скорость. Следовательно, литиевые элементы могут надежно работать в течение нескольких лет в режиме прерывистого разряда в тех устройствах, где такой режим

Таблица 8.2. **Сравнение предполагаемого срока годности элементов различных традиционных систем и литиевых систем с органическим электролитом**

Температура хранения, °C	Литиевая система	Ртутная система	Магниевая система	Щелочная марганцево-цинковая система	Угольно-цинковая система (Лекланше)
21	Более 10 лет	3—4 г	5—7 лет	2—3 г	1—2 г
54	Более 12 мес	4 мес	7 мес	2 мес	1,5 мес

более выгоден или необходим по условиям эксплуатации. В табл. 8.2 дано сравнение предполагаемых сроков годности элементов различных систем. Для проведения такого сравнения в качестве приемлемого срока годности принято время хранения, после которого элемент еще способен отдать 75 % своей первоначальной емкости.

Данные, полученные фирмой Honeywell при испытаниях выпускаемых ею герметичных элементов системы Li/SO_2 типоразмера Double-C, показывают, что после 180-дневного хранения при 71 °С элементы могут отдавать 88 % емкости, отдаваемой свежеизготовленными элементами. (Испытания проводились в режиме разряда на нагрузку 8 Ом при комнатной температуре.) Некоторые стандарты устанавливают, что 180-дневное хранение при температуре 71 °С примерно эквивалентно хранению в течение периода более 12 лет при комнатной температуре. Это соответствовало бы требованию, чтобы элементы саморазряжались на 1% в год при хранении при комнатной температуре. Указанное соответствие было подтверждено разрядными испытаниями негерметичных элементов системы Li/SO_2 типоразмера Double-C, выпускаемых фирмой Honeywell, проведенными после хранения элементов в течение примерно года при 27 °С. После хранения у этих элементов не обнаружено уменьшения емкости при испытаниях в условиях, аналогичных испытаниям свежеизготовленных элементов, проводимых в соответствии с требованиями к испытаниям при приемке массовой продукции.

Экономическая эффективность

При массовом производстве системы на основе лития смогут непосредственно конкурировать с системами на основе ртути и серебра по такому показателю, как затраты на один ватт-час. Сравнение по этому показателю элементов литиевой системы с элементами щелочных систем практически не показывает заметного преимущества первых, однако экономия может быть выявлена, если сравнить затраты в целом на аппаратурную систему, использующую другие источники питания, с затратами на систему с литиевыми батареями. Более высокая экономическая эффективность последней системы обусловлена следующими факторами.

Система может содержать бо́льшую полезную нагрузку при использовании литиевых батарей вследствие их меньших размеров и (или) массы.

Более длительный срок службы может быть достигнут при использовании батарей тех же размеров, но меньшей массы.

Становится возможной работа устройств при низких температурах.

Более длительный срок годности приведет к уменьшению затрат на обслуживание, связанное с заменой батарей. Особенно это существенно при использовании устройств, расположенных в удаленных местах, а также устройств, замена батарей в которых сопряжена с затратами большого труда.

Снижаются затраты на приобретение запасных батарей, поскольку существенно увеличивается период между заменами батарей или же вообще отпадает необходимость такой замены. Не требуется создание особых условий для хранения батарей.

Даже если первоначальные затраты на литиевые источники питания окажутся большими, лица, ответственные за обеспечение максимальной экономической эффективности системы в целом, должны рассмотреть условия ее работы в течение всего срока службы и принять во внимание изложенные здесь соображения.

Рассмотрим три типа систем на основе лития, выпускаемых фирмой Honeywell.

8.1. ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛИТИЙ — ПЯТИОКИСЬ ВАНАДИЯ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ HONEYWELL

В рассматриваемой системе используются литиевый анод, катод из смеси графита с пятиокисью ванадия и электролит, представляющий собой раствор гексафторарсената лития в метилформиате. Система обладает характерной двухступенчатой разрядной кривой (рис. 8.6) с напряжением ~3,4 В в течение первой половины срока службы и ~2,4 В в течение второй половины. После прохождения обеих ступеней обеспечивается удельная энергия (660 Вт·ч/дм^3, или 264 Вт·ч/кг), промежуточная по своей величине между значениями, получаемыми в системах литий — двуокись серы и литий — тионилхлорид. Эта система имеет относительно низкое давление, и элементы, в которых она используется, при отборе малого тока не требуют стравливающих устройств. Элементы представляют собой идеальный источник питания для устройств, безопасность которых является вопросом первостепенной важности. Элементы отличаются превосходной сохраняемостью (рис. 8.7).

Фирма Honeywell может изготавливать небольшие элементы на основе системы литий — пятиокись ванадия емкостью до 100 мА·ч, резервные элементы со стеклянными ампулами емкостью до 500 мА·ч цилиндрической, дисковой, призматической и гибкой конфигураций, а также серию готовых к применению, не нуждающихся в активации элементов

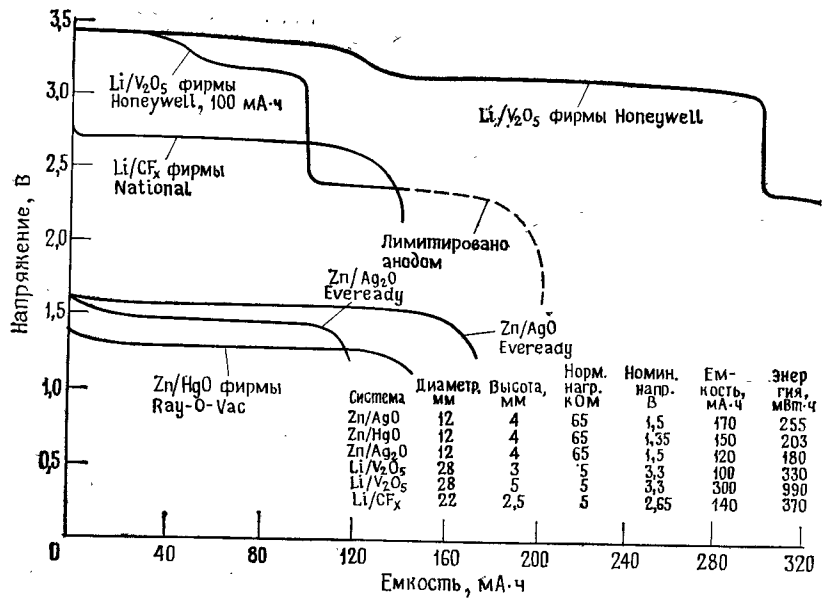


Рис. 8.6. Сравнение дисковых литиевых элементов фирмы Honeywell с дисковыми элементами на основе других систем.

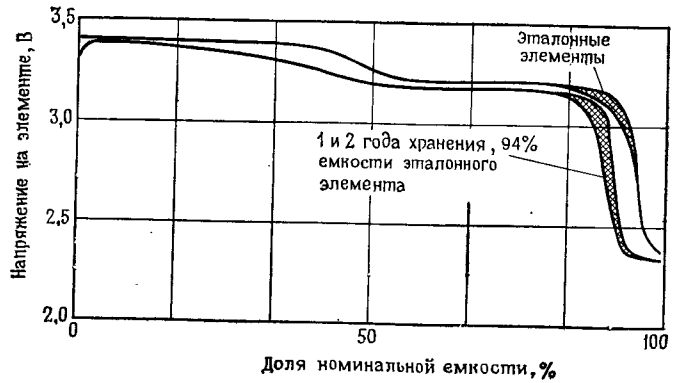


Рис. 8.7. Разрядная характеристика элемента на основе системы литий — пятиокись ванадия фирмы Honeywell после одного и двух лет хранения в состоянии готовности к работе при 24 °С. (Плотность тока равна ~ 0,4 мА/см²; среднее напряжение эталонного элемента составляет 3,26 В, среднее напряжение этого же элемента после хранения равно 3,21 В.)

Таблица 8.3. **Характеристики элементов на основе системы литий — пятиокись ванадия, выпускаемых фирмой Honeywell**

Марка	Диаметр или ширина, мм	Длина, мм	Толщина, мм	Объем, см³	Масса, г	Емкость, А·ч	Номинальный ток разряда мА
Резервные элементы							
G2659, со стеклянной ампулой	15,2	25,4	—	5,1	10	0,18 [1]	0,25
G2664 [2]	25,4	18,4	—	9,5	23	0,75 [1]	50,0
G2665, со стеклянной ампулой	15,2	55,9	—	11,1	25	0,50 [1]	5,3
G2666, со стеклянной ампулой	12,7	20,3	—	2,6	6	0,10 [1]	1,0
Типичные активные элементы							
G2682, цилиндрический (DD)	34,0	128,0	—	108,8	287	30,00	15,0
G3005, цилиндрический (A)	16,0	71,1	—	12,5	38,5	4,00	10,0
G2655 $\frac{1}{2}''$, дисковый	51,7	12,7	—	32,3	79	3,50 [1]	250,0
G2692 $\frac{1}{4}''$, дисковый	50,8	6,3	—	—	—	1,20 [1]	10,0
G2679, призматический	20,0	50,0	9,9	10,0	28	1,00	10,0
G3003, гибкий элемент	26,2	63,5	1,65	—	—	0,12	10,0
G3025, 0,625, дисковый	15,9	11,0	—	2,3	6	0,20 [1]	1,0
G3004, гибкий элемент	38,1	25,4	1,65	1,6	4	0,12	10,0

[1] При разряде до конечного напряжения 2,5 В.

[2] Используется удаляемый активатор; параметры даны также для элементов без активатора. Емкость указана для разряда при комнатной температуре до конечного напряжения 2 В. Если разряд проводится током меньшей величины до конечного напряжения 2,5 В, элементы отдают емкость, на 50—100% большую, чем при разряде номинальным током до конечного напряжения 2 В.

(табл. 8.3). Конструктивное выполнение резервных и нерезервных (активных) батарей на основе системы литий — пятиокись ванадия, выпускаемых фирмой Honeywell, приведено соответственно на рис. 8.8 и рис. 8.9.

Фирма Honeywell недавно разработала дисковый элемент на основе системы литий — пятиокись ванадия с высокой плотностью размещения конструктивных элементов и герметизацией путем завальцовки. Напряжение этого элемента на разомкнутых электродах составляет 3,42 В, а напряжение под нагрузкой — более 3 В. Модель G3093 имеет номинальную

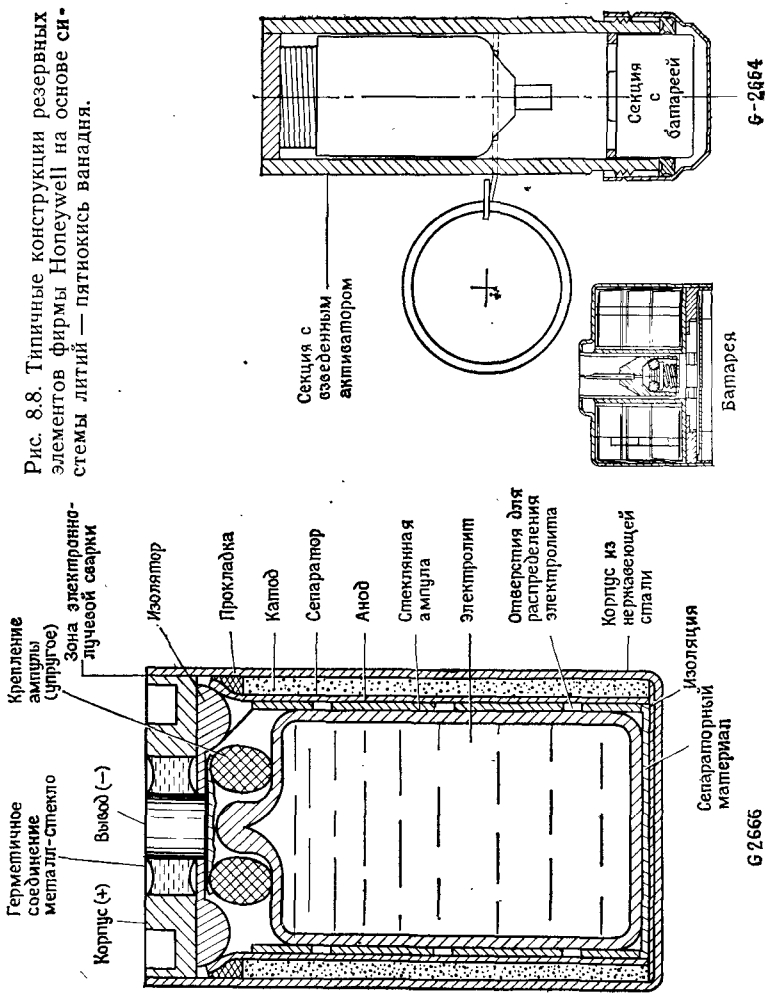


Рис. 8.8. Типичные конструкции резервных элементов фирмы Honeywell на основе системы литий — пятиокись ванадия.

емкость 300 мА·ч, а модель G3094 — 100 мА·ч; в обоих случаях испытания проводились в режиме разряда на нагрузку с постоянным сопротивлением. Удельная энергия составляет 180—300 Вт·ч/дм^3 (132 Вт·ч/кг). Элементы имеют следующие размеры: диаметр равен 29,08 мм, толщина 2,5—5,0 мм, масса составляет 6—8 г. Рабочие температуры находятся в диапазоне $-29 \div +49$ °С, предполагаемый срок хранения — более 20 лет при 23 °С.

На рис. 8.1—8.3 и 8.6 дано сравнение характеристик батарей на основе системы литий — пятиокись ванадия с характеристиками батарей на основе других систем. Очевидно, что упомянутые литиевые батареи обладают исключительно хорошими характеристиками.

Исследования, проведенные фирмой Honeywell, показали, что, хотя раствор гексафторарсената лития в метилформиате при концентрации 2 М/л представляет собой один из наиболее электропроводных среди известных органических электролитов, при высоких температурах он разлагается с выделением различных газов, включая окись углерода и диметиловый эфир. Эта нестабильность проявляется у активированных элементов в виде вздутия корпуса, вызванного повышением внутреннего давления, которое часто сопро-

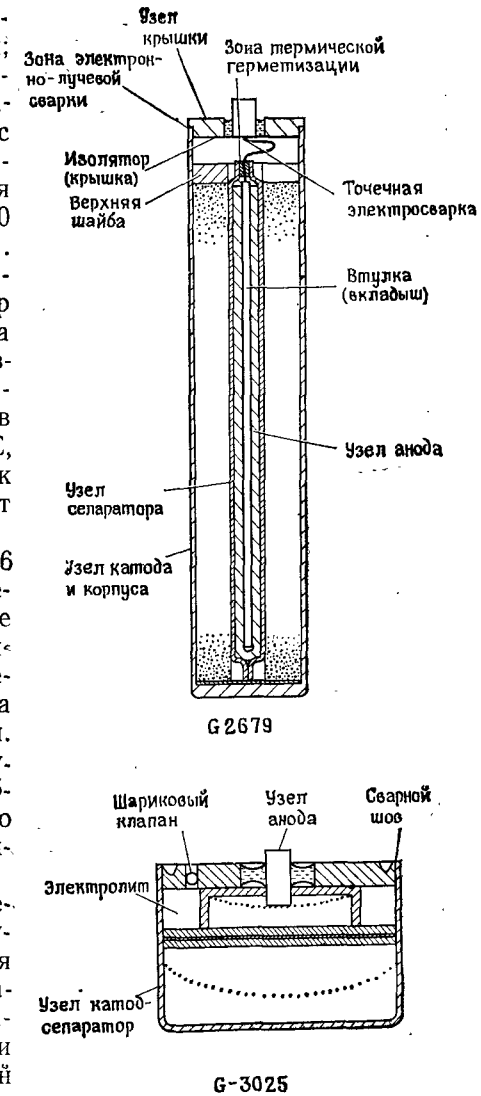


Рис. 8.9. Типичная конструкция нерезервных (активных) элементов фирмы Honeywell на основе системы литий — пятиокись ванадия.

вождается саморазрядом вследствие внутренних повреждений элемента. В резервных элементах нестабильность приводит к преждевременной активации элемента из-за разрушения стеклянной ампулы, содержащей электролит.

В результате исследований специалисты фирмы пришли к заключению, что разложение при повышенных температурах электролита, применяемого в элементах на основе системы литий — пятиокись ванадия, можно существенно уменьшить, если сделать электролит основным. Таким образом, в настоящее время в этих элементах используют электролит, представляющий собой 2М раствор гексафторарсената лития ($LiAsF_6$) и 0,4 М раствор тетрафторбората лития ($LiBF_4$) в метилформиате.

Существуют два основных типа устройств, в которых используют описанные здесь элементы. Резервные элементы предназначены для устройств, где требуются исключительно длительный срок хранения и долгий срок службы (10—30 лет) при относительно небольшой скорости разряда. Элементы нерезервного типа применяют в таких устройствах, как вживляемые медицинские устройства, часы, разменные автоматы, устройства защиты памяти ЭВМ и автоматические метеозонды.

8.2. ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛИТИЙ — ДВУОКИСЬ СЕРЫ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ HONEYWELL

В этой системе используют литиевый анод, газовый катод — двуокись серы и электролит, содержащий бромид лития, растворенный в ацетонитриле. Напряжение на разомкнутых электродах составляет 2,92 В, напряжение при разряде на номинальную нагрузку равно 2,7 В. Разрядные свойства, сохраняемость и газовыделение этого элемента в зависимости от нагрузки и температуры представлены на рис. 8.10. Используют два варианта конструкции элементов: 1) пастированные, нанесенные на основу и свернутые в спираль электроды в загерметизированных путем обжатия или заливки цилиндрических корпусах или 2) большие плоские электроды емкостью 20—100 А·ч и напряжением 12 В в больших резервных батареях. В элементах упомянутых конструкций существует относительно высокое внутреннее давление, и должны быть предусмотрены стравливающие предохранительные клапаны, чтобы избежать взрыва при случайном резком повышении давления (рис. 8.11). Типоразмеры выпускаемых элементов, предназначенных для работы при отборах малого, среднего и большого тока, соответствуют стандартным. По оценкам специалистов фирмы Honeywell, эти батареи могут храниться

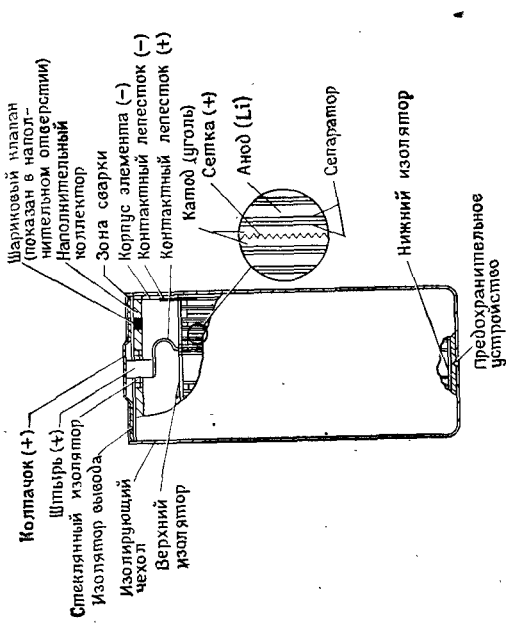


Рис. 8.11. Устройство для стравливания давления, находящееся в нерезервном элементе на основе системы литий — двуокись серы, выпускаемом фирмой Honeywell.

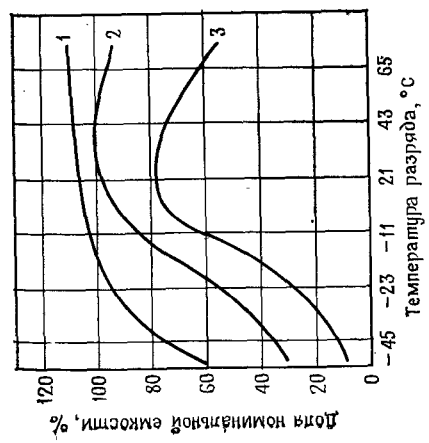


Рис. 8.10. Разрядная характеристика элемента фирмы Honeywell на основе системы литий — двуокись серы в зависимости от нагрузки и температуры.

1 — 1/7 номинальной нагрузки; *2* — номинальная нагрузка; *3* — нагрузка, в семь раз превышающая номинальную.

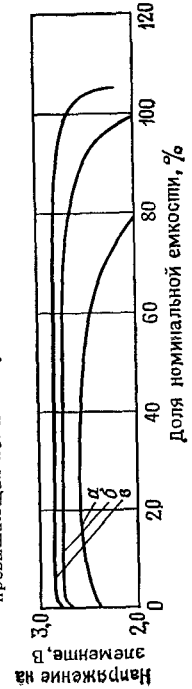


Рис. 8.12. Изменение формы разрядной кривой в зависимости от нагрузки для элемента на основе системы литий — двуокись серы, выпускаемого фирмой Honeywell. (Разряд происходит при комнатной температуре, конечное напряжение равно 2 В.)

а — нагрузка, в семь раз превышающая номинальную; *б* — номинальная нагрузка; *в* — 1/7 номинальной нагрузки.

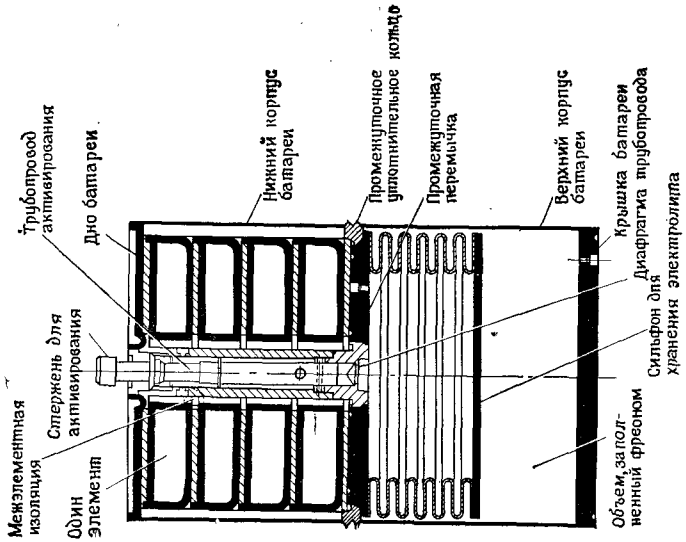


Рис. 8.14. Конструкция резервного элемента на основе системы литий — двуокись серы фирмы Honeywell. (Емкость батареи из этих элементов равна 20, 60 или 100 А·ч.)

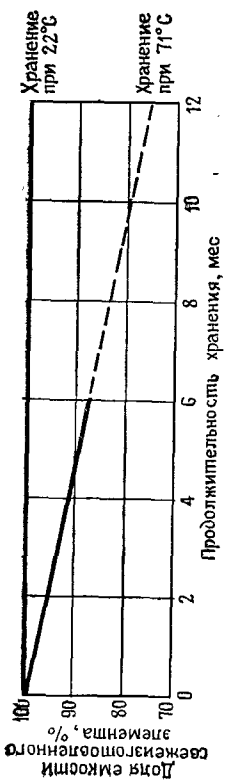


Рис. 8.13. Сохраняемость емкости элемента на основе системы литий — двуокись серы фирмы Honeywell в зависимости от продолжительности хранения и температуры. (Разряд производится до конечного напряжения 2 В при комнатной температуре.)

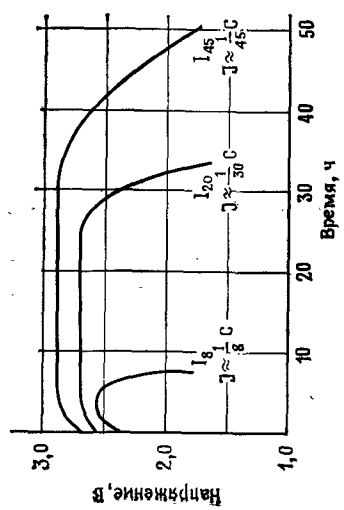


Рис. 8.15. Разрядные характеристики элемента на основе системы литий — двуокись серы при 20 °С (J — величина разрядного тока).

в течение 12 лет при комнатной температуре. Типичное значение удельной энергии составляет 420 Вт·ч/дм³ (260 Вт·ч/кг).

Элементы на основе системы литий — двуокись серы универсальны и относительно недороги. Разрядные характеристики для различных нагрузок представлены на рис. 8.12. Эти элементы отличаются превосходной сохраняемостью (рис. 8.13). Батареи из этих элементов могут быть изготовлены как в виде резервных батарей емкостью 20—100 А·ч,

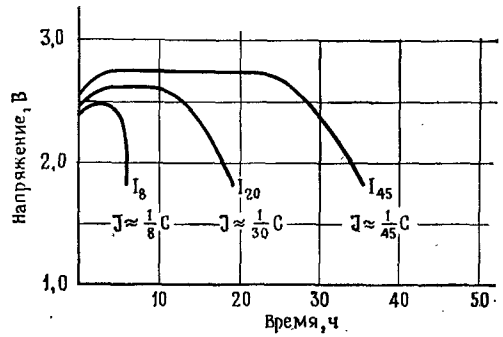


Рис. 8.16. Разрядные характеристики элемента на основе системы литий — двуокись серы при —30 °С (J — величина разрядного тока).

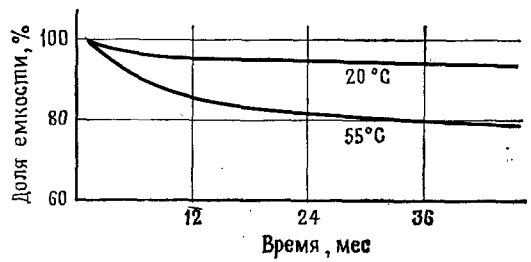


Рис. 8.17. Изменение емкости, отдаваемой элементом на основе системы литий — двуокись серы при его хранении в течение четырех лет при 20 и 55 °С.

так и в виде нерезервных (активных) батарей емкостью 0,7—20 А·ч (табл. 8.4). Конструктивное выполнение элементов этих двух видов (фирмы Honeywell) на основе системы литий — двуокись серы представлено соответственно на рис. 8.14 и 8.11.

Примером устройств, в которых используются резервные элементы на основе системы литий — двуокись серы, могут служить подводные мины. Нерезервные элементы применяют в устройствах защиты памяти, аппаратуре войсковой радиосвязи, средствах жизнеобеспечения, звуковых буях, космических зондах, ракетах, минах, системах охранной сигнализации и в других устройствах. Нерезервные источники тока используют также и в метеозондах.

Сравнение типичных разрядных характеристик элементов на основе системы литий — двуокись серы при темпера-

Таблица 8.4. **Характеристики элементов и батарей на основе системы литий — двуокись серы, выпускаемых фирмой Honeywell**

Марка	Диаметр или ширина, мм	Длина, мм	Толщина, мм	Объем, см³	Масса, г	Емкость, А·ч	Номинальный ток разряда, А/см²	Напряжение разомкнутой цепи, В
Резервные батареи (металлическая мембрана)								
20 А·ч	97,7	152,0	—	—	—	20,0	0,1	12,0
60 А·ч	157,5	152,0	—	—	—	60,0	0,1	12,0
100 А·ч	20,3	152,0	—	—	—	100,0	0,1	12,0
Активные элементы и батареи								
G3033 SO_2, элемент типоразмера DD	39,0	129,0	—	107,4	185	20,0	1000	2,9
G3008 SO_2, элемент типоразмера D	39,0	60,9	—	52,9	94	10,0	350	2,9
3058 SO_2, половина элемента типоразмера D	39,0	30,5	—	25,7	48	4,8	175	2,9
G2686 SO_2, элемент типоразмера CC	26,1	99,8	—	49,8	85	7,6	700	2,9
G3039 SO_2, удлиненный элемент типоразмера C	26,1	60,9	—	30,2	55	4,8	350	2,9
G3010 SO_2, элемент типоразмера C	26,1	49,8	—	24,4	45	4,6	250	2,9
G3024 SO_2, элемент типоразмера C	26,1	49,8	—	24,4	45	3,7	350	2,9
G3029 SO_2, элемент типоразмера A	16,0	49,8	—	9,5	18	1,7	125	2,9
G3018 SO_2, укороченный элемент типоразмера A	16,0	33,0	—	6,4	13	1,2	70	2,9
G3028 SO_2, элемент типоразмера AA	13,4	49,7	—	7,4	14	1,2	100	2,9
G3041 SO_2, укороченный элемент типоразмера AA	13,4	25,4	—	3,6	9	0,7	15	2,9
G3042 SO_2, батарея 9 В	26,1	48,5	16,7	19,5	50	0,7	15	8,7

турах +20 и —30 °С (приведенных соответственно на рис. 8.15 и рис. 8.16) показывает, что очень низкие температуры не оказывают существенного отрицательного влияния на эти характеристики. Батарея сохраняет ~80 % первоначальной емкости после четырехлетнего хранения при 55 °С и 95 % после хранения при 20 °С (рис. 8.17).

Особенности конструкции многоэлементной резервной батареи на основе системы литий — двуокись серы фирмы Honeywell довольно интересны и могут служить хорошим примером правильного подхода к проектированию батарей.

Внешне батарея имеет форму правильного цилиндра (рис. 8.14). Ее внутренний объем разделен на три основные части: 1) отделение, в котором размещен резервуар с электролитом, 2) трубопровод для электролита и система активации, 3) отделение с резервными элементами. На рисунке изображена конструкция, соответствующая батарее емкостью 20 А·ч, у которой примерно половина внутреннего объема приходится на резервуар с электролитом. Отделение для хранения электролита содержит как основной конструктивный элемент сжимаемый сильфон, в котором в течение резервной фазы рабочего цикла элемента находится электролит. Электролит (смесь двуокиси серы, ацетонитрила и электролитной соли) находится в количестве, достаточном для обеспечения номинальной емкости батареи. Пространство между сильфоном и корпусом батареи заполнено соответствующим количеством газообразного фреона. Количество фреона подобрано таким образом, чтобы давление его паров всегда превышало давление паров электролита. Таким образом, обеспечивается движущая сила, необходимая для подачи жидкого электролита в отделение, где размещены элементы, как только батарея будет активирована.

В остальной половине объема батареи (верхняя часть рисунка) по оси расположен цилиндрический узел диаметром 15,88 мм, в котором находятся трубопровод для подачи электролита и система активации, вокруг центрального узла послойно размещены четыре элемента тороидальной формы.

Трубопровод и элементы отделены от резервуара промежуточной перегородкой. В центре перегородки расположена диафрагма из материала, достаточно тонкого, чтобы его смог разрушить пробойник, находящийся внутри трубопровода. Устройство изготовлено таким образом, что диафрагма является частью корпуса трубопровода, который в свою очередь приварен к промежуточной диафрагме как часть единого узла.

На рис. 8.18 приведена более подробная конструктивная схема трубопровода для подачи электролита и активирующей системы с обозначением основных составных частей.

Активирующее устройство состоит из пробойника (*5*), который вручную перемещают в направлении диафрагмы, разрушая ее и таким образом открывая доступ электролиту. Пробойник приводят в движение путем поворота стержня активирования (*7*), расположенного в нижней части элемента головкой наружу и доступного для инструмента. Пространство, в котором находится пробойник, изолировано от винта при помощи небольшого упругого металлического колпачка (*9*), герметически зажатого между двумя деталями; таким образом предотвращается утечка электролита наружу.

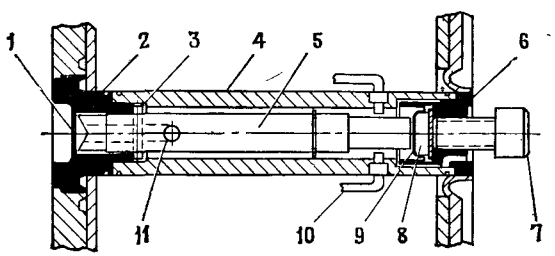


Рис. 8.18. Трубопровод для электролита и устройство активирования элемента фирмы Honeywell на основе системы литий — двуокись серы.
1 — диафрагма; *2* — верхняя втулка; *3* — срезной штифт; *4* — центральная трубка; *5* — пробойник; *6* — нижняя втулка; *7* — стержень активирования; *8* — промежуточный диск; *9* — упругий колпачок; *10* — трубка для подачи электролита; *11* — вход электролита.

Система трубопроводов образована рядом небольших пластиковых трубочек (*10*), которые одним концом входят в центральную трубку (*4*), а другим в соответствующий элемент. Большая длина и малое поперечное сечение трубочек минимизируют потери на межэлементные утечки в течение того времени, когда электролит присутствует в системе трубопроводов.

При использовании системы литий — двуокись серы требуются четыре отдельных элемента для получения предусмотренного напряжения батареи. Разумеется, число элементов можно менять в небольших пределах, обеспечивая тем самым широкий диапазон требуемых напряжений. Элемент состоит из плоских круглых анодов и катодов. Каждая система электродов соединяется параллельно, чтобы отдельный элемент обладал емкостью и площадью электродов, необходимыми для удовлетворения данного набора требований. Все компоненты электродов, переложенные сепараторами, укладывают в корпус, чередуя анодные и катодные пластины и надевая их на центральную трубку, после чего соответствующие пластины соединяют параллельно. Каждый элемент герметизируют крышкой, которую приваривают к внутренней трубке и наружному краю корпуса элемента, в результате чего получают герметичные узлы, которые можно укладывать один за другим в корпус батареи. Коммутация элементов производится при помощи внешних контактов, выведенных на нижнюю крышку батареи.

На рис. 8.19 приведена фотография основных узлов батареи перед сборкой. Показанные на рисунке узлы и детали изготовлены из нержавеющей стали марки 321, сборка производится путем выполнения последовательных сварных швов с помощью микроплазменной сварки.

Для систем литий — двуокись серы характерно то, что продукты реакции имеют меньший объем, чем исходные вещества.

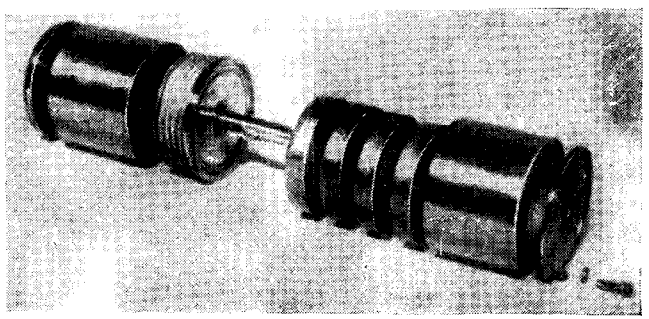


Рис. 8.19. Детали резервной батареи на основе литий — двуокись серы емкостью 20 А·ч (фирма Honeywell).

Это означает, что по мере разряда элемента с фиксированным внутренним объемом и потребления реагентов будут образовываться пустоты. Если используемый катод устроен таким образом, что может разрядить большее количество окислителя — двуокиси серы, чем содержится первоначально в фиксированном объеме элемента, и если конструкцией предусмотрена возможность хранения и своевременной поставки в рабочее пространство элемента добавочного количества двуокиси серы, это означает, что элемент обладает добавочной емкостью. В рассматриваемой здесь конструкции такая возможность реализована. Для этого использован объем вокруг сильфона, содержащего запас электролита. Этот объем заполняют фреоном, находящимся под давлением паров, немного превышающим давление паров электролита в течение всего рабочего цикла. Давление фреона создает силу, необходимую для проталкивания электролита (вследствие сжатия сильфона) в элементы во время первоначальной активации батареи. В дальнейшем фреон продолжает проталкивать электролит в элементы, по мере того как в процессе разряда уменьшается объем активных веществ.

Когда батарею активируют путем разрушения диафрагмы в промежуточной перегородке, не весь электролит, находящийся в резервуаре, поступает в элементы. Количество жидкости, первоначально заполняющей элементы, составляет ~70% общего количества жидкости в резервуаре. Жидкость в трубопроводе и несжатой части сильфона находится в равновесии. Давление паров фреона, находящегося снаружи сильфона, удерживает сильфон в сжатом состоянии, и следовательно, электролит остается жидким.

По мере того как в элементе протекает разрядный процесс, в результате которого образуется свободный объем, сильфон продолжает сжиматься, подавая добавочный окислитель в элементы и поддерживая процесс разряда. Когда оставшиеся 30 % окислителя перейдут в элементы, сильфон упрется в промежуточную перегородку и изолирует пространство, в котором размещены элементы, от дальнейшего воздействия давления фреона. Это даст возможность двуокиси серы испариться, и образовавшиеся в малых трубках газовые пробки изолируют элементы друг от друга. Следовательно, на начальных этапах разрядного периода активирующая система является по своей природе динамической. Для того чтобы осуществить эту идею практически, в конструкции должна быть минимизирована межэлементная утечка, достигнута максимальная эффективность активирующей системы в отношении полноты перекачки электролита в элементы и обеспечено поддержание потока жидкости на ранней стадии разрядного периода.

На рис. 8.20 представлена температурная зависимость давления насыщенного пара для фреона-22 и используемого электролита. Кроме того, показаны максимальные и минимальные значения давления фреона в диапазоне рабочих температур элемента при полностью растянутом и полностью сжатом сильфоне. Нанесенные на график точки рассчитаны исходя из массы фреона, равной 11,34 г, и объема, соответствующего реальной конструкции активирующей системы для батареи емкостью 20 А·ч. Для заполнения системы использовано такое количество фреона, чтобы при температуре выше 40,5 °С в режиме хранения в неактивированном состоянии фреон полностью испарялся. Это приводит к максимальному давлению 1,77 МПа (абс.) при 71 °С в неактивированном состоянии, тогда как во время работы при полностью сжатом сильфоне отклонение от кривой насыщенного пара фреона-22 происходит при 4,4 °С. В этих условиях фреон поддерживает разность давлений, достаточную для сжатия сильфона во всем требуемом интервале температур активации: от —10 до +32 °С. Минимальная разность между давлением фреона и электролита приходится на температуру —10 °С. Из

рис. 8.20 также следует, что при указанной температуре разность давлений составляет 0,25 МПа. При +32 °С разность между минимальным давлением пара фреона, показанным для сжатого сильфона, и давлением паров электролита составляет 0,28 МПа.

Между указанными двумя точками на температурной шкале характер зависимости давления пара для случая сжатого сильфона обеспечивает более высокие значения разности

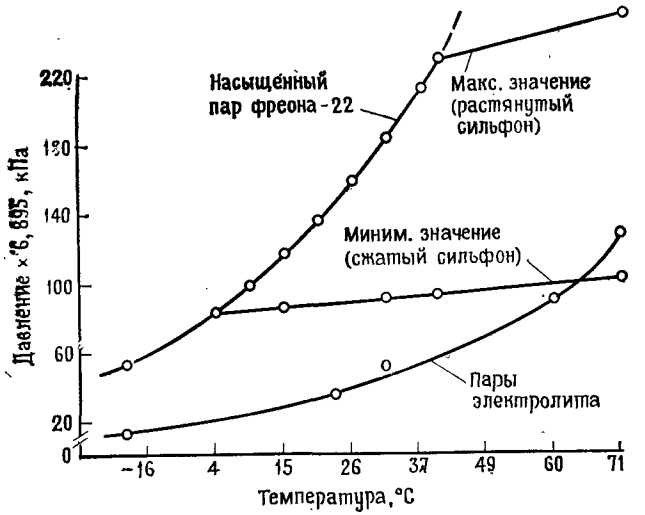


Рис. 8.20. Зависимость давления фреона и электролита от температуры.

давлений. Исходя из приведенных выше соотношений между давлениями, можно сделать вывод, что наиболее критическая температура в отношении надежности активации и последующего передавливания электролита в элементы составляет —10 °С.

На рис. 8.21 представлены данные, полученные во время испытания при 10 °С активирующей системы, предназначенной для батареи емкостью 20 А·ч. Было установлено, что в течение всего цикла подачи электролита давление фреона оставалось постоянным и равным 0,37 МПа. Такого результата и следовало ожидать, поскольку количество заправленного в активирующую систему фреона было достаточно, чтобы поддерживать в нем условия насыщения. При активации электролит направляли в предварительно откачанный объем, моделирующий предназначенный для заполнения внутренний объем блока элементов. Трубки, использованные для передавливания электролита, были идентичны тем, которые используют в реальной батарее.

В этом испытании в активирующую систему было заправлено 305 см³ электролита, из которых 270 см³ было передавлено в объем, моделирующий блок элементов, в течение 75 с после активации. Это соответствует эффективности подачи, равной ~88 %, что обеспечивает необходимое количество электролита-окислителя в блоке элементов для достижения требуемой емкости 20 А·ч.

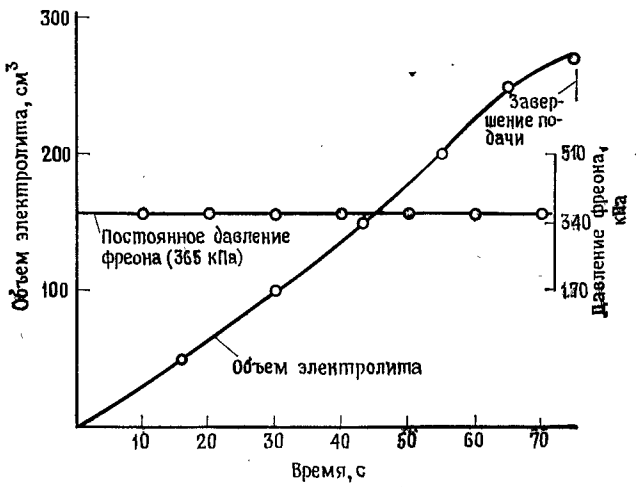


Рис. 8.21. Временная характеристика подачи электролита после активации батареи при 10 °С.

Вариант конструкции активатора для батареи емкостью 20 А·ч; количество залитого электролита равно 305 см³; подано в элементы 270 см³ (88,5%); имеются четыре капиллярные трубки; подача электролита происходит при +10° С.

Фирма Honeywell опубликовала результаты своих исследований по созданию электролита для многоэлементной резервной батареи на основе системы литий — двуокись серы. При разработке литиевой резервной многоэлементной батареи было выяснено, что используемый в первичных элементах фирмы Honeywell электролит — смесь бромида лития, двуокиси серы и ацетонитрила — нестабилен в случае хранения при высокой температуре, что противоречит требованиям, предъявляемым ко всем резервным устройствам. Кроме того что в реакциях, обусловленных нестабильностью электролита, потребляется окислитель — двуокись серы, некоторые продукты разложения электролита являются твердыми веществами, что может привести к серьезным проблемам при активации. Первичные активные элементы не подвержены таким процессам разложения электролита при хранении.

Предполагается, что разложение электролита в резервных батареях обусловлено следующими реакциями:

Таблица 8.5. **Влияние состава электролита и условий хранения резервных батарей на основе системы литий — двуокись серы фирмы Honeywell на их разрядные характеристики (емкость батарей равна 560 мА·ч)**

Электролит	Количество элементов в батарее	Подлежит ли электролит хранению и срок хранения	Продолжительность работы при разряде до напряжения, с		Среднее напряжение (В) при разряде до напряжения		Емкость (А·ч), отдаваемая при разряде до напряжения		Выход количества электричества по катодному материалу (А·ч/г) при разряде до напряжения 2,71 В
			2,71 В	2,00 В	2,71 В	2,00 В	2,71 В	2,00 В	
При −2 °С									
1 Мл LiBr : AN : SO_2	2	Нет	231	251	2,840	2,818	0,655	0,706	1,64
0,25 Мл $LiAsF_6$: AN : SO_2	1	»	164	165	2,853	2,851	0,468	0,471	1,17
0,50 Мл $LiAsF_6$: AN : SO_2	1	»	208	215	2,851	2,843	0,593	0,610	1,48
1 Мл LiBr : AN : SO_2	2	4 нед., +70 °С	226	247	2,830	2,793	0,640	0,690	1,60
0,25 Мл $LiAsF_6$: AN : SO_2	2	4 нед., +71 °С	174	180	2,808	2,795	0,487	0,501	1,22
0,5 Мл $LiAsF_6$: AN : SO_2	2	4 нед., +71 °С	256	296	2,802	2,775	0,716	0,820	1,80
1 Мл LiBr : AN : SO_2	2	4 нед., −54 °С	226	248	2,832	2,797	0,640	0,694	1,60
1 Мл LiBr : AN : SO_2	3	4 нед., −54 °С	209	237	2,824	2,783	0,590	0,660	1,48
0,5 Мл $LiAsF_6$: AN : SO_2	2	4 нед., −54 °С	223	238	2,823	2,800	0,630	0,665	1,58
При +32 °С									
1 Мл LiBr : AN : SO_2	2	Нет	148	154	2,848	2,833	0,420	0,435	1,05
0,25 Мл $LiAsF_6$: AN : SO_2	2	»	143	144	2,845	2,845	0,409	0,410	1,02
0,5 Мл $LiAsF_6$: AN : SO_2	1	»	175	179	2,844	2,836	0,498	0,508	1,25
1 Мл LiBr : AN : SO_2	2	4 нед., +71 °С	147	152	2,848	2,836	0,419	0,431	1,05
0,25 Мл $LiAsF_6$: AN : SO_2	2	4 нед., +71 °С	151	153	2,843	2,838	0,428	0,435	1,07
0,5 Мл $LiAsF_6$: AN : SO_2	2	4 нед., +71 °С	169	181	2,846	3,825	0,481	0,510	1,21
1 Мл LiBr : AN : SO_2	2	4 нед., −54 °С	155	161	2,822	2,807	0,437	0,452	1,09
0,25 Мл $LiAsF_6$: AN : SO_2	3	4 нед., −54 °С	145	146	2,853	2,850	0,413	0,416	1,03
0,5 Мл $LiAsF_6$: AN : SO_2	2	4 нед., −54 °С	176	184	2,850	2,836	0,502	0,520	1,26

Примечание. Элементы разряжались при −2 °С на постоянный резистор 1000 Ом, что для резервных батарей емкостью 560 мА·ч соответствует плотности тока 0,24 мА/см²; AN-ацетонитрил.

1) реакцией двуокиси серы с галогенидами щелочных металлов

$$4LiBr + 4SO_2 \longrightarrow 2Li_2SO_4 + S_2Br_2 + Br_2;$$

2) полимеризацией ацетонитрила

$$nCH_3C{\equiv}N \longrightarrow \left(\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ -C{=}N- \end{array}\right)_n;$$

3) реакцией (или реакциями) ацетонитрила с промежуточными соединениями и (или) продуктами реакции бромистого лития с двуокисью серы.

Поскольку бромид лития, по-видимому, инициирует реакции, приводящие к нестабильности электролита, специалисты фирмы Honeywell исследовали возможность использования других литиевых солей в электролитах, предназначенных для резервных батарей, и пришли к заключению, что гексафторарсенат лития ($LiAsF_6$) в смеси с ацетонитрилом и двуокисью серы является подходящим электролитом, который не проявляет склонности к изменению цвета или выделению твердого осадка во время хранения. В табл. 8.5 дано сравнение характеристик батарей, в которых использованы электролиты на основе бромида лития и гексафторарсената лития. Как следует из таблицы, электролит, содержащий 0,5 Мл раствор гексафторарсената лития по своим функциональным характеристикам эквивалентен или превосходит электролит с бромидом лития.

В первом электролите не обнаружено неблагоприятных эффектов после четырехнедельного хранения при температуре —54 °С или +71 °С. Что же касается электролита состава 0,5 Мл раствор $LiAsF_6$ в ацетонитриле и SO_2, то после четырехнедельного хранения при +71 °С он существенно улучшает свои характеристики.

8.3. ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛИТИЙ — ДВУОКИСЬ СЕРЫ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ MALLORY

Фирма Mallory выпускает герметичные элементы на основе системы литий — двуокись серы с органическим электролитом; емкость элементов составляет 1,1—10 А·ч, а номинальное напряжение равно 3 В. Более подробные сведения об этих элементах приведены в табл. 8.6.

Эксплуатационные характеристики при разряде на нагрузку с постоянным сопротивлением для этой серии элементов приведены соответственно на рис. 8.22 и 8.23.

Согласно документации фирмы, выпускаемые ею литиевые элементы имеют удельную энергию по массе до 330 Вт·ч/кг,

Таблица 8.6. **Характеристики первичных элементов на основе системы литий — двуокись серы, выпускаемых фирмой Mallory [1]**

Тип элемента	Номинальная емкость, отдаваемая до достижения напряжения 2 В при температуре 21 °С, А·ч	Максимальный диаметр, мм	Максимальная высота, мм	Масса, г	Объем, см³
LO32	1,1 при разряде на нагрузку сопротивлением 120 Ом	16,5	34,3	12	7,0
LO28	3,9 при разряде на нагрузку сопротивлением 36 Ом	24,4	49,5	43	23,1
LO29	4,4 при разряде на нагрузку сопротивлением 32 Ом	25,9	49,5	48	26,1
LO27	5,8 при разряде на нагрузку сопротивлением 24 Ом	25,9	59,9	58	31,5
LO30	7,5 при разряде на нагрузку сопротивлением 18 Ом	25,9	59,7	62	42,0
LO26	10,0 при разряде на нагрузку сопротивлением 14 Ом	33,8	59,7	85	53,4

[1]) Ввиду способности элементов системы литий — двуокись серы к быстрому разряду должны быть приняты меры предосторожности для предотвращения короткого замыкания элементов. Фирма Mallory использует внутренний предохранитель или другие средства защиты только в батареях.

что в ~3 раза превосходит удельную энергию ртутных элементов и в 4 раза — щелочно-марганцевых. Удельная энергия по объему литиевых элементов на 50 % выше, чем у щелочно-марганцевых элементов.

В документации утверждается, что в период разряда не происходит выделения газообразного водорода. В конструкции предусмотрен предохранительный клапан для предотвращения чрезмерного возрастания давления газа в результате неправильного использования или хранения элемента.

Элементы отличаются высокой стабильностью напряжения во время разряда. После продолжительного хранения системе требуется время порядка нескольких секунд (время активации), чтобы достичь рабочего напряжения. Эта особенность присуща не только элементам на основе литий — двуокись серы, выпускаемым фирмой Mallory, но и элементам этого типа, выпускаемым другими изготовителями. Она проявляется и у элементов других систем, например литий — пятиокись ванадия и литий — тионилхлорид. Элементы на основе лития способны поддерживать более стабильное напряжение в течение разрядного периода и при больших токах, чем элементы любой другой системы при сравнимых размерах элементов.

Согласно документации фирмы, выпускаемые ею литиевые элементы эффективно работают в широком интервале температур (обычно от —40 до +70 °С) и способны обеспечить более высокие скорости разряда при низких температурах,

чем элементы другого типа. Литиевый элемент может успешно работать при повышенных температурах. Если отбирать от элемента очень большие токи, величины которых превышают рекомендованные предельные значения, в элементе будут происходить тепловыделение и повышение газового давления, а этого следует избегать. Тем не менее элементы могут служить превосходным источником импульсов большого тока.

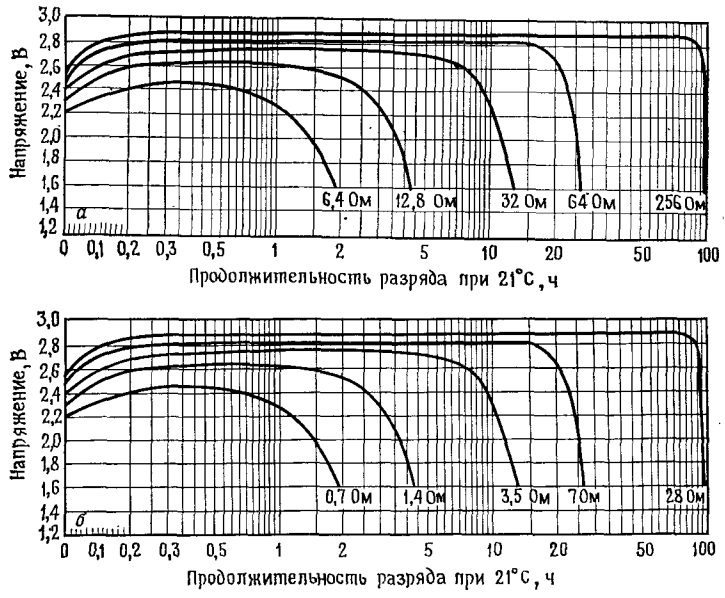


Рис. 8.22. Типичные разрядные характеристики первичных элементов на основе системы литий — двуокись серы, выпускаемых фирмой Mallory. *а* — элемент типа LO32 емкостью 1,1 А·ч; *б* — элемент типа LO26 емкостью 10,0 А·ч.

Многоэлементные батареи содержат дополнительную изоляцию, а также плавкие предохранители для защиты в случае неправильной эксплуатации, например при возникновении коротких замыканий.

Если литиевая батарея фирмы Mallory не находится под нагрузкой, на поверхности лития образуется пассивная ингибирующая саморастворение пленка, которая в большой степени замедляет любую паразитную побочную реакцию, результатом чего и является хорошая сохраняемость. Благодаря указанной выше особенности эти батареи обладают хорошей сохраняемостью в широком диапазоне температур. Кратковременные ускоренные испытания указывают, что после 10 лет хранения батарея сохранит 50 % емкости. После подключения нагрузки пассивирующая пленка быстро исчезает.

Производимые в настоящее время фирмой Mallory элементы на основе системы литий — двуокись серы сохраняют 75 % первоначальной емкости после пяти лет хранения при 21 °С. Если ввести поправку на утечку двуокиси серы, то истинную потерю емкости можно оценить как 6 %, т. е. 1 % в год. Новая серия герметичных элементов, у которых отсутствует утечка двуокиси серы, не показала сколько-нибудь заметной потери емкости после годичного хранения при температуре 21 °С. Герметичные элементы сохраняют 65 % первоначальной емкости спустя 6 мес хранения при 72 °С. При увеличении температуры до 87 °С эта величина уменьшается до 50 %. Хотя кратковременное хранение при таких высоких температурах допустимо, более длительное хранение в этих условиях неблагоприятно сказывается не только на емкости, но и на способности элементов работать при больших скоростях разряда. Поэтому элементы, предназначенные для работы в аппаратуре, где важны именно эти свойства, следует по возможности хранить в нормальных условиях. Во время проведения испытаний при скоростях разряда, соответствующих разряду за 42 дня (10 мА) при 49 и 60 °С, потери емкости не были обнаружены.

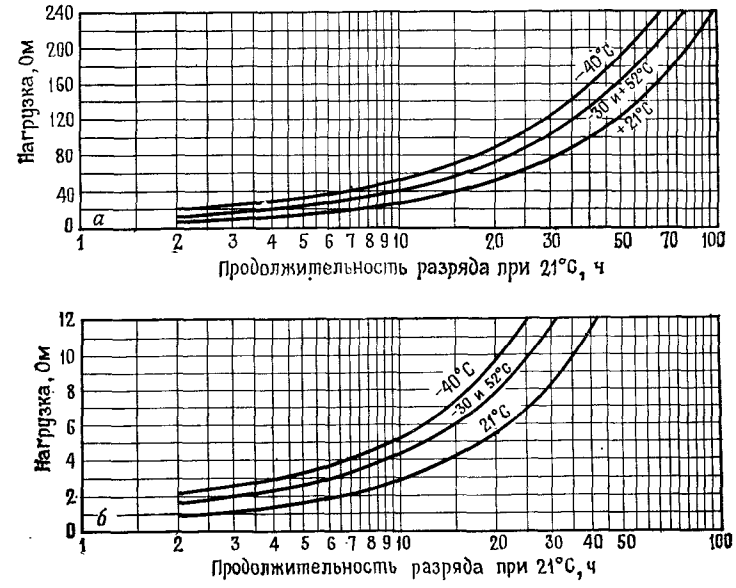


Рис. 8.23. Типичные характеристики первичных элементов на основе системы литий — двуокись серы (фирмы Mallory) при разряде на нагрузку с постоянным омическим сопротивлением.

а — элемент типа LO32 емкостью 1,1 А·ч, конечное напряжение равно 2 В; *б* — элемент типа LO26 емкостью 10 А·ч.

В 1975 г. специалисты фирмы Mallory ввели в конструкцию разработанное ими гермосоединение металлических и стеклянных деталей с целью уменьшения утечки двуокиси серы из элемента и связанных с нею потерь емкости и коррозионных эффектов. У таких элементов с герметичным уплотнением не было обнаружено утечки после хранения в течение 1,75 г при 21 °С и после хранения на протяжении 4 мес при 72 °С.

В настоящее время общепризнано, что из всех литиевых батарейных систем, разработанных за последнее десятилетие, системы, основанные на двуокиси серы и органическом растворителе, оказались наиболее удачными как в коммерческом, так и в техническом отношении. Особую ценность эти системы представляют для таких устройств, которые работают с потреблением большого тока при низких температурах (до —40 °С). Превосходные свойства системы литий — двуокись серы подтверждаются результатами испытаний герметичного элемента типоразмера D. Эти результаты, перекрывающие диапазон токов 10 мА — 1 А и температурный интервал от + 60 до — 23 °С, частично приведены в табл. 8.7.

Таблица 8.7. **Характеристики герметичного элемента системы литий — двуокись серы типоразмера D фирмы Mallory при больших скоростях разряда (разряд произведен на резистор после 6 мес хранения при 20 °С)**

Номинальный разрядный ток	Номинальная емкость (А·ч) при температуре разряда				
	−23°С	0°С	24°С	49°С	60°С
1 А	3,7	5,8	9,7	6,9	6,8
250 мА	7,1	8,3	10,0	8,2	8,8
50 мА	9,7	9,7	10,1	8,9	9,5
10 мА	10,1	10,3	10,2	10,5	10,5

Из результатов, приведенных в табл. 8.7, хотелось бы отметить следующие: полная номинальная емкость реализуется при 24 °С независимо от нагрузки, а при разряде током 10 мА независимо от температуры. На рис. 8.24 приведены оценки пределов по току и температуре для режимов разряда элемента типоразмера D, при которых реализуется 80, 90 и 100% номинальной емкости. Интерес вызывает то обстоятельство, что максимальные скорости разряда приходятся на интервал 20—30 °С, причем при других температурах скорость разряда меняется не очень сильно. Как было отмечено выше, батареи на основе системы литий — двуокись серы среди батарей, обладающих высокой удельной энергией, стоят на первом месте по соответствию характеристик требованиям, предъявляемым к источникам энергии для

устройств с потреблением большого тока. Другие литиевые батареи, в частности батареи на основе системы литий — тионилхлорид, способны обеспечивать такие же или более высокие значения удельной энергии. Однако система литий — тионилхлорид при больших скоростях разряда может самопроизвольно разложиться со взрывом, тогда как другие ли-

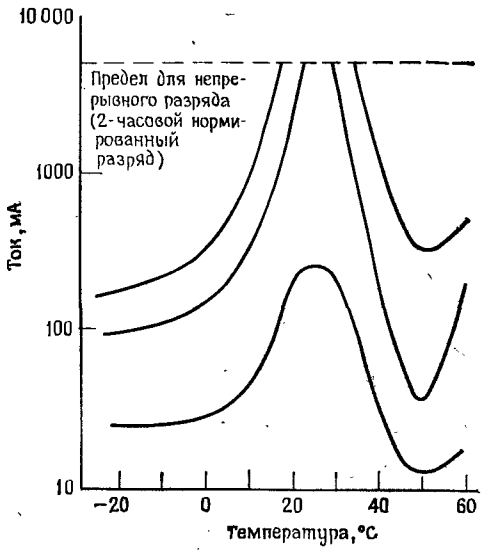


Рис 8.24. Пределы по температуре и току для разных величин отдаваемой емкости для герметичных элементов типоразмера D (373) на основе системы литий — двуокись серы, выпускаемых фирмой Mallory.

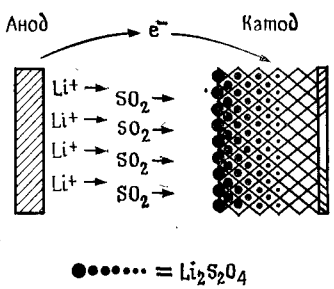


Рис. 8.25. Схематическое представление разрядного процесса элемента на основе системы литий — двуокись серы.

тиевые системы не обладают такими же хорошими характеристиками при больших скоростях разряда, как системы, где используются растворимые деполяризаторы.

Батареи на основе системы литий — двуокись серы, рассчитанные на большие скорости разряда

Разряд элементов на основе системы литий — двуокись серы сопровождается осаждением дитионита лития внутри катодов, однако этот процесс, по-видимому, существенно не ухудшает способности элемента к разряду большими токами. Можно подобрать оптимальный состав электролита, который позволит катоду работать в условиях, соответствующих максимальной электропроводности в процессе разряда.

На способность элемента работать при больших скоростях разряда благоприятное влияние оказывают высокая электропроводность электролита и слабая зависимость элек-

тропроводности от температуры. В конструкции элементов и батарей на основе системы литий — двуокись серы, работающих с отдачей большой мощности, рекомендуется предусматривать устройства для отвода тепла. Элементы на основе системы литий — двуокись серы при соответствующей конструкции, рассчитанной на большие скорости разряда, могут работь при мощности 460 Вт /кг, рассеивая во внешнюю среду мощность 100 Вт/кг.

Процесс разряда на аноде может быть выражен следующей реакцией:

$$Li \longrightarrow Li^+ + e^-.$$

Катодная реакция может быть записана в виде

$$2SO_2 + 2e^- \longrightarrow S_2O_4^{2-},$$

а суммарная реакция выглядит следующим образом:

$$2Li + 2SO_2 \longrightarrow Li_2S_2O_4 \text{ (дитионит лития)}.$$

На основании приведенных реакций процесс разряда элемента рассматриваемой системы может быть проиллюстрирован схематически (рис. 8.25). Ионы лития, образовавшиеся на аноде, переносятся к катоду, где происходит их нейтрализация, и нерастворимый дитионит лития осаждается внутри пористого угольного электрода, на котором идет процесс восстановления двуокиси серы. В зависимости от плотности тока выделившаяся нерастворимая фаза может осаждаться по всему пористому катоду (при низкой плотности тока) или же преимущественно на поверхности катода, обращенной к аноду (при большой плотности тока).

Изучение природы этого разрядного процесса показывает, что электропроводность электролита играет важную роль в определении разрядной способности системы как в отношении скорости, с которой ионы лития могут быть доставлены к катоду, так и глубины, на которую реакция разряда может проникнуть внутрь катода.

На рис. 8.26 графически представлено соотношение между составом и электропроводностью электролита на основе $LiBr - SO_2$ — ацетонитрил. Максимальное значение электропроводности порядка $6 \cdot 10^{-2}$ $Ом^{-1} \cdot см^{-1}$ достигается при температуре 25 °С. Можно заметить, что линии одинаковой электропроводности образуют гребень, который почти точно следует вдоль линии истощения электролита по содержанию двуокиси серы. Эта линия представляет собой продолжение прямой, соединяющей точку максимальной концентрации двуокиси серы и точку, обозначающую исходный состав электролита, используемого в элементе.

Для того чтобы улучшить разрядную способность элементов, следует выбирать состав электролита с концентрацией,

более высокой, чем у состава, соответствующего максимальному значению электропроводности. Искомый состав находится на диаграмме у начала стрелки — от 71 до 75 % SO_2.

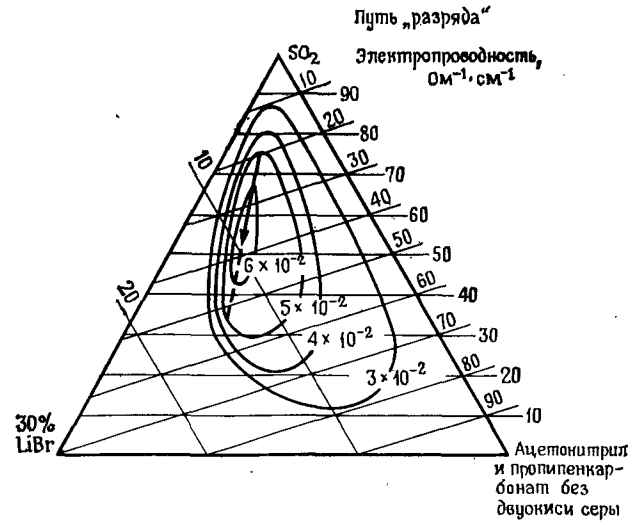


Рис. 8.26. Изменение электропроводности электролита состава бромид лития — двуокись серы в процессе разряда при 25 °С. (Отношение количества ацетонитрила к количеству пропиленкарбоната по объему равно 3 : 1.)

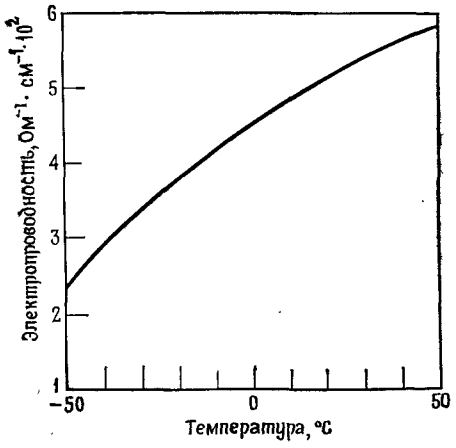


Рис. 8.27. Влияние температуры на электропроводность электролита состава бромид лития — двуокись серы, содержащего 74 % SO_2.

Выбор до некоторой степени может быть произвольным — необходимо выполнить лишь требование, чтобы точка находилась на гребне электропроводности. Это требование обусловлено необходимостью учета того обстоятельства, что при динамических условиях разряда внутри пористого катода

будет происходить истощение электролита по содержанию двуокиси серы. Таким образом, выбирая электролит с большей концентрацией двуокиси серы, мы добиваемся того, что истощение электролита по содержанию двуокиси серы внутри катода в действительности приведет к повышению электропроводности электролита внутри катода и будет способствовать участию внутренних областей катода в разрядном процессе. При низких скоростях разряда точка, изображающая состав, движется в направлении конца упомянутой стрелки. При высоких скоростях разряда потребление двуокиси серы может достичь 40—50%, и средняя концентрация электролита в конце разряда может оказаться вблизи точки максимума на гребне электропроводности.

Влияние температуры на электропроводность для электролита, содержащего 74% двуокиси серы, показано на рис. 8.27. Как можно видеть, уменьшение температуры от 25 до —50 °С приводит примерно к двукратному уменьшению электропроводности. Таким слабым влиянием температуры на электропроводность в сочетании с большими токами обмена для реакций окисления лития и восстановления двуокиси серы объясняются хорошие разрядные характеристики системы литий — двуокись серы при низких температурах. Отмеченное слабое уменьшение электропроводности при понижении температуры можно отнести за счет благоприятного влияния двуокиси серы и растворителя на вязкость электролита.

Проведенный анализ показывает, что наилучшие характеристики при больших скоростях разряда можно получить, если использовать электролит, содержащий не менее 70% двуокиси серы, или если элемент имеет электроды с большой площадью поверхности. На рис. 8.28 показано, как влияет уменьшение толщины катода от 0,9 до 0,46 мм на характеристики элемента типоразмера D. Если элемент обычной конструкции с удельной энергией 100 Вт·ч/кг (типичное значение для стандартного элемента) при 25°С может отдавать мощность ~100 Вт/кг, то элемент, сконструированный для больших скоростей разряда, при тех же удельной энергии и температуре может отдавать мощность более 460 Вт/кг.

При очень высоких удельных мощностях, например 300 Вт/кг, конструкторы батарей и элементов сталкиваются с трудностью, которая препятствует дальнейшему улучшению характеристик источников: энергия, рассеиваемая внутри элемента, приводит к быстрому повышению температуры, которое сопровождается резким ростом давления паров электролита. Кроме того, если допустить, чтобы температура достигла или превысила температуру плавления лития (181 °С),

могут происходить опасные реакции, особенно в присутствии избытка двуокиси серы. Все эти проблемы могут быть разрешены, если правильно сконструировать батарею. Так, при коротком замыкании электродов элемента типоразмера D на основе системы литий — двуокись серы первоначальная величина мгновенной рассеиваемой мощности внутри элемента может превысить 4000 Вт/кг и температура элемента

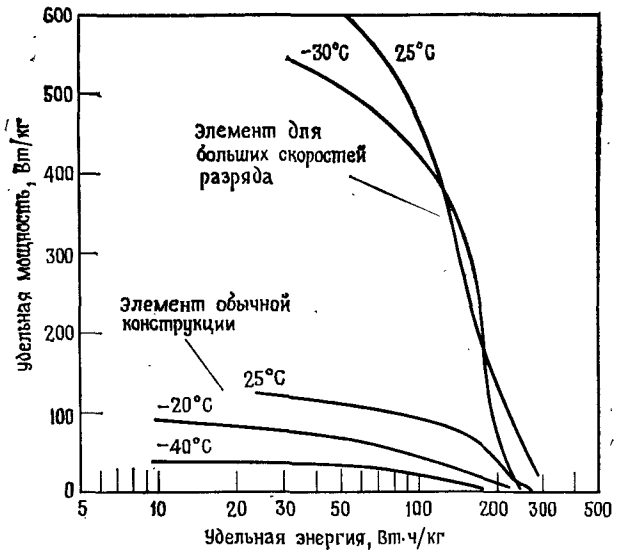


Рис. 8.28. Характеристики элементов обычной конструкции и элементов для больших скоростей разряда на основе системы литий — двуокись серы.

в течение одной-двух минут достигнет температуры плавления лития.

Поэтому, для того чтобы предотвратить разрушение элемента из-за эффектов, вызванных воздействием высокой температуры, элементы на основе системы литий — двуокись серы должны быть снабжены стравливающей системой, приводимой в действие давлением, которая удаляла бы электролит и таким образом деактивировала элемент. Деактивация должна происходить под действием давления паров электролита, соответствующего температуре на внутренней поверхности корпуса элемента, равной 110—120 °С, т. е. ниже температуры плавления лития.

Процессы, которыми сопровождается короткое замыкание элемента типоразмера D, снабженного стравливающей системой, могут быть проиллюстрированы графически (рис. 8.29). На указанном рисунке приведены характеристики, отображающие поведение элемента, у которого в испытательных

целях стравливающая система настроена на давление срабатывания, несколько превышающее величину, рекомендованную для элементов, поступающих в широкую продажу. Когда электроды этого элемента закорачивают внешним сопротивлением 10^{-3} Ом, то первоначальный мгновенный ток может достичь ~100 А. Через несколько секунд указанная величина уменьшается до 60—65 А, далее в течение ~40 с это значение сохраняется. Затем ток быстро падает до нуля, поскольку

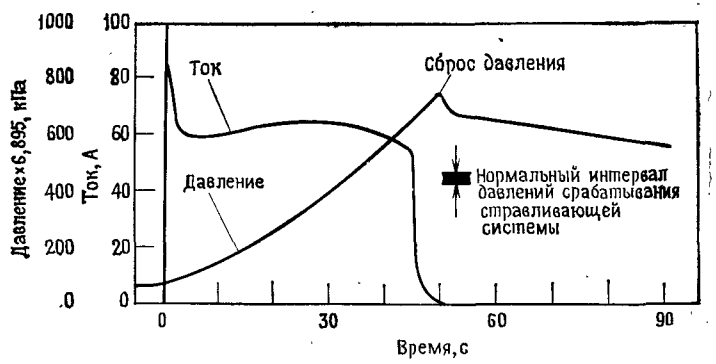


Рис. 8.29. Рост давления в элементе на основе системы литий — двуокись серы, разряжаемого на нагрузку сопротивлением 10^{-3} Ом; стравливающая система срабатывает при давлении 5200 кПа.

срабатывает стравливающая система. В течение этого же периода времени давление внутри элемента плавно нарастает от ~405 до 5200 кПа (последнее значение соответствует температуре внутри элемента ~135 °С). После этого стравливающая система срабатывает и выбрасывает электролит из элемента. Затем давление внутри элемента постепенно снижается со скоростью ~1100 кПа/мин. В результате стравливания прерывается путь тока по электролиту, и ток через внешнюю нагрузку падает до нуля.

Принудительный разряд, в том числе со сверхразрядом, — это еще некоторый вид более жестких условий испытаний, особенно если испытаниям подвергают термически изолированный элемент. При этом моделируется работа одного из внутренних элементов батареи (составленной из последовательно соединенных элементов) в условиях не очень хорошего теплоотвода. Результаты таких испытаний показаны на рис. 8.30 — в данном случае для элемента типоразмера D, у которого стравливающая система настроена на рекомендуемые значения давления паров и температуры электролита. Элемент был хорошо термоизолирован и разряжался током 10 А (что соответствует удельной мощности 280 Вт/кг) с использованием источника стабилизированного тока. Напря-

жение на нагрузке достигает максимального значения 2,5 В, а затем понижается, доходя к концу разряда до ~2,2 В. В течение этого же промежутка времени температура корпуса элемента постепенно повышается от 20 °С в начале разряда до 120 °С по истечении 28,5 мин после разряда, когда напряжение на электродах становится равным 1,35 В и фиксируется переполюсовка электродов элемента. Источник стабилизированного тока теперь начинает работать как источник стабилизированного напряжения, поддерживая напряжение на электродах равным 6 В. Ток быстро падает до значений ниже 1 А,

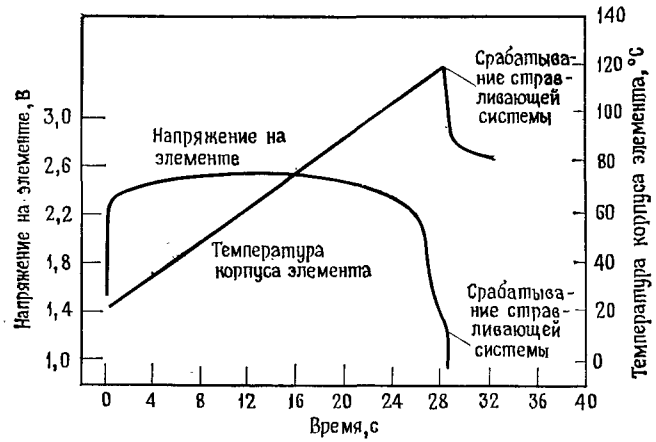


Рис. 8.30. Изменение напряжения и температуры термоизолированного элемента на основе системы литий — двуокись серы, разряжаемого током 10 А.

а измеренная температура корпуса резко понижается на ~10 °С. (Очевидно, это происходит вследствие резкого испарения двуокиси серы.) В дальнейшем температура уменьшается на ~30 °С в течение первых 25 с, а затем медленно понижается до 75 °С в течение 22 мин. К этому времени ток через элемент достигает 0,12 А.

При другом испытании, эквивалентном описанному здесь, через элемент типоразмера D пропускали ток 10 А, повышая приложенное напряжение после срабатывания стравливающей системы. И в этом случае также не обнаружены опасные для элемента реакции.

Для тех, кто заинтересован в использовании элементов и батарей на основе системы литий — двуокись серы в устройствах с потреблением большой мощности, полезно отметить, что в этом случае при эксплуатации батарей следует периодически уменьшать скорость или прерывать разряд либо использовать конструкции с улучшенным теплоотводом. Элементы на основе системы литий — двуокись серы могут без

неблагоприятных для себя последствий обеспечивать в течение коротких промежутков времени ток 20—30 А. Однако при продолжительном разряде в условиях большой отдаваемой мощности необходимо применение соответствующей системы охлаждения, выбранной в зависимости от того, используется ли один элемент или собранная из элементов батарея. Рекомендуется также использовать правильно сконструированную надежную воспроизводимую стравливающую систему.

Подводя итоги вышесказанному, можно заключить, что способность системы литий — двуокись серы работать при высоких скоростях разряда следует отнести за счет больших токов обмена как анодных, так и катодных реакций, а также за счет высокой электропроводности электролита, которая относительно мало меняется при понижении температуры. Могут быть изготовлены элементы для работы с высокими скоростями разряда, способные разряжаться при уровне мощности 460 Вт/кг; рассеивание тепловой энергии при этом составляет 100 Вт/кг. При высоких скоростях разряда возрастают температура и давление внутри элемента, поэтому необходимо применять элементы со стравливающим устройством, которое деактивирует элемент существенно раньше, чем будет достигнута температура плавления лития. Устройства, в которых элементы работают при больших скоростях разряда, должны быть снабжены средством для отвода тепла.

Любая батарейная система, способная разряжаться большими токами (включая токи, соответствующие разряду за 2 ч), как, например, система литий — двуокись серы, неизбежно станет источником опасности, если окажется в режиме короткого замыкания или неконтролируемого разряда (заряда). Ниже будет показано, как ведет себя герметичный элемент типа LO26S фирмы Mallory (номинальная емкость 10 А·ч) в аномальных условиях эксплуатации, существенно отличающихся от тех, в которых он работает в течение срока службы.

Рис. 8.31 иллюстрирует типичное поведение свежеизготовленного элемента типа LO26S при коротком замыкании, когда элемент термоизолирован и предварительно нагрет до температуры 77 °С. К электродам подключали нагрузку 10^{-3} Ом и регистрировали величину тока. Через 20 с после подключения нагрузки происходило постепенное стравливание давления, достигшего 3032 кПа. Температура на поверхности корпуса элемента немного возрастала, а внутреннее давление в течение 3 мин уменьшалось до атмосферного. Другие элементы, испытанные в режиме короткого замыкания в условиях термоизоляции при комнатной начальной температуре, вели себя аналогичным образом: время до начала стравливания удлинялось, но никогда не превышало 1 мин. Элементы, хранившиеся в течение одного года при комнатной температуре или в течение 3 мес при 72 °С, также были подвергнуты испытаниям в режиме, аналогичном показанному на рис. 8.31. Были зарегистрированы более низкие начальные значения тока короткого замыкания, зависящие от продолжительности и (или) температуры хранения. Однако ни в одном случае не наблюдалось опасной реакции или сильного взрыва. И наконец,

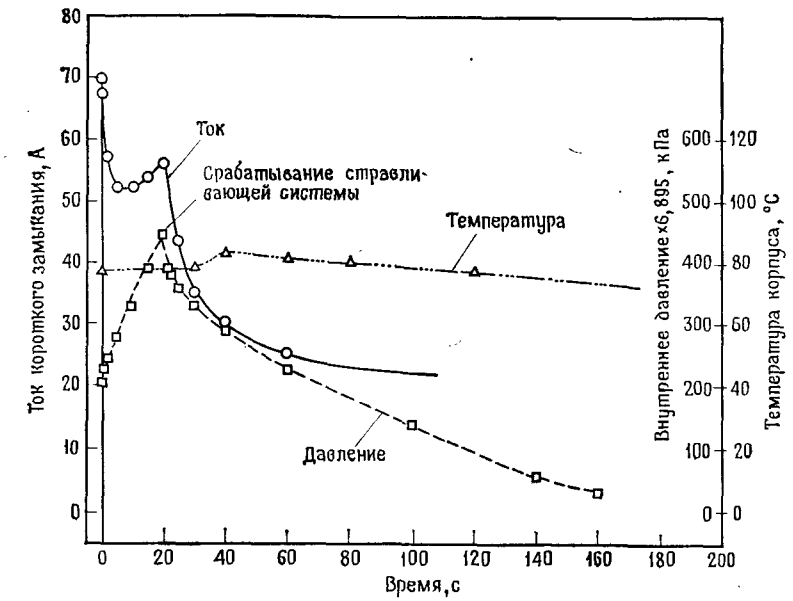


Рис. 8.31. Испытание в режиме короткого замыкания литиевого элемента типа LO26S фирмы Mallory.

испытаниям в режиме короткого замыкания были подвергнуты элементы, предварительно разряженные до напряжения 2 В током, соответствующим обычному режиму разряда за 24 ч в диапазоне температур от —40 до +52 °С. Было установлено, что при испытаниях в режиме короткого замыкания при комнатной температуре только в элементах, подвергшихся предварительному разряду при —40 и —30 °С, происходило стравливание давления примерно через 8 мин, когда температура корпуса достигала 110 °С. В элементах, которые разряжались при более высоких температурах, стравливающая система никогда не срабатывала, поскольку температура корпуса не превышала 80 °С. Свежеизготовленные элементы при принудительном разряде током 10 А в условиях термоизоляции отдавали от 4,5 до 5 А·ч электрической емкости, прежде чем происходило плавное стравливание давления перед тем, как напряжение резко изменялось в связи

с переполюсовкой электродов элемента. Следовательно, вполне допустимо отбирать от стандартного элемента типа LO26S токи вплоть до 10 А в течение коротких промежутков времени или в импульсном режиме при условии, что напряжение на элементе не будет падать ниже 2 В. При величинах отбираемого тока не выше 1 А элемент типа LO26S можно принудительно привести в состояние переполюсовки электродов, не опасаясь повреждений взрывного характера и даже без риска вызвать срабатывание стравливающей системы.

Из вышесказанного можно заключить, что внешнее или внутреннее короткое замыкание не приведет к взрыву и не явится причиной возгорания. Однако двуокись серы, стравливаемая из элемента, питающего какой-либо блок электронного оборудования, соединяясь с атмосферной влагой, становится коррозионным агентом. В связи с этим стравливание давления элементом, помещенным внутрь какого-либо устройства, нежелательно. Вследствие этого батареи производства фирмы Mallory защищены от короткого замыкания при помощи либо плавкого предохранителя, либо добавочного сопротивления.

Во всех батареях на основе системы литий — двуокись серы фирмы Mallory, в которых использовано параллельное соединение элементов, для защиты в каждом блоке параллельно включенных элементов предусмотрен диод. Благодаря этому отсутствуют условия для реверсирования напряжения элемента. Элемент емкостью 10 А·ч, который хранился в течение года при 20 °С, при принудительном разряде током 1 А (до напряжения 2 В) в условиях термоизоляции отдал емкость 9,1 А·ч. После этого произошла быстрая поляризация, и элемент перешел в состояние с реверсированным напряжением —1,3 В после 10,1 ч разряда. Температура корпуса элемента незначительно возросла (на 4 °С) во время первой фазы разряда, а затем оставалась постоянной на протяжении 8 ч. Напряжение упало, а импеданс возрос, когда после 8 ч разряда начала повышаться температура, достигнувшая ~50 °С к моменту, когда элемент перешел в реверсированное состояние. Приблизительно в течение 13 ч не происходило ни стравливания давления, ни изменения внешних размеров элемента при дальнейшем принудительном пропускании тока через элемент после его реверсирования. За это же время не наблюдалось существенного изменения температуры корпуса, внутреннего давления или импеданса.

Аналогичные результаты были получены для элемента, хранившегося в течение 102 дней при 87 °С и разряженного до состояния реверсирования напряжения стабилизированным током 1 А. Поведение элемента до момента реверсирования напряжения на электродах было примерно таким же, как и у элемента, подвергшегося старению при комнатной температуре. Единственным существенным отличием было меньшее значение емкости (6,3 А·ч). Тем не менее это значение вполне удовлетворительно, если учесть жесткие условия хранения. После реверсирования элемент не стравливал давление и не изменил размеров даже после 30 ч принудительного разряда током 1 А. В этот период наблюдались такие же флуктуации давления, температуры корпуса и импеданса, как

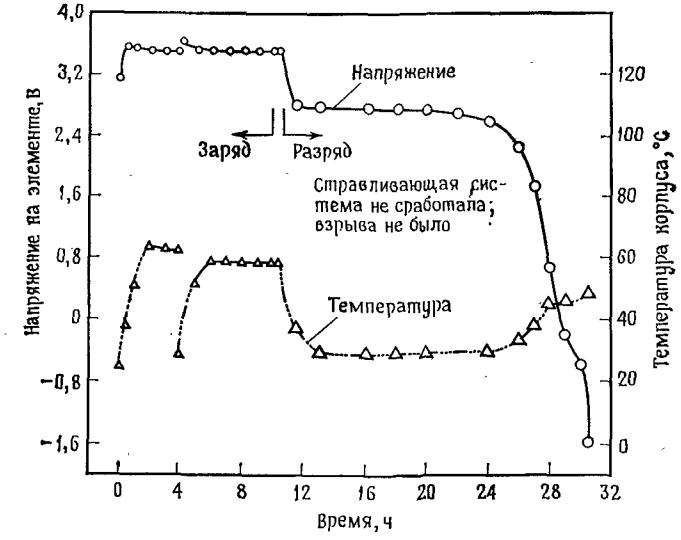


Рис. 8.32. Зарядная и разрядная характеристики элементов на основе системы литий — двуокись серы, выпускаемых фирмой Mallory.

и у элемента, хранившегося при комнатной температуре, но только до того момента, пока реверсированное напряжение не достигло значения —4,4 В после 12 ч разряда. В этот момент был отмечен более существенный рост внутреннего давления, температуры корпуса и импеданса, после чего напряжение стабилизировалось на величине —2,4 В.

При аналогичных испытаниях элемента, хранившегося при комнатной температуре, в режиме принудительного разряда током 2 А (до напряжения 2 В) была получена величина емкости 9,1 А·ч. Затем напряжение упало до —0,32 В, после чего произошел кратковременный переброс в положительную сторону, за которым последовало повышение обратного напряжения до максимального напряжения — 1,0 В. Сразу после последнего выброса сработала стравливающая система — этот момент соответствовал 5,15 ч с момента начала разряда. Стравливание произошло спокойно и без возгорания после того, как температура корпуса резко возросла до 155 °С,

а давление — до 2928 кПа. И в этом случае не наблюдалось дальнейших неблагоприятных эффектов при пропускании тока еще в течение 1,6 ч после стравливания.

Элементы системы литий — двуокись серы не относятся к числу перезаряжаемых. Батареи из таких элементов имеют диодную защиту всех параллельно включенных блоков элементов, однако для одиночных элементов или группы последовательно включенных элементов такую защиту обычно не применяют. Тем не менее не следует пренебрегать вероят-

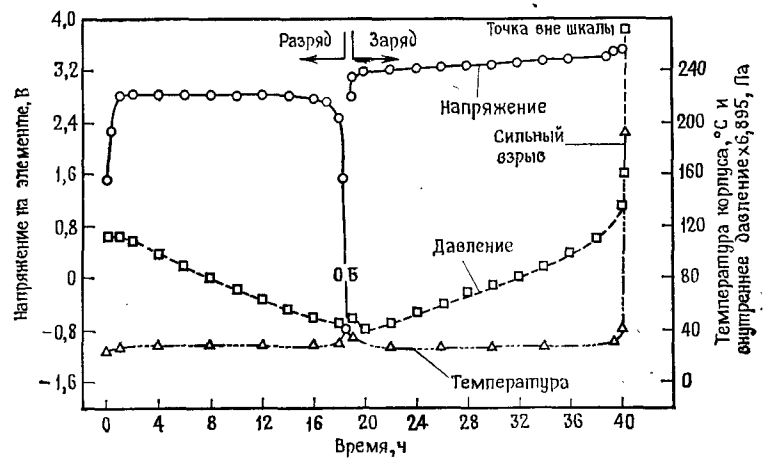


Рис. 8.33. Разрядная и зарядная характеристики элементов на основе системы литий — двуокись серы, выпускаемых фирмой Mallory.

ностью перезаряда литиевой батареи. На рис. 8.32 показаны результаты эксперимента по заряду неразряжавшегося, хранившегося при нормальной температуре элемента током 0,5 А в течение 10,5 ч; термоизоляция этого элемента была сделана лучшей, чем у элемента, находящегося внутри большой многоэлементной батареи. Затем элемент разряжали током 0,5 А в течение 20 ч, причем реверсирование напряжения происходило спустя ~18 ч. Заряд проводили в два этапа с перерывом на ночь, чем объясняется падение температуры через 4 ч. Как можно заметить, во время заряда напряжение стабилизируется при значении ~3,5 В, что очень близко к потенциалу разложения литиевой соли. В течение периода заряда не наблюдалось ни взрыва, ни других неблагоприятных явлений. Исследователи пришли к выводу, что составляющие литиевой соли, образующиеся при ее электролитическом разложении, быстро рекомбинируют с выделением тепла, которое и приводит к повышению температуры. Первичная отданная емкость оказалась равной лишь 7,6 А·ч. Иначе говоря, потери составляют 20 % емкости свежеизготовленного элемента. Это происходит вследствие потери электрохимической активности, вызванной коррозионным воздействием продуктов разложения соли. На рис. 8.33 показаны результаты испытаний элемента в тех же условиях, что и для элемента, отображенного на рис. 8.32, но с первоначальным разрядом и последующим зарядом. При разряде номинальным током 0,5 А до напряжения 2 В элемент отдал емкость 9 А·ч при практическом отсутствии роста температуры и уменьшении внутреннего давления до примерно половины исходной величины. После принудительного разряда до —0,8 В и отдыха в течение 30 мин был начат заряд током 0,5 А. Напряжение на элементе резко возросло до 3,16 В и продолжало постепенно увеличиваться до 3,4 В в течение последующих 20 мин.

Кривая подъема внутреннего давления представляет собой зеркальное отражение кривой, полученной во время разряда, что показывает обратимый характер катода из SO_2. Температура корпуса элемента увеличивалась не очень сильно до тех пор, пока на 21-м часу заряда напряжение на элементе не поднялось до 3,5 В и резко не возросли внутреннее давление и температура. Когда же температура достигла 280 °С, произошел сильный взрыв. Несомненно, что заряд (ток, умноженный на время), возвращенный в элемент после полного разряда, превысил первоначальную емкость элемента (10 А·ч). Если бы заряд, введенный после разряда, не превысил первоначальную емкость, то не было бы взрыва или другого неблагоприятного эффекта. По-видимому, до тех пор, пока бо́льшая часть лития не отложится в виде высокопористой массы и не начнется разложение литиевой соли, вероятность взрыва будет оставаться незначительной. Никогда и ни при каких обстоятельствах не следует допускать заряда разряженных, частично разряженных или свежеизготовленных батарей на основе системы литий — двуокись серы.

8.4. БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛИТИЙ — ДВУОКИСЬ СЕРЫ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ SILBERKRAFT

Данные о различных типах батарей, выпускаемых фирмой Silberkraft, емкостью 500—30 000 мА·ч приведены в табл. 8.8 и 8.9.

Согласно документации фирмы Silberkraft, изготовляемые ею элементы и батареи имеют особенно длительный срок годности. У батарей серии Eterncell благодаря малой скорости реакции саморазряда этот срок достигает 10 лет, причем в течение этого периода батареи готовы к немедленному использованию. Эти изделия удовлетворяют требованиям в

отношении температурных характеристик, предъявляемым к аппаратуре, поставляемой для НАТО, а также военным стандартам США.

Таблица 8.8. **Характеристики первичных батарей системы литий — двуокись серы, выпускаемых фирмой Silberkraft**

Марка	Номинальное напряжение, В	Размеры, мм	Масса, г	Применения
BA5590/U	24 (2×12)	63×112×127	1025	ХМ-8 VINSON MX-9331, приводные устройства химической тревоги
BA5568/U	12	Диаметр 28×77,5	85	AN/PRC-90
BA5598/U	14,4/3	120×92×54	680	AN/PRC 77/KY-38 AN/GRA-114/AN/PPS-15
BA584	14,4/3	242×92×54	1300	AN/PRC 77/AN/PRC 25
BA5100/U	6	Диаметр 39×60	85	Приборы ночного видения
BA5567/U	3	Диаметр 26,5×21	20	То же
BA5585/U	4	112×89×62,5	795	Перспективная разработка
BA5842/U	6	70×37×180	568	Осветители на паромах
BA5574/U	6	—	46	SDU 5/E
BA5841/U	18	Диаметр 53,5×143	285	AN/PTIO
SK660Li	28	242×92×54	1300	PRC 660
PE3.440Li	8,4	62×39×18	75	Батареи для пиротехнического поджигающего электрода

Благодаря хорошим техническим характеристикам элементы и батареи фирмы Silberkraft нашли широкое применение не только в военной технике, но и в качестве источника питания для различной электронной аппаратуры, особенно в тех случаях, когда требуются высокая удельная энергия, большой срок годности и малая масса. Переносные радиопередатчики, приборы ночного видения, источники питания запальных устройств, буи, фотоаппараты, ручные фонари, медицинские электронные приборы, блоки питания микропроцессоров, сигнальные лампы — вот лишь некоторые примеры устройств, где используются эти элементы и батареи.

8.5. БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛИТИЙ — ДВУОКИСЬ СЕРЫ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ DURACELL INTERNATIONAL

Фирма Duracell International выпускает серию первичных батарей на основе системы литий — двуокись серы. Согласно документации фирмы, ее батареи имеют небольшую массу,

Таблица 8.9. **Характеристики цилиндрических элементов системы литий — двуокись серы емкостью 0,5 — 30 А·ч, выпускаемых фирмой Silberkraft**

Марка батареи	Номинальная емкость, мА·ч	Номинальный ток, мА	Размеры, мм: диаметр	Размеры, мм: высота	Масса, г	Номинальное напряжение, В	Примечания
400-5	525	11	14,5	25,0	7,5	2,8	Половина элемента типоразмера АА
440	1000	15	16,5	34,0	11,5	2,8	
Li440FS	1000	12	23,0	43,0	22,0	2,8	
400AA	1200	24	14,5	51,5	13,0	2,8	Типоразмер АА, МЭК R 6 (Mignon)
400-2	2000	75	16,5	58,5	20,0	2,8	
660-2	2400	50	25,0	41,0	33,0	2,8	3/4 элемента типоразмера С
660-C	3000	100	25,0	51,5	40,0	2,8	Типоразмер С, МЭК R 14 (Baby)
660-3	3800	125	25,0	60,5	48,0	2,8	1 1/4 элемента типоразмера С
550-D	8000	250	34,0	61,0	83,0	2,8	Типоразмер D, МЭК R 20 (Mono)
660-50	9000	250	25,0	130,0	95,0	2,8	
660-4	10 000	250	42,0	50,5	100,0	2,8	
660-5	25 000	1000	42,0	115,0	228,0	2,8	
660-5A	30 000	1000	42,0	140,0	280,0	2,8	
400-9	525	11	48,5×26,51×17,5		25,0	8,4	Транзисторный радиоприемник с питанием от батареи 9 В, МЭК 6F 22

высокую удельную энергию, могут работать в интервале температур от −54 до +71 °С и обеспечивают более продолжительный срок службы (в 4 раза), чем обычные батареи. По утверждению разработчиков, батареи этой системы имеют следующие основные преимущества:

1) Высокое напряжение одиночного элемента. Напряжение элемента на основе системы литий — двуокись серы равно 3,0 В по сравнению с напряжением 1,5 В большинства традиционных первичных элементов.

2) Высокую удельную энергию. Элемент на основе системы литий — двуокись серы обладает удельной энергией 330 Вт·ч/кг (525 Вт·ч/дм^3). Этот параметр в 2—4 раза превышает аналогичный показатель для обычных цинковых и марганцевых батарей.

3) Высокую удельную мощность. Элемент на основе системы литий — двуокись серы способен отдавать свою энергию при высоких уровнях отбираемых токов и отдаваемой

энергии, которые существенно превышают возможности обычных первичных элементов.

4) Хорошие характеристики при низких температурах. Рассматриваемый здесь элемент способен работать до температуры —54 °С, тогда как у других первичных элементов время работы резко сокращается при температурах ниже —18 °С.

5) Плоские разрядные характеристики. Элементы на основе системы литий — двуокись серы поддерживают относительно постоянное выходное напряжение до тех пор, пока емкость элемента не будет почти полностью израсходована.

6) Продолжительный срок годности. Описываемые элементы проектируют на срок хранения, или срок годности, 5—10 лет при 21 °С. Экспериментально доказано, что элементы можно хранить в течение пяти лет при комнатной температуре и более одного года при температуре 71 °С.

7) Герметичную конструкцию. Элемент заключен в герметично закрытый контейнер. Во время хранения или работы батареи не происходит утечки электролита или газа.

В батареях на основе системы литий — двуокись серы фирмы Duracell в качестве органического растворителя бромид-литиевого электролита использован ацетонитрил. Двуокись серы содержится в электролите, составляя по массе 70 % суммарного количества электролита и деполяризатора. Внутреннее давление в неразряженном элементе определяется давлением паров жидкой двуокиси серы и равно 2—3 атм. Конструктивно элемент спроектирован таким образом, чтобы выдерживать указанное давление, не допуская утечки.

В процессе разряда происходит потребление двуокиси серы, и давление уменьшается. Разряд обычно прекращается, когда полностью использован содержащийся в элементе литий (в модификациях, где литий является стехиометрически лимитирующим электродом) либо вследствие деактивации угольного электрода из-за блокирования активной площади выпавшими из раствора продуктами разряда (если лимитирующим электродом является катод). Большой срок годности элементов на основе системы литий — двуокись серы является следствием того, что в результате первоначального взаимодействия лития и двуокиси серы на аноде образуется защитная дитионитная пленка, которая предотвращает дальнейшее протекание реакции, иначе говоря, потерю емкости в неработающей батарее. Проблемы коррозии анода, возникающие в обычных батареях с водным электролитом, и проблемы выделения водорода в рассматриваемом здесь элементе отсутствуют.

Характеристики элементов и батарей на основе системы литий — двуокись серы производства фирмы Duracell

Напряжение

Первоначальное напряжение элемента равно 3 В. Конкретное напряжение под нагрузкой зависит от скорости разряда, температуры и состояния заряженности. Конечное напряжение разряда равно 2 В.

Разряд

Типичные разрядные характеристики элемента при 21 °С даны на рис. 8.34. Показанные на рисунке высокие напряжения на элементе и плоские разрядные кривые характерны для

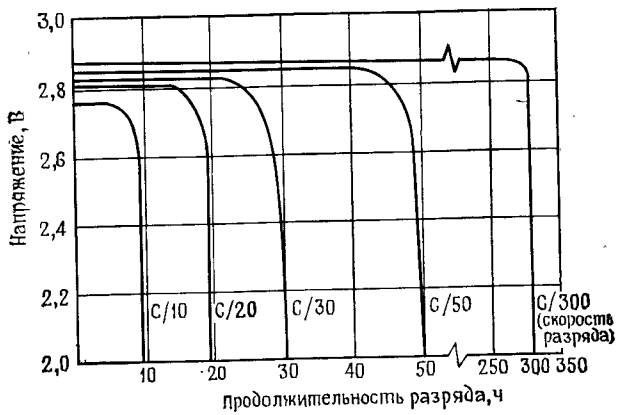


Рис. 8.34. Типичные разрядные характеристики элементов на основе системы литий — двуокись серы при 21 °С и различных скоростях разряда.

этого элемента. Другой характерной особенностью элемента является его способность эффективно разряжаться в широком диапазоне отбираемых токов (или уровней отдаваемой мощности) — от токов, соответствующих номинальному двухчасовому режиму разряда, до малых непрерывно отбираемых токов в течение двух лет. При этом напряжение довольно стабильно даже при экстремальных значениях разрядного тока.

Влияние температуры

Элементы отличаются способностью работать в широком интервале температур от —54 до 71 °С. Разрядные характеристики стандартного элемента 0—26 типоразмера D (373, согласно классификации МЭК) при различных температурах показаны на рис. 8.35. Особое значение имеют такие свойства, как плоский вид разрядной характеристики в широком диапазоне температур, высокий уровень стабильности напряжения

и большой процент емкости, реализуемой при экстремальных температурах. Разумеется, доля отдаваемой емкости элемента зависит от скорости разряда и увеличивается по мере уменьшения скорости разряда. Однако даже при больших скоростях

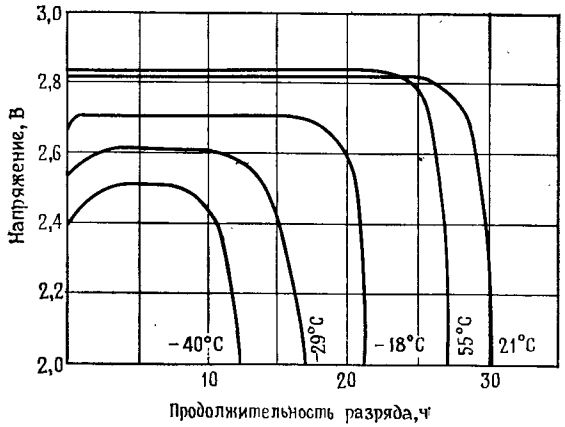


Рис. 8.35. Типичные разрядные характеристики элемента на основе системы литий — двуокись серы при скорости разряда, равной С/30, и различных температурах.

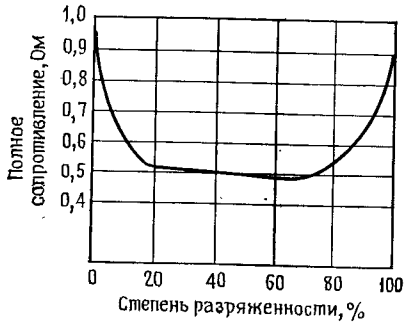


Рис. 8.36. Характеристика полного сопротивления элемента типа 0—26 при 21 °С.

разряда при экстремальных температурах элемент отдает значительную долю емкости, соответствующей разряду при 21 °С.

Внутреннее сопротивление

Элементы имеют относительно низкое внутреннее сопротивление по сравнению с обычными первичными батарейными системами. Сопротивление элемента типа 0—26 фирмы Duracell при различной степени разряженности показано на рис. 8.36. Изменение сопротивления сильнее заметно при низких температурах и достигает минимума, когда элемент разряжен на ~30 %.

Емкость при больших скоростях разряда

На рис. 8.37 дано сравнение способности различных первичных элементов (одинакового типоразмера с элементом 0—26) выдерживать большие скорости разряда. Литиевый

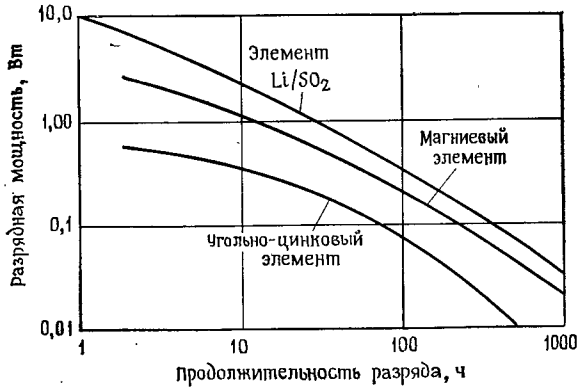


Рис. 8.37. Иллюстрация преимущества элемента на основе системы литий — двуокись серы при высоких скоростях разряда (элемент типа 0—26, температура 21 °С).

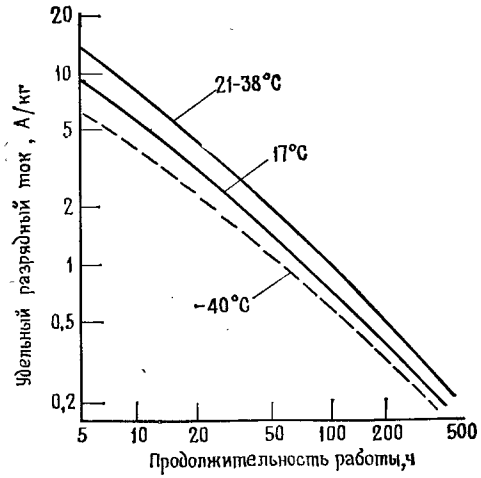


Рис. 8.38. Предполагаемая продолжительность работы элемента на основе системы литий — двуокись серы (конечное напряжение равно 2 В).

элемент способен отдавать большую емкость во время разряда в течение даже одного часа при скорости, соответствующей 10 Вт, в то время как емкость цинковых и магниевых элементов начинает существенно уменьшаться при величинах отбираемого тока, соотьетствующих 20—50-часовому нормированному разряду.

Срок службы

Емкость, или продолжительность работы до конечного напряжения 2 В, элемента 0—26 при различных скоростях разряда и температурах показана на рис. 8.38. Приведенные данные нормированы на единичный элемент и представлены в форме зависимости между продолжительностью работы (в часах) и скоростью разряда. Линейная форма этой зависимости, за исключением области больших токов и низких температур, где имеется незначительное отклонение от прямолинейного вида зависимости в сторону уменьшения значения скорости разряда, также служит показателем способности батарей на основе литий — двуокись серы эффективно работать в экстремальных условиях. Приведенные данные применимы к стандартным элементам и могут быть использованы соответствующим образом для расчета характеристик конкретного элемента или для выбора подходящего типа элемента для использования в определенном устройстве.

Задержка напряжения

В документации фирмы Duracell указывается, что после продолжительного хранения при повышенных температурах у этих элементов может проявляться задержка в достижении величины рабочего напряжения (выше 2,0 В) после подключения нагрузки, особенно при больших отбираемых токах и низкой температуре. Эта начальная задержка вызвана главным образом пленкой, покрывающей анод, т. е. именно той причиной, вследствие которой элемент имеет хороший срок годности. Задержка в достижении рабочего напряжения оказывается незначительной в случае разряда при температуре выше —30 °С. При 21 °С задержка не проявляется даже после хранения элемента в течение одного года при 71 °С. В случае разряда при —30 °С задержка (время, необходимое для достижения напряжения 2 В) составляет менее 200 мс после восьминедельного хранения при 71 °С и скоростях разряда ниже той, которая соответствует нормированному 40-часовому разряду. При более высоких скоростях разряда задержка увеличивается по мере увеличения температуры и продолжительности хранения. Однако даже при скорости разряда, соответствующей нормированному 2-часовому разряду, максимальная задержка не превышает 80 с после восьминедельного хранения при 71 °С. После двухнедельного хранения время задержки равно 7 с. Начальная задержка может быть устранена путем предварительного приведения элемента в рабочее состояние при помощи кратковременного разряда с большой скоростью до достижения элементом рабочего напряжения: задержка вновь появится только после нового продолжительного периода хранения.

Срок годности

Элементы и батареи фирмы Duracell имеют длительный срок годности даже при хранении при температуре 71 °С. Потери удельной энергии по массе составляют менее 10 % после двух лет хранения при температуре 71 °С.

Фирма Duracell выпускает элементы на основе системы литий — двуокись серы цилиндрической конструкции в различном исполнении емкостью 0,45—21 А·ч. Разрабатываются элементы и большей емкости, однако пока они еще не поступали в широкую продажу. Ряд этих элементов имеет конструкцию, соответствующую типоразмерам, установленным стандартом ANSI, и аналогичную конструкции пользующихся широким спросом обычных первичных цинковых источников тока. Хотя эти одиночные элементы физически взаимозаменяемы, они не обладают электрической взаимозаменяемостью вследствие высокого напряжения литиевого элемента (3,0 В по сравнению с 1,5 В обычного цинкового элемента).

Таблица 8.10. **Характеристики элементов на основе системы литий — двуокись серы, выпускаемых фирмой Duracell**

Марка элемента	Номинальная емкость[1], А·ч	Масса, г	Диаметр, мм	Высота, мм
LO34S	0,95	11,75	25,4	19,0
LO37S	0,45	6,5	13,7	24,0
LO32S	0,90	12,0	16,3	34,5
LO36SX	0,65	13,0	24,0	18,4
LO30SX	5,4	62,0	29,1	59,6
LO45SX	6,3	75,0	31,5	57,1
LO26SX	8,0	85,0	33,8	59,6
LO25SX	8,5	95,0	38,7	49,8
LO50SX	21,0	207,0	38,7	114,0
LO27SHX	3,6	47,0	25,7	59,6
LO30SH	4,3	62,0	29,1	59,6
LO26SH	6,4	85,0	33,8	59,6

[1]) Данные по номинальной емкости элементов S и SX приводятся для разряда в течение 30 ч, по номинальной емкости элементов SH и SHX — для разряда в течение 2 ч.

В табл. 8.10 приведен список выпускаемых в настоящее время элементов этого типа и даны их основные физические и электрические характеристики. Элементы разделены на две категории: стандартные элементы (типа S, если следовать обозначению фирмы Mallory) и элементы, предназначенные для больших скоростей разряда (типа SH, согласно обозна-

чению фирмы Mallory). Стандартные элементы оптимизированы для работы в режиме с отдачей большой энергии в широком диапазоне разрядных нагрузок и температур. Элементы, спроектированные для больших скоростей разряда, имеют более длинные и тонкие электроды, чем стандартные элементы, и отдают большую емкость при высоких скоростях разряда (превышающих скорости, соответствующие 10-часовому номинальному разряду) и низких температурах. При меньших скоростях разряда продолжительность работы элементов, предназначенных для больших скоростей разряда, меньше, чем продолжительность работы стандартных элементов.

Кроме того, фирма Duracell производит ограниченные (или сбалансированные) по литию элементы (обозначаемые SX). Они спроектированы так, что количество лития и двуокиси серы находится в стехиометрическом соотношении примерно 1 : 1 в отличие от элементов других конструкций, где используется избыточное количество лития. Ограничение количества лития гарантирует наличие двуокиси серы на протяжении всего срока службы элемента, благодаря чему литий защищен от химического взаимодействия с другими составными частями элемента. Было установлено, что такая конструкция элемента обеспечивает его безопасность в условиях длительного сверхразряда в переполюсованном состоянии. В рассматриваемых элементах, кроме того, не образуется токсичных химических веществ, которые имеют место при полном разряде стандартных элементов. Тем самым упрощаются операции по их обслуживанию. Однако элементы с ограниченным количеством лития отдают меньшую емкость (по сравнению со стандартными элементами) при низких скоростях разряда, когда ее значение меньше того, которое соответствует пятичасовому номинальному разряду.

8.6. БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛИТИЙ — ТИОНИЛХЛОРИД ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ HONEYWELL

В описываемой здесь системе используются литиевый анод и газовый катодный деполяризатор, растворенный в неорганическом электролите. Напряжение на разомкнутых электродах системы составляет 3,63 В, значения типичных напряжений при разряде на номинальную нагрузку находятся в интервале 3,2—3,4 В. Так же, как и система литий — двуокись серы, данная система характеризуется наличием почти плоского участка на разрядной характеристике на протяжении 90% времени разряда. Конструкция рассматриваемых элементов аналогична конструкции элементов на основе системы

литий — двуокись серы, за исключением того, что в настоящее время, как правило, элементы делают полностью герметичными. Литий — тионилхлорид есть система с достаточно низким давлением, и вследствие этого она имеет преимущества перед системой литий — двуокись серы при использовании в устройствах, работающих при высокой температуре и (или) имеющих необычную форму.

Данная система безопасна при использовании в элементах, сконструированных для работы при низких скоростях разряда. Она может быть безопасной и в элементах, предназначенных для работы при больших скоростях разряда, если их снабдить соответствующими стравливающими устройствами. Однако недостаточное количество данных об этой системе, особенно в ее вариантах, предназначенных для работы при больших скоростях разряда, не позволяет утверждать это с полной достоверностью. Были изготовлены элементы с удельной энергией более 1100 Вт·ч/дм^3 (660 Вт·ч/кг). При налаженном промышленном выпуске расходы на производство элементов на основе системы литий — тионилхлорид должны быть даже ниже, чем для системы литий — двуокись серы, и элементы на основе первой системы могли бы заменить элементы на основе последней системы в большинстве устройств.

Считается, что реакция в элементе на основе системы литий — тионилхлорид идет следующим образом:

$$4Li + 2SOCl_2 \longrightarrow 4LiCl + SO_2 + S.$$

В частично разряженном элементе, хранившемся при 60 °С, может протекать побочная реакция

$$2SOCl_2 + 3S \longrightarrow 2S_2Cl_2 + SO_2.$$

Электролит, используемый в элементах на основе системы литий — тионилхлорид, представляет собой 1,5-молярный раствор литийалюминийхлорида ($LiAlCl_4$) в тионилхлориде. Анод изготовлен в виде фольги из чистого лития, армированной тянутой сеткой из нержавеющей стали, а катод представляет собой ленту, полученную методом холодного прессования на тянутую сетку (80% шавиниган-сажи и 20% тефлона). Выпускаются готовые к применению (нерезервные) батареи на основе системы литий — тионилхлорид емкостью 1,3, 160, 380 и 517 А·ч. Конструктивно элементы выполнены в виде системы со свернутыми в рулон ленточными электродами, разделенными нетканым сепаратором из стекловолокна.

В более ранних конструкциях этих батарей проявилась сильная пассивация литиевого анода, которая существенно снижала срок годности батарей. Например, при такой низкой

плотности разрядного тока, как 0,6 мА/см², при 25 °С начальный провал и задержка напряжения наблюдались уже после одной недели хранения при 72 °С. Основной причиной началь-

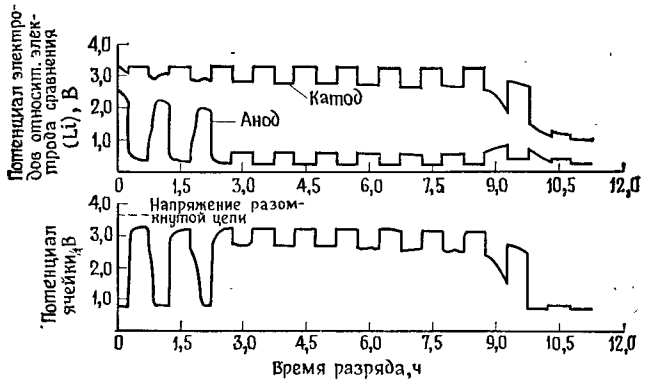


Рис. 8.39. Поляризация и задержка напряжения у элемента на основе системы литий — тионилхлорид фирмы Honeywell при 24 °С после трехнедельного хранения при той же температуре.

Приблизительное значение отбираемого тока равно 120 — 45 мА в течение 30 мин (разряд на постоянное сопротивление); электролит представляет собой 1,5 М раствор $LiAlCl_4$ (без дополнительной очистки) в $SOCl_2$.

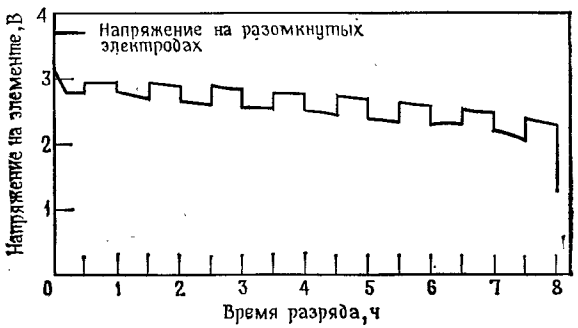


Рис. 8.40. Разрядная характеристика элемента на основе системы литий — тионилхлорид фирмы Honeywell при —29 °С после двухнедельного хранения при 74 °С.

Приблизительное значение отбираемого тока равно 120 — 45 мА в течение 30 мин (разряд на постоянное сопротивление); электролит представляет собой 1,5 М раствор $LiAlCl_4$ в $SOCl_2$ + 5% (по массе) SO_2.

ного провала напряжения является образование пленки, которая приводит к чрезмерной пассивации анода. Образование пленки проявляется при подключении нагрузки как резкий первоначальный провал напряжения и долгий период восстановления напряжения до стабилизированного уровня. Это явление, называемое задержкой напряжения, хорошо иллюстрируется данными, приведенными на рис. 8.39, где пока-

Таблица 8.11. **Характеристики свежеизготовленных элементов системы литий — тионилхлорид ($Li/SOCl_2$) с добавлением 5 % (по массе) двуокиси серы (диаметр равен 25,9 мм, высота 35,2 мм)**

Марка элемента	Напряжение разомкнутой цепи, В	Температура, °С	Масса $SOCl_2$, г	Процент использования $SOCl_2$ [1])	Напряжение элемента в середине разряда, В	Емкость [2]), А·ч	Удельная энергия, Вт·ч/дм³	Удельная энергия, Вт·ч/кг
303	3,66	+74	4,91	70,9	3,54	1,57	787	306
304	3,66	+74	4,99	67,1	3,54	1,51	757	295
315	3,67	+51	4,75	75,2	3,50	1,61	799	311
314	3,67	+51	4,73	73,6	3,50	1,57	781	302
302	3,64	+24	5,07	72,6	3,41	1,66	805	313
308	3,64	+24	4,62	76,8	3,41	1,60	775	300
316	3,68	+10	4,91	71,8	2,27	1,59	763	295
317	3,68	+10	4,78	72,8	3,37	1,57	750	291
318	3,70	0	4,78	68,2	3,26	1,47	677	264
319	3,70	0	4,81	66,8	3,28	1,45	677	262
320	3,70	—18	4,79	53,7	3,00	1,16	494	192
321	3,70	—18	4,78	53,8	3,00	1,16	494	192
311	3,70	—29	4,82	35,0	2,90	0,76	311	121
313	3,70	—29	4,90	35,3	2,90	0,78	323	126
309	3,72	—40	4,99	29,3	2,70	0,66	250	99
310	3,72	—40	4,73	29,3	2,70	0,66	250	99
305	3,70	—54	4,85	19,2	2,62	0,42	159	62
306	3,70	—54	4,98	18,7	2,62	0,42	159	62

[1]) По данным чистой вторичной реакции.
[2]) При разряде до конечного напряжения 2,0 В средним током 0,0825 А.

зана сильная поляризация анода и первоначальный провал напряжения элемента с последующим медленным восстановлением до величины рабочего напряжения.

Исследования, проведенные специалистами фирмы Honeywell, показали, что пассивирующая пленка на аноде, находящемся в литийалюминийхлоридном электролите, состоит из хлорида лития. Они выявили также, что образование этой пленки может быть предотвращено, если в состав электролита добавить 5% двуокиси серы. В табл. 8.11 приведены технические характеристики свежеизготовленных элементов на основе системы литий — тионилхлорид. В них использован 1,5 М раствор $LiAlCl_4$ в $SOCl_2$, содержащий 5 % (по массе) двуокиси серы. Для того чтобы установить влияние добавки такого количества двуокиси серы на задержку напряжения и разрядные характеристики, были проведены исследования разряда большого числа элементов после различных периодов хранения при разной температуре. На рис. 8.40 приведена разрядная характеристика при —29 °С элемента после хранения в течение 2 нед при 74 °С. На рис. 8.41 показана задержка напряжения элемента, хранившегося 1 мес при 74 °С,

при разряде при 24 °С, а на рис. 8.42 приведена разрядная характеристика элемента при 24 °С после четырехмесячного хранения при 74 °С.

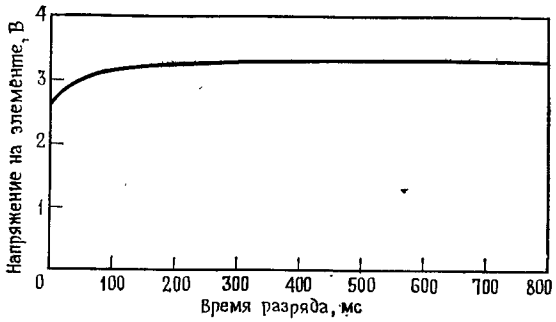


Рис. 8.41. Задержка напряжения элемента на основе системы литий — тионилхлорид фирмы Honeywell при разряде при 24 °С после 1 мес хранения при 74 °С.

Отбираемый ток равен 120 мА (3,3 мА/см²); электролит представляет собой 1,5 М $LiAlCl_4$ в $SOCl_2$ + 5% (по массе) SO_2.

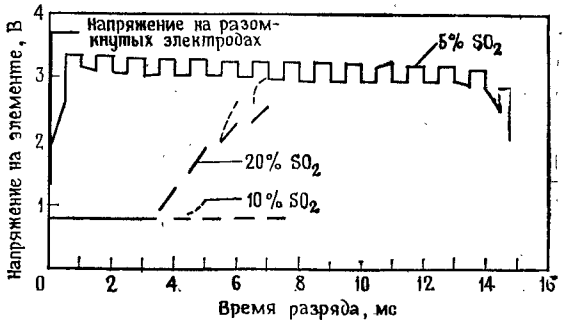


Рис. 8.42. Разрядная характеристика элемента на основе системы литий — тионилхлорид фирмы Honeywell при 24 °С после 4 мес хранения при 74 °С.

Отбираемый ток равен 120 мА (30 мин) – 45 мА (30 мин); номинальная продолжительность разряда свежеизготовленной батареи составляет 16 ч; электролит представляет собой 1,5 М раствор $LiAlCl_4$ в $SOCl_2$ + 5, 10 или 20% (по массе) SO_2.

Важно отметить, что эффективность влияния на пассивацию лития двуокиси серы существенно зависит от концентрации последней. Как показано на рис. 8.42, при превышении концентрации двуокиси серы уровня 5 % ее присутствие приводит к обратному эффекту, ухудшающему разрядные характеристики элемента после хранения. Кроме того, при таких высоких концентрациях двуокиси серы было обнаружено, что после 2 нед хранения при 74 °С разрядные свойства элемента оказались ограниченными разрядными свойствами анода и проявилась сильная поляризация при разряде током 120 мА при —29 °С.

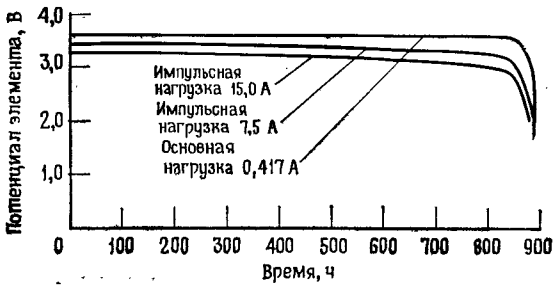


Рис. 8.43. Разрядные характеристики элемента на основе системы литий — тионилхлорид (G3037 Spacecraft, типоразмер В) фирмы Honeywell при 30 °С. [Хранение при 29 ± 4,5 °С, емкость составляет 381 А·ч, удельная энергия равна 973 Вт·ч/дм³ (563 Вт·ч/кг).]

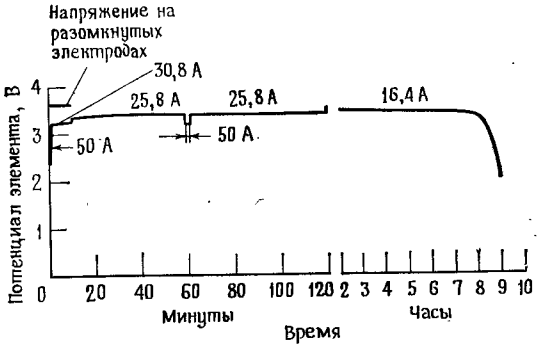


Рис. 8.44. Разрядная характеристика элемента на основе системы литий — тионилхлорид (свежеизготовленный элемент G3038 Spacecraft, типоразмер А) фирмы Honeywell при 24 °С. [Емкость составляет 166,2 А·ч, удельная энергия равна 707 Вт·ч/дм³ (337 Вт ч/кг).]

Таблица 8.12. **Характеристика резервных и нерезервных элементов на основе системы литий — тионилхлорид фирмы Honeywell**

Обозначение	Диаметр или ширина, мм	Длина, мм	Высота, мм	Емкость, А·ч	Номинальный ток разряда, А
Резервный элемент					
G2659B1	16,0	25,4	—	0,36	0,025
Нерезервный элемент					
G3013C	16,0	30,7	—	1,3	0,80
G3037	91,0	109,0	137	381,0	3,00
G3038	58,4	106,0	127	160,0	50,00
G3059	92,2	107,0	156	517,6	3,0

* Конструкция элемента аналогична конструкции элементов на основе систем Li—SO_2 и Li—V_2O_5.

Таблица 8.13. **Характеристики герметичных элементов и батарей системы литий — тионилхлорид фирмы Honeywell**

Обозначение		Напряжение разомкнутой цепи, В	Напряжение под нагрузкой 40 Ом, В	Номинальная емкость, А·ч	Удельная энергия, Вт·ч/см³	Удельная энергия, Вт·ч/кг	Диаметр или ширина, мм	Длина, мм	Высота, мм	Масса, г	Объем, см³	Диапазон рабочих температур, °С	Ожидаемая сохраняемость при 23°С, г
Нерезервный элемент	G3013C	3,63	3,4	1,6 при разряде до конечного напряжения 2 В током 82 мА при 23°С	0,8	301	16	30,7		18	6,7	—40 ÷ +74	> 5
	G3102	3,62	3,4	16 при разряде номинальным током (предельная емкость 17 А·ч)	0,94	418	29,9	36,3	53,6	130	58	—40 ÷ +41	> 15
	G3103	3,62	3,4		0,94	418	29,9	36,3	63,0	130	58	—40 ÷ +41	> 15
	G3066	3,62	> 3,0	17 000 при разряде номинальным током; энергия > 50 000 Вт·ч на элемент	1,1	635	381	381	381	91 000	55 300	—40 ÷ +41	> 15
Нерезервная батарея (А) для космических кораблей	G3038	3,63	3,3 ($R_н$ = 0,2 Ом)	166 при разряде до конечного напряжения 2 В средним током 18 А при 23°С (импульсы амплитудой 50 А)	0,7	334	58	107	130	1639	808	0 ÷ +60. После хранения в течение 1 мес при 60°С на разрядной кривой имеется задержка длительностью менее 200 мс	
Нерезервная батарея (В) для космических кораблей	G3037	3,63	3,6 ($R_н$ = 9 Ом)	400 при разряде до конечного напряжения 2 В средним током 0,4 А при 23°С (импульсы амплитудой 15 А)	1,1	592	91	107	140	2429	1362	—40 ÷ +60	> 5
Нерезервная батарея (В) для космических кораблей	G3059	3,63	3,6 ($R_н$ = 9 Ом)	500 при разряде до конечного напряжения 2 В средним током 0,4 А при 23°С (импульсы амплитудой 15 А)	1,2	642	91	107	158	2803	1536	—40 ÷ +60	> 5

Разрядные характеристики трех активных (нерезервных) элементов на основе системы литий — тионилхлорид показаны на рис. 8.43—8.45.

Данные резервных и нерезервных элементов на основе системы литий — тионилхлорид, выпускаемых фирмой Honeywell, приведены в табл. 8.12 и 8.13. Они включают элементы емкостью до 17 000 А·ч.

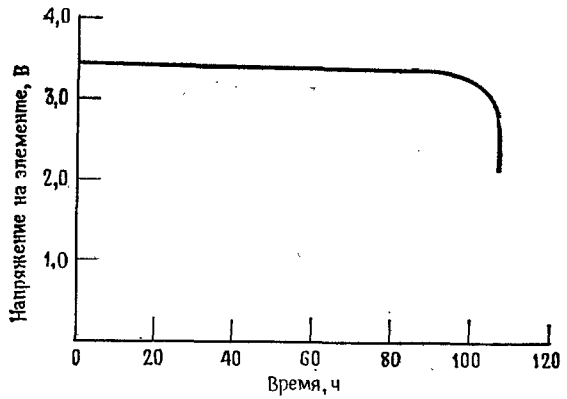


Рис. 8.45. Разрядная характеристика элемента G3059 фирмы Honeywell (на основе системы литий — тионилхлорид), рассчитанного на среднюю скорость разряда. [Температура испытаний составляет 15—20 °С, сопротивление нагрузки равно 0,7 Ом, емкость 517 А·ч, удельная энергия 1200 Вт·ч/дм³ (629 Вт·ч/кг).]

Элементы и нерезервные батареи на основе системы литий — тионилхлорид используются в тех же устройствах, для которых рекомендовано применять систему литий — двуокись серы, а также в устройствах, работающих при высоких температурах.

8.7. БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛИТИЙ — ТИОНИЛХЛОРИД ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ SAFT

Фирма SAFT выпускает серию LS элементов и батарей на основе системы литий — тионилхлорид (табл. 8.14). У этих батарей не проявляется эффект первоначальной задержки напряжения, который встречается в некоторых случаях у батарей на основе системы литий — двуокись серы. Выпускаются батареи напряжением 3,65 и 7,3 В и емкостью 0,5—1,7 А·ч. На всех разрядных кривых имеются почти горизонтальные участки. У свежеизготовленного элемента отсутствует избыточное внутреннее газовое давление и, поскольку ограниченное количество газа выделяется только в период протекания разрядной реакции, отпадает необходимость в стравливающей

Таблица 8.14. **Характеристики элементов и батарей системы литий — тионилхлорид фирмы SAFT (Серия LS)**

Обозначение элемента	LS120	LS622	LS6	LS210	LSH 274
Обозначение типоразмеров согласно					
МЭК	—	622	R6	—	—
ANSI	—	«9 Volts»	AA	—	—
Военному стандарту	—	BA 5090	—	—	—
Максимальные размеры, мм					
Длина	—	26,2	—	—	—
Высота	41,7	48,4	50,5	9,2	19,0
Ширина	—	16,7	—	—	—
Диаметр	12	—	13,4	21	26,2
Напряжение разомкнутой цепи, В	3,65	7,3	3,65	3,65	3,65
Номинальное напряжение, В	3,5	7,0	3,5	3,5	3,5
Емкость, А·ч	1,0	1,0	1,7	0,5	1,0

системе. Элементы могут работать в интервале температур от —55 до +71 °С, а ожидаемый срок годности может быть равен 10 годам благодаря пренебрежимо малой скорости реакции саморазряда у этих элементов. Объемная удельная энергия элементов на основе системы литий — тионилхлорид, выпускаемых фирмой SAFT, составляет 800 Вт·ч/дм³ по сравнению с 400 Вт·ч/дм³ для ртутно-цинковых, 200 Вт·ч/дм³ для угольно-цинковых и 300 Вт·ч/дм³ для щелочных двуокисномарганцевых элементов (соответствующая удельная энергия по массе для перечисленных типов элементов равна 420, 100, 80 и 100 Вт·ч/кг).

8.8. ЭЛЕМЕНТЫ И БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ ДРУГИХ ЛИТИЕВЫХ СИСТЕМ С ОРГАНИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ

Наряду с системами литий — пятиокись ванадия, литий — двуокись серы и литий — тионилхлорид, обсуждавшимися в предыдущих разделах, существуют и другие типы элементов, содержащих литий и органический электролит. Например, пара литий — фторид меди, согласно теоретическим расчетам, имеет напряжение, равное 3,5 В, и удельную энергию по массе 1575 Вт·ч/кг. Экспериментальный элемент с использованием указанной пары и пропиленкарбонатного электролита обеспечивает удельную энергию 330 Вт·ч/кг при 100-часовом нормированном разряде. Элементы, содержащие литий и хлорид меди, работали до температуры —40°С, их удельная энергия составила 100 Вт·ч/кг при высоких скоростях разряда, примерно соответствовавших 10-часовому нормированному разряду. Однако обе эти системы имеют малый срок

годности в активированном состоянии и поэтому в настоящее время могут найти практическое применение только в резервных вариантах конструкции батарей.

В действительности существует много других типов литиевых элементов, которые в настоящее время изучаются с учетом возможности их промышленного производства. Ниже будет рассмотрен ряд литиевых элементов, которые специалисты фирмы Catalist Research предполагают использовать в качестве источника питания для часов и калькуляторов.

Поскольку использование литиевых источников энергии в электронике началось сравнительно недавно, многие инженеры не имеют четкого представления относительно того, что не все литиевые батареи одинаковы. Литий — это только первая часть названия системы, на которой основан любой литиевый источник энергии. Так же, как имеется множество типов выпускаемых цинковых батарей (угольно-цинковые, серебряно-цинковые, ртутно-цинковые), существует много разновидностей литиевых систем, каждая со своими, присущими только ей химическими особенностями и собственной конструкцией. Некоторые из этих систем будут описаны ниже.

Таблица 8.15. **Характеристики литиевых элементов фирмы Catalist Research**

Система	Удельная энергия, Вт·ч/дм³	Тип герметизации	Напряжение, В	Электролит	Изменение объема при разряде	Саморазряд	Внутреннее сопротивление	Сепаратор
Литий — двуокись марганца	440	Завальцованный	2,9	Жидкий органический	Данные отсутствуют	Данные отсутствуют	Среднее	Имеется
Литий — фторированный углерод	330	То же	2,8	То же	То же	Средний	То же	То же
Литий — тионилхлорид	500	Герметичный	3,6	Жидкий неорганический	Небольшое уменьшение	?	»	»
Литий — иодид свинца	470	Герметичный или завальцованный	1,9	Твердая соль	?	Низкий	Высокое	»
Литий — иод — поли-2-винилпиридин	600	Герметичный	2,8	То же	Нет	<5% за 10 лет	То же	Отсутствует

В табл. 8.15 перечислены системы, на основе которых фирма Catalist Research выпускает элементы, поступающие в широкую продажу. Большинство из них — элементы дисковой конструкции с диаметром ~20—30 мм и толщиной 1,5—3 мм. Все эти элементы имеют высокое напряжение и среднее или высокое внутреннее сопротивление. Элементы на основе первых двух указанных в табл. 8.15 систем используются только в часах или калькуляторах, на основе остальных трех применяются также в элементах, предназначенных для питания кардиостимуляторов.

Возможность использовать различные типы герметизации при изготовлении литиевых элементов также важна. Типы герметизации приведены в третьем столбце табл. 8.15. Разумеется, во всех случаях герметизация должна быть надежной, чтобы предотвратить проникновение влаги внутрь элемента. Полная герметизация при помощи сварки имела бы дополнительное преимущество перед традиционными методами герметизации путем механического обжатия завальцовкой, поскольку при первом способе утечка из элементов уменьшается на несколько порядков. Кроме того, при использовании сварного корпуса элемента не возникает опасности проникновения химических веществ из элемента в электронное устройство, где он используется.

Тип электролита в элементе (пятая колонка таблицы) также важен, поскольку он определяет внутреннее сопротивление элемента, а также скорость саморазряда. (Саморазряд — это потребление энергии внутри элемента, которое уменьшает емкость элемента с течением времени после его изготовления.) Элементы с жидким электролитом, как правило, имеют среднее значение внутреннего сопротивления и среднюю или низкую скорость саморазряда. Элементам с твердым электролитом, как правило, присущи более высокое внутреннее сопротивление и существенно более низкая скорость саморазряда. Высокое внутреннее сопротивление элемента не позволяет отбирать от него в импульсе токи выше 100 мкА.

Изменение объема элемента важно для источников, используемых в прецизионных устройствах, например в наручных часах. Для некоторых литиевых систем возможно разбухание или усадка до 10 % (шестая колонка таблицы).

Целостность сепаратора — критичный показатель для элемента. Любое ее нарушение приводит к короткому замыканию. Только в одном типе литиевого элемента на основе системы литий — иод — поли-2-винилпиридин, используемом в качестве источника питания в кардиостимуляторе, образуется собственный сепаратор, который самовосстанавливается в случае повреждения.

Наиболее важными свойствами любой системы, используемой в качестве источника энергии, являются надежность и высокие удельные характеристики по объему. Большинство литиевых элементов удовлетворяет второму требованию, однако не все из них удовлетворяют первому.

К сожалению, литиевые элементы из-за среднего или высокого значения внутреннего сопротивления должны иметь

электроды большой площади. Это не столь важно при использовании в калькуляторах, где достаточно места для размещения источника питания, однако неудобно для установки в наручных часах, где обычно применяют элементы со стандартным диаметром 11,6 мм. Большинство, если не все литиевые элементы, приходится изготавливать с диаметром, превышающим указанный стандарт, хотя и имеется некоторый выигрыш за счет уменьшенной толщины литиевых элементов.

Для того чтобы элементы поместились в большинстве типов корпусов наручных часов, достаточно ограничиться тремя стандартными размерами диаметра (табл. 8.16). Приведенные в таблице размеры предлагаются в качестве промышленного стандарта на размеры литиевых элементов.

Таблица 8.16. **Рекомендации фирмы Industry Standard, касающиеся литиевых элементов**

Диаметр, мм	19, 23, 27
Толщина, мм	1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0
Расположение выводов	3,5 мм от края элемента для элементов с металлостеклянными гермовыводами

В таблицу включены также предлагаемые стандартные размеры толщины элементов и рекомендуемое размещение выводов в случае их выполнения в виде металлических штырей, загерметизированных путем впаивания в стекло. Предлагается смещенное от центра расположение выводов, чтобы было возможным центральное размещение блока питания электрической цепи или индикатора.

Как и любая обычная батарея, литиевая батарея разрушается под воздействием открытого огня. Литиевые батареи, предназначенные для использования в наручных часах, должны быть безопасными в интервале температур, который определяется изготовителем. Толстые сепараторы, применяемые в этих элементах, рассчитанных на разряд с малыми скоростями, предотвращают возможность короткого замыкания, а малые размеры обеспечивают быстрый отвод тепла в случае возникновения внутри элемента локальных реакций с выделением тепла. В действительности можно полагать, что большинство литиевых элементов с низкими скоростями разряда более безопасно, чем ртутно-цинковые, из которых в случае воздействия высокой температуры ядовитые пары ртути могут проникнуть в атмосферу.

Фирма SAFT выпускает элементы на основе систем литий — окись меди и литий — хромат серебра. Фирма Matsushita изготавливает элементы на основе системы литий — фторированный углерод. Фирмы BEREC, Ray-O-Vac и Sayo (Япония) поставляют на рынок элементы на основе системы литий — двуокись марганца. Согласно документации фирмы BEREC, выпускаемые ею дисковые литиево-двуокисномарганцевые элементы (номинальное напряжение элемента 3 В) являются надежными миниатюрными источниками энергии с большим сроком годности и хорошими характеристиками при низких температурах, полностью безопасными, не имеющими утечек и некорродирующими. Они идеально приспособлены для питания всевозможных миниатюрных электронных наручных часов, калькуляторов и других аналогичных устройств. Одна из этих батарей (типа LiM2300) при непрерывном разряде при 30 °С имеет следующую продолжительность работы: 130 ч при токе 1 мА, 220 ч при 0,5 мА, 400 ч при 0,25 мА. Выпускаются также четыре типа элементов LiM2320, LiM2016, LiM55 и LiM44 со значениями емкости при оптимальной величине отбираемого тока соответственно 100, 50, 20 и 120 мА·ч; оптимальные величины отбираемых токов равны 2, 500 и 200 мкА. Максимально допустимые импульсы тока 15 мА для элементов первых двух типов и 3 мА для остальных.

Дисковый элемент помещен в корпус из нержавеющей стали, верхняя часть которого служит отрицательным выводом. Он снабжен уплотнительным устройством из полипропилена, которое совершенно непроницаемо для паров воды и предотвращает доступ влаги внутрь элемента после герметизации последнего. Отрицательный электрод элемента изготовлен из тонкой литиевой фольги. Сепаратор, пропитанный электролитом (перхлорат лития, растворенный в смеси пропиленкарбоната и диметоксилэтана), сделан из нетканой полипропиленовой материи. Катод представляет собой высокоактивную модификацию двуокиси марганца.

Еще один тип элемента, который специалисты фирмы BEREC довели до промышленно изготавливаемого образца,— это элемент на основе системы литий — сульфид железа с номинальным напряжением 1,5 В на элемент. Он обладает удельной энергией по объему 500—900 Вт·ч/дм^3, отличается исключительно длительными сроками годности и службы, имеет очень хорошие низкотемпературные характеристики и может быть использован для питания тех же устройств, что и литиево-двуокисномарганцевый элемент.

8.8.1. ЛИТИЕВО-ДВУОКИСНОМАРГАНЦЕВЫЕ БАТАРЕИ

Литиево-двуокисномарганцевая батарея — это система напряжением 3 В, которая содержит литиевый анод и катод из двуокиси марганца, находящиеся в электролите из перхло-

рата лития. Электролит растворен в органическом растворителе, и вся система полностью неводная. Таким образом снимается проблема газовыделения при разложении воды, и литиево-двуокисномарганцевый элемент не подвержен опасности вздутия при хранении или в нормальных условиях эксплуатации. Система обеспечивает стабильное напряжение, начальное значение которого составляет 3,3 В, и может считаться полностью разряженной, когда напряжение падает до 2 В. Высокое рабочее напряжение поддерживается благодаря высокой удельной энергии, обусловленной химическими свойствами лития, что делает возможным замену этой системой окисносеребряной системы с высокой удельной энергией. Последняя система в настоящее время применяется в источниках питания напряжением 3 и 6 В, предназначенных для различных фотографических устройств. Энергия, отдаваемая литиевым элементом, почти в 10 раз превышает энергию, отдаваемую щелочным цинковым элементом.

Литиево-двуокисномарганцевые батареи предназначены для разряда током от нескольких микроампер до нескольких десятков миллиампер; потенциально этот верхний предел может быть повышен. Элементы можно хранить в течение шести лет при комнатной температуре, после чего они еще содержат 85 % первоначальной емкости. Допустимо повышение температуры до 70 °С, хотя длительное пребывание при температуре выше 55 °С нежелательно. Система работоспособна в интервале температур от 50 до —20 °С. При низких температурах происходит уменьшение тока, при котором может быть отобрана полная емкость. Отличительными чертами этой системы являются также хорошая сохраняемость и способность работать как на импульсную нагрузку, так и на нагрузку с отбором очень малого тока. Такое сочетание свойств отвечает требованиям, предъявляемым к источникам питания, используемым во многих устройствах, в том числе в микропроцессорах. Рассматриваемые элементы могут обеспечивать энергопитание в устройствах защиты памяти в стационарных устройствах либо служить в качестве основных или вспомогательных источников энергии в портативных устройствах. Поскольку микропроцессоры все чаще используются в товарах широкого потребления, можно ожидать существенного увеличения использования литиево-двуокисномарганцевых источников питания к середине 80-х годов.

В литиево-двуокисномарганцевом элементе в качестве анода использован литий, в качестве электролита — раствор перхлората лития в органическом растворителе, а активным катодным материалом служит приготовленная методом тепловой обработки модификация двуокиси марганца. Для рассматриваемой системы имеют место следующие реакции:

Анодная реакция

$$Li \rightarrow Li^+ + e^-.$$

Катодная реакция

$$Mn^{IV}O_2 + Li^+ + e^- \longrightarrow Mn^{III}O_2(Li^+).$$

Суммарная реакция элемента

$$Li + Mn^{IV}O_2 \longrightarrow Mn^{III}O_2(Li^+).$$

Двуокись марганца восстанавливается литием из четырехвалентного состояния в трехвалентное; запись $Mn^{III}O_2(Li^+)$ означает, что ион Li^+ входит в кристаллическую решетку MnO_2.

Литиево-двуокисномарганцевые элементы производства фирмы Duracell

В табл. 8.17 дано сравнение значений удельной энергии дисковых и цилиндрических элементов системы литий — двуокись марганца фирмы Duracell с величиной удельной энергии обычных ртутно-цинковых, серебряно-цинковых, щелочных двуокисномарганцевых и угольно-цинковых элементов.

Таблица 8.17. **Сравнение удельной энергии элементов обычных типов и элементов системы литий — двуокись марганца**

Тип элементов	Удельная энергия	
	Вт·ч/дм³	Вт·ч/кг
Дисковый, для разряда малым током (С/200)		
Li/MnO_2	610	225
Zn/HgO	425	92
Zn/AgO	535	135
Цилиндрический, типоразмер Н, для разряда средним током (100 мА)		
Li/MnO_2	400	215
Zn/Щелочь/MnO_2	180	63
Zn/C	60	32

Конструкция литиевого двуокисномарганцевого элемента фирмы Duracell показана на рис. 8.46. Дисковые элементы, предназначенные для разряда малым током, содержат спрессованный из порошка катод, а цилиндрические элементы, рассчитанные на разряд большим током, включают пастированный электрод, нанесенный на сетчатую подложку. В конструкции больших элементов, предназначенных для разряда

большим током, предусмотрены предохранительные клапаны, которые срабатывают при неправильных режимах эксплуатации, например при коротком замыкании или перегреве.

Номинальное напряжение элемента составляет 3 В, хотя при первом подключении нагрузки может оказаться и несколько выше. Конечное напряжение элемента равно 2 В.

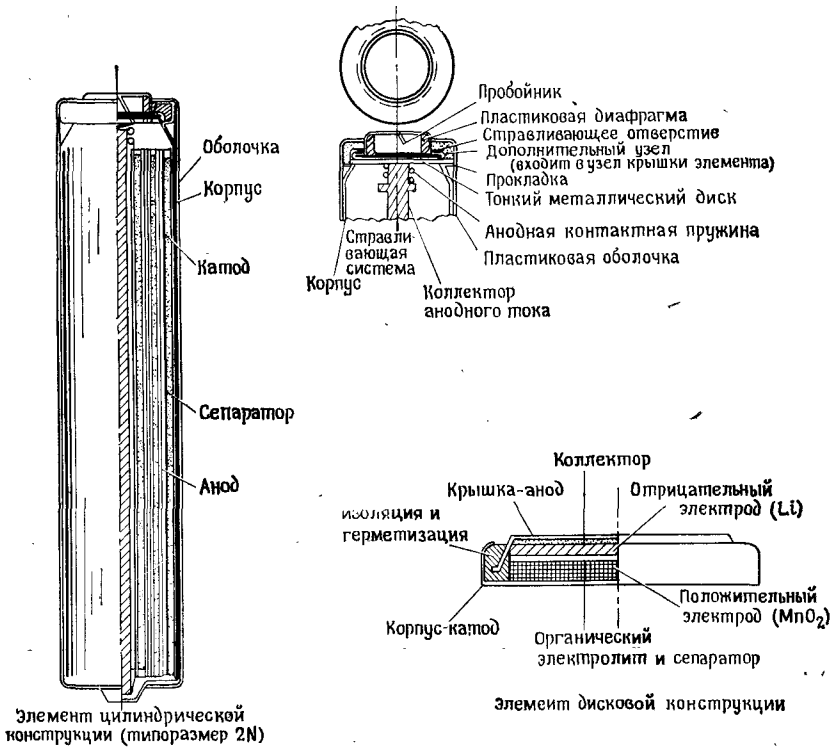


Рис. 8.46. Конструкция элементов на основе системы литий — двуокись марганца фирмы Duracell.

Типичные разрядные кривые дисковых элементов при 20 °С показаны на рис. 8.47 *а* и *б*. На рис. 8.48 представлены типичные разрядные кривые для элемента типоразмера 2N. Можно видеть, что только при очень больших токах разряда на разрядной кривой проявляется наклон, что свидетельствует об очень хорошей нагрузочной способности элемента.

Литиево-двуокисномарганцевый элемент фирмы Duracell хорошо приспособлен для работы в устройствах, в которых происходит отбор кратковременных больших импульсных токов на фоне постоянного потребления малого тока. Элемент типа DL2420 может обеспечить 25 000 таких импульсов (продолжительность импульса равна 1,25 с, интервал между импульсами составляет 15 мин), прежде чем напряжение элемента начнет падать.

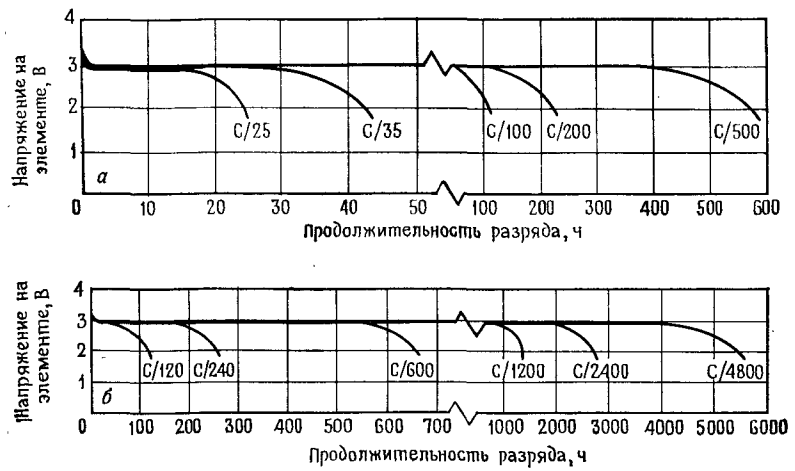


Рис. 8.47. Типичные разрядные кривые при 20 °С дисковых элементов на основе системы литий — двуокись марганца, выпускаемых фирмой Duracell.

а — элемент, предназначенный для больших скоростей разряда; *б* — элемент, рассчитанный на малые скорости разряда.

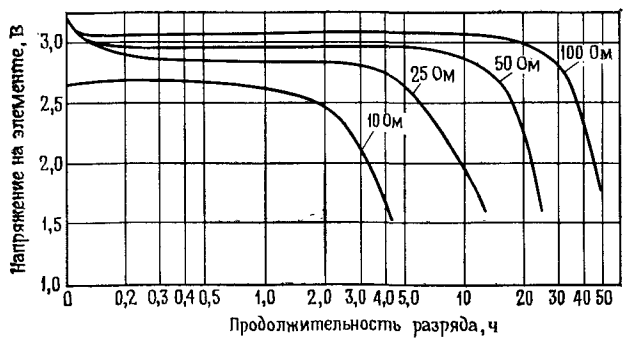


Рис. 8.48. Типичные разрядные кривые при 20 °С элементов типоразмера 2N на основе системы литий — двуокись марганца, выпускаемых фирмой Duracell.

Литиево-марганцевый элемент отличается способностью работать в интервале температур от —20 до +50 °С. Существуют варианты конструкции, при которых элемент при —20 °С может отдать до 70 % емкости, реализуемой при 20 °С.

Система очень стабильна, и ее практический срок годности ограничивается главным образом количеством растворителя,

диффундирующего наружу через уплотнение. После трех лет хранения при 20 °С потеря емкости пренебрежимо мала, не обнаружено ни газовыделения, ни утечки электролита. Экстраполяция полученных данных позволяет утверждать, что

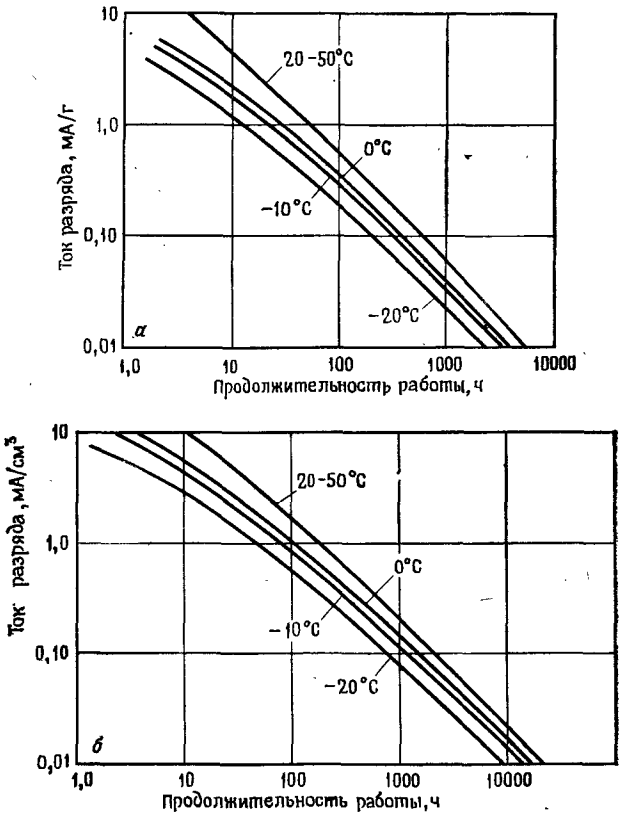


Рис. 8.49. Продолжительность работы элементов на основе системы литий — двуокись марганца (конечное напряжение равно 2 В), выпускаемых фирмой Duracell.

а — данные нормированы на 1 г массы; *б* — данные нормированы на 1 см³ объема элемента.

после шести лет хранения при 20 °С элемент сможет реализовать 85 % емкости, отдаваемой при разряде свеженизготовленного элемента.

Данные о емкости, или продолжительности работы, литиево-двуокисномарганцевого элемента при различных температурах и нагрузках, нормированные на 1 г массы и на 1 см³ объема элемента, представлены на рис. 8.49. Эти данные могут быть использованы для расчета характеристик кон-

кретного элемента или для выбора элемента подходящих размеров или массы для использования в определенном устройстве. Следует отметить, что, поскольку фактические характеристики элемента зависят от размеров, конструкции элемента и других факторов, приведенные данные носят приближенный характер.

Таблица 8.18. **Типы элементов и батарей системы литий — двуокись марганца, выпускаемых фирмой Duracell**

	Обозначение, принятое фирмой Duracell	Обозначение, принятое МЭК	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мА·ч	Масса, г	Диаметр, мм	Высота, мм
Разряд малым током	DL-1220	CR-1220	3	30	0,8	12,5	2,0
	DL-1620	CR-1620	3	50	1,2	16,0	2,0
	DL-2016	CR-2016	3	50	2,0	20,0	1,6
	DL-2025	CR-2025	3	120	2,5	20,0	2,5
	DL-2420	CR-2420	3	120	3,0	24,5	2,0
	DL-2032	CR-2032	3	170	3,0	20,0	3,2
	DL-2430	CR-2430	3	200	4,0	24,5	3,0
Разряд большим током	DL-2016H	CR-2016H	3	50	2,0	20,0	1,6
	DL-2025H	CR-2025H	3	100	2,4	20,0	2,5
	DL-2420H	CR-2420H	3	100	3,0	24,5	2,0
	DL-2032H	CR-2032H	3	130	2,8	20,0	3,2
	DL-2430H	CR-2430H	3	160	4,0	24,5	3,0
Цилиндрические элементы	DL-1/3N	CR-1/3N	3	160	3,0	11,6	10,8
	DL-2N	CR-2N	3	1000	13,0	12,0	60,0
Батареи	PX-28L	2-CR-1/3N	6	160	8,8	13,0	25,2

Примечание. Нормированное время разряда малым током равно 200 ч, большим током — 30 ч; нормированное время разряда цилиндрических элементов составляет 30 ч.

Таблица 8.19. **Характеристики элементов и батарей системы литий — двуокись марганца, выпускаемых фирмой Duracell**

Тип	Номинальное напряжение, В	Емкость, мА·ч	Диаметр, мм	Высота, мм	Масса, г
CR 772 (LR-bH)	3	30	7,9	7,2	1,0
CR-1/3N	3	160	11,6	10,8	3,0
2CR-1/3N	6	160	13,0	25,1	8,8
CR-2N	3	1000	12,0	60,0	13,0
CR-2NP [1]	3	1400	12,0	60,0	14,0
CR 333	3	40	3,8	33,0	1,0
CR 1220	3	30	12,5	2,0	0,8
CR 1225 [1]	3	40	12,5	2,5	
CR 1240 E	3	100	12,5	4,0	1,3
CR 1620	3	50	16,0	2,0	1,2
CR 2010[1]	3	20	20,0	1,0	
CR 2016 (LF-1/4V)	3	60	20,0	1,6	2,0
CR 2016 H	3	50	20,0	1,6	2,0
CR 2020 [1]	3	90	20,0	2,0	
CR 2025	3	120	20,0	2,5	2,5
CR 2025 H	3	100	20,0	2,5	2,4
CR 2032 (LF-1/2V)	3	170	20,0	3,2	3,0
CR 2032 H	3	130	20,0	3,2	2,8
CR 2420 (LF-1/3W)	3	120	24,5	2,0	3,0
CR 2420 H	3	100	24,5	2,0	3,0
CR 2430 (LF-1/2W)	3	200	24,5	3,0	4,0
CR 2430 H	3	160	24,5	3,0	4,0

[1]) Находится в состоянии подготовки к выпуску.

Таблица 8.20. **Батареи системы литий — двуокись марганца, выпускаемые фирмой VARTA**

Устройство	Фирма-изготовитель	Модель	Батарея: тип	Батарея: обозначение фирмы Sanyo	Батарея: обозначение фирмы VARTA	Продолжительность работы батареи
Калькулятор	SANYO	CX-1270, CX-1272 CX-1254, CX-7232M	CR 1620		6620	2 000—8 000 ч
		CX-1251, CX-7231M, CX-8181L	CR 2016	LF-$^1/_4$V	6016	2 000—5 000 ч
		CX-7211T, CX-8178L, CX-8183L, CX-8185LR, CX-1212, CX-1221, CX7215T, CX-1252, CX-7214, CX-1214	CR 2032	LF-$^1/_2$V	6032	2 000—10 000 ч
		CX-8176L, CX-8176LM, CX-8179L, CX-8179LG, CX-8180TL, LX-8182L, LX-7250H, CZ-8114, CZ-0125L, CZ-1201, CZ-1203	CR 2430	LF-$^1/_2$W	6430	1 000—5 000 ч
	SHARP	EL-8150, EL-8154, EL-1116, EL-819	CR 2016	LF-$^1/_4$V	6016	1 000 ч
		EL-8062	CR 2025		6025	1 г.
	GIKO	LCD-480	CR 2016	LF-$^1/_4$V	6016	3 000 ч
	TOWA	V-006LC	CR 2016	LF-$^1/_4$V	6016	3 000 ч
	SANTRON	LC-906	CR 2016	LF-$^1/_4$V	6016	1 200 ч
	CANON	LC-7, LC-7T	CR 2016	LF-$^1/_4$V		4 000 ч
		LC-61T, LC-6T, LC-5T, LC-6, LC-51S, LC-51, LC-52, R-Q1, F-53, F-54, F-72	CR 2032	LF-$^1/_2$V	6032	2 000—4 000 ч
		LC-5	CR 2420	LF-$^1/_3$W	6420	2 000 ч
		F-52, F-62	CR 2430	LF-$^1/_2$W	6430	2 000 ч
	COMMODORE	CIL-100	CR 2032	LF-$^1/_2$V	6032	2 000 ч
		CQ-ALARM	CR 2430	LF-$^1/_2$W	6430	2 000 ч
	TOSHIBA	LC-851	CR 2420	LF-$^1/_3$W	6420	2 000 ч
Часы	TEXAS INSTRUMENTS	STARBURST	CR 2032	LF-$^1/_2$V	6032	5 лет
	SANYO	DO 371-11GBC DO 371-11SBB	CR 2420	LF-$^1/_3$W	6420	5 лет
Радиочасы	SANYO	RPM-6800	CR 2032	LF-$^1/_2$V	6032	2 г
Радиоприемник и магнитофон	SANYO	MR-A110	CR 2032	LF-$^1/_2$V	6032	2 г
Рыболовное оборудование	NOVEL	E-L121	CR 333	LR 333	6333	20 ч
		E-L101	CR 772	LR bH	6772	20 ч
	DAIWA	LR10, LR20, LR30, LR40, LR40S, LR50, LR60	CR 333	LR 333	6333	20 ч
	OLYMPIC	EF-504	CR 772	LR-bH	6772	20 ч
	YUASA	Lithium N0.1, N0.2, N0.3, N0.6	CR 772	LR-bH	6772	20 ч
Система охранной сигнализации	GLANVILL REID		CR 772	LR-bH	6772	
	META SYSTEM		CR 772	LR-bH	6772	
	TELONICS		CR 772	LR-bH	6772	
	TAOVER		CR 772	LR-bH	6772	
Прибор для установки ритма ходьбы	MAGIMA	JOGRER'S PACE SETTER	CR 2430	LF-$^1/_2$W	6430	1 000 ч

Типы элементов, выпускаемых фирмой Duracell, представлены в табл. 8.18. Изготовляются элементы различных модификаций как в дисковом, так и в цилиндрическом исполнении емкостью от 30 до 1000 мА·ч. В настоящее время разрабатываются элементы с еще большими значениями емкости. В табл. 8.19 собраны данные об основных физических и электрических характеристиках элементов и батарей на основе системы литий — двуокись марганца, находящихся в стадии подготовки к выпуску или имеющихся в продаже. В некоторых случаях взаимозаменяемость батарей указанной системы с батареями других систем можно обеспечить, увеличивая вдвое размеры элемента, чтобы согласовать напряжение 1,5 В обычных первичных элементов с напряжением 3 В литиево-двуокисномарганцевых элементов.

Литиево-двуокисномарганцевые элементы производства фирмы SAFT

Фирма SAFT выпускает серию дисковых элементов напряжением 3 В, которые рекомендует использовать в наручных часах с индикаторами на жидких кристаллах, калькуляторах, измерительных устройствах с защитой памяти на МОП-транзисторах и в электронных устройствах сигнализации. Эти элементы обладают удельной энергией 400—500 Вт·ч/дм^3 (120—150 вт·ч/кг) и скоростью саморазряда 2—3 % в год. Емкость может изменяться от 200 мА·ч (батареи типа LM2425) до 50 мА·ч (LM2016). Диапазон рабочих температур простирается от —20 до +50 °С.

Литиево-двуокисномарганцевые батареи производства фирмы VARTA

Фирма VARTA также производит серию литиево-двуокисномарганцевых дисковых элементов напряжением 3 В и емкостью в пределах 3—1400 мА·ч. Некоторые примеры применения этих батарей приведены в табл. 8.20.

8.8.2. ЛИТИЕВО-ОКИСНОМЕДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И БАТАРЕИ

Эти батареи выпускает фирма SAFT. Считается, что преимуществами литиево-окисномедных батарей являются большая продолжительность работы, длительный срок годности (предположительно до 10 лет) и высокие рабочие температуры (испытания проводились в интервале от —20 до +50 °С). Удельная энергия по объему составляет 750 Вт·ч/дм^3 по сравнению с 300 Вт·ч/дм^3 для щелочных двуокисномарганцевых, 400 Вт·ч/дм^3 для ртутно-цинковых и 500 Вт·ч/дм^3 для элементов на основе системы литий — двуокись серы. Соответствующие величины удельной энергии по массе равны 300, 100, 100 и 300 Вт·ч/кг. Скорость саморазряда составляет 2—3 % в год при хранении при 20 °С. Для питания некоторых особых устройств фирма выпускает батарейные блоки, содержащие группы элементов с последовательно-параллельным соединением.

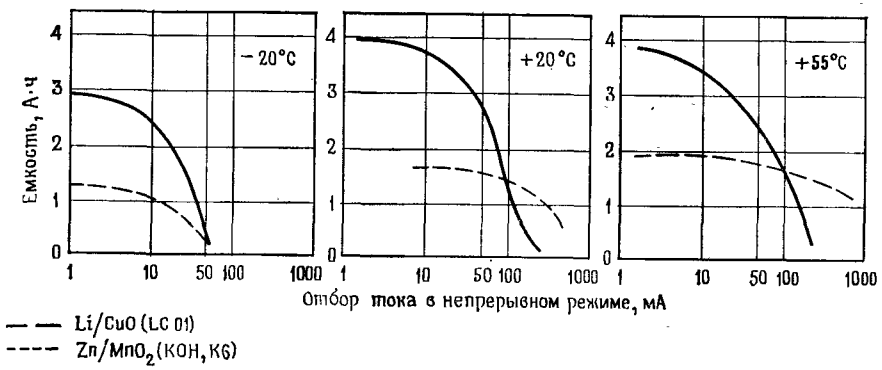


Рис. 8.50. Зависимость емкости от разрядного тока при разных температурах для элементов на основе системы литий — окись меди (тип LCO1, напряжение 1,5 В, емкость 3,6 А·ч), выпускаемых фирмой SAFT.

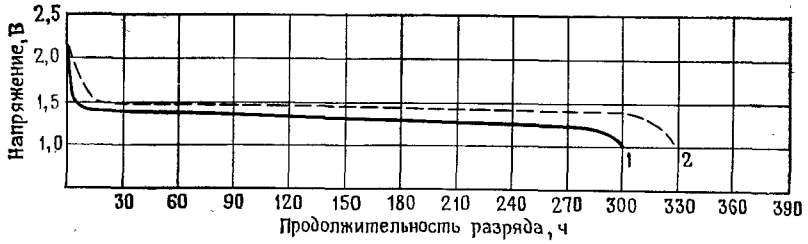


Рис. 8.51. Разрядные характеристики хранившегося (*1*) и свежеизготовленного (*2*) элементов системы литий — окись меди, выпускаемых фирмой SAFT.

Выпускаются батареи цилиндрической конструкции с напряжением 1,5 В и значениями емкости 3,6 А·ч (тип LCO1), 1,6 А·ч (тип LCO2) и 0,5 А·ч (тип LCO7). Устройства, в которых применяются элементы этого типа, включают оборудование для каротажа нефтяных скважин, микропроцессоры, телефонные системы, мегафоны, высокотемпературные счетчики тепловой энергии, устройства защиты памяти на МОП-транзисторах, телетайпы, устройства, работающие при высоких температурах, и специальные устройства промышленного и военного назначения. На рис. 8.50 сравниваются зависимости фактической емкости от разрядного тока для литиево-окисномедного элемента типа LCO1 при трех температурах

с аналогичными зависимостями для марганцево-цинковой батареи тех же размеров.

На рис. 8.51 дано сравнение разрядных характеристик литиево-окисномедного элемента, который хранился в течение пяти лет при температурах, соответствующих климатическим условиям пустыни, и свежеизготовленного элемента того же типа.

8.8.3. ЛИТИЕВЫЕ БАТАРЕИ С ТВЕРДЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ

Фирма Duracell выпускает такие батареи в основном напряжением 2 В. Эти батареи могут обеспечить ток в несколько сотен микроампер при комнатной температуре. Электролит представляет собой сухую смесь из иодистого лития, активированной окиси алюминия и гидроксида лития, послойно проложенную между литиевым анодом и катодом, состоящим из свинца, иодистого свинца и сульфида свинца. Отсутствие жидкости означает, что элемент с твердым электролитом по самой своей природе не подвержен какой-либо утечке. Химизм элемента исключительно стабилен, и можно увеличивать температуру разряда до 125 °С, не ухудшая характеристик. Кроме того, элемент можно хранить при температурах до 200 °С включительно, не опасаясь серьезных последствий. Возможно, самым интересным свойством элемента этого типа является очень большой срок годности, предположительно 15—20 лет при комнатной температуре. Этот срок близко совпадает с проектируемым сроком службы промышленного и научного оборудования, содержащего микропроцессоры, что дает возможность встраивать в них элементы питания в качестве незаменяемой составной части.

Работа элемента с твердым электролитом основана на ионной проводимости в твердом состоянии. Этот процесс идет с малой скоростью, которая существенно зависит от температуры. Особенно сильно она влияет на эффективность разряда при максимальных нагрузках, поэтому, например, для элемента емкостью 350 мА·ч номинальным током разряда при комнатной температуре является ток 1 мкА, что существенно ниже предельных возможностей элемента. Однако при таком режиме уменьшается зависимость от температуры и гарантируется высокая эффективность разряда в широком диапазоне температур.

Хорошо согласованные температурные характеристики батарей с твердым электролитом и логических схем на комплементарных МОП-транзисторах — это еще одно свойство, которое делает батареи с твердым электролитом источником питания, идеально приспособленным для устройств защиты памяти.

Батареи с твердым электролитом имеют следующие основные преимущества:

1) Практически неограниченный срок годности. Батарея с твердым электролитом фирмы Duracell имеет предполагаемый срок годности более 20 лет при нормальных условиях хранения и может достаточно долго храниться при температуре до 120 °С.

2) Широкий диапазон рабочих температур. Элементы с твердым электролитом могут работать при температурах от —40 до 120 °С и выше. Для работы при более высоких температурах следует несколько изменить конструкцию элемента. Величина максимально возможного отбираемого тока зависит от температуры. При 95 °С можно отбирать ток, в 10—20 раз больший, чем при комнатной температуре, тогда как при —40 °С величина максимально отбираемого тока составляет лишь 2—3 % величины тока при комнатной температуре.

3) Высокая удельная энергия. Удельная энергия по объему лежит в диапазоне 300—500 Вт·ч/дм^3, что превышает значение этого параметра для большинства обычных батарейных систем.

4) Высокое удельное напряжение. Малая толщина батареи и высокое значение напряжения на элемент (1,9 В) приводят к большой величине отношения напряжения к толщине батареи.

5) Отсутствуют газовыделение, коррозия и утечки. Это стало возможным благодаря использованию в элементе твердых реагентов и отсутствию химических реакций.

6) Герметичная конструкция без утечек. Для изготовления любой батареи требуется лишь одна операция герметизации.

7) Безопасность эксплуатации. Ни короткое замыкание, ни реверсирование напряжения не приводят к повышению давления или к химической реакции.

8) Транспортабельность. Малый вес металлического лития (0,15 г/элемент) позволяет беспрепятственно применять в переносных устройствах батареи, состоящие даже из трех элементов.

В батарее с твердым электролитом фирмы Duracell использованы следующие вещества:

анод — пластина из лития высокой чистоты (Li);

катод — смесь иодистого свинца (PbI_2), сульфида свинца (PbS) и свинца (Pb);

электролит — смесь иодистого лития (LiI) и активированной окиси алюминия (Al_2O_3).

На аноде литий теряет электроны и образует ионы Li^+. Эти ионы мигрируют через слой твердого электролита, а электроны проходят по внешней цепи, чтобы достичь катода. На

катоде ионы Li^+ вступают в реакцию со сложными веществами катода и приходящими электронами, образуя продукты реакции. Реакции разряда могут быть выражены следующими уравнениями:

$$2Li + PbI_2 \longrightarrow 2LiI + Pb,$$
$$2Li + PbS \longrightarrow Li_2S + Pb.$$

Иодистый литий всегда является чисто ионным проводником. Ионная проводимость при комнатной температуре составляет 10^{-7} $Ом^{-1}\cdot см^{-1}$. Проводимость может быть увеличена путем добавления к иодистому литию окиси алюминия с сильно развитой поверхностью. Твердый электролит, используемый в этом элементе, имеет ионную проводимость порядка 10^{-5} $Ом^{-1}\cdot см^{-1}$ при комнатной температуре, что позволяет отбирать от элемента токи до 10 мкА/см^2 при 20 °С при высоком коэффициенте использования активных веществ.

Фирма Duracell в настоящее время выпускает дисковые и утолщенные дисковые элементы с твердым электролитом; их номинальный диаметр составляет 29,4 мм, а номинальная емкость равна 350 мА·ч. В табл. 8.21 приведены основные физические и электрические характеристики этих батарей.

Таблица 8.21. **Батареи с твердым электролитом, выпускаемые фирмой Duracell**

Обозначение батареи	305127	305159
Номинальное напряжение, В	2,0	4,0
Количество элементов в батарее	1	2
Номинальная емкость, мА·ч [1]	350	350
Размеры:		
диаметр, мм	28,9±0,13	29,7+0,13 −0,05
высота, мм	2,54+0,25 −0,13	5,84±1,8
объем, см^3	1,44	4,04
масса, г	7,25	15,85

[1] Нормировано при разряде током 1 мкА при 21 °С.

Батареи с твердым электролитом фирмы Duracell предназначены главным образом для использования в устройствах с малым потреблением энергии и длительным сроком службы. Их условия эксплуатации должны соответствовать тем, которые установлены фирмой-изготовителем. В случае если эти условия нарушаются, элементы с твердым электролитом способны выдержать короткое замыкание или реверсирование напряжения. Элемент не взорвется из-за повышения давления или химической реакции. Длительное короткое замыкание приведет фактически лишь к появлению зазора между электродом и электролитом, и элемент перестанет действовать.

Для элементов с твердым электролитом рекомендуется соблюдать следующие правила эксплуатации и меры предосторожности:

1) Батарею с твердым электролитом можно разряжать при температуре до 125 °С и хранить с малыми потерями емкости при температуре до 200 °С. Однако, чтобы предотвратить ухудшение характеристик, следует избегать хранения при очень высоких температурах. Воздействие температур выше 200 °С может вызывать вздутие и нарушение герметичности элемента. Батарею не следует сжигать до тех пор, пока не будут выполнены необходимые операции и не приняты соответствующие меры предосторожности в том месте, где происходит сжигание.

2) Для снятия характеристик батарей следует использовать вольтметры с большим входным импедансом — выше 10^9 Ом. Батареи с напряжением на разомкнутых электродах менее 10 В могут быть проверены путем кратковременного подключения измерительного прибора с входным импедансом 10^7 Ом. Длительные измерения при помощи такого прибора приведут к постепенному уменьшению напряжения вследствие поляризации батареи.

3) Следует принимать меры предосторожности против возможного шунтирования выводов батареи руками или пальцами. Такое шунтирование эквивалентно подсоединению к батарее нагрузки порядка 10^5 Ом, которая вызывает разряд батареи током соответствующей величины. Чем выше напряжение батареи, тем больше неблагоприятный эффект от такого шунтирования и, следовательно, тем большее время потребуется для того, чтобы напряжение на разомкнутых электродах достигло первоначального уровня. При таком случайном кратковременном шунтировании не возникает необратимых ухудшений свойств батареи.

4) Батареи следует защищать в случае, если влажность окружающего воздуха может повыситься выше точки росы, что приводит к конденсации влаги между выводами батареи. Такая конденсация вызывает электрическое шунтирование, эквивалентное короткому замыканию и отключению батареи от схемы.

5) Батарея — это устройство с относительно высоким импедансом, поэтому токи короткого замыкания относительно малы. Низкая скорость процесса разряда этой системы определяется малой скоростью диффузии ионов в твердом электролите. Слишком быстрый разряд, например короткое за-

мыкание, приводит к такому быстрому растворению лития с анода в поверхность электролита, что могут образоваться необратимые вакансии. Продолжительное короткое замыкание, например в течение 30 мин, может привести к полной потере элементом работоспособности.

6) При работе с батареей, припаивании контактов и т. д. следует принять меры, чтобы не нанести механического повреждения стеклянной герметизации выводов. Потеря герметичности приведет к полной потере батареей работоспособности.

7) Элементы не следует вскрывать, сдавливать, прокалывать или наносить им какие-либо иные повреждения.

В.В.4. ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛИТИЙ — ХРОМАТ СЕРЕБРА

Серию этих элементов напряжением 3,1 В производит фирма SAFT. Элементы цилиндрической конструкции имеют значения емкости 130—3100 мА·ч, а элементы прямоугольной конструкции — 2090—2450 мА·ч (табл. 8.22).

Таблица 8.22. **Элементы системы литий — хромат серебра производства фирмы SAFT**

Обозначение элемента	Диаметр, мм	Высота, мм	Емкость, мА·ч	Удельная энергия, Вт·ч/дм³
LI 114	11,6	5,4	130	550—750
LI 210	21,0	9,2	810	550—750
LI 273	27,3	7,9	1220	550—750
LI 335/6	35,5	6,0	1750	550—750
LI 335/10	35,5	6,0	3100	550—750
LIR 123	43×8	23,0	2090	550—750
LIR 132	43×8	32,0	2450	550—750

Отличительными чертами этих элементов являются их высокая надежность (частота отказов менее $0{,}7\cdot10^{-8}$), второе «плато» на разрядной кривой, которое является указанием на конец срока службы, возможность отдавать токи до 100 мкА и невысокий внутренний импеданс. Элементы на основе системы литий — хромат серебра используются в кардиостимуляторах и других вживляемых в человеческий организм приборах, высоконадежных устройствах защиты памяти для инерциальных систем навигации и в других системах.

В.В.5. ДИСКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛИТИЙ — ВИСМУТАТ СВИНЦА

Этот тип элементов выпускает фирма SAFT. Они имеют номинальное напряжение 1,5 В, высокую удельную энергию

(400—500 Вт·ч/дм³, или 90—150 Вт·ч/кг), большой ожидаемый срок годности и взаимозаменяемы с обычными дисковыми элементами номинальным напряжением 1,5 В, изготовленными в соответствии со стандартом МЭК. Низкое внутреннее сопротивление позволяет использовать их в качестве источника питания аналоговых кварцевых электронно-механических наручных часов и других импульсных электронных устройств. Технические характеристики этих элементов во многих случаях делают их взаимозаменяемыми с используемыми в настоящее время традиционными окисносеребряными и окиснортутными дисковыми элементами. Скорость саморазряда дисковых элементов на основе системы литий — висмутат свинца составляет 2—3 % в год.

Рабочие температуры элементов лежат в интервале $-10 \div +45$ °С. От элемента можно отбирать импульсы тока до 500 мкА. Устройства, в которых применяются эти элементы, — кварцевые электромеханические наручные часы и электронные часы с индикатором на жидких кристаллах, а также фотоаппараты, калькуляторы, научные приборы и др. Фирма SAFT выпускает дисковые элементы на основе системы литий — висмутат свинца напряжением 1,5 В в трех модификациях: емкостью 185 мА·ч (тип LP1154), 110 мА·ч (тип LP1136) и 50 мА·ч (тип LP1121).

9

БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЛИТИЙ — ИОД

Фирма Catalyst Research с 1972 г. выпускает батареи на основе системы литий — иод, которые первоначально предназначались для питания кардиостимуляторов и других устройств, вживляемых в человеческий организм. Фирма производит 70 % потребляемых в мире батарей для кардиостимуляторов. Согласно документации фирмы, емкость этих батарей в четыре раза превышает емкость ртутно-цинковых батарей для кардиостимуляторов типа RM-1 фирмы Mallory (см. гл. 4). Кроме того, литий-иодная батарея при температуре человеческого тела работает более эффективно, чем при комнатной температуре. Поскольку при химической реакции между иодом и литием выделения газа не происходит, элементы можно герметизировать. Отличительной чертой батарей этого типа является их исключительно высокая надежность. К моменту завершения работы над этой книгой фирма Catalyst Research выпустила 150 000 батарей для кардиостимуляторов, и среди них не оказалось ни одной негодной или преждевременно вышедшей из строя.

Батареи отличаются от других типов литиевых батарей следующими особенностями:

1. Не содержат жидкого электролита.
2. Не требуют использования специального материала — сепаратора для предотвращения контакта анода с катодом.
3. Общий объем элемента остается неизменным в процессе разряда, не происходит ни вздутия, ни усадки элемента.
4. Элемент герметизирован при помощи сварки металлических частей и вывода электрических контактов через спаи металл — стекло.
5. При реакции не образуется газов, и нет выброса газов из элемента.

В серии «800» элементов, выпускаемых фирмой Catalyst Research, использован принцип «литиевой оболочки». Конструкция элемента содержит расположенный по центру катодный токовый коллектор и литиевую оболочку, которая

окружает его и удерживает иодный деполяризатор (рис. 9.1). Вещество деполяризатора коррозионно-активно по отношению к нержавеющей стали, из которой изготовлен корпус элемента, поэтому для увеличения срока службы следует избегать контакта деполяризатора с корпусом. Второй защитный слой, выполненный из фторуглеродного пластика, окружает литиевую оболочку, изолируя ее от корпуса и обеспечивая

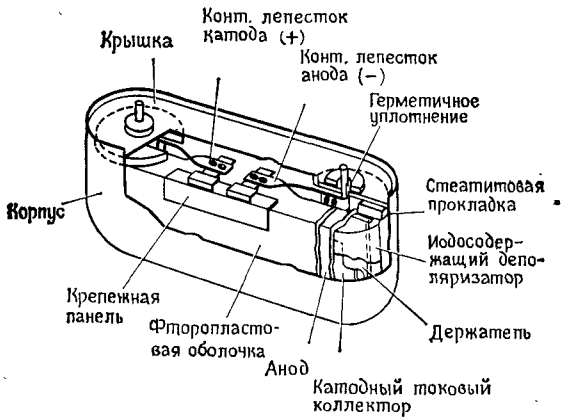


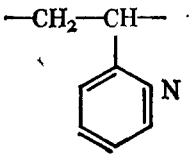
Рис. 9.1. Элемент на основе системы литий — иод модели 802/23 фирмы Catalyst Research.

Крышка и корпус выполнены из нержавеющей стали 304, держатель — из изолирующего материала, крепежная панель изготовлена из политетрафторэтилена, анод — из металлического лития.

вторую оболочку для помещения деполяризатора. Коррозионное воздействие иодосодержащего деполяризатора на нержавеющую сталь меньше, чем деполяризаторов на основе более активных галогенов, таких, как бром или хлор.

Факторы, которые приводят к выходу батареи из строя, воздействуют довольно медленно. Работа батареи не нарушается при повреждении сепаратора, поскольку слой иодистого лития имеет свойство самовосстанавливаться. Не существует также опасности утечки электролита, так как последний находится в твердом состоянии.

Электрохимическая ячейка формируется тогда, когда литиевый анод приходит в контакт с катодом, образованным смесью иода и поли-2-винилпиридинового (P2VP) деполяризатора, имеющего формулу



Первоначальная химическая реакция между этими компонентами приводит к образованию третьей компоненты, необходимой для любой ячейки, — электролита (в данном случае твердого иодистого лития). Когда осуществляется отбор тока от ячейки, литий окисляется, а иод восстанавливается с образованием дополнительного количества иодистого лития. Протекают следующие реакции:

на аноде

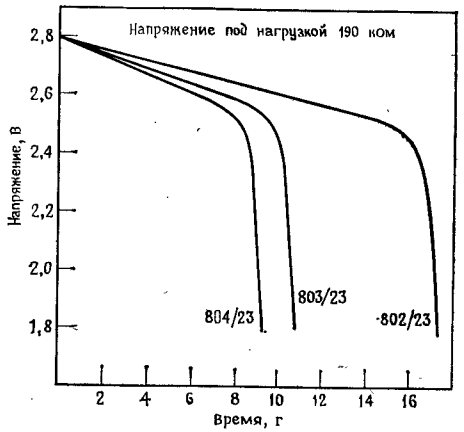
$$2Li = 2Li^+ + 2e^-, \quad (1)$$

на катоде

$$2Li^+ + 2e^- + P2VP \cdot nI_2 = P2VP \cdot (n-1)I_2 + 2LiI. \quad (2)$$

Суммарная реакция

$$2Li^+ + P2VP \cdot nI_2 = P2VP \cdot (n-1)I_2 + 2LiI. \quad (3)$$



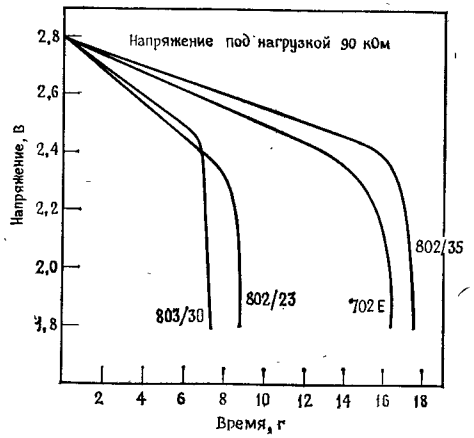


Рис. 9.2. Разрядные кривые литий-иодных элементов типа Lithiode TM (фирма Catalyst Research), экстраполированные на основании данных, полученных в результате пятилетних испытаний.

Иодистый литий, который служит как электролитом, так и сепаратором, накапливается по мере разряда элемента, увеличивая его внутреннее сопротивление. В результате этого разрядная кривая с самого начала идет с наклоном (рис. 9.2). В дальнейшем, когда поли-2-винилпиридин потеряет большую часть иода, начнется рост сопротивления самого катода. Это проявляется в виде излома, который можно видеть на графике зависимости напряжения от времени для батареи, предназначенной для кардиостимулятора (рис. 9.2). Резкий излом — это аппроксимация наихудшего варианта разрядной характеристики. При разряде на нагрузку 90 кОм должно пройти не менее 5 мес, прежде чем импеданс элемента возрастет с 15 до 40 кОм.

Все технические данные батареи модели 802/23 для кардиостимулятора фирмы Catalyst Research приведены в табл. 9.1. Проектируемые электрические характеристики на период 18—20 лет показаны на рис. 9.3.

Таблица 9.1. **Характеристики батарей на основе системы литий — иод модели 802/23 фирмы Catalyst Research**

Номинальные размеры, мм	23,0 × 45,1 × 13,5
Объем, см³	11,2
Масса, г	30
Плотность, г/см³	2,7
Площадь литиевого электрода, см²	17,1
Напряжение, В	2,8 (без нагрузки)
Рекомендуемый диапазон токов, мкА	1—50 при 38 °С
Номинальная емкость, А·ч	2,3
Энергия, Вт·ч	6,0
Удельная энергия, Вт·ч/дм³	530 (200 Вт·ч/кг)
Саморазряд, %	<10 за 10 лет
Герметизация	Микроплазменная сварка с металлостеклянными гермовыводами. Утечка гелия, измеренная по стандартной методике гелиевым течеискателем, не превышает $4{,}6 \cdot 10^{-8}$ мм³ · МПа · с⁻¹.
Сопротивление изоляции, Ом	$>10^{10}$ от ввода до корпуса
Температура хранения, °С	40—50, кратковременно до 60

На рис. 9.4 приведены разрядные характеристики элемента S23P-15. Наибольший из изготавливаемых элементов данной серии — это элемент D27P-20 емкостью 0,25 А·ч, который можно использовать в устройствах с индикацией на

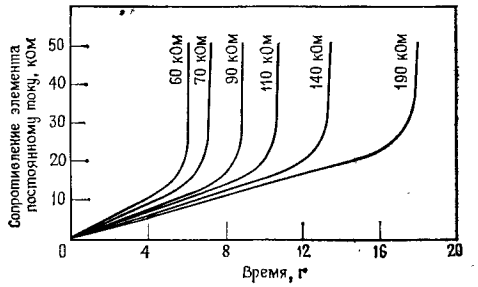


Рис. 9.3. Экстраполированные на 20-летний период характеристики литий-иодного элемента для кардиостимулятора модели 802/23 фирмы Catalyst Research.

жидких кристаллах, имеющих большой срок службы, или в электронно-механических часах с шаговым двигателем. Этот элемент может быть идеальным источником питания для калькуляторов, где при величине отбираемого тока, равной 50 мкА, он смог бы обеспечить работу в течение 5000 ч на протяжении более чем 10-летнего периода эксплуатации. Характеристики элемента D27P-20 приведены на рис. 9.5. Фирма

Catalyst Research выпускает также батареи емкостью 460 мА·ч (тип 2736) и 870 мА·ч (тип 3740).

Литий-иодные батареи обеспечивают удельную энергию по объему, превосходящую в 1,5—2 раза тот же показатель для

Масса, г	4,25
Напряжение, В	2,8 (без нагрузки)
Ток, мкА	0—20 при 25 °С; в импульсе допустимы токи до нескольких сотен микроампер
Номинальная емкость, мА·ч	100
Саморазряд, А·ч (измерен методом микрокалориметрии)	<0,01 за 10 лет при 25 °С
Конструкция	Корпус выполнен из нержавеющей стали 304, герметизирован лазерной сваркой; герметизация с использованием стеклянных гермовыводов.
Номинальные рабочие температуры, °С	0 ÷ 50 —10 при меньших отбираемых токах

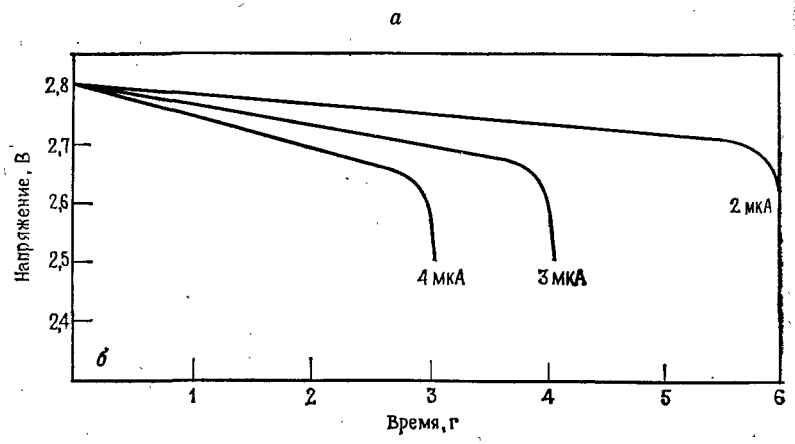


Рис. 9.4.

а — основные параметры литий-иодного элемента типа S23P-15 (емкость 0,1 А·ч) фирмы Catalyst Research; *б* — экстраполированные разрядные характеристики этого элемента при 25 °С.

обычных батарей, а удельная энергия по массе батарей в три раза выше, чем у обычных дисковых батарей, например ртутно-цинковых. Еще более важным является такое свойство, как способность сохраняться в течение 10 лет, в то время как обычные батареи имеют ожидаемый срок хранения 2—3 г. Это свойство открывает существенно новые возможности как перед пользователями, так и перед конструкторами. Например, становится возможным создать калькулятор или наручные часы с 10-летним непрерывным сроком службы.

Проведенные недавно ускоренные испытания показали, что элементы на основе системы литий — иод можно перезаряжать при условии ограничения зарядных токов теми же максимальными значениями, которыми ограничены разрядные

Масса, г	< 6,0
Напряжение, В	2,8 (без нагрузки)
Ток, мкА	0—50 при 25 °С; в импульсе допустимы токи до нескольких сотен микроампер
Номинальная емкость, мА·ч	250
Саморазряд, А·ч (измерен методом микрокалориметрии)	< 0,02 за 10 лет при 25 °С
Конструкция	Корпус выполнен из нержавеющей стали 304, герметизирован лазерной сваркой; герметизация с использованием стеклянных гермовыводов.
Номинальные рабочие температуры, °С	0 ÷ 50 —10 при меньших отбираемых токах

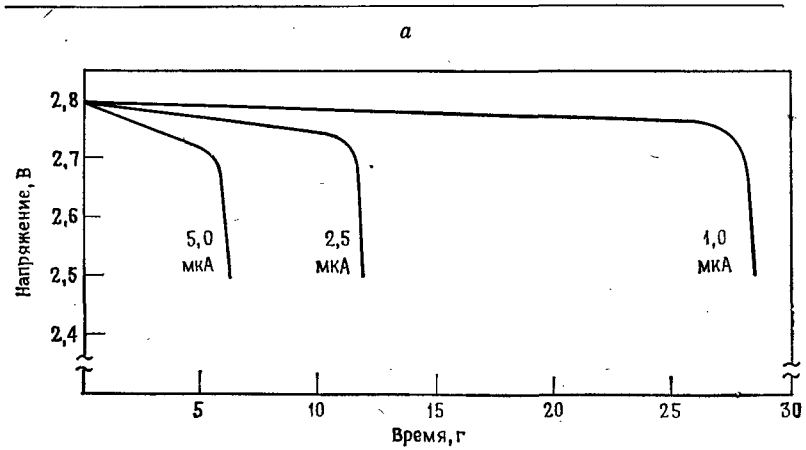


Рис. 9.5.

а — основные параметры литий-иодного элемента D27P-20 (емкость 0,25 А·ч) фирмы Catalyst Research; *б* — экстраполированные разрядные характеристики элемента того же типа (диаметр равен 23 мм, толщина 2 мм, емкость составляет 260 мА·ч) при 25 °С, полученные на основании данных о результатах пятилетних испытаний.

токи. Такое свойство можно использовать для создания источников питания для часов или калькуляторов, подзаряжаемых от солнечного света.

В настоящее время выпускается много различных литиевых элементов, предназначенных для часов и калькуляторов, однако конструктор должен быть внимательным при выборе подходящего литиевого элемента для проектируемого им устройства. Должны быть приняты во внимание такие

факторы, как надежность, удельная энергия, внутреннее сопротивление и герметичность. Поскольку почти все литиевые элементы наилучшим образом работают тогда, когда имеют большую площадь электродов, фирма Catalyst Research предложила стандартные размеры для дисковых литиевых элементов, включающие три значения диаметра (19, 23 и 27 мм) и набор значений толщины от 1 до 3 мм через каждые 0,5 мм (табл. 9.2). Преимущества этого стандарта для конструирования очевидны.

Таблица 9.2. **Батареи немедицинского назначения на основе литий — иод, выпускаемые фирмой Catalyst Research**

Тип	Диаметр, мм	Толщина, мм	Емкость, мА·ч
S19P-10	19	2,0	110 [1]
S19P-20	19	3,0	120
S23P-15	23	1,5	120 [1]
S27P-15	27	1,5	140 [1]
S27P-20	27	3,0	250
S27P-20	27	2,0	260 [2]

[1] Односторонняя конструкция, только одна внутренняя поверхность лития контактирует с иодосодержащим деполяризатором.

[2] Двусторонняя конструкция, поэтому поддерживаются более высокие токи благодаря увеличенной площади поверхности электродов.

Литий-иодный элемент — это пример высоконадежного литиевого источника энергии, хорошо зарекомендовавшего себя в кардиостимуляторах. Элемент выпускается в нескольких модификациях. Одни из них предназначены для наручных часов (с индикацией на жидких кристаллах и электронно-механических с шаговым двигателем), другие — для калькуляторов с индикаторами на жидких кристаллах и малым потреблением тока. При применении элемента в часах срок его службы может достигать 10 лет, тогда как при использовании в калькуляторах суммарное время работы элемента составляет 5000 ч за период 10 лет.

Недавно фирма Catalyst Research опубликовала предварительные технические данные батареи емкостью 7,5 А·ч для питания приборов, предназначенных для каротажа нефтяных скважин (модель 407220, типоразмер D). Батарея помещается в цилиндрический контейнер диаметром 38 мм и высотой 57 мм, загерметизированный при помощи сварки корпуса с крышкой, снабженной металлостеклянным гермовыводом, предварительно изготовленным прессованием таблетки из

стеклопорошка и последующим спеканием с металлической вставкой. Напряжение элемента (на разомкнутых электродах) равно 2,8 В, максимальная рабочая температура составляет ~150 °С, скорость саморазряда равна ~5 % за 10 лет при 25 °С. Применявшаяся ранее батарея типа D34 может поддерживать напряжение 2,8 В в течение 6 нед непрерывного разряда током 10 мА при 130 °С.

Выпускается также элемент типоразмера D модели CRC Li D2,8 (2,8 В) емкостью 14 А·ч при 25 °С; его рабочие температуры лежат в диапазоне —20 ÷ +50 °С. Элемент имеет следующие габариты: высота 33,8 мм, толщина 57,1 мм; его масса равна 80 г. Скорость саморазряда элемента не превышает 5 % в год, он выдерживает сильные удары, вибрации и короткие замыкания при температурах до 150 °С. При этом не происходит стравливания внутреннего давления, утечки активных веществ, вздутия или взрыва. Напряжение на элементе остается постоянным и равным 2,8 В при разряде в течение 18 мес током 1 мА (при 25 °С) и находится в пределах 2,7—2,8 В при разряде током 2 мА в течение 8 мес.

10

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЗЕРВНЫЕ ТЕРМИЧЕСКИ АКТИВИРУЕМЫЕ БАТАРЕИ

Тепловые электрохимические батареи начали изготавливаться с 1946 г. для применения в устройствах, где требуются большая мгновенная мощность, короткое время работы, высокая удельная энергия и срок годности (согласно документации различных производителей) от 12 до 20 и более лет. Тепловые батареи содержат электрохимическую систему, которая остается инертной до тех пор, пока не будет активирована при помощи нагрева. Эти батареи можно хранить как подключенными к нагрузке, так и отключенными от цепи. Используемый в элементе электролит представляет собой смесь безводных солей, которые проводят ток только в расплавленном состоянии. Источник тепла, который можно привести в действие при помощи электрического или механического запала (ударного капсюля), является неотъемлемой составной частью тепловой батареи. Когда батарею инициируют, источник тепла выделяет достаточное количество энергии, чтобы расплавить электролит, и, таким образом, батарея может выработать соответствующее количество электрической энергии. Времена активации достаточно малы (0,3—2,5 с).

Электрохимическая система этой батареи состоит из активного металлического анода (обычно кальциевого или магниевого), электролита из плавленой соли и катода из сильного окисляющего агента в сочетании с токовым коллектором из относительно инертного металла (обычно железа или никеля). Перед активацией электролит представляет собой инертное твердое вещество. Поскольку корпус батареи хорошо герметизирован, порчи электрохимической системы не происходит. Хранение и работа батареи могут осуществляться в широком диапазоне изменений внешних условий. Из-за неизбежных тепловых потерь, приводящих к затвердеванию

электролита, продолжительность активного периода тепловой резервной батареи оказывается достаточно короткой — обычно менее 5 мин. Типичная конструкция батареи показана на рис. 10.1. В этом варианте конструкции катод и электролит объединены в виде гомогенной пластины, состоящей из деполяризатора, электролита и связующего вещества (ДЭС-пластины). Электропроводная нагревательная пластина действует и как источник тепла для элемента, и как межэлементное контактное устройство.

Тепловые батареи имеют чрезвычайно прочную конструкцию и, как было показано, сохраняют работоспособность

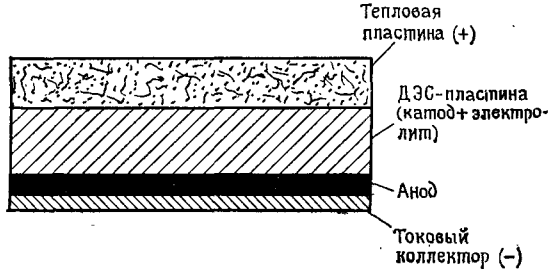


Рис. 10.1. Типичная конструкция тепловой батареи.

после следующего стандартного набора испытательных нагрузок:

Вибрация. Ускорение 30 g, синусоидальные колебания любой ориентации частотой от 20 до 2000 Гц; ускорение 2 g, хаотические колебания любой ориентации частотой 20—2000 Гц.

Ускорение. Продольное 60 g, поперечное 30 g.

Удары. Ускорение 250 g, продольный удар длительностью 15 мс; ускорение 100 g, поперечный удар длительностью 1 мс.

Существенные преимущества дает использование электролита на основе плавленых солей, обычно эвтектической смеси хлористого лития и хлористого калия (массовая доля хлористого лития 61 %) с температурой плавления 352 °С. Во-первых, может быть расширен диапазон рабочих температур по сравнению с температурными условиями работы других систем без заметного ухудшения характеристик. Используя внутренний источник тепла для нагрева электролита выше точки плавления, можно работать в интервале температур окружающей среды от —40 до +70 °С. Указанный интервал может быть расширен до диапазона —50 ÷ +100 °С. Во-вторых, может быть получено высокое напряжение — до 3 В на элемент. В этой батарейной системе может быть использован широкий диапазон напряжений, поскольку в интервале до 3 В не происходит ни окисления, ни восстановления электролита на основе эвтектической смеси хлоридов щелочных

металлов в отличие от систем на основе водных электролитов или даже расплавленных сульфатов щелочных металлов. Более того, электропроводность расплавленных щелочных электролитов существенно выше электропроводности водных электролитов. Эвтектика хлористого лития и хлористого калия при 900 °С имеет удельную электропроводность 2,1 $Ом^{-1} \cdot см^{-1}$ по сравнению с величинами 0,2 $Ом^{-1} \cdot см^{-1}$ для насыщенного водного раствора хлористого натрия и 0,039 $Ом^{-1} \cdot см^{-1}$ для 0,1 Н HCl при 15 °С. Таким образом, в течение ограниченного периода времени батареи с электролитом из расплавленной соли могут обеспечить ток существенно большей величины, чем другие системы.

В большинстве описанных электрохимических систем в качестве анодного материала использован либо магний, либо кальций, причем последний имеет существенное преимущество в отношении величины напряжения на элементе. (Значения напряжения, соответствующие эвтектической смеси электролита, следующие: для кальция 3,17 В, для магния 2,60 В.) В качестве материала катодных токовых коллекторов используют никель или железо, а активным катодным материалом служат хроматы, окись вольфрама, окись железа, пятиокись ванадия и др.

Батареи производства фирмы Catalyst Research

В табл. 10.1 отображена связь между величиной отбираемого тока и временем работы различных типов тепловых батарей общего назначения, выпускаемых фирмой Catalyst

Таблица 10.1. **Характеристики тепловых батарей общего назначения, выпускаемых фирмой Catalyst Research**

Номинальное значение диаметра корпуса, мм	Ток, А		
	для времени работы		
	60 с	120 с	180 с
31,7	0,9	0,3	0,1
38,1	1,5	0,5	0,3
41,1	1,9	0,6	0,4
50,8	2,8	0,9	0,5
57,1	3,8	1,3	0,7
76,2	5,7	2,0	1,3
95,2	9,2	3,0	1,9

Research. Высота батареи определяется мощностью, которую она должна отдавать. Одна и та же мощность может быть обеспечена при нескольких величинах диаметра корпуса, если использовать различные варианты межэлементных соединений (последовательное, параллельное или последовательно-параллельное) для получения желаемой вольт-амперной характеристики. Тепловая батарея — это устройство с низким импедансом, поэтому в течение коротких промежутков времени можно получать токи гораздо большей величины, чем те, которые указаны в таблице.

Фирма Catalyst Research выпускает также быстроактивируемые тепловые батареи. Они используются в устройствах, где требуется автономное питание для запалов, моторов, взрывных устройств и т. п. и допустима предварительная активация батареи.

В табл. 10.2 приведены размеры и параметры некоторых типичных быстроактивируемых батарей, которые разделены на три типа: А — для больших импульсных токов, В — на среднее время работы, С — на большой ток.

Таблица 10.2. **Характеристики быстроактивируемых тепловых батарей, выпускаемых фирмой Catalyst Research**

Тип	Номинальные значения				Время активации, с	Продолжительность работы, с
	диаметра, мм	высоты, мм	напряжения, В	тока, А		
А	12,7	19	10—20	5	0,01	0,5
А	41,1	38,1	20—32	40 [1]	0,03	5 [1]
А	41,1	33,2	12—19	17—19	0,20	0,5 [2]
А	41,1	69,8	24—42	15—25	0,10	5
В	31,7	31,7	12—16	1,0	0,05	30
С	88,9	165,1	28—36	3—4	0,50	105

[1] Может использоваться в электрозапалах при нагрузке сопротивлением 20 Ом, длительности импульса 50 мс и интервале между импульсами 50 мс.
[2] Сопротивление нагрузки равно 0,7 Ом.

Кроме того, фирма Catalyst Research разработала и производит на рынок батареи с высокоэффективной электрохимической системой для использования в устройствах, где требуется большая плотность тока. Эта система Power Cell достаточно гибкая и может функционировать как короткое, так и длительное время. Реализуемая мощность рассматриваемых батарей на 25 % выше, чем мощность тепловых батарей обычных систем. Данные батарей системы Power Cell приведены в табл. 10.3, а на рис. 10.2 дано сравнение их характеристики с характеристикой стандартной тепловой батареи.

Фирма Catalist Research выпускает также высоковольтные тепловые батареи, предназначенные для питания устройств,

Таблица 10.3. **Характеристики тепловых батарей системы Power Cell, выпускаемых фирмой Catalyst Research**

Диаметр, мм	Высота, мм	Напряжение, В	Ток, А	Продолжительность работы, мин	Средняя выходная мощность, Вт
35,5	58,9	26±4	0,7	5,0	—
53,3	76,2	50±7	15,6	0,6	780
53,3	76,2	45±5	45,0	0,25	2025
88,9	88,9	28±4	5,7	15,0	144
88,9	149,8	28±4	16,7	11,5	426 [1]
152,9	101,6	28±4	20,0	14,0	492 [1]

[1] Температура окружающей среды равна 25 °С.

где требуются высокое напряжение и малый ток. Типичные данные этих батарей представлены в табл. 10.4.

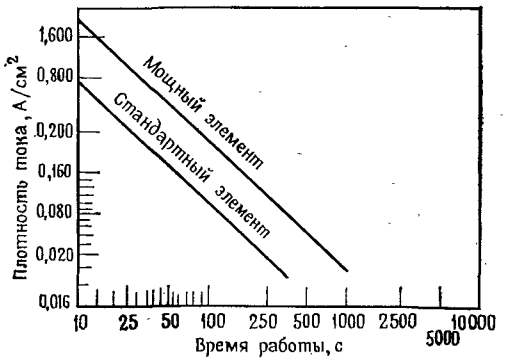


Рис. 10.2. Токовая разрядная характеристика батареи большой мощности фирмы Catalyst Research.

Батареи, выпускаемые фирмой Catalyst Research, способны работать при температуре от —54 до +73 °С, поперечных

Таблица 10.4. **Характеристики высоковольтных тепловых батарей, выпускаемых фирмой Catalyst Research**

Диаметр, мм	Высота, мм	Выходное напряжение, В	Ток, А	Продолжительность работы, с
45,7	31,7	140±4	0,014	30
		1,4±0,1	0,40	30
		8,2±0,3	0,07	30
55,3	55,3	276±13	0,001	30
		56±8	0,030	30
76,2	86,8	356±24	0,120	30

ускорениях до 2500 g, ударах до 200 g и вибрациях до 30 g, а также при вращении со скоростью 400 об/с.

Активация батареи путем прокаливания или при помощи внутреннего источника тепла может быть осуществлена различными методами.

1. *Электрический метод.* Выпускаются поджигающие и запальные устройства с накаливаемыми проволочками, рассчитанные на высокие и низкие энергии. Ниже указана энергия, необходимая для поджигания при помощи двух из этих устройств.

	Без огня	*С полным воспламенением*
Запаливание	0,25 А	0,5 А
	5 с	50 мс
Прокаливание	1 А	3,5 А
	5 мин	20 мс

2. *Механический метод.* В тепловых батареях широко используются капсюли M42G, аналогичные тем, которые применяют в патронах калибра 9,6, но с увеличенным зарядом. Пружина или приводимый взрывом боек обеспечивают необходимую для запала капсюля энергию 0,18 Дж. При другом методе механической активации используется автономный инерциальный стартер, который приводится в действие приложением к батарее усилия 300—600 г.

Конструкции тепловых батарей

Чашечный элемент

На рис. 10.3 показано устройство элемента чашечной конструкции. Это первый вариант конструкции промышленно изготавливаемого теплового элемента, он до сих пор используется во многих устройствах в США и Великобритании. Для конструкции характерно то, что она содержит один общий анод и две пластины с деполяризатором; таким образом, площадь элемента удваивается. Между анодом и деполяризатором помещена стеклоткань, пропитанная электролитом из смеси LiCl и KCl. Источником тепла является смесь циркония и хромата бария, которая при сгорании образует изолирующую керамическую массу. Корпус элемента служит выводом катода и используется для межэлементных соединений. В этом варианте конструкции в качестве деполяризатора обычно используют окись вольфрама и хромат кальция.

Элемент открытой конструкции с матричной «электролитной» тканью

Усовершенствование в технологии изготовления чашечных элементов позволило отказаться от использования чашки

(корпуса элемента). Конструкция элемента, показанная на рис. 10.3, *б*, имеет много общего с конструкцией чашечного

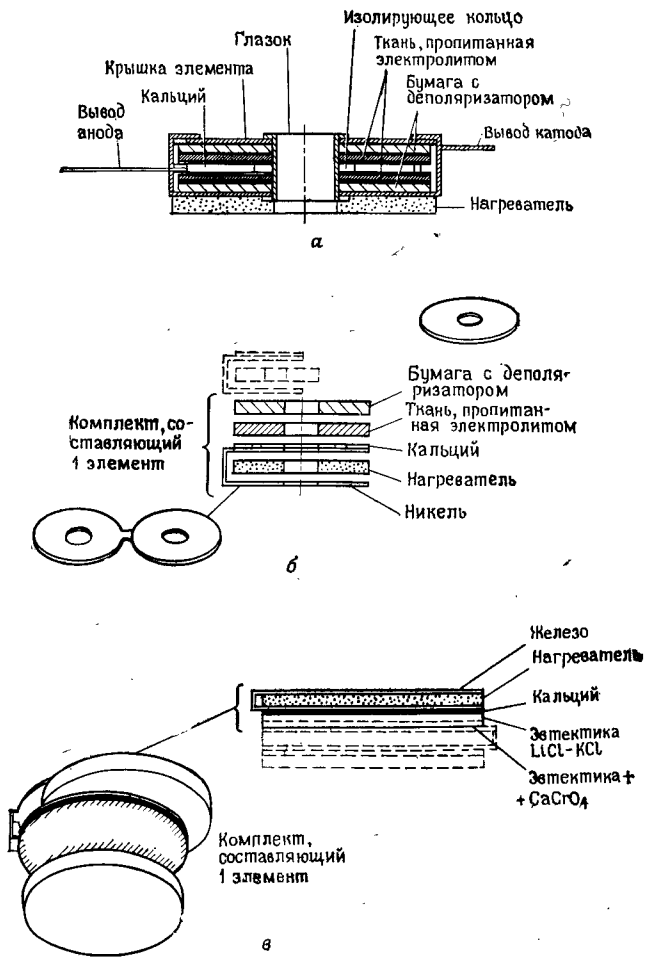


Рис. 10.3. Различные варианты конструкции тепловых элементов.

а — закрытый (чашечный) элемент с WO_3; *б* — открытый элемент с WO_3; *в* — открытый элемент многослойной конструкции; *г* — элемент с застеклованным деполяризатором V_2O_5; *д* — пластинчатый элемент на основе системы Mg/V_2O_5; *е* — элемент системы тепловая пластина — ДЭС-пластина.

элемента; в частности, использованы ткань, пропитанная электролитом, и пластины из волокон деполяризатора (например, окиси вольфрама). Гантелевидная прокладка, на одну сторону которой нанесен слой кальция, сгибается, охватывая нагреватель (диск из тепловой бумаги), и служит в качестве межэлементного соединения.

Переход к бескорпусной конструкции стал возможен благодаря уменьшению количества электролита, а также ограничению области применения батареи теми устройствами, ко-

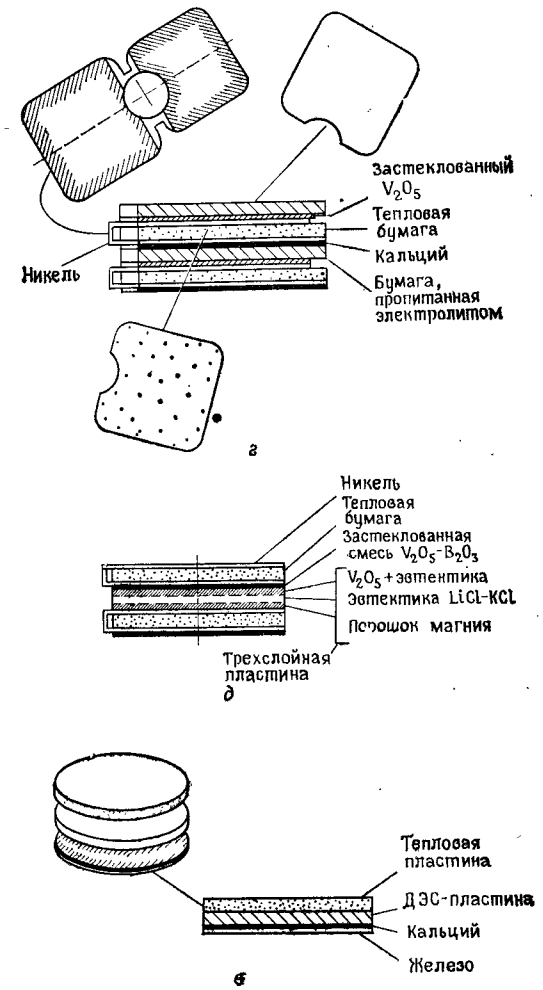


Рис. 10.3 (продолжение).

торые испытывают малые или умеренные динамические нагрузки. Элемент предназначен для работы при малых или средних величинах отбираемого тока (меньше 50 мА/см^2) в течение 1—1,5 мин. Существенной особенностью этой конструкции является малая толщина элемента (~1,5 мм), включая нагреватель. Однако количество электричества, снимаемого с единицы площади элемента, ограничено значе-

ниями, более низкими, чем в случае элемента чашечной конструкции, поскольку последний имеет две деполяризующие пластины и, следовательно, вдвое большую рабочую площадь.

В элементе открытой конструкции используются деполяризатор из бихромата калия и ткань из стекловолокна, пропитанного электролитом из смеси LiCl и KCl. Этот деполяризатор позволяет получать очень высокое значение плотности тока в течение временнóго периода от долей секунды до 5 с.

Элемент многослойной конструкции (с чередованием активных пластин и тепловой бумаги)

Благодаря усовершенствованию технологии изготовления элементов с матричными электролитными пластинами стало возможным закладывать в элемент достаточное количество электролита и деполяризатора для получения такой же емкости, как и у элементов чашечной конструкции, однако при этом конструкция элемента существенно упрощается. Связующее вещество, добавляемое к электролиту, обеспечивает сохранение формы активных пластин во время работы тепловой батареи.

Один из примеров конструкции такого элемента показан на рис. 10.3, *в*. Двухслойная пластина состоит из слоя электролита (смесь LiCl и KCl) со связующим веществом (например, каолином или мелкодисперсной окисью кремния) и второго слоя из $CaCrO_4$ с небольшой добавкой электролита. В качестве анода используется металлический кальций, а источником тепла в этом элементе является тепловая бумага на основе циркония и хромата бария, помещенная внутрь гантелевидной прокладки, служащей в качестве межэлементного соединения.

Элемент с застеклованным деполяризатором

В тепловой батарее, конструкция которой показана на рис. 10.3, *г*, одна сторона никелевой пластины покрыта застеклованной пятиокисью ванадия с флюсом из окиси бора. На другую сторону этой пластины нанесен слой кальция. Полученная композиция складывается пополам, охватывая слой тепловой бумаги. В результате образуется ячейка с напряжением на разомкнутых электродах $\sim 3{,}2$ В. Слой асбестовой ткани служит матрицей, которую пропитывают электролитом. Собранный элемент имеет квадратную форму и толщину 1 мм. Малая толщина и высокое напряжение элемента позволяют получить высокое значение напряжения на единицу толщины сборки из этих элементов.

На рис. 10.3, *д* показан пластинчатый элемент на основе системы $Mg/LiCl—KCl/V_2O_5—B_2O_3$.

Элемент типа тепловая пластина — ДЭС-пластина

В 1959 г. фирма Catalyst Research разработала конструкцию теплового элемента, который не нуждался в отдельном слое электролита; вместо этого использовалась гомогенная пластина из смеси LiCl—KCl, $CaCrO_4$ и каолинового связующего вещества. Гомогенная конструкция исключает возможность неправильной сборки при изготовлении, которая существует в случае использования многослойной конструкции. Вскоре после этого элемент аналогичной конструкции был разработан фирмой Sandia. В этом элементе в качестве связующего вещества использовалась микропористая окись кремния марки Cab-O-Sil. На рис. 10.3, *е* показана усовершенствованная конструкция элемента этого типа, где в качестве источника тепла применяется пластина из смеси $Fe—KClO_4$ с большим содержанием железа, а активные вещества собраны в гомогенную ДЭС-пластину (деполяризатор, электролит и связующее вещество). Преимуществами такой конструкции являются простота сборки, дешевизна, высокая механическая стабильность и возможность более длительной работы по сравнению с вариантом конструкции с использованием тепловой бумаги и двухслойной пластины. После сгорания тепловая пластина становится электропроводной, обеспечивая межэлементные электрические контакты. Тепловая пластина горит медленнее, чем тепловая бумага, поэтому батареи, в которых используются тепловые пластины, обычно начинают отдавать ток в нагрузку на $\sim 0{,}2$ с позже, чем батареи, где используется тепловая бумага. В то же время тепловая пластина после сгорания сохраняет первоначальную форму, и поскольку продукты ее сгорания имеют более высокую энтальпию, чем пепел тепловой бумаги, они служат в качестве теплового резервуара, сохраняя значительный запас тепла, способствуя достижению более высокой максимальной температуры и отдавая запасенное тепло элементу, когда начинается остывание электролита.

Батареи производства фирмы Eagle-Picher

Фирма Eagle-Picher является одним из главных производителей тепловых батарей. Выпускаемые батареи могут иметь различные форму и размеры. Существуют элементы размером $1{,}25 \times 12{,}5$ мм^2 и многоэлементные батарейные блоки диаметром до 99 мм и толщиной до 127 мм. Небольшие по размерам батареи характеризуются малым временем активации и способностью отдавать значительные импульсные токи. Большие батареи обеспечивают стабильное напряжение в течение периода длительностью до 4 мин. Выпускаемые в настоящее время батареи перекрывают диапазон напряжений от 2,5 до 450 В.

Напряжение разомкнутой цепи батареи составляет величину 2,3—3,0 В на элемент и суммарную величину от 2,3 до 500 В. Нестабильность напряжения при разряде на нагрузку с постоянным омическим сопротивлением не превышает 10 %

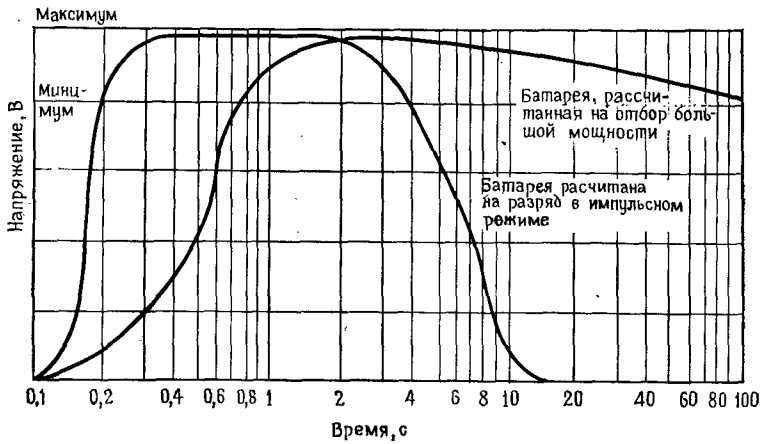


Рис. 10.4. Типичные разрядные характеристики тепловых батарей, выпускаемых фирмой Eagle-Picher.

номинального напряжения. Время работы батарей находится в диапазоне 1—300 с. На рис. 10.4 приведены типичные разрядные характеристики тепловых батарей фирмы Eagle-Picher. Технические характеристики этих батарей приведены ниже.

Емкость при высокой скорости разряда	10 А в течение 60 с
Емкость при низкой скорости разряда	250 мА в течение 300 с
Время активации	100 мс — 3,5 с
Диапазон рабочих температур	—54 ÷ +93° С
Температура хранения	—54 ÷ +74° С
Срок хранения	До 10 лет при максимальной температуре
Вибрации	Выдерживает 300 g в любом направлении
Удары	Выдерживает 3000 g в продольном направлении
Ускорение	Выдерживает 450 g в продольном направлении

Тепловые батареи фирмы Eagle-Picher содержат электролит из хлористого калия и хлористого лития, смешанных в

эвтектическом соотношении для получения заданной точки плавления. Положительный электрод состоит из хромата кальция, а отрицательный — из чистого металлического кальция. Токовые коллекторы и межэлементные соединения изготовлены из чистого железа, чистого никеля или железо-никелевого

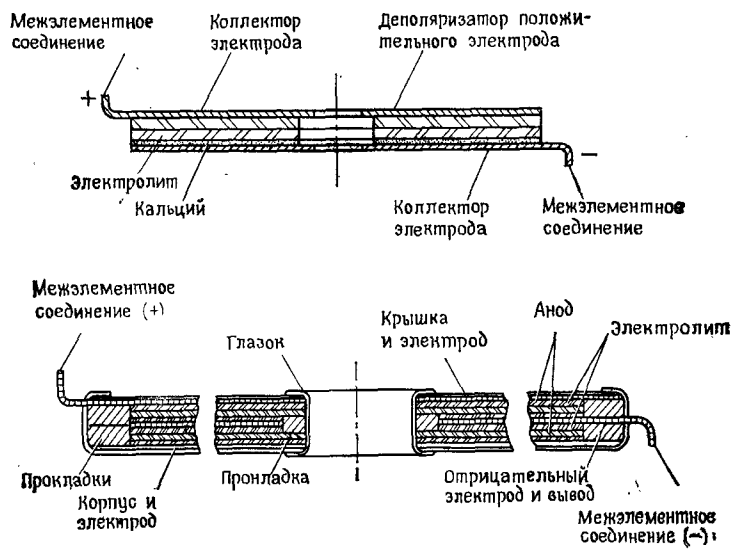


Рис. 10.5.
а — конструкция пластинчатого элемента; *б* — конструкция чашечного элемента производства фирмы Eagle-Picher.

сплава. Источник тепла представляет собой смесь непроводящего порошка циркония и электропроводного порошка железа. Фирма Eagle-Picher выпускает два варианта конструкции этих батарей: пластинчатую и чашечную (рис. 10.5).

Пластинчатая конструкция

При изготовлении батареи мелко раздробленное неорганическое связующее вещество, служащее сепаратором, смешивают с тонко помолотым электролитом из эвтектической смеси солей, а затем прессуют в виде пластин. Мелко помолотый активный материал (например, хромат кальция) может быть либо смешан со своим специальным связующим, либо служить подложкой для другой пластины. Элемент пластинчатого типа может быть одно- или двухслойным.

Чашечная конструкция

В этом случае электролит и сепаратор приготавливают путем пропитки стеклоткани расплавленным солевым электро-

литом эвтектического состава; после затвердевания при помощи штампа вырубаются пластины соответствующей формы, которые закладывают в элемент. Активный материал положительного электрода перемешивается со стеклянными или кварцевыми нитями, образовавшаяся масса раскатывается до толщины бумаги, из которой штампом вырубают детали для закладки в элемент. Подготовленные детали укладываются в чашку-корпус элемента; полностью готовый корпус содержит два параллельно включенных элемента с расположенным посредине общим отрицательным электродом.

Характеристики некоторых батарей из широкой серии тепловых батарей, выпускаемых фирмой Eagle-Picher, приведены в табл. 10.5.

Батарея EAP-6273 напряжением 12 В была специально сконструирована для обеспечения экстренного запуска двигателей военных транспортных средств и самолетов. В основе конструкции этой батареи лежат восемь параллельно включенных блоков элементов диаметром 152,4 мм. Рабочая площадь каждого блока составляет 181 см^2, что в сумме для восьми блоков составляет величину 1449 см^2 активной рабочей площади. При плотности разрядного тока 0,7 А/см^2 батарея EAP-6273 может обеспечить ток 1000 А. Такая величина тока — это далеко не предел для стандартной системы $CaCrO_4$/Ca. Каждый элемент изготавливается в виде единого блока диаметром 152,4 мм и толщиной 2,2 мм с центральным отверстием диаметром 12,7 мм на базе стандартной двухслойной (ДЭС) конструкции. Прессование проводится при усилии $18{,}1 \times 10^4$ кг, или ~ 1000 кг/см^2.

Коллектор изготавливается из стандартной нержавеющей стали 304 толщиной 9,5 мм. Из-за высокой плотности тока использованы по четыре положительных и отрицательных полюсных вывода. Так, при токе 800 А через каждый полюсный вывод пойдет ток 200 А. При подсоединении нагрузки производится внешняя коммутация путем соединения положительных и отрицательных выводов соответствующим соединительным устройством.

Корпус батареи представляет собой сварной цилиндр из нержавеющей стали 321 с приваренным дном из стали толщиной 9,5 мм. Ударная прочность такого контейнера по расчетам составляет 454 кг.

Из-за большой общей толщины (~ 356 мм) набор элементов разделен на две отдельные секции, каждая из которых содержит четыре параллельно соединенных комплекта элементов. Каждая секция упаковывается и помещается в корпус независимо от другой. Корпус облицовывается слоем термостойкого материала толщиной 12 мм: кроме того, на дно укладывается слой асбеста толщиной 12 мм. Каждая бата-

Таблица 10.5. **Характеристики тепловых батарей, выпускаемых фирмой Eagle-Picher**

***EAP-6266*: диаметр 101,6 мм, сборка по пять элементов**	
Напряжение	27 ± 3 В
Продолжительность работы	При 71 °С 221 с При 24 °С 366 с При —54 °С 317 с
Ток разряда	33 А (номинальный)
Размеры	Диаметр 121 мм, длина 193,7 мм
Масса	5,2 кг
Энергия/удельная энергия	89,1 Вт·ч/17,2 Вт·ч/кг
***EAP-6230*: диаметр 101,6 мм, сборка по пять элементов типа ДЭС**	
Напряжение	28,5 ±3,5 В
Продолжительность работы	При 38 °С 24 мин При 5 °С 16 мин
Ток разряда	4,3 А (номинальный)
Размеры	Диаметр 122 мм, длина 104 мм
Масса	2,86 кг
Энергия/Удельная энергия	48,3 Вт·ч/16,9 Вт·ч/кг
***EAP-6251*: диаметр 76 мм, параллельно соединенные сборки**	
Напряжение	27 ± 3 В
Продолжительность работы	При 71 °С 110 с При 24 °С 200 с При —40 °С 140 с
Ток разряда	23 А (номинальный)
Размеры	Диаметр 94 мм, длина 145 мм
Масса	3 кг
Энергия/Удельная энергия	31 Вт·ч/104 Вт·ч/кг
***EAT-6261*: диаметр 76 мм, параллельно соединенные сборки**	
Напряжение	+33 ± 5,5 В
Продолжительность работы	При 71 °С 170 с При 24 °С 200 с При —56 °С 135 с
Ток разряда	4,2 А в каждой секции
Размеры	Диаметр 89 мм, длина 117 мм
Масса	1,9 кг
Энергия/Удельная энергия	20,4 Вт·ч/8,1 Вт·ч/кг (138,6 × 2 секции)
EAP-6273	
Напряжение	12±3 В
Продолжительность работы	При 24 °С 350 с
Ток разряда	500 А (номинальный)
Размеры	Диаметр 177,8 мм, длина 406 мм
Масса	20,4 кг
Энергия/Удельная энергия	583,3 Вт·ч/28,6 Вт·ч/кг

рейная секция обертывается слоем стеклоткани толщиной 3,8 мм. Под крышку батареи и в качестве изоляции коллектора укладывается асбестовая набивка так, чтобы при установке крышки батареи потребовалось прижимное усилие 18—22 кг. Полный вес батареи равен 20,4 кг, высота 406,4 мм, диаметр 177,8 мм.

При испытаниях батарея разряжалась на нагрузку 0,024 Ом, способную рассеивать мощность 25 кВт. Для этого труба из нержавеющей стали с внешним диаметром 15,8 мм

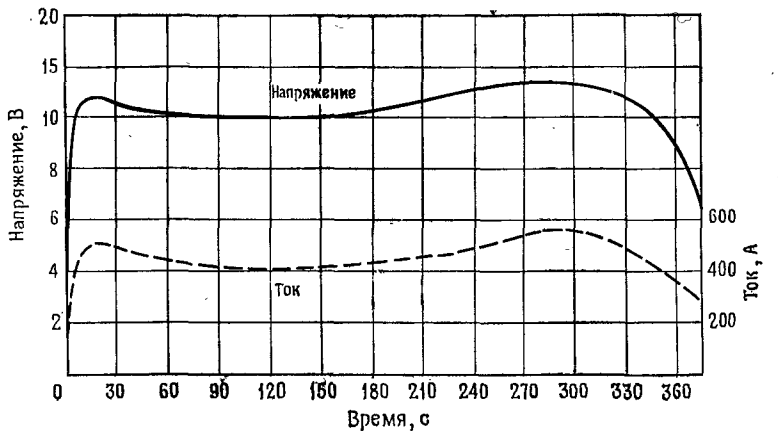


Рис. 10.6. Характеристики разряда батареи EAP-6273 на нагрузку 0,024 Ом.

была разрезана вдоль оси и приварена к двум медным шинам. Соединительные устройства были выполнены так, чтобы обеспечивался проток охлаждающей воды по трубе. Последовательно с одной из шин при помощи болтов подключался 1000-амперный токовый шунт для обеспечения возможности контроля за протекающим током.

Характеристики батареи типа EAP-6273 приведены на рис. 10.6. Как правило, батарея обеспечивает напряжение 12 В при токе 550 А. При необходимости можно было бы получить гораздо большие токи, требующиеся, например, для питания электростартера. Во всяком случае, мощность батареи достаточна для запуска любого устройства напряжением 12 В, потребляющего в импульсе токи до 800 А.

Батареи на основе лития производства фирмы Mine Safety Appliances (MSA)

Наряду с выпуском обычных тепловых батарей, как хорошо зарекомендовавших себя закрытых элементов на основе хромата кальция, так и их пластинчатого варианта, фирма

MSA выпускает серию тепловых батарей нового типа на основе лития, о которых пойдет речь в этом разделе.

Выпускаемые фирмой закрытые элементы обычного типа состоят из кальциевого анода с электролитом из смеси хлористого лития и хлористого калия и катодной системы хромат кальция — никель (или железо). Никелевый корпус-катод, иногда с добавочным электродом, содержит катодный активный слой, один или два слоя электролита, расположенный посредине кальциевый анод, за которым следуют еще слои электролита и деполяризатора, и, наконец, катод-крышку элемента. Края корпуса собранного элемента завальцовываются и прижимаются кольцом, уплотняющим элемент. Таким образом, образуется сдвоенный элемент с общим анодом. Активные вещества катода (деполяризатор) наносят химическим способом на бумагу из неорганических волокон, а электролитные матрицы приготавливаются путем пропитки стеклоткани. Элемент бескорпусного типа имеет более простую конструкцию, где вещества, служащие электролитом и деполяризатором, при помощи неорганической связки формуют в виде двухслойного плоского диска. Используются простые дисковые катоды и аноды, соединенные в виде гантелей для того, чтобы последовательно соединить прилегающие друг к другу элементы.

Батареи набирают как из корпусных, так и из бескорпусных элементов, производя требуемые последовательные и параллельные коммутации расположенных столбиком элементов, переложенных термитными слоями, необходимыми для активации батареи. Таким образом, собранные батареи имеют обычно форму цилиндрических герметически заваренных банок. Токовыводы, предназначенные для электрических соединений элементов, проходят через стеклянные или керамические уплотнения.

Специалисты фирмы MSA считают, что основным недостатком прежних конструкций тепловых батарей является ограниченный период работы при большой плотности тока из-за низкой электрохимической эффективности кальциевого анода, которая в свою очередь является следствием побочных реакций, в процессе которых расходуются электролит и активные вещества электродов. В результате проведенных недавно исследований было показано, что существенное улучшение характеристик тепловых батарей может быть достигнуто, если в качестве активного анодного вещества элемента использовать литий в сочетании с новыми катодами. Такие батареи сейчас уже выпускают, они способны работать при плотности тока на электродах до 2,0 А/см^2 в течение достаточно длительного периода времени. Была показана возможность для этих батарей получить удельную энергию

100 Вт·ч/кг по сравнению с 20 Вт·ч/кг для батарей традиционной конструкции, например систем Ca/LiCl—KCl и $CaCrO_4$/Fe. Последняя система, хотя и имеет удовлетворительные характеристики при работе в течение периодов длительностью до 5 мин, при более длительных периодах работы существенно снижает плотность тока на электродах, результатом чего является уменьшение удельной мощности и удельной энергии.

Фирма MSA разработала систему с литием в качестве активного анодного вещества и сульфидом железа в качестве катода, которая, как было показано, имеет существенные преимущества перед традиционными системами. В основе системы Li—FeS_2 лежит наборная послойная конструкция, что позволяет легко менять напряжение батареи путем изменения числа последовательно включенных элементов в соответствии с требованиями, предъявляемыми к источнику питания того или иного устройства. Компонентами, составляющими элемент, являются: литий, который удерживается в узле анода благодаря пропитке им пористого материала подложки; катод (слой деполяризатора), который представляет собой тонкий диск из дисульфида железа с добавкой электролита, и слой электролита — диск из смеси электролита и связующего вещества, добавляемого для удержания электролита, когда он находится в активном расплавленном состоянии. Элементы уложены, чередуясь с источниками тепла, дисками из смеси порошка железа и перхлората калия. Этот компонент электропроводен и служит также для последовательного соединения элементов. Батарея активируется поджиганием каждого из пиротехнических дисков при помощи запалов в виде пластин. Элементы, набранные в батарею, термически изолированы и заключены в корпус из мягкой стали, герметически закрытый при помощи аргонно-дуговой сварки. Электрические выводы выполнены с помощью металлостеклянных гермоспаев.

Выпускаемые фирмой тепловые батареи этого типа имеют очень большие размеры: одна батарея, состоящая из 30 последовательно включенных элементов, заключена в контейнер диаметром 89 мм и длиной 235 мм при массе 3,8 кг. Испытания показали, что такая батарея может спокойно разряжаться без колебания электрических характеристик при средней плотности тока от 0,3 до 1,86 А/см^2. Следует также отметить, что емкость батареи очень стабильна при токе 275 А, который является минимальным в этом интервале скоростей разряда, хотя имеются указания на некоторое уменьшение емкости при самых больших плотностях тока.

Сравнение характеристик этой батареи с данными для систем Ca/LiCl—KCl, $CaCrO_4$/Fe той же емкости показывает, что плотность тока элемента Li/FeS_2 в 15 раз превышает плотность тока элемента Ca/$CaCrO_4$ при полном разряде батареи в течение 2—3 мин, а анализ разрядных кривых показывает, что достигаемая удельная энергия элемента (включая пиротехнику) составляет 113 Вт·ч/кг, а батареи — 63 Вт·ч/кг. Удельная энергия по объему батареи составляет 113 Вт·ч/дм^3.

Дальнейшее усовершенствование конструкции привело к созданию батареи с периодом работы 7 мин, малым временем активации и низким внутренним сопротивлением, обеспечивающим хорошую стабильность напряжения в широком интервале величин отбираемых токов. В батарее использованы два включенных параллельно блока элементов с номинальным диаметром 75 мм, помещенных в контейнер диаметром 89 мм и длиной 190 мм. Вес батареи 2,9 кг. При средней величине разрядного тока 20 А (плотность тока на электроде равна 0,23 А/см^2) при обеих номинальных температурах в течение 8 мин работы напряжение не падает ниже 80 % максимального значения. Внутреннее сопротивление батареи остается постоянным в течение всего периода, пока напряжение не падает ниже 80 % среднего значения и составляет 0,09—0,11 Ом. Батареи, испытанные после предварительной выдержки при +50 °С, активировались в течение ~1,6 с, обеспечивая ток 12,8 А при напряжении 25,5 В, а батареи, выдерживавшиеся при —30 °С, достигали тех же параметров за ~3 с. В конструкции батареи использованы аноды с избыточной электрической емкостью (не менее 380 А·ч), а существенное уменьшение времени активации возможно, если использовать эти аноды в сочетании с катодами, имеющими номинальную емкость не менее 200 А·ч.

Фирма MSA выпускает батареи различных других типов, для того чтобы удовлетворить особые запросы потребителей. Конструкции тех из них, которые оптимизированы для обеспечения максимальной отдаваемой энергии, позволяют достигать значений удельной энергии до 100 Вт·ч/кг и удельной мощности до 1500 Вт/кг.

11

ВОДОАКТИВИРУЕМЫЕ БАТАРЕИ

11.1. БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ МАГНИЙ — ХЛОРИСТОЕ СЕРЕБРО, АКТИВИРУЕМЫЕ МОРСКОЙ ВОДОЙ

Фирма McMurdo Instruments выпускает серию элементов и батарей Aquacells, которые активируются морской водой. Эти элементы широко применяются в навигации в качестве источника энергии для предупредительных огней, буев и маяков. Рассматриваемые элементы и батареи характеризуются большим сроком годности при соблюдении условия хранения в герметичной упаковке. После разгерметизации и заполнения водой они подлежат израсходованию. Батареи не предназначены для перезаряда.

Примером батарей этого типа может служить батарея L18A для питания всевозможных подводных прожекторов. Эта батарея имеет габариты 103×35×25 мм, массу 95 г и может обеспечивать ток 1 А при напряжении 4 В в течение 1,5 ч. Батарея L37 для освещения аварийного люка подводной лодки специально предназначена для питания аварийных систем с рабочим напряжением 24 В и выдерживает давление до 2756 кПа. Габариты этой батареи 305×254×72 мм, масса равна 6,6 кг. Она может снабжать энергией две лампы напряжением 24 В и мощностью 36 Вт в течение 8 ч. Батарея L43A, предназначенная для питания аварийных сигнальных огней кораблей и самолетов, имеет габариты 175×51×125 мм, массу 110 г и разряжается при напряжении 13,5 В в течение 90 ч. Фирма McMurdo Instruments производит также серию батарей типа Aquacells, предназначенных для надувных спасательных плотов и спасательных жилетов (табл. 11.1).

Таблица 11.1. **Характеристики батарей фирмы McMurdo Instruments на основе системы магний — хлористое серебро для спасательных жилетов и спасательных надувных плотов**

Обозначение	Применения	Размеры, мм	Масса, г	Выходные напряжение и мощность	Продолжительность работы, ч
L8-1	Спасательные жилеты	93×26×12	34	1,5 В; 0,3 Вт	8
M8M	То же	93×26×12	34	1,5 В; 0,165 Вт	20
				или 1,5 В; 0,25 Вт	14
L12B	Спасательные жилеты и спасательные плоты	110×30×22	80	3 В; 1 Вт или 3 В;	6
				0,5 Вт, или 3 В;	12
				0,25 Вт	24
L50	Спасательные плоты	117×66×36	120	3 В; 0,5 Вт	12

11.2. БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ МАГНИЙ — ХЛОРИСТОЕ СЕРЕБРО ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ SAFT

Фирма SAFT выпускает различные первичные водоактивируемые батареи на основе систем хлористое серебро — магний, хлористое серебро — цинк и хлористая медь — магний.

Первая из этих систем обеспечивает удельную энергию по массе 30—120 Вт·ч/кг (удельная мощность 1200 Вт/кг), а по объему 40—250 Вт·ч/дм^3 (2000 Вт/дм^3). Рабочие температуры находятся в диапазоне $-20 \div +60$ °С. Можно изготавливать батареи, обеспечивающие мощность до 150 кВт. Фирма выпускает батареи напряжением 1—250 В. Элементы активируются при заполнении пресной или соленой водой и могут отдавать свою энергию в течение периодов времени от нескольких секунд до 20 дней. Эти батареи используются для питания маяков, торпед, мин, сигнальных звуковых устройств, оборудования на акустических буях и воздушных шарах и др.

11.3. БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЦИНК — ХЛОРИСТОЕ СЕРЕБРО ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ SAFT

Батареи на основе системы цинк — хлористое серебро фирмы SAFT обеспечивают удельную энергию 15—60 Вт·ч/кг (удельная мощность 1000 Вт/кг), или 20—150 Вт·ч/дм^3 (удельная мощность по объему 2400 Вт/дм^3). Рабочий диапазон температур составляет $-30 \div +60$ °С. Могут быть изготовлены батареи, обеспечивающие мощность до 2500 Вт. Элементы активируются путем заполнения пресной или морской водой, отличаются большим сроком годности при хранении в неактивированном состоянии, хорошими характеристиками и способностью отдавать энергию в течение длительного срока (до 300 дней) при малых скоростях разряда.

Выпускают батареи напряжением от 1 до 50 В. Их применяют для питания оборудования на воздушных шарах и океанографических буях, аппаратуры связи, устройств военного назначения и портативных электронных приборов.

11.4. БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ МАГНИЙ — ХЛОРИСТАЯ МЕДЬ ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ SAFT

Батареи обеспечивают удельную энергию 20—90 Вт·ч/кг (18—150 Вт·ч/дм^3). Они работают в интервале температур от —20 до +60 °С и обеспечивают мощность до 50 Вт. Выпускают батареи напряжением 1—100 В. Элементы активируются при заполнении пресной или морской водой. Продолжительность разряда лежит в диапазоне от нескольких секунд до многих часов. Батареи используются в воздушных шарах, маяках, акустических буях, устройствах звуковой сигнализации и океанографическом оборудовании.

12

АММИАЧНЫЕ РЕЗЕРВНЫЕ БАТАРЕИ

Серию аммиачных резервных батарей выпускает фирма Honeywell. По мнению специалистов этой фирмы, в последние годы по мере расширения использования батарей на

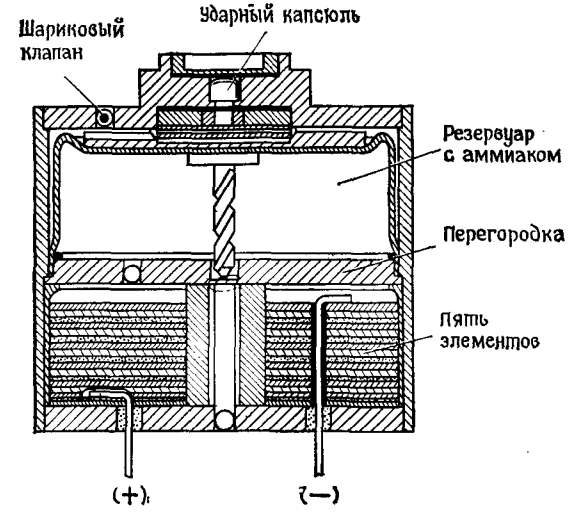


Рис. 12.1. Конструкция батареи с жидким аммиаком фирмы Honeywell.

основе лития в качестве резервных сократились исследования в области разработки аммиачных батарей.

Резервные батареи на основе аммиака все же имеют преимущества перед батареями на основе лития в ограниченном числе случаев, когда при малой продолжительности работы требуются большие токи, длительный срок годности, интервал

рабочих температур от —54 до +74 °С и малое время задержки. Аммиачная резервная батарея G2695B фирмы Honeywell (рис. 12.1) предназначена для обеспечения разрядного тока 500 мА в течение 10 мин при напряжении ~7,5 В. Она используется для питания таймера типа XM-811 ракеты Lance. Аммиачная резервная батарея G25114 обеспечивает емкость 1,4 мА·ч при среднем напряжении 3,8 В.

УКАЗАТЕЛЬ ТЕРМИНОВ

Аккумулятор — Battery
Аккумулятор быстрозаряжаемый — Fast (Quick) Charge Battery
Активирование — Activation
Ампер-часы — Ampere-Hours
Анод — Anode

Батарея аккумуляторная — Secondary Battery

Вес удельный — Specific Gravity
Влажный — Wet
Вода деионизованная — Deionised Water
Вода дистиллированная — Distilled Water
Восстановление — Reduction
Время пропитки — Soak Time
Выход термический из-под контроля — Termal Runaway

Газовыделение — Gassing
Гидрат окиси калия — Potassium Hydroxide
Глубина разряда — Depth of Discharge
Группа электродная — Group

Деградация — Shedding
Деполяризатор — Depolariser
Дозаряд — Topping Charge

Емкость — Capacity
Емкость отдаваемая — Available Capacity
Емкость остаточная — Residual Capacity
Емкость параллельная эффективная C_p

«Замирание» — Fading
Замыкание — Short Circuit
Замыкание высокоомное — High-Resistance Short
Замыкание низкоомное — Low-Resistance Short
Замыкание короткое прерывистое — Intermittent Short
Заряд — Charge
Заряд быстрый — Quick Charge
Заряд «медленный» — Slow Charge
Заряд при постоянном потенциале — Constant Potential Charge
Заряд постоянным током — Constant Current Charge
Заряд уравнительный (восстановительный) — Reconditioning
Заряд ускоренный — Damp Timed Charge
Зарядка быстрая — Fast Charging
Зарядка в «плавающем» режиме — Float Charging
Значение емкости паспортное — Rated Capacity
Зона мертвая — Dead Band

Импеданс — Impedance
Импеданс внутренний — Internal Impedance

Катод — Cathode
Клапан — Vent

Клапан многократного действия — Resealable Vent
Корпус — Container
Корпус аккумулятора — Battery Case
Коррозия — Corrosion
Кулометр — Coulometer

Лепесток — Tab

Материалы активные — Active Materials
Мембрана полупроницаемая — Semi-Permeable Membrane

Нагрузка — Load
Напряжение в средней точке — Mid-Point Voltage
Напряжение заряда истинное — Trough Voltage
Напряжение конечное — End-Point Voltage
Напряжение конца заряда — End-of-Charge Voltage
Напряжение конца разряда — End-of-Discharge Voltage
Напряжение номинальное — Nominal Voltage
Напряжение разомкнутой цепи — Open-Circuit Voltage
Напряжение разряда или заряда конечное — Cut-off Voltage
Напряжение разрядное — Discharge Voltage
Напряжение пероксидное — Peroxide Voltage
Напряжение предельное — Voltage Limit
Напряжение при заряде — On-Charge Voltage
Напряжение, соответствующее пологой части характеристики — Plateau Voltage
Напряжение, эквивалентное E_0 на зажимах без нагрузки — Equivalent No-Load Voltage, E_0
Недозарядка — Undercharging

Обслуживание (уход) — Maintenance
Окисление — Oxidation
Отдача — Yield
Отказ — Failure
Отказ необратимый — Permanent Failure
Отказ обратимый — Reversible Failure
Отказ функциональный — Function Failure
Отсечка по напряжению — Voltage Cut-off
Отсечка по напряжению и температуре — Voltage — Temperature Cut-off

Пакет — Stack
Параллельный — Parallel
Перезарядка — Recharge
Перезаряжаемый — Rechargeable
Переключение по температурному порогу — Temperature Cut-off
Переполюсовка элемента — Cell Reversal
«Перескакивание» — Bouncing
Пластина — Plate
Пластина отрицательная — Negative Plate
Пластина положительная — Positive Plate
Пластина пористая — Plaque
Подзаряд резервный (компенсационный) — Standby Charge
Поляризация — Polarisation
Полярность — Polarity
Последовательный — Series
Потенциал электродный — Electrode Potential
Потери емкости непрерывные — Permanent Loss of Capacity
Потери емкости функциональные — Functional Loss of Capacity
Потеря емкости временная — Temporary Loss of Capacity
Потребление тока — Drain
Примесь — Contaminant
Пробка с клапаном — Vent Cap
Пропитка — Flooding
Противо-э. д. с. — Counter Electromotive Force

Разброс характеристик технологический — Manufacturing Variations
Разряд — Discharge
Разряд быстрый — High-Rate Discharge
Разряд глубокий — Deep Discharge
Разряд длительный — Low-Rate Discharge
Разряд неглубокий — Shallow Discharge
Разрядка — Discharging
Расщепление — Spalling

Реакция обратимая — Reversible Reaction
Режим заряда двухступенчатый — Split Rate Charge
Рекомбинация — Recombination
Рекомбинация кислорода — Oxygen Recombination

Саморазряд — Self-Discharge
Сверхзаряд — Overcharging
Сепаратор — Separator
Сетка — Grid
Скорость — Rate
Скорость заряда — Charge Rate
Соединитель — Connector
Сопротивление внутреннее — Internal Resistance
Сопротивление внутреннее эффективное — Effective Internal Resistance, R_e
Сосуд аккумуляторный — Jar
Сохраняемость заряда — Charge Retention
Сохраняемость активированного, залитого электролитом и заряженного аккумулятора — Wet Charged Stand
Сохраняемость в активированном состоянии — Activated Stand Life
Спиральный — Wound
Срок годности в залитом состоянии — Wet Shelf Life
Срок годности (с учетом хранения) — Shelf Life
Срок службы — Life
Срок службы циклический (ресурс) — Cycle Life
Срок сохранности в неактивированном состоянии — Unactivated Storage Life
Степень заряда — State of Charge
Сухой — Dry
Сухой заряженный — Dry, Charged
Сухой незаряженный — Dry, Uncharged
Схема эквивалентная — Equivalent Circuit

Температура — Temperature
Температура окружающей среды — Ambient Temperature
Температура элемента — Cell Temperature
Ток разряда начальный — Initial Drain
Ток разрядный при максимальной мощности — Maximum-Power Discharge Current, I_{mp}
Ток сверхзаряда — Overcharge Current
Токовыводы — Terminals

Унос — Entrainment
Усадка — Contraction
Условия окружающей среды — Environmental Conditions
Устройство зарядное — Charger

Формовка разрядом влажная — Wet Formed Discharge
Формфактор — Form-Factor

Цикл — Cycle
Цикл рабочий — Duty Cycle

Экран — Baffle
Электрод — Electrode
Электрод спеченный (плоский) — Sintered-Plate Electrode
Электролит — Electrolyte
Электроформирование — Electroformation
Элемент — Cell
Элемент вентилируемый — Vented Cell
Элемент герметичный — Sealed Cell
Элемент первичный — Primary Cell
Элемент с недостатком электролита — Starved Cell
Элемент цилиндрический — Cylindrical Cell
Энергия — Energy
Энергия удельная — Energy Density
Эффект памяти — Memory Effect

C-скорость — C-Rate
C_n-скорость — C_n-Rate
XC_n-скорость — XC_n-Rate

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Activated Stand Life — *сохраняемость в активированном состоянии.* Период времени, в течение которого при заданной температуре вторичный элемент может храниться в заряженном состоянии, пока его емкость не понизится ниже регламентированного уровня.

Activation — *активирование.* Процесс перевода элемента без электролита в рабочее состояние либо заливкой электролита, либо погружением элемента в электролит.

Active Materials — *активные материалы.* Вещества положительной или отрицательной пластины, которые реагируют при генерировании тока.

Ampere-Hours — *ампер-часы.* Произведение тока в амперах на время его протекания (в часах). Емкость элементов или батарей обычно выражается в ампер-часах (А·ч).

Anode — *анод.* Электрод, на котором происходит окислительная реакция (потеря электронов); во вторичных элементах любой электрод может стать анодом в зависимости от направления тока.

Available Capacity — см. Capacity.

Baffle — *экран.* Непроводящая перегородка, вставляемая в вентилируемый элемент выше блока пластин и используемая для отсчета уровня электролита; она также предохраняет верхние края пластин от предметов, попадающих в клапанное отверстие аккумулятора.

Battery — *аккумулятор.* Один или несколько элементов, соединенных в один блок и имеющих контакты (токовыводы) для внешнего присоединения.

Battery Case — *корпус аккумулятора.* Коробка или кожух, которые содержат элементы, соответствующие соединители и оснастку.

Bouncing — *«перескакивание».* Повторяющееся переключение при сверхзарядке в системе зарядное устройство — аккумулятор от быстрого заряда к заряду малым током и обратно; вызывается при использовании автоматического возвратного термореле (или другого переключателя), которое не вовремя отрабатывает окончание периода быстрого заряда.

C_p — *эффективная параллельная емкость.*

C-Rate — *C-скорость.* Зарядный или разрядный ток (в амперах), численно равный емкости источника тока в ампер-часах при его полном разряде в течение 1 ч.

C_n-Rate — C_n*-скорость.* Зарядный или разрядный ток, численно равный емкости, полученной при полном разряде в течение *n* часов.

XC_n-Rate — XC_n*-скорость.* Зарядный или разрядный ток, численно равный произведению величины *X* на емкость, полученную при полном разряде в течение *n* часов.

Cadmium Electrode — см. Negative Plate.

Capacity — *емкость.* Количество ампер-часов, получаемых от полностью заряженного элемента или аккумулятора.

Available Capacity — *отдаваемая емкость.* Суммарная емкость, которая может быть получена при определенных скоростях заряда и разряда и связанных с ними условиях окружающей среды.

Deliverable Capacity — см. Capacity, Available.

Functional Loss of Capacity — *функциональные потери емкости.* Уменьшение емкости элемента, обусловленное нестандартными параметрами заряда и разряда, например температурой, током, напряжением окончания разряда. См. также Functional Failure.

Nameplate Capacity — см. Capacity, Rated.

Nominal Capacity — см. Capacity, Rated.

Permanent Loss of Capacity — *непрерывные потери емкости.* Уменьшение емкости элемента по сравнению с «новым» значением в стационарных условиях циклирования. Непрерывные потери емкости не восстанавливаются при восстановительном заряде. См. также Failure, Permanent.

Rated Capacity — *паспортное значение емкости.* Обозначение, указываемое фирмой — изготовителем аккумулятора, которое помогает идентифицировать конкретную модель, а также указывает приближенное значение емкости; обычно выражается в ампер-часах при регламентированной скорости разряда.

Residual Capacity — *остаточная емкость.* Емкость, остающаяся в конкретный момент времени после любой совокупности режимов работы, обычно включающих частичный разряд или длительное хранение.

Restorable Capacity — см. Capacity, Temporary Loss of.

Temporary Loss of Capacity — *временная потеря емкости.* Уменьшение емкости элемента, которая восстанавливается, когда элемент подвергается нескольким восстановительным циклам. См. также Failure, Reversible.

Useful Capacity — см. Capacity, Available.

Capacity Reconditioning — см. Reconditioning.

Cathode — *катод.* Электрод, на котором происходит реакция восстановления (присоединения) электронов; во вторичных элементах любой электрод может стать катодом в зависимости от направления тока.

Cell — *элемент.* Электрохимическое устройство, состоящее из положительных и отрицательных пластин, сепаратора и электролита, способное накапливать электрическую энергию; помещенное в корпус и снабжен-

ное клеммами, является основным «структурным элементом» аккумуляторной батареи.

Cell Case — см. Container.

Cell Reversal — *переполюсовка элемента.* Перемена полярности на клеммах элемента многоэлементного аккумулятора, обусловленная сверхзарядом.

Charge — *заряд.* Возвращение электрической энергии в аккумулятор.

State of Charge — *степень заряда.* Остаточная емкость элемента, выраженная в виде доли полной зарядной емкости.

Charge Rate — *скорость заряда.* Ток, при котором заряжается вторичный элемент или аккумулятор; выражается через номинальную емкость элемента или аккумулятора. Например, 20-часовая скорость заряда элемента емкостью 10 А·ч соответствует величине C/20 = 10/20 = = 0,5 А.

Charge Retention — *сохраняемость заряда.* Способность заряженного элемента сопротивляться саморазряду.

Charger — *зарядное устройство.* Устройство, способное снабжать аккумулятор электрической энергией.

Connector — *соединитель.* Электрический проводник, который объединяет отдельные элементы в аккумуляторную батарею.

Constant Current Charge — *заряд постоянным током.* Метод заряда, при котором средний ток заметно не изменяется по величине независимо от напряжения аккумуляторной батареи и температуры.

Constant Potential Charge — *заряд при постоянном потенциале.* Метод заряда, при котором на аккумулятор подают фиксированное напряжение.

Container — *корпус.* Кожух элемента, в котором помещаются пластины, сепаратор и электролит; он дополняется зажимным приспособлением и крышкой, постоянно соединенными между собой.

Contaminant — *примесь.* Нежелательный элемент, обычно входящий в состав электролита и понижающий емкость аккумулятора; в вентилируемых элементах примеси могут попадать при использовании водопроводной воды или при работе без клапана.

Contraction — *усадка.* Уменьшение объема активного материала.

Corrosion — *коррозия.* Окисление металлического электрода.

Coulometer — *кулометр.* Электрохимическое или электронное устройство для интегрирования тока во времени, используемое для контроля или измерения заряда.

Counter Electromotive Force — *противо-э. д. с.* Напряжение, обратное приложенному; иногда его называют *обратной э. д. с.*

Current Density — *плотность тока.* Величина тока, отнесенная к единице площади пластины (А/см²).

Cut-off Voltage — *конечное напряжение разряда или заряда.* Напряжение, при котором прекращают разряд или заряд.

Cycle — *цикл.* Последовательность разряда и заряда. Глубокое циклирование требует, чтобы вся энергия при разряде до конечного напряжения, заданного для каждой системы, снималась с аккумулятора при каждом разряде; при неглубоком циклировании энергия снимается при каждом разряде неполностью и не превышает 50 % общей емкости.

Cycle Life — *циклический срок службы (ресурс).* Число циклов, которое может выдержать вторичный элемент, прежде чем его емкость упадет ниже уровня, рассматриваемого как отказ. См. также Failure.

Cylindrical Cell — *цилиндрический элемент.* Герметичный элемент цилиндрической формы, содержащий электроды рулонной конструкции и в некоторых случаях предохранительный клапан высокого давления.

Dead Band — *мертвая зона.* Диапазон температур между точками, в которых термореле размыкает цепь зарядного тока и снова замыкает ее, возвращаясь в исходное положение. Если температура сначала превышает точку, в которой переключатель термореле отключает зарядный ток, то цепь зарядного тока остается разомкнутой внутри мертвой зоны, пока температура не упадет ниже точки замыкания цепи зарядного тока.

Deep Cycling — см. Reconditioning.

Deep Discharge — *глубокий разряд.* Условия, когда элемент разряжается до конечного напряжения 0,5 В или ниже при малой скорости, т. е. ниже предельного напряжения разряда, или когда отбирается по крайней мере 80 % номинальной емкости.

Deionised Water — *деионизованная вода.* Вода, освобожденная от ионов путем обработки ионообменными смолами.

Depolariser — *деполяризатор.* Материал, предназначенный для компенсации поляризации электрода.

Depth of Discharge — *глубина разряда.* Степень разряда, до которой разряжается элемент или аккумулятор, выраженная в процентах номинальной емкости. Например, если разряжено 5 А·ч от номинальной емкости 100 А·ч, то глубина разряда составляет 5 %.

Discharge — *разряд.* Отбор электрической энергии от элемента или аккумулятора при его разряде до конечного напряжения.

Discharge Rate — см. Rate.

Discharge Voltage — *разрядное напряжение.* Напряжение аккумулятора во время разряда.

Discharging — *разрядка.* Отбор электрической энергии от аккумулятора или элемента.

Distilled Water — *дистиллированная вода.* Вода, освобожденная от посторонних ионов путем ее испарения и последующей конденсации.

Drain — *потребление тока.* Отбор тока от элемента или аккумулятора.

Dry — *сухой.* Признак того, что электролит в элементе фиксирован и находится в виде пасты или геля либо адсорбирован материалом сепаратора и (или) что элемент может обладать недостаточным количеством электролита.

Dry, Charged — *сухой, заряженный.* Признак того, что электрохимическая система, у которой электроды находятся в заряженном состоянии, готова к приведению в активное состояние путем введения электролита.

Dry, Uncharged — *сухой, незаряженный.* Признак того, что элемент необходимо привести в активное состояние и подвергнуть начальным формировочным циклам, прежде чем его можно будет использовать.

Dump Timed Charge — *ускоренный заряд.* Метод заряда, при котором элемент перед пропусканием зарядного тока сначала доразряжается током, равным или превышающим ток заряда, непосредственно следующего после доразряда.

Duty Cycle — *рабочий цикл.* Условия использования, воздействию которых подвергается аккумулятор во время работы; включают заряд, сверхзаряд, покой и разряд.

E_0 — см. Equivalent No-Load Voltage.

Effective Internal Resistance, R_e — *эффективное внутреннее сопротивление.* Кажущееся сопротивление прохождению тока через аккумулятор, которое проявляется в виде падения напряжения на его клеммах, пропорционального разрядному току; его величина зависит от конструкции аккумулятора, зарядового состояния, температуры и времени наработки.

Electrode — *электрод.* Проводящее тело и активные материалы, в которых протекает электрохимическая реакция.

Electrode Potential — *электродный потенциал.* Напряжение, развиваемое отдельной положительной или отрицательной пластиной; алгебраическая разность напряжений двух электродов равняется напряжению элемента.

Electroformation — *электроформирование.* Превращение материала положительных и отрицательных пластин в соответствующие активные материалы.

Electrolyte — *электролит.* Жидкость, используемая в элементах в качестве среды для движения ионов.

End-of-Charge Voltage — *напряжение конца заряда.* Напряжение аккумулятора по окончании заряда, но прежде, чем он прекратится совсем.

End-Of-Discharge Voltage — *напряжение конца разряда.* Напряжение аккумулятора по окончании разряда, но прежде, чем он прекратится совсем.

End-Point Voltage — *конечное напряжение.* Напряжение, ниже которого подсоединенное оборудование не работает или ниже которого разряжать элемент не рекомендуется; термин часто заменяется термином «Напряжение отключения цепи».

Energy — *энергия.* Величина, равная емкости в ампер-часах, умноженной на среднее разрядное напряжение в замкнутой цепи, и выражаемая в ватт-часах.

Energy Density — *удельная энергия.* Принятая оценка качества аккумуляторов, выражающая запасенную энергию, отнесенную к массе (ватт-час на 1 кг) или объему (ватт-час на 1 дм^3); зависит от скорости разряда.

Entrainment — *унос.* Процесс, при котором газы, образующиеся в элементе, увлекают электролит через клапанное устройство.

Environmental Conditions — *условия окружающей среды.* Внешние условия, воздействию которых может подвергнуться элемент или аккумулятор, например температура, влажность, ударная нагрузка, вибрация, высота над уровнем моря.

Equalisation — см. Reconditioning.

Equivalent Circuit — *эквивалентная схема.* Схема, предназначенная для моделирования поведения элемента.

Equivalent Internal Resistance. — см. Effective Internal Resistance.

Equivalent No-Load Voltage, E_0 — *эквивалентное напряжение E_0 на зажимах без нагрузки.* Численное значение напряжения источника в эквивалентной схеме.

Fading — *«замирание».* Постепенная потеря емкости элемента в процессе его эксплуатации.

Failure — *отказ.* Состояние или условия, в которых аккумулятор не способен удовлетворительно функционировать.

Function Failure — *функциональный отказ.* Состояние или условия, в которых аккумуляторная батарея вызвала нарушение рассчитанного уровня характеристик работы конечного устройства.

Permanent Failure — *необратимый отказ.* Необратимое состояние или условия, которые делают аккумулятор в сущности бесполезным. Нет никакого признанного стандартного метода точной оценки или прогноза срока, когда элемент перестанет служить; конец полезного срока службы условно определяется моментом, когда элемент не может выдать более 50 % своей номинальной емкости в случае полного заряда и разряда при комнатной температуре.

Reversible Failure — *обратимый отказ.* Состояние или условия отказа, которые можно исправить благодаря применению определенных электрических процедур.

Temporary Failure — см. Failure, Reversible.

Fast-Charge Battery — *быстрозаряжаемый аккумулятор.* Аккумулятор, который можно без ущерба для него заряжать с большой скоростью и который выдает соответствующий сигнал, используемый для прекращения тока быстрого заряда.

Fast Charging — *быстрая зарядка.* Быстрое возвращение энергии в аккумулятор со скоростью C или более.

Float Charging — *«плавающая зарядка».* Условие эксплуатации аккумуляторной батареи, при котором заряд поддерживается непрерывной длительной зарядкой при постоянном потенциале.

Flooded Cell. — см. Vented Cell.

Flooding — *пропитка.* Заполнение пор пористого электрода раствором электролита; этим сводят к минимуму доступ газов к поверхности электрода.

Form-Factor — *формфактор.* Конфигурация аккумуляторных батарей, которые можно создать за счет соединения элементов, размещенных различным образом.

Function Failure. — см. Failure.

Gassing — *газовыделение.* Выделение из элемента водорода и/или кислорода.

Grid — *сетка.* Металлическая часть пластины аккумулятора, которая удерживает активный материал.

Group — *электродная группа.* Совокупность положительных и отрицательных пластин, которая вставляется в элемент.

Hight-Rate Discharge — *быстрый разряд.* Отбор больших токов в короткие интервалы времени, обычно меньше чем за 1 ч.

Hight-Resistance Short. — см. Short Circuit.

I_{mp} — см. Maximum-Power Discharge Current.

Impedance — *импеданс.* Кажущееся сопротивление электрической схемы прохождению переменного тока; состоит из реактивного и омического сопротивлений — характеристики аналогичного явления в аккумуляторе при протекании только постоянного тока см. Effective Internal Resistance.

Initial Drain — *начальный ток разряда.* Так, отдаваемый элементом или батареей при первом помещении под нагрузку.

Intermittent Short — см. Short Circuit.

Internal Impedance — *внутренний импеданс.* Сопротивление элемента или батареи переменному току заданной частоты. Необходимо учитывать, что внутренний импеданс может изменяться в зависимости от степени заряда.

Internal Resistance — *внутреннее сопротивление.* Сопротивление постоянному току в элементе; его можно измерить делением разности между напряжением разомкнутой цепи и напряжением при заданном токе на величину этого тока. Необходимо учитывать, что внутреннее сопротивление может изменяться в зависимости от тока и степени заряда.

Jar — *аккумуляторный сосуд.* Внутренняя часть корпуса элемента, соединяющаяся с кожухом.

KOH — см. Potassium Hydroxide.

Life — *срок службы.* Продолжительность удовлетворительной работы аккумулятора, измеряемая годами или числом зарядно-разрядных циклов.

Load — *нагрузка.* Ток, протекающий через фиксированное сопротивление при подключении последнего к аккумулятору.

Low-Rate Discharge — *длительный разряд.* Отбор малых токов в течение длительного времени, обычно более чем за 1 ч.

Low-Resistance Short — см. Short Circuit.

Maintenance — *обслуживание, уход.* Меры и операции, необходимые для поддержания аккумулятора в рабочем состоянии, например уравнительный заряд или долив воды в электролит вентилируемого элемента.

Manufacturing Variations — *технологический разброс характеристик.* Различия в рабочих характеристиках между однотипными изделиями, приписываемые отклонениям условий их изготовления от оптимальных в пределах принятых допусков.

Maximum-Power Discharge Current — *разрядный ток I_{mp} при максимальной мощности.* Скорость разряда, при которой напряжение на зажимах составляет 1/2 E_0 и во внешнюю нагрузку отдается максимальная мощность (энергия в единицу времени).

Memory Effect — *эффект памяти.* Явление, в котором никель-кадмиевый аккумулятор, эксплуатируемый в течение последовательных циклов с идентичной глубиной разряда, теряет способность отдавать полную емкость при обычных уровнях напряжения.

Mid-Point Voltage — *напряжение в средней точке.* Разрядное напряжение аккумулятора в средней точке разрядной кривой при его разряде от полностью заряженного состояния к полностью разряженному.

Negative Electrode — см. Negative Plate.

Negative Plate — *отрицательная пластина.* Пластина, потенциал которой ниже потенциала другой пластины при нормальной эксплуатации элемента.

Nickel Electrode — см. Positive Plate.

Nominal Capacity — см. Capacity, Rated.

Nominal Voltage — *номинальное напряжение.* Напряжение в средней точке, измеряемое на аккумуляторе при разряде с заданной скоростью, обычно 0,2 *C* или 0,1 *C*.

On-Charge Voltage — *напряжение при заряде.* Напряжение элемента во время заряда.

Open-Circuit Voltage — *напряжение разомкнутой цепи.* Напряжение элемента или аккумулятора без нагрузки, измеренное высокоимпедансным вольтметром приблизительно при комнатной температуре (21 °C). При этом также подразумевается, что первичный элемент изготовлен совсем недавно, а аккумулятор полностью заряжен.

Overcharge Current — *ток сверхзаряда.* Зарядный ток, текущий через аккумуляторную батарею после того, как весь активный материал переведен в состояние полного заряда.

Overcharging — *сверхзаряд.* Продолжающийся заряд после того, как аккумулятор принял максимальное количество заряда. В вентилируемом элементе следствием такого явления будет разложение воды, входящей в состав электролита, на водород и кислород. В герметичном элементе это явление приведет к повышению его температуры.

Oxidation — *окисление.* Отдача электронов активным материалом элемента во внешнюю цепь. Во время разряда активный материал отрицательного электрода окисляется.

Oxygen Recombination — *рекомбинация кислорода.* Электрохимический процесс, при котором кислород, выделяемый на положительной пластине при сверхзаряде, реагирует (восстанавливается) с участием воды на отрицательной пластине с выделением тепла.

Parallel — *параллельный.* Электрический термин, используемый для описания способа соединения аккумуляторов, при котором все одноименные зажимы соединяются вместе.

Perma-Cell — торговая марка фирмы General Electric Corp., которая обозначает систему перезаряжаемый никель-кадмиевый аккумулятор — зарядное устройство, использующую герметичные цилиндрические элементы. Предложена как возможная замена стандартных первичных элементов распространенных размеров.

Permanent Failure — см. Failure.

Peroxide Voltage — *пероксидное напряжение.* Начальное напряжение, наблюдаемое, когда нагрузка впервые приложена к полностью заряженному элементу. Это напряжение обычно выше напряжения, соответствующего пологой части характеристики.

Plaque — *пористая пластина* Пористое тело спеченного металла, используемое в качестве токоотвода и матрицы, удерживающей активные материалы электрода.

Plate — *пластина.* Общее название электрода.

Plateau Voltage — *напряжение, соответствующее пологой части характеристики.* Горизонтальный участок разрядной кривой, зависящей от скорости разряда.

Polarisation — *поляризация.* Увеличение внутреннего сопротивления элемента во время разряда.

Polarity — *полярность.* Электрический термин, используемый для обозначения относительного напряжения между двумя электродами.

Positive Electrode — см. Positive Plate.

Positive Plate — *положительная пластина.* Пластина, электрический потенциал которой выше потенциала другой пластины при нормальной работе элемента.

Potassium Hydroxide — *гидрат окиси калия.* Химическое соединение, имеющее формулу КОН, которое, будучи растворенным в чистой воде в точных пропорциях, представляет собой электролит, используемый в никель-кадмиевых элементах и других системах щелочных элементов.

Powerup-15 — торговая марка фирмы General Electric для никель-кадмиевого аккумулятора, который позволяет осуществлять заряд при скоростях вплоть до 4 *C* за 15 мин при комнатной температуре до сообщения по крайней мере 90 % номинальной емкости. После достижения состояния полной заряженности режим быстрого заряда автоматически переключается зарядным устройством, чувствительным к температуре или напряжению батареи, на режим непрерывного сверхзаряда малым током.

Primary Cell — *первичный элемент.* Элемент, предназначенный лишь для одноразового использования. Его нельзя вернуть в первоначальное заряженное состояние пропусканием тока.

Quick Charge — *быстрый заряд.* Заряд со скоростью в интервале 0,2—0,5 *C*.

Quick Charge Battery — *быстрозаряжаемый аккумулятор.* Аккумулятор, который можно полностью зарядить за 3—5 ч простым зарядным устройством постоянного тока и который способен выдерживать длительный сверхзаряд при такой скорости.

R_e — см. Effective Internal Resistance.

Rate — *скорость.* Величина зарядного или разрядного тока, часто выражаемого в виде доли или числа, кратного величине *C*, соответствующей сообщению или расходу номинальной емкости в течение 1 ч.

Rated Capacity — см. Capacity.

Rating — см. Capacity.

Recharge — *перезарядка* Возвращение электрической энергии в аккумулятор.

Rechargeable — *перезаряжаемый.* Способный к перезаряду, термин относится к вторичным элементам или аккумуляторам.

Recombination — *рекомбинация.* Химическая реакция газов на электродах, в результате чего образуется негазообразный продукт.

Reconditioning — *уравнительный (восстановительный) заряд.* Процедура технического обслуживания аккумуляторов, состоящая в глубоком разряде и кратковременном заряде постоянным током, которая используется для корректировки дисбаланса электродов элементов, возникающего при эксплуатации аккумулятора.

Reduction — *восстановление.* Присоединение электронов; применительно к элементу термин относится к потоку электронов, направленному внутрь активного материала.

Resealable Vent — *клапан многократного действия.* Применительно к элементу термин относится к предохранительному отверстию, которое может автоматически закрываться после каждого стравливания давления [в противоположность отверстию (клапану) однократного действия].

Residual Capacity — см. Capacity.

Resistance — см. Effective Internal Resistance.

Reversal — см. Cell Reversal.

Reversible Failure — см. Failure.

Reversible Reaction — *обратимая реакция.* Химическое превращение, которое может происходить в любом направлении, например при обратимой реакции заряда или разряда аккумуляторной батареи.

Sealed Cell — *герметичный элемент.* Элемент, который не требует обычного обслуживания и может работать в любом положении; все реагенты удерживаются внутри корпуса.

Secondary Battery — *аккумуляторная батарея.* Система, способная к повторному использованию благодаря обратимым химическим реакциям, когда энергию, высвобожденную во время разряда, можно возвратить за счет подачи электрического тока для повторного заряда (перезаряда) элемента.

Self-Discharge — *саморазряд.* Самопроизвольное разложение материалов аккумулятора от заряженного состояния к разряженному. Определяется скоростью, с которой батарея или элемент теряют эксплуатационную способность.

Semi-Permeable Membrane — *полупроницаемая мембрана.* Пористая пленка, которая будет пропускать определенные ионы.

Separator — *сепаратор.* Материал, который разделяет пластины противоположного знака и обеспечивает удержание электролита между ними.

Series — *последовательный.* Электрический термин, используемый для описания такого соединения элементов или аккумуляторов, при котором положительный вывод элемента соединяется с отрицательным выводом следующего элемента.

Shallow Discharge — *неглубокий разряд.* Разряд аккумулятора, равный лишь малой доле его общей емкости.

Shedding — *деградация.* Потери активного материала пластины при циклировании.

Shelf Life — *срок годности (с учетом хранения)*. Мера активной службы аккумулятора с учетом хранения.

Short Circuit — короткое замыкание. Условие, при котором два электрода противоположной полярности находятся в электрическом контакте друг с другом.

High-Resistance Short — *высокоомное замыкание*. Короткое замыкание, измеряемое величиной 20 Ом или более.

Intermittent Short — *прерывистое замыкание*. Условие, при котором напряжение холостого хода аккумулятора нестабильно, когда последний подвергается механическому удару; сопротивление прерывистого короткого замыкания может быть низко- или высокоомным.

Low-Resistance Short — низкоомное замыкание. Короткое замыкание, измеряемое величиной <20 Ом.

Sintered-Plate Electrode — *спеченный (плоский) электрод*. Прочная пластина, сформированная спеканием (агломерацией металлического порошка нагреванием). Получающийся электрод имеет пористую структуру с большой площадью поверхности, содержащую активные материалы, которые можно заряжать и разряжать с высокой скоростью.

Slow Charge — *«медленный» заряд*. Возвращение энергии в аккумулятор при скоростях в интервале 0,05—0,1 *C* обычно подключением его к зарядному устройству с вечера на всю ночь.

Soak Time — *время пропитки*. Время, необходимое для абсорбирования электролита активными материалами после активирования.

Spalling — *расщепление*. Отслаивание активного материала от пластины или электрода.

Specific Gravity — *удельный вес*. Плотность жидкости по отношению к плотности чистой воды.

Split Rate Charge — *двухступенчатый режим заряда*. Метод заряда, при котором аккумулятор сначала заряжается с высокой скоростью, а затем автоматически переводится на заряд с пониженной скоростью при приближении аккумулятора к состоянию полной заряженности.

Stack — *пакет*. Плоские пластины, собранные параллельно друг другу.

Standby Charge — *резервный (компенсационный) подзаряд*. Низкий ток сверхзаряда порядка 0,01—0,03 *C*, непрерывно пропускаемый через аккумулятор с предохранительным клапаном для поддержания в состоянии готовности к разряду, часто называют «капельным» зарядом.

Starved Cell — *элемент с недостатком электролита*. Элемент, содержащий мало или совсем не содержащий свободного электролита; это дает возможность газам легко достигать поверхностей электродов и приводит к появлению относительно высоких скоростей их рекомбинации. См. Sealed Cell.

State of Charge — *степень заряда*. Остаточная емкость элемента, выраженная через его полную зарядную емкость.

Tab — *лепесток*. Токовывод батареи, часто имеющий отверстие для соединения с проводом.

Temperature

Ambient Temperature — *температура окружающей среды*. Средняя температура окружающей аккумулятор среды.

Cell Temperature — *температура элемента*. Средняя температура компонентов аккумулятора.

Temperature Cut-off — *переключение по температурному порогу*. Метод переключения зарядного тока батареи с режима быстрого заряда к режиму дозаряда малым током с помощью контрольной схемы зарядного устройства, которая срабатывает от изменений температуры аккумулятора.

Temporary Failure — см. Failure, Reversible.

Terminals — *токовыводы*. Внешняя часть элемента или аккумулятора, через которую отводят ток.

Thermal Runaway — *термический выход из-под контроля*. Условие, в силу которого аккумулятор, заряжаемый при постоянном потенциале, будет разрушаться при повышенной температуре за счет внутреннего тепловыделения, вызванного повышением токов сверхзаряда во время зарядки при постоянном потенциале.

Topping Charge — *дозаряд*. Заряд небольшим током, который завершает заряд элемента и может длительно продолжаться при сверхзаряде без ущерба для элемента.

Trickle Charge — см. Standby Charge.

Trough Voltage — *истинное напряжение заряда*. Значение напряжения разомкнутого аккумулятора (заряжаемого импульсным током), измеренное в первое мгновение после отключения тока.

Unactivated Storage Life — *срок сохранности в неактивированном состоянии*. Период времени в определенных условиях температуры и окружающей среды, в которых сухозаряженный элемент может оставаться до уменьшения емкости ниже определенного значения.

Undercharging — *недозарядка*. Сообщение аккумулятору емкости, меньшей чем та, которая необходима для его полной зарядки.

Vent — *клапан*. Обычно герметизируемый механизм, позволяющий обеспечить контролируемый выпуск газов из элемента.

Vent Cap — *пробка с клапаном*. Устройство, содержащее клапан, и монтируемое сверху элемента; обычно используется на вентилируемых элементах для обеспечения доступа при установке (корректировке) уровня электролита.

Vented Cell — *вентильный элемент*. Конструкция элемента, предназначенного для эксплуатации в жестких режимах, когда клапан срабатывает при достаточно низком давлении во время нормального цикла и удаляет газы, образующиеся при сверхзаряде. Электродный пакет вентильного элемента содержит плоские пластины, разделенные газовым барьером и сепаратором, полностью погруженным в раствор электролита.

Voltage Cut-off — *отсечка по напряжению*. Метод переключения зарядного тока с режима быстрого заряда на режим дозаряда малым током с помощью контрольной схемы в зарядном устройстве, которая срабатывает при изменении напряжения на аккумуляторе.

Voltage Limit — *предельное напряжение*. В аккумуляторе с контролируемым зарядом предел, выше которого подъем потенциала аккумулятора не допускается.

Voltage — Temperature Cut-off — *отсечка по напряжению и температуре.* Метод переключения зарядного тока с режима быстрого заряда на режим дозаряда малым током с помощью контрольной схемы в зарядном устройстве, которая срабатывает от напряжения или от температуры.

Wet — *влажный.* Термин указывает на то, что жидкий электролит в элементе находится в свободном текучем состоянии.

Wet Charged Stand — *сохраняемость активированного, залитого электролитом и заряженного аккумулятора.* Период времени, в течение которого аккумулятор может находиться во влажном и заряженном состоянии сохраняя бо́льшую часть своей емкости.

Wet Formed Discharge — *влажная формовка разрядом.* Термин указывает на то, что элемент в процессе производства активируют, формируют и разряжают. Для эксплуатации элемента его необходимо лишь зарядить.

Wet Shelf Life — *срок годности в залитом состоянии.* Период времени, в течение которого аккумулятор может оставаться в разряженном состоянии с залитым электролитом до того, как будет потеряна возможность обеспечить его заряд.

Wound — *спиральный.* Внутренняя конструкция элемента, в котором пластины свернуты в виде спирали.

Yield — *отдача.* Выделенная аккумулятором энергия.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аккумуляторы свинцовые малообслуживаемые 36, 37
Активирование 165
Ампер-час 79
Анод 78

Батареи аккумуляторные 20, 36
— аммиачные резервные 305
— водоактивируемые на основе системы магний — хлористая медь 304
— — — — — магний — хлористое серебро 302, 303
— — — — — цинк — хлористое серебро 303
— воздушной деполяризации цинковые *см.* Элементы воздушной деполяризации цинковые
— дистанционно активируемые 165
— для больших скоростей разряда 225
— — отбора большого тока 162
— литиевые с твердым электролитом 270—275
— — — — — на основе системы литий — висмутат свинца 274
— — — — — — — — литий — хромат серебра 274
— на основе системы двуокись марганца — перхлорат магния 171—183
— — — — литий — двуокись меди 259—268
— — — — литий — двуокись серы 208—246
— — — — литий — иод 276—283
— — — — литий — окись меди 268—270
— — — — литий—пятиокись ванадия 203—208
— — — — литий — сульфид железа 259
— — — — литий — тионилхлорид 246—254
— — — — ртуть — индий — висмут 145
— — — — ртуть — кадмий 145
— — — — ртуть — цинк 97—145
— никель-кадмиевые 35, 36
— резервные аммиачные 305
— — на основе системы литий — двуокись серы 211—220
— — — — — литий — пятиокись ванадия 203—205
— — — — — литий — тионилхлорид 251
— — — — — перхлорат магния—двуокись марганца 173
— — термически активируемые 284—301
— серебряно-цинковые 148—170
— с органическим электролитом литиевые 246—259
— — — — магниевые 184
— угольно-цинковые 41—75

Газовыделение 14

Деполяризатор 43, 77

Емкость 45

Задержка напряжения 173, 244, 250

Импеданс 67

Катод 27, 78
Корпус батарей 174
— элемента 99

Материалы активные 173

Напряжение конечное 22
— разомкнутой цепи 47

Обслуживание источника тока 36, 100

Пассивация электродов в элементах на основе системы литий — тионилхлорид 249
Переполюсовка элемента 231, 234

Саморазряд 31, 257
Сепаратор 257
Скорость разряда 36
Сопротивление внутреннее 48, 85
Сохраняемость емкости батарей на основе системы двуокись марганца — перхлорат магния 175
— — — ртутно-цинковых 28
— — — серебряно-цинковых 164

Токовыводы 52—58

Условия экстремальные (испытаний) 70

Химические реакции первичных элементов 12—13
— — элемента на основе системы двуокись марганца — перхлорат магния 171
— — — — — — литий — двуокись марганца 261
— — — — — — литий — двуокись серы 197
— — — — — — литий—иод 278
— — — — — — литий — иодистый свинец 272
— — — — — — литий — тионилхлорид 247

Электрод спеченный (плоский) 36
Электролит 12, 27, 43
Элементы для разряда малым током 154, 159
— воздушной деполяризации цинковые 185—195
— дисковые на основе литий — висмутат свинца 274, 275
— литиево-окисномедные высокотемпературные 268, 269
— марганцево-цинковые 76—96
Энергия удельная 9, 80, 97
Эталон стандартного напряжения 102, 103

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к русскому изданию 5
Предисловие 7

1. Введение 9
Источники питания для миниатюрных устройств 26
Источники питания для портативных устройств 29
Источники питания для переносных устройств 36

2. Угольно-цинковые элементы и элементы на основе цинка 41
2.1. Угольно-цинковые и хлористо-цинковые батареи производства фирмы Union Carbide 51
2.2. Другие фирмы, выпускающие угольно-цинковые батареи . . 70

3. Щелочные марганцево-цинковые элементы 76
3.1. Щелочные марганцево-цинковые батареи производства фирмы Union Carbide 85
3.2. Щелочные марганцево-цинковые батареи производства фирмы Mallory 85
3.3. Щелочные марганцево-цинковые батареи производства фирмы Chloride Automotive 92
3.4. Щелочные марганцево-цинковые батареи производства фирмы VARTA 94
3.5. Щелочные марганцево-цинковые батареи производства фирмы Duracell Europe 96

4. Ртутно-цинковые и другие ртутные батареи 97
4.1. Ртутно-цинковые батареи производства фирмы Union Carbide 111
4.2. Ртутно-цинковые батареи производства фирмы Mallory . . . 129
4.3. Ртутно-цинковые батареи производства фирмы Duracell Europe 139
4.4. Другие фирмы-изготовители ртутно-цинковых батарей . . . 139
4.5. Батареи систем окись ртути — индий — висмут и окись ртути — кадмий 145

5. Серебряно-цинковые батареи 148
5.1. Серебряно-цинковые батареи производства фирмы Yardney 152
5.2. Серебряно-цинковые батареи производства фирмы Union Carbide 153

5.3. Серебряно-цинковые батареи производства фирмы Mallory 159
5.4. Серебряно-цинковые батареи производства фирмы Duracell Europe 161
5.5. Серебряно-цинковые батареи производства фирмы VARTA 162
5.6. Серебряно-цинковые батареи производства фирмы Yuasa . . 163
5.7. Серебряно-цинковые батареи, выпускаемые другими фирмами 165
5.8. Дистанционно активируемые серебряно-цинковые батареи . . 165

6. Батареи на основе системы двуокись марганца — перхлорат магния 171

6.1. Резервные первичные батареи на основе системы двуокись марганца — перхлорат магния производства фирмы Eagle-Picher 174
6.2. Нерезервные первичные батареи на основе системы двуокись марганца — перхлорат магния 176
6.3. Магниевые батареи с органическим электролитом 184

7. Цинковые элементы воздушной деполяризации 185

7.1. Цинковые элементы и батареи ВД производства фирмы McGraw Edison 189

8. Системы на основе лития 196

8.1. Элементы на основе системы литий — пятиокись ванадия производства фирмы Honeywell 203
8.2. Элементы на основе системы литий — двуокись серы производства фирмы Honeywell 208
8.3. Элементы на основе системы литий — двуокись серы производства фирмы Mallory 220
8.4. Батареи на основе системы литий — двуокись серы производства фирмы Silberkraft 237
8.5. Батареи на основе системы литий — двуокись серы производства фирмы Duracell International 238
8.6. Батареи на основе системы литий — тионилхлорид производства фирмы Honeywell 246
8.7. Батареи на основе системы литий — тионилхлорид производства фирмы SAFT 254
8.8. Элементы и батареи на основе других литиевых систем с органическим электролитом 255

9. Батареи на основе системы литий — иод 276

10. Высокотемпературные резервные термически активируемые батареи 284

11. Водоактивируемые батареи 302

11.1. Батареи на основе системы магний — хлористое серебро, активируемые морской водой 302
11.2. Батареи на основе системы магний — хлористое серебро производства фирмы SAFT 303
11.3. Батареи на основе системы цинк — хлористое серебро производства фирмы SAFT 303
11.4. Батареи на основе системы магний — хлористая медь производства фирмы SAFT 304

12. Аммиачные резервные батареи 305

Указатель терминов 307
Словарь терминов 310
Предметный указатель 323

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Ваши замечания о содержании книги, ее оформлении, качестве перевода и другие просим присылать по адресу: 129820, Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., д. 2, изд-во «Мир»