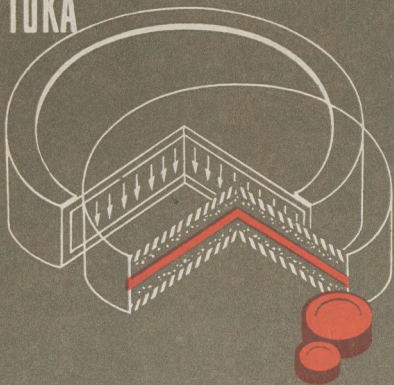


В.А.ОРЛОВ

# МАЛОГАБАРИТНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА



В. А. ОРЛОВ

# МАЛОГАБАРИТНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Ордена Трудового Красного Знамени  
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР  
МОСКВА — 1970



Scan AAW

**Орлов В. А.**

**О-66** Малогабаритные источники тока. М., Воениздат, издание второе, дополненное. 1970.

224 с. 17 000 экз. 75 к.

В книге описаны преобразователи различных видов энергии в электрическую. Изложены принципы действия, устройство, технические и эксплуатационные характеристики современных автономных источников тока: химических (элементы и аккумуляторы), полупроводниковых, атомных и других.

Приведен справочный материал по источникам тока, выпускаемым отечественной промышленностью, и способам их эксплуатации с целью помочь читателю решить задачу о выборе нужного источника тока.

Книга предназначена для военных специалистов, имеющих дело с автономными источниками тока, а также инженеров и техников, работающих в области радиотехники и электроники.

Книга написана по материалам отечественной и зарубежной печати.

## ВВЕДЕНИЕ

Датой рождения первого источника тока можно считать день, когда итальянский врач Луиджи Гальвани, работая с препарированной на цинковом столе лягушкой, обнаружил сокращение мышцы ее лапки при соприкосновении с медным пинцетом.

Однако археологи считают, что химические источники тока использовались еще в глубокой древности, около 5 тысяч лет назад, при нанесении золотых и серебряных покрытий на металлические украшения.

Найденные в Ираке глиняные сосуды с медными стаканами и железными стержнями внутри, покрытыми окисленным слоем металла, дают основания предполагать, что древнейшие гальванические элементы с электролитом в виде лимонной или уксусной кислоты могли давать электрический ток при напряжении около 0,5 в.

Для химических источников тока, открытых в XVIII—XIX веках, характерен длительный временной разрыв между созданием и применением. От первых гальванических батарей, изобретенных Вольта в 1799 году, прошло около половины столетия, прежде чем созданные им и другими учеными источники тока нашли применение в гальванотехнике, освещении, телеграфии и минном деле, и лишь через сто лет они стали применяться в телефонии и радио.

До изобретения «машинного» электричества — динамомашин химические источники тока являлись единственным способом получения электрической энергии. В то время появился такой замечательный источник тока, как элемент Лекланше, применение которого в различных конструктивных и технологических модификациях продолжается и в наше время.

К концу XIX столетия были открыты почти все электрохимические пары, пригодные для практического использования в электрических элементах и аккумуляторах. Но далеко не все из открытых электрохимических пар нашли тогда же воплощение в промышленных образцах. Например, изобретенные в 1884 году ртутно-цинковые элементы и в 1898 году серебряно-цинковые аккумуляторы стали выпускаться промышленностью лишь через пятьдесят лет.

Топливные элементы, которые принято считать новейшими источниками тока, изобретены еще в 1839 году Грове и усовершенствованы в 1880 году Яблочковым. Однако их практическая реализация в промышленных образцах задерживается вследствие ряда конструктивных и технологических трудностей, хотя топливные элементы являются весьма перспективными источниками тока.

Промышленное производство электроэнергии тепловыми и гидроэлектрическими станциями, начавшееся в конце прошлого века, в какой-то степени затормозило развитие автономных источников тока.

До второй мировой войны промышленностью выпускалась довольно ограниченная номенклатура гальванических элементов и всего три вида аккумуляторов. В это же время проводились некоторые работы, направленные на улучшение эксплуатационных характеристик источников тока и совершенствование технологии их производства, но резкого повышения электрических или эксплуатационных характеристик элементов или аккумуляторов техника не достигла.

С началом второй мировой войны значительно возросло производство источников тока. Выпуск марганцево-цинковых элементов и батарей в США в годы войны составлял несколько десятков миллионов штук в день.

Появление новых образцов радиоэлектронного вооружения вызвало рост новых разработок и изысканий в области полупроводниковых и химических источников тока. В эти годы были разработаны промышленные образцы и начался массовый выпуск таких источников тока, как ртутно-цинковые элементы, серебряно-цинковые аккумуляторы и др.

Выдающиеся успехи в исследованиях, разработке и промышленном изготовлении автономных источников тока достигнуты в послевоенный период с появлением и

развитием ракетной и космической техники и бурным развитием военной и бытовой радиотехнической аппаратуры на транзисторах, потребовавшей, в свою очередь, создания малогабаритных источников тока с высокими удельными характеристиками.

В этот период резко возросло производство таких химических источников тока, как ртутно-цинковые и марганцево-цинковые миниатюрные элементы и батареи, малогабаритные дисковые и цилиндрические кадмий-никелевые герметичные аккумуляторы, аккумуляторы безламельной конструкции с металлокерамическими электродами, серебряно-цинковые аккумуляторы.

Появились герметичные серебряно-кадмиевые аккумуляторы, никель-цинковые аккумуляторы. Созданы элементы с твердым электролитом, рассчитанные на длительное хранение, а также элементы и батареи для работы при температуре  $-50^{\circ}\text{C}$ . В это же время были созданы полупроводниковые источники тока.

Техника полупроводниковых генераторов от партизанских котелков, применяемых для питания раций нашими партизанами в Великую Отечественную войну, шагнула усилиями советских физиков далеко вперед.

Широко применяются в космической технике фотоэлектрические источники тока — солнечные батареи. Успешно разрабатываются плазменные термоионные преобразователи, магнитогиродинамические генераторы. Особое внимание при этом уделяется разработке способов непосредственного преобразования различных видов энергии в электрическую с максимально высоким коэффициентом полезного действия.

С развитием и освоением способов непосредственного преобразования солнечной энергии и энергии атомного ядра в электрическую энергию существенно изменится соотношение между использованием этих видов энергии и энергии ископаемых топлив (угля, нефти и газа), составляющее в наше время 1% и 85% соответственно (14% энергетических ресурсов составляют древесина и отходы сельскохозяйственного производства).

В последнее время внимание инженеров и ученых обращено на проблему создания электромобиля, преимущества которого перед автомобилем по отсутствию выделения высокотоксичных выхлопных газов и бесшумности

работы очевидны. Однако решение этой задачи определяется уровнем развития источников тока, в первую очередь химических, так как современный бензиновый двигатель позволяет снять с килограмма своего веса около 500 *вт* энергии, а кислотный аккумулятор только 50 *вт*, не считая веса электродвигателя. По мнению ученых, применение новых источников тока для питания электромобиля, таких, как топливные элементы или серно-натриевые аккумуляторы, позволит успешно решить эту проблему, ставшую весьма актуальной в городах с большим населением.

В военной технике автономные источники тока занимают особое место. Еще в прошлом веке гальванические батареи использовались в минно-торпедном вооружении и саперной технике для подрыва фугасов, в военной телеграфии, сигнализации и радиосвязи. В настоящее время сфера применения автономных источников тока в военной технике исключительно велика. Применение новых, более совершенных источников тока в ряде случаев позволит существенно сократить габариты и вес вооружения или увеличить ресурс их боевой работы.

Задачей книги является ознакомление широкого круга военных и гражданских специалистов с современными источниками тока.

В книге дано краткое описание основ действия источников тока, приведены электрические и эксплуатационные характеристики источников тока, выпускаемых нашей промышленностью, способы эксплуатации источников тока, обеспечивающие их безотказную работу в течение срока службы. Описаны зарядные устройства для заряда различных аккумуляторов и гальванических элементов, способы устранения неисправностей и ремонт, доступный в условиях войсковых ремонтных органов.

## Глава первая

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Характеристики источников тока можно разделить на электрические и эксплуатационные. К первым относятся электродвижущая сила, напряжение, емкость, внутреннее сопротивление, отдача по емкости и энергии, саморазряд и удельные характеристики по емкости и энергии. Вторые включают срок службы, срок сохранности, работоспособность в условиях воздействия вибрационных и ударных нагрузок, способность работать в различных климатических условиях, особенно в широком интервале температур.

Для полупроводниковых источников тока большинство перечисленных выше электрических характеристик не имеют смысла, поскольку полупроводниковые источники работают от внешних источников энергии — света, тепла и др., где основным критерием является коэффициент полезного действия. Но такие характеристики, как напряжение, внутреннее сопротивление, являются весьма важными и для полупроводниковых источников.

#### Электродвижущая сила

Электродвижущая сила (э. д. с.) источника тока представляет собой разность потенциалов неработающего источника тока, т. е. источника тока, к которому не подключен потребитель.

Для химических источников тока э. д. с. определяется разностью потенциалов положительного и отрицательно-го электродов:

$$E = \varphi_a - \varphi_k, \text{ в,}$$

где  $\varphi_a$  — потенциал анода,  $\varphi_k$  — потенциал катода



Электродвижущая сила полупроводниковых источников тока определяется рядом физических факторов: для термоэлементов она определяется коэффициентом термоэлектродвижущей силы полупроводниковых пар, зависящим от выбора полупроводникового вещества, для фотоэлементов — типом фотоэлемента и температурой, для пьезоэлемента — материалом и давлением и т. д.

Электродвижущая сила некоторых источников тока приводится в табл. 1.

Таблица 1

Э. д. с. химических и полупроводниковых источников тока

Наименование источника тока	Величина э. д. с., в
Свинцово-кадмиевый гальванический элемент . . .	2,40
Хлорный гальванический элемент . . . . .	2,05
Марганцево-магниевый элемент . . . . .	2,00
Марганцево-цинковый элемент солевой . . . . .	1,80
Марганцево-цинковый элемент щелочной . . . . .	1,50
Ртутно-цинковый элемент . . . . .	1,35
Воздушно-цинковый элемент ВД . . . . .	1,40
Воздушно-железный элемент ВДЖ . . . . .	1,00
Медно-цинковый элемент . . . . .	0,96
Свинцовый кислотный аккумулятор . . . . .	2,10
Серебряно-цинковый аккумулятор . . . . .	1,84
Никель-цинковый аккумулятор . . . . .	1,83
Серебряно-кадмиевый аккумулятор . . . . .	1,50
Железо-никелевый аккумулятор . . . . .	1,40
Кадмий-никелевый аккумулятор . . . . .	1,36
Топливные элементы . . . . .	1,00—1,20
Биологические элементы . . . . .	0,60—1,00
Термоэлементы . . . . .	0,13—0,20
Плазменные генераторы . . . . .	0,70—2,50
Кремниевый фотоэлемент . . . . .	0,55
Фотоэлементы на органических веществах . . . . .	1,10

Электродвижущая сила батареи, составленной из последовательно соединенных однотипных источников тока, равна произведению э. д. с. одного элемента на число этих элементов.

При параллельном соединении отдельных элементов э. д. с. батареи остается неизменной.

В качестве эталонов электродвижущей силы применяются международные элементы Кларка и Вестона.

В обычной лабораторной практике можно применять промышленные образцы источников опорного напряжения — ртутно-цинковую батарею типа З(Р-04)-1, состоящую из трех элементов Р-04.

Точное измерение электродвижущей силы производится компенсационным методом. Приближенное измерение э.д.с. с достаточной для практики точностью производится ламповым вольтметром или вольтметром, входное сопротивление которого составляет не ниже 1000 ом на вольт.

### Напряжение

Напряжение источника тока измеряется при замкнутой на нагрузку внешней цепи. У источников тока одноразового действия и полупроводниковых источников рабочее напряжение всегда ниже э.д.с.

Химические источники тока в процессе разряда изменяют свое напряжение от большего к меньшему. У полупроводниковых источников при условии постоянства факторов, вызывающих появление в них э.д.с., величина напряжения остается неизменной при неизменяющейся нагрузке.

В отличие от источников тока одноразового действия электрические аккумуляторы помимо разрядного напряжения, которое меньше э.д.с., имеют зарядное напряжение, превышающее э.д.с.

В общем виде разрядное напряжение источника тока определяется выражением

$$U_p = E - IR_{вн}.$$

В химических источниках тока, внутреннее сопротивление которых  $R_{вн}$  изменяется в процессе заряда за счет возникновения э.д.с. поляризации, величину напряжения можно определить из равенства

$$U = E' - E_{п} - IR_{вн}' = IR_{н},$$

где  $E$  — э.д.с. источника тока,  $E_{п}$  — э.д.с. поляризации,  $R_{вн}$  — внутреннее сопротивление источника тока,  $I$  — ток разряда,  $R_{н}$  — сопротивление нагрузки во внешней цепи.

Возникновение э.д.с. поляризации при разряде объясняется тем, что скорость электродных процессов зависит от ряда факторов: температуры, состояния электролита, качества активных веществ и их состояния и т. д.,

вследствие чего электродные потенциалы электрохимической пары снижаются и химический источник тока будет обладать меньшим разрядным напряжением. Э. д. с. поляризации препятствует созданию химических источников тока, в которых напряжение было бы равно разности электродных потенциалов его электрохимической пары.

Основными факторами, определяющими напряжение источника тока, являются внутреннее сопротивление и сила разрядного тока. Из формулы для напряжения следует, что, чем меньше внутреннее сопротивление, тем больше напряжение. Эта же зависимость сохраняется и для тока разряда. При внутреннем сопротивлении, равном нулю, напряжение источника тока равно его э. д. с.

Разряд химического источника тока характеризуется начальным, средним и конечным напряжением.

Начальное напряжение меньше э. д. с. на величину  $IR_{\text{вн}}$ . При низких температурах начальное напряжение меньше, чем при положительной температуре, вследствие уменьшения подвижности ионов электролита.

Величиной среднего напряжения пользуются при определении зарядной или разрядной энергии источника тока. Среднее напряжение определяется из разрядных кривых.

Конечное напряжение характеризует состояние источника тока, его возможности по отдаче энергии во внешнюю цепь. Величиной конечного напряжения обычно задаются исходя из условий работы нагрузки, т. е. по допустимому перепаду напряжения между началом и концом разряда.

В табл. 2 приводятся данные среднего напряжения некоторых химических источников тока.

Конечное напряжение химических источников тока, как уже указывалось выше, определяется потребителем исходя из требований эксплуатации аппаратуры. Но все источники обладают таким напряжением в конце разряда, когда эксплуатация их становится практически невозможной из-за чрезвычайно быстрого падения разрядной характеристики.

Таким напряжением для кислотных аккумуляторов является конечное напряжение 1,7 в при длительных разрядах и 1,5 в при коротких. При температуре  $-20^\circ$  конечное напряжение тех же аккумуляторов равно 1 в.

Таблица 2

## Напряжение химических источников тока

Наименование источника тока	Величина среднего напряжения, в
Свинцово-кадмиевый элемент . . . . .	2,1—1,8
Хлорный элемент . . . . .	1,9—1,6
Марганцево-магнийевый элемент . . . . .	1,5—1,4
Марганцево-цинковый элемент щелочной . . . . .	1,3—1,1
Марганцево-цинковый элемент солевой . . . . .	1,46—0,95
Ртутно-цинковый элемент . . . . .	1,25—1,1
Воздушно-цинковый элемент ВД . . . . .	1,25—1,0
Медно-цинковый элемент . . . . .	0,7—0,5
Серебряно-цинковый аккумулятор . . . . .	1,5—1,4
Серебряно-кадмиевый аккумулятор . . . . .	1,15—1,05
Кадмий-никелевый аккумулятор . . . . .	1,2—1,1

Конечное напряжение разряда КН аккумуляторов, в том числе безламельных и герметичных, при нормальной температуре составляет 0,9 в, а при температуре ниже нуля 0,7 в.

Серебряно-цинковые аккумуляторы при нормальной температуре отдают энергию при разряде до 1,3 в, а при отрицательной — до 0,9 в.

Конечное напряжение для первичных источников тока, кроме элементов РЦ, задавать затруднительно, так как разрядная характеристика большинства гальванических элементов не имеет крутых участков, как у аккумуляторов, вследствие чего величиной конечного напряжения следует задаваться исходя из требований потребителя.

## Внутреннее сопротивление

Внутреннее сопротивление источника тока является весьма важной для потребителя характеристикой, поскольку оно определяет режим работы источника тока. При малом внутреннем сопротивлении падение напряжения на самом источнике невелико, вследствие чего этот источник может быть нагружен на значительную мощность. Источник тока, обладающий большим внутренним сопротивлением, неспособен отдать во внешнюю цепь большой ток в течение короткого промежутка времени.

Для химических источников тока внутреннее сопротивление определяется омическим сопротивлением электродов и электролита, а также сопротивлением поляризации, возникающим при изменении электродных потенциалов при разряде.

Если ввести сопротивление поляризации в общее омическое сопротивление химического источника тока, то напряжение этого источника можно выразить равенством

$$U_p = E - R_{вн} I_p \text{ — для разряда; } U_z = E + I_z R_{вн} \text{ — для заряда.}$$

Откуда величина внутреннего сопротивления с приемлемой для практических расчетов точностью составит

$$R_{вн} = \frac{E - U_p}{I_p} \text{ — для разряда; } R_{вн} = \frac{U_z - E}{I_z} \text{ — для заряда.}$$

Внутреннее сопротивление гальванических элементов изменяется в процессе хранения и эксплуатации. Чем больше времени хранится элемент, тем больше его внутреннее сопротивление. В процессе разряда гальванического элемента его внутреннее сопротивление увеличивается.

В общем внутреннее сопротивление гальванических элементов определяется электрохимической парой и размерами элементов: элементы большой емкости имеют омическое сопротивление порядка десятых долей ома, а малогабаритные элементы малой емкости обладают сопротивлением, достигающим десятков ом.

Ламельные аккумуляторы КН и ЖН в процессе разряда изменяют свое омическое сопротивление. Если в начале разряда и до съема 50% емкости сопротивление аккумуляторов изменяется незначительно, то к концу разряда оно увеличивается вдвое.

Приближенное значение внутреннего сопротивления КН и ЖН аккумуляторов может быть получено по формуле

$$R_{вн} = \frac{0,35}{Q},$$

где  $Q$  — емкость аккумулятора в а·ч при нормальной температуре.

Для полупроводниковых источников тока внутреннее сопротивление определяется характером вещества. Сопротивление кремниевых солнечных элементов находится в

пределах от 500 до 1000 *ом* и зависит от типоразмера элемента. Внутреннее сопротивление атомных батарей в зависимости от полупроводникового вещества и источника бомбардировки колеблется в пределах от 100 до  $10^{12}$  *ом*. Зато внутреннее сопротивление термоэлементов составляет тысячные доли *ома*.

Как и для химических источников тока, внутреннее сопротивление полупроводниковых элементов определяет режим их работы на внешнюю нагрузку. Термоэлектрические батареи, обладающие малым внутренним сопротивлением, способны отдавать во внешнюю цепь значительный ток, а ток во время работы атомных батарей составляет лишь  $10^{-16}$  *а*.

### Емкость

Понятие «емкость» характерно только для химических источников тока, так как в полупроводниковых элементах, кроме атомных батарей, длительность работы определяется временем воздействия внешних факторов: тепла, света, давления и т. д.

Емкостью химического источника тока в общем виде называется то количество электрической энергии, которое может запастись или отдать источник тока.

Для гальванических элементов существует разрядная емкость, определяемая количеством электричества, которое способен отдать элемент при разряде до конечного напряжения.

Для аккумуляторов кроме разрядной емкости существует характеристика по зарядной емкости, численно равная количеству электричества, запасенному аккумулятором при заряде. Таким образом, емкость

$$Q = It, \text{ а } \cdot \text{ ч},$$

где  $I$  — сила тока заряда или разряда в амперах,  $t$  — время заряда или разряда в часах.

Указанная формула справедлива для случая, когда ток не изменялся в процессе заряда или разряда. При разряде источника тока на постоянное сопротивление, что наиболее часто встречается в практике, пользуются для определения емкости средним значением тока раз-

ряда  $I_{\text{ср}}$ , равным среднему арифметическому (приблизительно) токов начала и конца разряда. Отсюда емкость

$$Q = I_{\text{ср}} t, \text{ а } \cdot \text{ч.}$$

Емкость любого химического источника тока зависит от величины разрядного тока и температуры. В таблицах характеристик источников тока вместе с величиной емкости указывается либо ток, при котором получена данная емкость, либо величина нагрузочного сопротивления. Последнее обычно приводится в характеристиках гальванических элементов, емкость которых (МЦ, ВЦ, ВД, ВМЦ) можно определить приближенно из равенства

$$Q = \frac{U_{\text{н}} + 2U_{\text{к}}}{3R} \cdot t, \text{ а } \cdot \text{ч.},$$

где  $U_{\text{н}}$  и  $U_{\text{к}}$  — начальное и конечное напряжение в вольтах,  $R$  — сопротивление нагрузки в омах,  $t$  — время разряда в часах.

При выборе источника тока необходимо обращаться к графикам зависимости емкости от разрядного тока, по которым можно судить о возможности использования данного источника тока в требуемом режиме разряда.

Приводимые в таблицах данные по емкости обычно относятся к номинальной или гарантированной емкости, которую должен отдать источник тока, если его разряд проводился режимом, указанным заводом-изготовителем. Такая емкость является минимально допустимой.

Что же касается фактической емкости, то она обычно на 15—20% превышает номинальную емкость, что объясняется необходимостью сохранения заводом-изготовителем некоторого производственного запаса.

Емкость аккумуляторов, разряжаемых на постоянное сопротивление, можно определить по приближенной формуле

$$Q = \frac{U_{\text{ср}}}{R} \cdot t = \frac{U_{\text{н}} + U_{\text{к}}}{2R} \cdot t, \text{ а } \cdot \text{ч.},$$

где  $U_{\text{н}}$  и  $U_{\text{к}}$  — напряжение в начале и конце разряда,  $R$  — сопротивление,  $t$  — время разряда.

Емкость источников тока зависит от количества заложенных в них активных материалов, что определяется типоразмером источника тока.

Влияние режима разряда на отдаваемую химическим источником тока емкость показано на рис. 1, где приводятся характеристики некоторых элементов и аккумуляторов. При увеличении тока разряда емкость большинства химических источников тока уменьшается.

Особенно сильно влияет на емкость температура. Верхним пределом работы большинства источников тока является температура  $+50^{\circ}$ . Химические источники

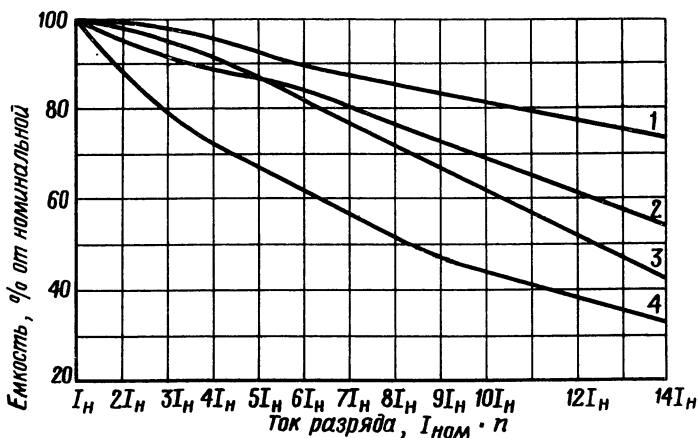


Рис. 1. Влияние режима разряда на емкость, отдаваемую химическими источниками тока:

1 — серебряно-цинковые аккумуляторы; 2 — серебряно-кадмиевые аккумуляторы; 3 — кадмий-никелевые безламельные аккумуляторы; 4 — марганцево-цинковые элементы

тока обладают отрицательным температурным коэффициентом: при повышении температуры от  $0^{\circ}$  до верхнего предела емкость при разряде источников тока увеличивается, а при разряде от нуля в сторону отрицательных температур уменьшается, что объясняется изменением скорости электрохимических реакций.

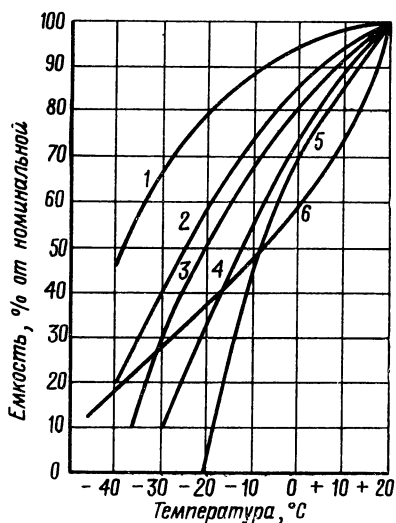
При повышении температуры выше нормальной ( $+18 - +20^{\circ}$ ) емкость щелочных аккумуляторов увеличивается на 0,5% на каждый градус температуры.

При низких температурах емкость химических источников тока сильно уменьшается. При этом напряжение источника тока также падает. Для большинства гальванических элементов разряд при температуре ниже  $-20^{\circ}$



возможен лишь малым разрядным током. Некоторые гальванические элементы, как, например, элементы РЦ, при температуре ниже нуля практически неработоспособны, за исключением специальных хладостойких элементов РЦ83х и РЦ85х.

Отдача емкости аккумуляторами при низких температурах также сильно уменьшается. При температуре  $-40^{\circ}$  ламельные КН аккумуляторы способны отдать лишь 20% своей номинальной емкости, а ЖН аккумуляторы при этой температуре практически неработоспособны.



**Рис. 2.** Характеристики зависимости емкости некоторых химических источников тока от температуры: 1 — КНБ аккумуляторы; 2 — СЦ аккумуляторы; 3 — КН ламельные аккумуляторы; 4 — КН герметичные аккумуляторы; 5 — ртутно-цинковые элементы; 6 — гальванические элементы МЦ

Из всех типов аккумуляторов наиболее стойкими в работе при температуре ниже нуля оказываются безламельные КН аккумуляторы, нижний температурный предел которых равен  $-50^{\circ}$ .

Некоторые аккумуляторы, как, например, серебряно-цинковые, могут работать при отрицательных температурах ( $-30^{\circ}$  и ниже) после кратковременной работы в режиме короткого замыкания с целью разогрева.

На рис. 2 приводятся характеристики зависимости емкости некоторых источников тока от температуры.

При заряде аккумуляторов на величину зарядной емкости влияет как режим заряда, так и температура. Влияние режима заряда на емкость выражается в том, что при заряде большим током аккумулятор не успевает набрать необходимую зарядную емкость, так как происходящие при этом электрохимические реакции требуют для своего завершения определенное время. Аккумулятор, не

приспособленный для заряда в форсированном режиме, не успевает набрать требуемую емкость и поэтому при разряде отдает пониженную разрядную емкость.

При заряде в условиях низких температур, когда скорость электрохимических реакций уменьшается, аккумулятор также не успевает получить необходимую зарядную емкость.

При проведении заряда в условиях повышенной температуры некоторые типы аккумуляторов, как, например, железо-никелевые, вследствие большого саморазряда также не отдают положенную емкость.

Емкость, отдаваемая при разряде щелочными КН, ЖН и КНБ аккумуляторами, в значительной мере зависит от плотности электролита, что особенно сказывается в условиях низких температур.

### Удельные характеристики

Удельные характеристики химических источников тока — удельная емкость, удельная энергия и удельная мощность — являются наиболее показательными с точки зрения возможности сравнения разнородных по электрическим характеристикам источников тока и возможности их использования в форсированных режимах разряда.

Удельная емкость — есть отношение фактической разрядной емкости источника тока к его объему или весу. Удельная емкость по объему  $Q_V$  и по весу  $Q_q$  определяются из выражений:

$$Q_V = \frac{Q}{V}, \quad \frac{a \cdot u}{\text{дм}^3},$$
$$Q_q = \frac{Q}{q}, \quad \frac{a \cdot u}{\text{кг}},$$

где  $Q$  — емкость,  $V$  — объем,  $q$  — вес источника.

Удельная емкость дает возможность сравнивать источники тока, напряжение которых одинаково, вследствие чего для сравнения различных по напряжению источников необходимо пользоваться характеристиками удельной мощности или удельной энергии:

$$P_V = \frac{IU}{V}, \quad \frac{\text{вт}}{\text{дм}^3} \text{ — удельная мощность по объему;}$$

$$P_q = \frac{IU}{q}, \quad \frac{\text{вт}}{\text{кг}} \text{ — удельная мощность по весу;}$$

$W_V = \frac{IU}{V} \cdot t, \frac{вт \cdot ч}{\partial м^3}$  — удельная энергия по объему;

$W_q = \frac{IU}{q} \cdot t, \frac{вт \cdot ч}{кг}$  — удельная энергия по весу.

Полная мощность источника тока определяется равенством

$$P_{\text{полн}} = IE = I(IR + IR_{\text{вн}}) = I^2R + I^2R_{\text{вн}},$$

где  $I^2R$  означает мощность, потребляемую внешней цепью, а  $I^2R_{\text{вн}}$  — внутренней цепью.

Мощность, потребляемая внутренней цепью, является паразитной, а поэтому полезная мощность может быть выражена равенством

$$P_{\text{полезн}} = P_{\text{полн}} - I^2R_{\text{вн}} = I^2R.$$

Максимальную мощность можно получить от источника тока при выполнении условия  $R = R_{\text{вн}}$ , т. е. когда сопротивление внешней цепи равно внутреннему сопротивлению источника тока. Эта мощность равна

$$P = 2I^2R.$$

Максимальный ток может быть получен при условии  $P_{\text{полезн}} = 0$ , т. е. когда источник тока замкнут накоротко:

$$IE - I^2R_{\text{вн}} = 0, \text{ т. е. } IE = I^2R_{\text{вн}}, I = \frac{E}{R_{\text{вн}}}.$$

Из последнего выражения следует, что величина тока при коротком замыкании определяется внутренним сопротивлением источника тока.

В табл. 3 представлены характеристики некоторых химических источников тока по удельной емкости и удельной энергии. Приведенные в таблице данные относятся к номинальным режимам по току и величине напряжения. Естественно, что при отклонении режима использования того или иного источника тока от рекомендованного изготовителем характеристики будут иметь другую величину.

Таблица 3

**Удельная емкость и удельная энергия химических источников тока**

Наименование источника тока	Удельная емкость		Удельная энергия	
	по объ- ему, $\frac{a \cdot \eta}{\text{дм}^3}$	по весу, $\frac{a \cdot \eta}{\text{кг}}$	по объ- ему, $\frac{вт \cdot \eta}{\text{дм}^3}$	по весу, $\frac{вт \cdot \eta}{\text{кг}}$

**Гальванические элементы**

Марганцево-цинковый элемент ФМЦ . . . . .	19	11	25	15
Марганцево-цинковый элемент 326 . . . . .	100	40	120	50
Марганцево-цинковый элемент МЦ . . . . .	90	27	124	40
Марганцево-цинковая батарея КБС . . . . .	5,1	3,1	30	17
Марганцево-цинковая батарея рамочной конструкции . . . . .	53	24	213	96
Галетная батарея ГВ-у-10-1,3 . . . . .	8,7	5,6	86	50
Галетная батарея „Крона-1Л“ . . . . .	12,5	7,1	112	64
Галетная батарея „Крона ВЦ“ . . . . .	30	15	270	135
Марганцево-цинковая батарея „Финиш“ . . . . .	29	16	235	133
Марганцево-магниевый элемент . . . . .	130	64	200	97
Медноокисный элемент . . . . .	53	80	35	52
Ртутно-цинковый элемент РЦ83х . . . . .	226	53	282	67
Хлорно-свинцовый элемент . . . . .	70	27	127	46
Медно-магниевый элемент . . . . .	70	33	83	40
Серебряно-цинковый элемент . . . . .	130	50	200	70

**Аккумуляторы**

Свинцовый кислотный (авиационный) . . . . .	39	16	58	26
Кадмий-никелевый ламельный КН . . . . .	36	13	43	16
Железо-никелевый ламельный ЖН . . . . .	30	15	45	15
Кадмий-никелевый безламельный КНБ . . . . .	54	32	65	36

Наименование источника тока	Удельная емкость		Удельная энергия	
	по объ- ему, $\frac{a \cdot \eta}{\text{дл}^3}$	по весу, $\frac{a \cdot \eta}{\text{кг}}$	по объ- ему, $\frac{вт \cdot \eta}{\text{дл}^3}$	по весу, $\frac{вт \cdot \eta}{\text{кг}}$
Кадмий-никелевый герметичный Д-0,25 . . . . .	62	14	75	17
Кадмий-никелевый герметичный ЦНК . . . . .	63	21	76	26
Кадмий-никелевый герметичный КНГ . . . . .	42	15	52	18
Серебряно-цинковый СЦ25 . . . . .	87	77	130	114
Серебряно-кадмиевый . . . . .	100	53	105	56
Никель-цинковый . . . . .	67	36	106	57

### Отдача

Отдачей химического источника тока называется отношение израсходованной источником тока энергии к энергии, запасенной активными массами его электродов — для элементов одноразового действия, или отношение емкости, отданной при разряде, к емкости, полученной при заряде — для аккумуляторов.

Для полупроводниковых источников тока отдача представляет отношение израсходованной на полезную работу энергии к энергии, обеспечивающей действие полупроводникового источника тока (тепловой, световой, атомной и т. д.), т. е. коэффициент полезного действия.

К. п. д. полупроводниковых источников тока невелик: для термоэлементов 8—10%, для фотоэлементов 0,1—11%, для атомных батарей 0,1—2,5%.

В печати уже отмечалось, что наибольший к. п. д. ожидается получить у плазменных, гидродинамических и топливных источников тока, в которых по расчетам и лабораторным опытам можно достигнуть почти 100% использования энергии.

Для аккумуляторов различают три вида отдачи: отдачу по емкости  $\eta_Q$ , отдачу по энергии  $\eta_W$  и отдачу по напряжению  $\eta_U$ .

$$\eta_Q = \frac{Q_p}{Q_a} \cdot 100 = \frac{I_p t_p}{I_a t_a} \cdot 100\%.$$

$$\eta_W = \frac{W_p}{W_a} \cdot 100 = \frac{I_p U_p t_p}{I_a U_a t_a} \cdot 100\%.$$

$$\eta_U = \frac{\eta_W}{\eta_Q} = \frac{I_p U_p t_p I_a t_a}{I_a U_a t_a I_p t_p} = \frac{U_p}{U_a} \cdot 100\%.$$

В табл. 4 приводятся характеристики по отдаче некоторых аккумуляторов.

Т а б л и ц а 4

**Отдача аккумуляторов**

Тип аккумулятора	Отдача в %	
	по емкости	по энергии
Свинцовый кислотный авиационный . . . . .	70—80	65—70
Кадмий-никелевый ламельный КН . . . . .	58—67	44—50
Кадмий-никелевый безламельный КНБ . . . . .	63—75	45—50
Кадмий-никелевый герметичный дисковый . . . . .	55—65	45—50
Кадмий-никелевый герметичный цилиндрический . . . . .	60—67	48—55
Железо-никелевый ламельный ЖН . . . . .	47—58	41—47
Серебряно-цинковый . . . . .	90—98	80—85

**Саморазряд**

Саморазрядом химического источника тока называется потеря им емкости в процессе хранения, когда источник тока не нагружен. Саморазряд возникает вследствие взаимодействия активных масс и электролита. Потеря емкости химическими источниками тока накладывает ограничение на продолжительность их хранения и эксплуатации. Поэтому требование минимального саморазряда источников тока является вполне обоснованным.

Суточный саморазряд определяется из выражения

$$C = \frac{Q_n - Q_{xp}}{Q_n \cdot n} \cdot 100 \%,$$

где  $Q_n$  — начальная емкость источника тока,  $Q_{xp}$  — емкость после хранения,  $n$  — число суток хранения.

Для гальванических элементов существует понятие сохранности, являющееся по существу скоростью саморазряда. В гальванических элементах электрохимической системы марганец — цинк саморазряд происходит вследствие растворения цинка в электролите и уменьшения емкости марганцевого электрода из-за потери им активного кислорода. Саморазряд в кадмий-никелевых аккумуляторах объясняется постепенной потерей кислорода положительным электродом и окислением отрицательного электрода в процессе хранения.

Саморазряд химических источников тока может про-

исходить и при нарушении правил хранения и эксплуатации элементов и аккумуляторов, когда химические источники тока хранятся в помещении с парами кислот и щелочей, во влажной атмосфере, когда между выводными борнами образуются мостики из токопроводящих частиц и т. д. Однако эти потери не входят в величину саморазряда, указываемую в паспорте источника тока, которая обусловлена только химическими процессами, происходящими внутри источника тока.

С целью уменьшения саморазряда гальванические элементы и батареи следует хранить при температуре около  $-5^{\circ}$ .

Характеристики по саморазряду некоторых источников тока приводятся в табл. 5.

Таблица 5

Саморазряд источников тока

Тип источника тока	Саморазряд в % от номинальной емкости		
	Температура хранения		
	+40°	+20°	ниже нуля
Марганцево-цинковые элементы	—	25—30% за 4—12 месяцев хранения	10% за 3 года при $-30^{\circ}$
Ртутно-цинковые элементы	—	Около 10% за год хранения	—
Свинцовый кислотный аккумулятор	—	Около 30% за месяц	—
Железо-никелевый аккумулятор ЖН	100% за месяц	18—30% за месяц	7% за месяц при $-10^{\circ}$
Кадмий-никелевый аккумулятор КН	24% за месяц	11—18% за месяц	Около 0% при $-10^{\circ}$
Кадмий-никелевый безламельный КНБ	20—22% за месяц	15% за месяц	Около 0% при $-10^{\circ}$
Кадмий-никелевый герметичный дисковый	40% за месяц	35% за месяц	—
Кадмий-никелевый герметичный цилиндрический	30% за месяц	20% за месяц	—
Кадмий-никелевый герметичный КНГ	—	20—25% за месяц	—
Серебряно-цинковый	40—45% за месяц	5—15% за месяц	—
Серебряно-кадмиевый	—	10% за 6 месяцев	—
Никель-цинковый	—	18—25% за месяц	—

## Срок службы и срок сохранности

Срок службы и срок сохранности источников тока являются весьма важными характеристиками, поскольку ими определяется возможность работы той или иной аппаратуры в течение какого-то времени, т. е. ее ресурс. Использование источников тока с малым сроком службы и малым сроком сохранности заставляет потребителя создавать запасы при условии их постоянного обновления. Особенно важны эти характеристики для полевой аппаратуры, работающей в отрыве от баз снабжения и ремонта.

Первичные источники тока — гальванические элементы — характеризуются сроком сохранности, т. е. тем временем, в течение которого гальванический элемент или батарея теряет не более 30 % своей первоначальной емкости. При этом для гальванических элементов наливного типа или заполняемых электролитом при вводе в действие существует характеристика по сроку сохранности в залитом состоянии.

Вторичные источники тока — аккумуляторы — характеризуются сроком службы, исчисляемым количеством заряд-разрядных циклов, которые может выдержать аккумулятор без заметного снижения разрядной емкости.

Другая характеристика аккумуляторов — срок сохранности — определяет способность к работе по истечении определенного срока хранения в сухом или заполненном электролитом состоянии. Некоторые из аккумуляторов требуют для ввода в работу длительного времени, вследствие чего потребитель вынужден держать их в залитом электролитом состоянии. Для таких источников тока характеристика по сроку сохранности в залитом состоянии является решающей.

Полупроводниковые источники тока имеют, как правило, большой срок службы.

Срок службы и срок сохранности некоторых источников тока приводится в табл. 6.



Срок службы химических источников тока

Наименование источника тока	Начальные значения		В конце срока сохранности		Срок службы, <i>цикл</i>	Срок сохранности	
	напряже- ние, <i>в</i>	емкость, <i>а·ч</i>	напряже- ние, <i>в</i>	емкость, <i>а·ч</i>		сухие	залитые
Элементы и батареи							
МЦ элемент № 286 . . . . .	1,5	ок. 0,2	—	Ок. 0,17	—	3 мес.	—
МЦ элемент № 316 . . . . .	1,5	ок. 0,45	—	Ок. 0,35	—	6 мес.	—
МЦ элемент № 343 . . . . .	1,5	ок. 1,20	—	Ок. 0,90	—	12 мес.	—
МЦ элемент 1,6-ФМЦ-у-3,2 . . . . .	1,6	3,2	1,32	2,6	—	12 мес.	—
МЦ батарея КБС-л-0,5 . . . . .	3,7	0,5	3,30	0,27	—	6 мес.	—
МЦ батарея „Крона-Л“ . . . . .	9,0	0,15	—	0,10	—	6 мес.	—
ВЦ батарея „Крона ВЦ“ . . . . .	9,0	0,60	—	0,45	—	9 мес.	—
МЦ батарея „Финиш“ . . . . .	9,0	ок. 1,0	—	—	25 цик- лов, ем- костью 0,1 а·ч	—	—
МЦ батарея 70-АМЦГ-у-1,3 . . . . .	70	1,3	55	1,05	—	15 мес.	—
Ртутно-цинковый элемент РЦ11 . . . . .	1,25	0,02	—	—	—	6 мес.	—
Ртутно-цинковый элемент РЦ53 . . . . .	1,25	0,20	—	—	—	12 мес.	—

Продолжение

Наименование источника тока	Начальные значения		В конце срока сохранности		Срок службы, цик.л	Срок сохранности	
	напряже- ние, в	емкость, а·ч	напряже- ние, в	емкость, а·ч		сухие	залитые
Ртутно-цинковый элемент РЦ63 . . .	1,25	1,20	—	—	—	30 мес.	—
Медноокисный элемент . . . . .	0,65	—	0,65	—	—	10 лет	—
Хлористомедно-магнийный элемент . .	1,50	—	—	—	—	Без огра- ничения	10 часов
Свинцово-цинковый элемент . . . . .	2,20	—	—	—	—	24 мес.	2—3 часа

Аккумуляторы

Свинцовый кислотный . . . . .	—	—	—	—	75—100	5 лет	1 год
Кадмий-никелевый КН . . . . .	—	—	—	—	750—1000	7 лет	2 года
КН герметичный дисковый . . . . .	—	—	—	—	50—150	До 2 лет	—
КН герметичный цилиндрический . . .	—	—	—	—	100—200	До 2 лет	—
КН герметичный КНГ . . . . .	—	—	—	—	600	Более 2 лет	—
Кадмий-никелевый КНБ . . . . .	—	—	—	—	200—300	7 лет	2 года
Серебряно-цинковый . . . . .	—	—	—	—	10—100	3 года	6—9 мес.
Серебряно-кадмиевый . . . . .	—	—	—	—	Более 100	3 года	2 года
Никель-цинковый . . . . .	—	—	—	—	50—100	3 года	6—12 мес.

## Устойчивость к ударным и вибрационным нагрузкам

Воздействию ударных нагрузок и вибрации подвергается подавляющее число источников тока, применяемых для питания носимой или возимой аппаратуры или аппаратуры летательных средств. Исключение составляют лишь наливные гальванические элементы и аккумуляторы, предназначенные для питания стационарных установок.

Большинство сухих гальванических элементов по устойчивости к воздействию ударной нагрузки и вибрации удовлетворяют требованиям, предъявляемым к аппаратуре, которую они предназначены питать. Эти элементы и батареи выдерживают воздействие ударных нагрузок как однократного, так и многократного действия с ускорением до 25 g, а также вибрации с частотой от 10 до 2000 гц с ускорением до 10 g. Особенно устойчивы к воздействию ударов и вибрации элементы МЦ и РЦ, которые выдерживают воздействие ударных нагрузок с ускорением до 400 g.

Виброустойчивость и ударопрочность аккумуляторов зависит от положения, в котором находится аккумулятор при воздействии на него нагрузки. Для аккумуляторов с неплотной сборкой пластин, как, например, кадмий-никелевых ламельных и безламельных аккумуляторов, железо-никелевых и тем более кислотных, наиболее опасной является вибрация и тряска в вертикальном направлении, вызывающая обрывы в токоотводящих шинах и появление трещин в пластмассовых крышках сосудов.

Для аккумуляторов типа КНБ допустимым пределом ударной нагрузки в вертикальном направлении является ускорение 25 g. При воздействии ударной нагрузки в горизонтальном направлении аккумуляторы КНБ допускают удары с ускорением до 120 g.

Серебряно-цинковые и серебряно-кадмиевые аккумуляторы, имеющие плотную сборку электродных пакетов, выдерживают в вертикальном направлении толчки и удары с ускорением свыше 10 g, а в горизонтальном — свыше 100 g. Особенной стойкостью к воздействию ударов и вибрации отличаются СЦ и СК аккумуляторы малой емкости.

Вибропрочность и ударопрочность герметичных аккумуляторов, как дисковых, так и цилиндрических, достаточно высока. Они выдерживают воздействие ударной нагрузки во всех направлениях с ускорением до 100 g и вибрационную нагрузку до 2000 гц с ускорением 10g. Такой же устойчивостью отличаются и крупногабаритные аккумуляторы типа КНГ, выдерживающие ударную нагрузку с ускорением до 400 g.

Герметичные аккумуляторы всех типов хорошо работают в условиях как повышенного, так и пониженного давления и допускают перевозку любыми видами транспорта.

Стойкость к вибрации и ударам полупроводниковых источников тока определяется в основном параметрами конструкции и назначением. Известно, что применяемые в космической аппаратуре солнечные батареи выдерживают перегрузки порядка нескольких сот g.

### **Температурный диапазон работы**

Требования, предъявляемые к источникам тока по температурной стойкости, исходят из условий работы аппаратуры, которую они питают.

Поддавляющее число переносной аппаратуры с автономными источниками питания работает на открытом воздухе, где колебания температуры в течение года могут быть от  $+50^{\circ}$  до  $-50^{\circ}$ . Обычным практическим интервалом колебания температуры, который должен выдерживать источник тока, принимается диапазон от  $+40^{\circ}$  до  $-40^{\circ}$ .

Если верхний предел температурного диапазона  $+40^{\circ}$  довольно хорошо обеспечивается почти всеми источниками тока, как гальваническими элементами, так и аккумуляторами, причем отдача химических источников тока при этой температуре возрастает, то в условиях низких температур и особенно при температуре  $-40^{\circ}$  трудно найти такой химический источник тока, отдача которого была бы близка к номиналу при нормальной температуре. В табл. 7 приводятся характеристики некоторых источников тока при низких температурах.

Таблица 7

## Температурные характеристики источников тока

Наименование источника тока	Предел работы при температуре ниже нуля, град	Емкость при данной температуре в % от емкости при +20°C
-----------------------------	---	---

## Гальванические элементы

МЦ элемент 1,6-ФМЦ-у-3,2 („Сатурн“)	—40	9,1
МЦ элемент № 373 („Марс“)	—40	10
МЦ батарея КБС-х-0,7	—20	29
МЦ батарея 70-АМЦГ-у-1,3	—40	10
МЦ батарея 70-АМЦГ-1,3	—20	23
Ртутно-цинковый элемент РЦ63 в 5-часовом режиме разряда	0	1
Ртутно-цинковый элемент РЦ83х в 10-часовом режиме разряда	—30	30
Хлорно-свинцовый элемент	—40	80

## Аккумуляторы

Свинцовый кислотный	—30	10
Кадмий-никелевый ламельный КН	—40	17
Железо-никелевый ламельный ЖН	—20	65
Кадмий-никелевый безламельный КНБ	—40	60
Кадмий-никелевый герметичный дисковый	—30	25
Серебряно-цинковый неутепленный	—30	до 50
Серебряно-цинковый СЦ25, утепленный 3-м слоем пенопласта	—40	20
Серебряно-кадмиевый неутепленный	—30	20
Серебряно-кадмиевый утепленный	—40	25

Полупроводниковые источники тока при температуре выше нуля работают нормально. При пониженной температуре некоторые полупроводники уменьшают отдачу тока во внешнюю цепь вследствие увеличения их внутреннего сопротивления. Другие полупроводники, как, например, кремниевые фотопреобразователи, при понижении температуры увеличивают э. д. с.

Атомные, плазменные и топливные источники тока практически не зависят от окружающей температуры.

## Обозначение источников тока

Гальванические элементы, номенклатура которых весьма обширна, именуются как условным обозначением, содержащим электрические характеристики батареи или элемента, так и шифром в виде номера или условного названия.

Условное обозначение гальванических элементов обычно начинается с цифр, указывающих напряжение элемента или батарей в вольтах: 1,28, 1,5, 13, 109, и т. д..

Следующие за цифрами буквы указывают на область применения элемента или батареи (первая буква), затем следуют буквы, обозначающие электрохимическую пару или конструкцию:

АМЦ — анодная марганцево-цинковая (стаканчиковая).

АМЦГ — анодная марганцево-цинковая галетная.

АНСМЦ — анодно-накально-сеточная марганцево-цинковая.

НВМЦ — накальная воздушная (деполяризатор) марганцево-цинковая.

АСМЦГ — анодно-сеточная марганцево-цинковая галетная.

АНМЦ — анодно-накальная марганцево-цинковая.

НМЦ — накальная марганцево-цинковая.

НМЦГ — накальная марганцево-цинковая галетная.

ФМЦ — фонарная марганцево-цинковая.

АНВ — анодно-накальная воздушная.

РЗА — радиозондовая анодная.

РЗН — радиозондовая накальная.

СТМЦ — слуховая телефонная марганцево-цинковая.

ПМЦ — приборная марганцево-цинковая.

СНМЦ — слуховая накала марганцево-цинковая.

САМЦГ — слуховая анода марганцево-цинковая галетная.

ТМЦ — телефонная марганцево-цинковая.

ТВМЦ — телефонная воздушная марганцево-цинковая галетная.

ВЦ — воздушно-цинковая.

ЭВМЦГ — электронная вспышка марганцево-цинковая галетная.

Если после буквенного обозначения через черточку указана строчная буква «у», то это значит, что элемент или батарея принадлежат к универсальному типу, работающему при температуре  $-40 \div +50^\circ$ ; если же буква «х», то это означает «хладостойкая». Если таких букв нет или стоит буква «л», то эти батареи относятся к летнему типу.

Следующие за буквенным обозначением цифры означают емкость в ампер-часах или, если после цифр стоит буква «ч», число часов работы.

Буква «п», стоящая после цифр, указывает конструкцию батареи — панельная.

Большое число гальванических элементов и батарей обозначаются цифрами. К таким относятся элементы 283, 286, 343, 374 и др., выпуск которых начался недавно.

Некоторые батареи носят условные названия — «Пионер», «Крона», «Синичка», «Финиш».

Для ртутно-цинковых элементов в обозначении указывается электрохимическая пара — РЦ и номер элемента, обозначающий его типоразмер. Если после номера стоит буква «у», то элемент относится к универсальным, работающим в диапазоне от  $-30^\circ$  до  $+50^\circ$ , а если буква «т», то к теплостойким, работающим от  $0^\circ$  до  $+70^\circ$ .

Для аккумуляторов введена несколько иная система обозначения, где первая цифра или число обозначает количество аккумуляторов в батарее, затем следует электрохимическая пара, а последние цифры обозначают емкость в ампер-часах. Такая система действительна для кадмий-никелевых и железо-никелевых аккумуляторов и батарей, а также для кадмий-никелевых безламельных аккумуляторов; причем для последних после обозначения электрохимической пары ставится буква Б — безламельный. Эта же система сохраняется для серебряно-цинковых, серебряно-кадмиевых и никель-цинковых аккумуляторов, причем для серебряно-цинковых аккумуляторов и батарей после обозначения электрохимической пары СЦ ставится буква, указывающая на режим разряда: «К» — короткий, «С» — средний, «Д» — длительный, «М» — средний режим разряда с большим количеством циклов и «Б» — буферный режим.

Для серебряно-кадмиевых аккумуляторов кроме обозначения СК существует тип СКГ — герметичный.

Герметичные кадмий-никелевые аккумуляторы обозна-

чаются одной или несколькими буквами, за которыми следуют цифры, указывающие величину емкости. Буква «Д» в обозначении аккумулятора означает дисковый, ЦНК — цилиндрический кадмий-никелевый, КНГ — кадмий-никелевый герметичный.

Для полупроводниковых источников тока обозначение имеют лишь термоэлектрические генераторы керосиновые ТЭГК, где после сокращенного наименования ставится цифра, означающая мощность в ваттах, и фотоэлементы кремниевые для солнечных батарей ФКД.

Атомные источники тока имеют условные названия — «Ромашка» и т. д.

---



## Глава вторая

### ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Химическими источниками тока называются устройства, с помощью которых энергия пространственно разделенных окислительно-восстановительных реакций превращается в электрическую энергию. Процесс превращения химической энергии в электрическую в химическом источнике тока называется разрядом.

По характеру работы все известные химические источники тока делятся на две группы: гальванические элементы, или первичные источники тока, и электрические аккумуляторы, или вторичные источники тока.

К группе первичных химических источников тока относятся устройства, допускающие однократное использование заключенных в них активных материалов. При этом отдача электрической энергии может быть осуществлена в один или несколько приемов. Полностью разряженный гальванический элемент к дальнейшей работе не пригоден\*.

Гальванические элементы в свою очередь делятся на элементы с жидким электролитом и сухие, электролит которых представляет собой невыливающуюся пасту или пропитанные материалы.

Вторичными химическими источниками тока, или электрическими аккумуляторами, называют химические источники тока, работоспособность которых после разряда может быть восстановлена путем заряда, т. е. пропусканием электрического тока через аккумулятор в на-

---

\* В настоящее время выпускаются гальванические элементы, емкость которых может быть частично восстановлена путем повторных перезарядов, аналогично аккумуляторам.

правлении, противоположном току разряда. Разряд аккумулятора сопровождается превращением химической энергии в электрическую, причем активные вещества в результате химической реакции превращаются в другие вещества — продукты разряда. Заряд аккумулятора, наоборот, превращает электрическую энергию в химическую, а продукты разряда — в первоначальные активные вещества.

Работу химического источника тока легко понять на примере рассмотрения процессов, протекающих в простейшем гальваническом элементе Якоби — Даниэля.

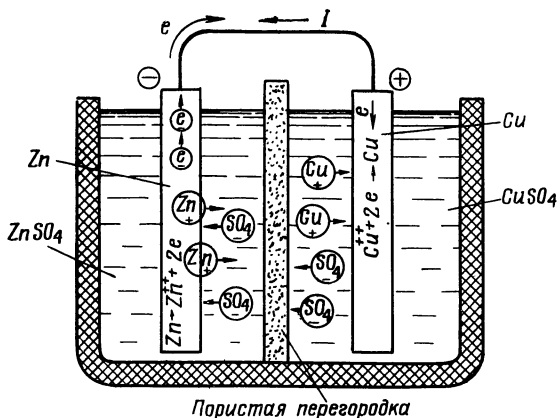
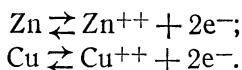


Рис. 3. Элемент Якоби — Даниэля

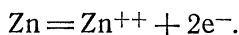
Элемент Якоби — Даниэля состоит из медного электрода, погруженного в раствор медного купороса  $\text{CuSO}_4$ , и цинкового электрода, погруженного в раствор цинкового купороса  $\text{ZnSO}_4$ , причем растворы соприкасаются друг с другом, но не смешиваются, так как они разделены перегородкой, изготовленной из пористого материала (рис. 3).

Пока элемент разомкнут, реакции протекать не могут. При этом только на поверхностях электродов, соприкасающихся с растворами, устанавливаются электрохимические равновесия: атомы цинка и электроны цинкового электрода — в равновесии с ионами цинка в растворе, а атомы меди с электронами медного электрода — с ионами

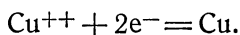
меди в растворе. Эти равновесия можно записать в виде следующих электрохимических уравнений:



При замыкании внешней цепи элемента Якоби — Даниэля цинковый электрод окисляется. Это значит, что на поверхности цинкового электрода, соприкасающейся с раствором, атомы цинка превращаются в ионы цинка и переходят в раствор. Освобождающиеся при этом электроны движутся по внешней цепи к медному электроду. Совокупность этих процессов выражается электрохимическим уравнением

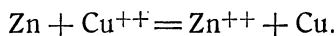


На медном электроде происходит восстановление ионов меди. Электроны, приходящие сюда от цинкового электрода, соединяются с выходящими из раствора ионами меди. Образуются атомы меди, выделяющиеся на электроде в виде металла:



Таким образом, при замыкании элемента в нем начинает протекать непрерывная окислительно-восстановительная реакция: электроны от цинкового электрода по внешней цепи переходят к медному, электрохимические равновесия на электродах при этом нарушаются, а в растворе возникает направленное движение ионов.

Уравнение реакции, протекающей в элементе Якоби — Даниэля, записанное в ионной форме, получается при сложении написанных выше уравнений для электродов:



Следовательно, при работе элемента в нем протекает окислительно-восстановительная реакция между атомами цинка и ионами меди. Электрод, на котором происходит окисление, называется анодом, а электрод, на котором происходит восстановление, катодом.

Таким образом, цинковый электрод является анодом, а медный — катодом. При этом здесь анод заряжен отрицательно (от него уходят электроны во внешнюю цепь), а

катод — положительно (к нему движутся электроны), т. е. распределение знаков заряда электродов в гальваническом элементе противоположно тому, какое имеет место при электролизе. Причина этого состоит в том, что процессы, протекающие в гальваническом элементе при его работе, обратны процессам, протекающим при электролизе: при работе гальванического элемента самопроизвольно протекающая в нем химическая реакция вызывает ток, при электролизе же подводимый к электродам ток вызывает химическую реакцию.

Направление движения ионов во внутренней цепи гальванического элемента (в растворе) обусловлено теми же электрохимическими процессами, протекающими у электродов. Как уже говорилось, у цинкового электрода ионы цинка выходят в раствор, а у медного электрода раствор все время обедняется ионами меди. В результате этого создается электрическое поле, в котором ионы  $\text{Cu}^{++}$  и  $\text{Zn}^{++}$ , находящиеся в растворе, движутся от цинкового электрода к медному, а ионы  $\text{SO}_4^{--}$  — в обратном направлении. В итоге жидкость как у катода, так и у анода остается электрически нейтральной.

Таким образом, в связи с пространственным разделением процессов окисления и восстановления в ходе реакции происходит направленный перенос электронов и ионов, а движение электронов во внешней цепи и есть электрический ток, энергию которого можно использовать.

В принципе электрическую энергию может дать любая окислительно-восстановительная реакция. Однако практически число окислительно-восстановительных реакций, используемых в химических источниках тока, невелико. Это объясняется тем, что не всякая окислительно-восстановительная реакция может быть использована для элемента, обладающего технически ценными свойствами (высокая и практически постоянная во времени э. д. с., возможность разряда большим током, сохранность элемента и др.). Кроме того, многие окислительно-восстановительные реакции требуют расхода дорогостоящих веществ.

#### **А. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ, ТОПЛИВНЫЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ**

Гальванические элементы являются наиболее распространенными источниками тока вследствие дешевизны и простоты эксплуатации. Номенклатура гальванических

элементов и батарей весьма обширна как по электрохимическим парам, так и по типоразмерам элементов и батарей.

Гальванические элементы по способу эксплуатации делятся на сухие, не требующие проведения подготовительных операций к работе, и наливные (резервные), заливаемые перед употреблением электролитом или водой в зависимости от состояния электролита.

По конфигурации сухие гальванические элементы делятся на квадратные, цилиндрические и галетные. Наливные элементы выпускаются в сосудах прямоугольной формы.

### Сухие марганцево-цинковые элементы и батареи

Наиболее широко применяются элементы и батареи электрохимической пары цинк — двуокись марганца, или, как их обычно называют, марганцево-цинковые

(МЦ) элементы. Фонари, радиоприемная и радиопередающая аппаратура, телефония, сигнальные приборы, измерительная аппаратура — вот далеко не полный перечень применения этих крайне неприхотливых, удобных в эксплуатации и дешевых источников тока.

Электрохимическая система цинк — двуокись марганца имеет две модификации: одну с хлоридным (солевым) и другую со щелочным электролитом.

Марганцево-цинковые элементы с солевым электролитом, разработанные около ста лет назад, до настоящего времени являются наиболее распространенными источниками тока. По конструкции сухие МЦ элементы разделяются на стаканчиковые и галетные. Устройство МЦ элементов стаканчиковой и галетной конструкции показано на рис. 4 и 5.

Положительным электродом

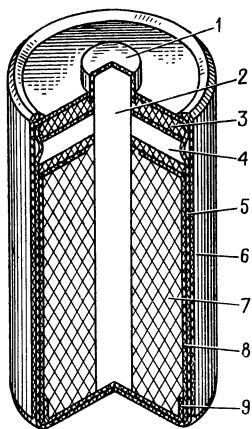


Рис. 4. Марганцево-цинковый элемент стаканчиковой конструкции:

1 — колпачок; 2 — угловой стержень; 3 — смолка; 4 — газовое пространство; 5 — цинковый стакан; 6 — картонная оболочка; 7 — положительный электрод из двуокиси марганца; 8 — прокладка между положительным и отрицательным электродами, пропитанная электролитом; 9 — картонная шайба на дне цинкового стакана

стаканчикового элемента служит двуокись марганца в смеси с порошкообразным графитом, напрессованная на угольный стержень, являющийся токоотводом. Отрицательным электродом является цинковый стакан. Электролит в стаканчиковом элементе состоит из хлористого аммония и хлористого цинка, загущенных крахмалом и мукой.

В стаканчиковых элементах, изготавливаемых по обычной технологии, электролит в виде пасты занимает пространство между массой положительного электрода и цинковым стаканом. В элементах, изготавливаемых по новой, так называемой набивной технологии (положительный электрод оборачивается бумагой и прессуется), удалось повысить емкость за счет сокращения расстояния между электродами и увеличения массы положительного электрода.

С наружной стороны цинковый стакан заключен в картонный, пластмассовый или жестяной футляр.

В галетном элементе в качестве положительного электрода служит брикет из двуокиси марганца; электролитом пропитана картонная прокладка между брикетом и цинковой пластиной, являющейся отрицательным электродом. С наружной стороны цинковая пластина покрыта специальным электропроводящим слоем, обеспечивающим хороший электрический контакт при соединении галетных элементов в батарею.

Галетный элемент имеет чехол из полихлорвиниловой пленки, который одновременно является каркасом и обеспечивает необходимую механическую прочность всей сборки галетного элемента и его изоляцию.

Сборка галетных элементов в батарею производится путем наложения выступа брикета положительного электрода одной галеты на утопленный электропроводный слой отрицательного электрода другой. Несколько

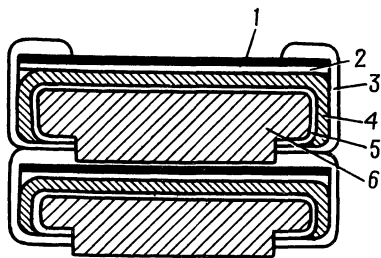


Рис. 5. Устройство галетной батареи:

1 — биполярный электропроводный слой; 2 — цинковый электрод; 3 — хлорвиниловая оболочка; 4 — картонная диафрагма с электролитом; 5 — бумажная прокладка; 6 — положительный электрод

соединенных таким образом элементов составляют блок, который тщательно упаковывается в изоляционный материал.

Батарея галетных элементов так же, как и стаканчиковая, образуется из отдельных блоков путем их последовательного или параллельного соединения.

В табл. 8 и 9 приводятся основные характеристики марганцево-цинковых элементов и батарей с хлоридным электролитом, выпускаемых нашей промышленностью.

Данные, приведенные в таблицах, в большинстве своем опираются на существующую техническую документацию. Некоторые данные ряда элементов и батарей, как, например, емкость, удельные характеристики, определены на основе номинальных характеристик по сопротивлению нагрузки, времени работы и т. д. Поэтому при использовании элемента или батареи в режиме, отличающемся от указанного в таблицах, необходимо обращаться к графикам зависимости емкости от разрядного тока и температуры, характерным для этого типа элемента или батареи.

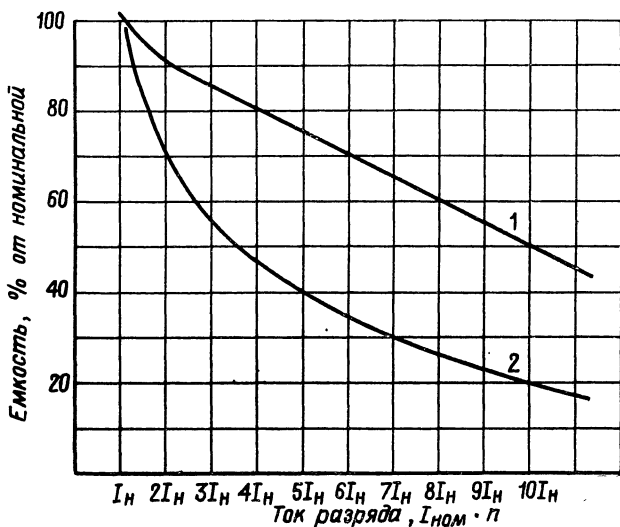


Рис. 6. Зависимость емкости, отдаваемой МЦ элементами, от тока разряда:

1 — стаканчиковые МЦ элементы; 2 — галетные МЦ элементы

Зависимость емкости МЦ элементов от тока разряда приведена на рис. 6. На рис. 7 приводится температурная зависимость емкости элементов.

По своей работоспособности МЦ элементы и батареи разделяются на элементы «л» — летнего типа с температурным интервалом от  $-20^{\circ}$  до  $+60^{\circ}$  С и элементы «у» — универсальные, работающие в широком интервале температур от  $-40^{\circ}$  до  $+60^{\circ}$  С.

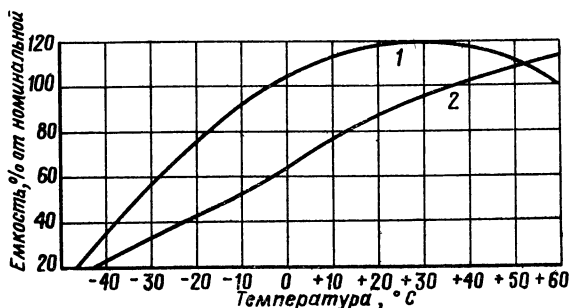


Рис. 7. Зависимость емкости, отдаваемой МЦ элементами, от температуры:

1 — стаканчиковые МЦ элементы; 2 — галетные МЦ элементы

Сухие элементы МЦ системы с соевым электролитом обладают хорошей ударной прочностью и выдерживают нагрузку с ускорением 120 g и вибрационную нагрузку с ускорением от 2 до 4 g в диапазоне частот от 10 до 70 гц.

Элементы, изготовленные по набивной технологии (в таблицах они обозначаются номерами), значительно превосходят по удельной энергии элементы обычного типа, в том числе и галетные.

Новые элементы, как правило, работоспособны в широком интервале температур от  $-40^{\circ}$  до  $+60^{\circ}$ , чем отличаются в лучшую сторону от элементов и батарей, выпускаемых в прошлые годы.

Помимо МЦ элементов и батарей необходимо отметить воздушно-цинковые (ВЦ) элементы и батареи со щелочным электролитом, у которых роль положительно-



го электрода выполняет кислород воздуха. МЦ и ВЦ элементы со щелочным электролитом свидетельствуют о значительном улучшении характеристик сухих элементов и батарей. Эти улучшения выразились в первую очередь в значительном увеличении срока службы и срока сохранности элементов, а также повышении удельной энергии.

Отличительной особенностью новых элементов и батарей со щелочным электролитом является возможность их повторных перезарядок, что значительно расширяет диапазон их применения в малогабаритной аппаратуре.

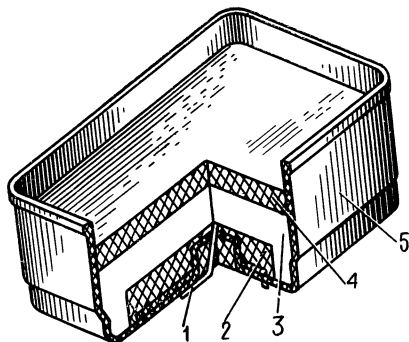


Рис. 8. Воздушно-цинковый галетный элемент:

- 1 — токоотвод отрицательного электрода;  
2 — цинковый отрицательный электрод;  
3 — диафрагма из щелочной пасты; 4 — положительный угольный электрод; 5 — винипластовый корпус

Новая батарея «Финиш», предназначенная для питания транзисторных радиоприемников, допускает, например, проведение 25 повторных перезарядок с емкостью, равной 10% номинальной емкости первого разряда.

На рис. 8 и 9 показано устройство ВЦ галетного элемента со

щелочным электролитом и элемента МЦ пуговичной конструкции.

Батареи ВЦ и МЦ систем дают возможность резко увеличить длительность работы в аппаратуре по сравнению с батареями на солевом электролите. Так, например, новая батарея КБС рамочной конструкции превосходит по длительности разряда батарею КБС-л-0,5 в четыре раза, а батарея «Синичка», равная по габаритам двум батареям КБС-л-0,5, превосходит при равном напряжении последние по длительности работы в три раза.

Характеристики разряда батарей этого типа приводятся на рис. 10, а основные характеристики МЦ и ВЦ элементов и батарей со щелочным электролитом приведены в табл. 10.

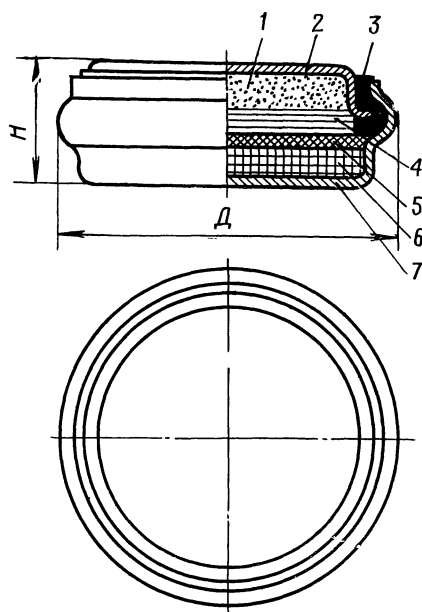


Рис. 9. Устройство марганцево-цинкового пугочичного элемента МЦ со щелочным электролитом: 1 — отрицательный электрод из цинкового порошка; 2 — крышка (отрицательный полюс); 3 — уплотнительное кольцо; 4 — диафрагма, пропитанная электролитом; 5 — сепарационная прокладка; 6 — положительный электрод из двуокиси марганца; 7 — корпус (положительный полюс)

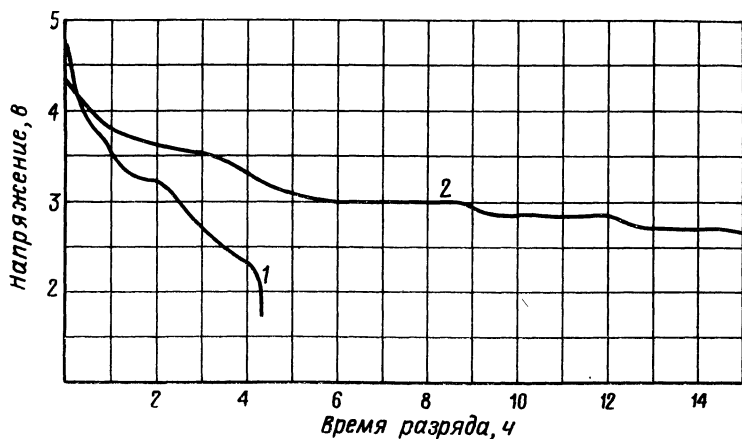


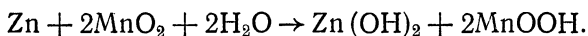
Рис. 10. Сравнительные характеристики разряда батарей КБС-у-0,5 стаканчиковой конструкции (1) и батарей КБС рамочной конструкции со щелочным электролитом (2) в прерывистом режиме разряда (по 10 минут в сутки)

Большое внимание разработкам воздушно-цинковых и кислородно-цинковых (КЦ) гальванических элементов уделяется за рубежом. Так, например, в США разработана воздушно-цинковая гальваническая батарея, состоящая из элементов, имеющих две катодные и одну анодную пластину из пористого цинка. Катодные пластины в этом элементе называются «воздуходоышащими». Электролит щелочной — 30% раствор КОН. Помимо высоких удельных характеристик ВЦ элементов этого типа их отличительной особенностью является еще и то, что перезаряд элементов осуществляется механической заменой израсходованного цинкового электрода новым. Еще более высокими удельными характеристиками обладает гальваническая кислородно-цинковая батарея.

Новые КЦ элементы так же, как и ВЦ элементы, состоят из двух гидрофобных катодных пластин и одной анодной пористой цинковой пластины. Роль положительного электрода в этом элементе играет кислород, подаваемый в элемент из баллона под высоким давлением. Несмотря на необходимость применения баллона с жидким кислородом и связанную с этим особую прочность элемента за счет увеличения толщины стенок сосудов, что в целом приводит к увеличению веса, новый КЦ элемент по удельной энергии превышает СЦ аккумуляторную батарею в шесть раз, что иллюстрируется следующими данными:

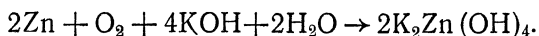
Тип батарей	Энергия, вт · ч	Удельная энергия, вт · ч/кг	Время заряда, ч	Вес, кг
ВЦ А-25-АН-24 . . . . .	600	132	0,17	4,5
КЦ . . . . .	25000	335	—	58
СЦ ВВЧ51/И . . . . .	430	66	10	7,2

Токообразующая реакция в марганцево-цинковых элементах как с солевым (хлоридным), так и щелочным электролитом может быть представлена уравнением



Практически в элементах имеют место процессы, происходящие при взаимодействии цинка с электролитом, но они здесь не приводятся.

В элементах воздушно-цинковой конструкции, где положительным электродом служит кислород воздуха, электрохимическая реакция определяется уравнением



К числу недостатков сухих марганцево-цинковых элементов относится саморазряд в процессе хранения, достигающий для некоторых типов элементов потери почти 30 % емкости в год. Недостатком этих элементов является также нестабильность разрядного напряжения, точнее его большой перепад в процессе разряда.

По сведениям зарубежных авторов, резкое снижение саморазряда элементов и батарей с соевым электролитом может быть достигнуто путем их хранения при низкой температуре. Так, по приведенным в печати данным, при хранении МЦ элементов при температуре  $-34^\circ\text{C}$  потери емкости за 10 лет хранения составили всего 25 %. Хранившиеся то же время при температуре  $-12^\circ\text{C}$  элементы потеряли 70 % емкости, а при  $0^\circ\text{C}$  потеряли емкость полностью. Хранившиеся при температуре  $+21^\circ\text{C}$  такие же элементы потеряли емкость полностью уже после 5 лет хранения.

При всей своей неприхотливости сухие МЦ и ВЦ элементы и батареи требуют все же соблюдения элементарных правил обращения, особенно если потребитель предполагает проводить их повторные перезарядки, а именно: не разряжать элементы и батареи ниже 0,9 в на элемент, не хранить батареи в теплом месте около печей и батарей отопления, не хранить элементы и батареи во влажной атмосфере или в помещении, где ведутся работы с различными химическими веществами.

Отечественной промышленностью выпускаются комплекты батарей для питания радиоприемников, содержащие батареи для питания анодных и накальных цепей, а иногда и сетки. Характеристики батарейных комплектов приводятся в табл. 11. Из данных в табл. 11 очевидно преимущество батарей со щелочным электролитом.

# Сухие марганцево-цинко

Наименование, условное обозначение	Характеристики свежизготовленных изделий								
	напряжение, в	емкость, а · ч		условия разряда при +20°C					
		при +20°C	ниже нуля	непрерывный			прерывистый		
				нагрузка, ом	ток разряда, ма	время разряда, ч	нагрузка, ом	ток разряда, ма	время разряда, ч
283	1,50	ок. 0,1	ок. 0,015 (-20°)	—	—	—	—	3,5	28
286	1,48	ок. 0,15	ок. 0,01 (-40°)	200	ок. 7	20	300	ок. 5	60
314	1,52	ок. 0,3	ок. 0,03 (-40°)	200	ок. 7	38	300	ок. 5	75
312	1,52	ок. 0,16	ок. 0,02 (-20°)	—	—	—	—	3,5	60
316	1,52	ок. 0,4	ок. 0,04 (-40°)	200	ок.7	60	300	ок. 5	130
1,3-ФМЦ-0,25	1,30	0,25	—	—	150	—	—	—	—
1,5-СТМЦ-60ч	1,50	ок. 0,4	—	200	ок. 7	60	—	—	—
1,5-СНМЦ-0,6	1,52	0,6	—	25	ок. 60	12	—	—	—
326	1,52	ок. 0,7	ок. 0,07 (-40°)	200	ок. 7	100	300	ок. 5	200
332	1,40	—	(-40°)	—	—	6	5	ок. 230	1,5
336	1,40	—	(-40°)	—	—	10	5	ок. 230	3,5
343	1,55	ок. 0,9	ок. 0,1 (-40°)	20	ок. 75	12	5	ок. 230	ок. 4
КБ (КБ-1)	1,60	1,05	—	117	ок. 14	—	—	—	—
1,6-ФМЦ-у-3,2	1,60	3,2	0,3 (-40°)	10	ок. 150	32	—	—	—

Эле

Таблица 8

## вые элементы и батареи

Конечное напряжение раз- ряда, в	Гарантийный срок хране- ния, мес	Характеристики в конце срока хранения				Габариты, мм			Вес, г	Удельная энергия (для непрерывного режима раз- ряда)	
		напряжение, в	емкость, а · ч	длитель- ность раз- ряда		длина	ширина (диаметр)	высота		по объему, $\frac{вт \cdot ч}{\partial м^3}$	по весу, $\frac{вт \cdot ч}{кг}$
				непрерыв- ный, ч	прерыв- ный, ч						

## менты

0,9	3	—	0,08	—	—	—	10,5	22	4,5	73	29
1,0—0,9	3	—	ок. 0,1	16	48	—	10,5	44,5	10	53	19
1,0—0,9	6	—	ок. 0,24	30	60	—	14,5	38,0	15	64	26
0,9	6	—	ок. 0,12	—	—	—	14,5	25	10	52	21
1,0—0,9	9	—	ок. 0,3	48	100	—	14,5	50,5	20	65	26
0,6	6	1,2	0,17	—	—	—	21,1	36,0	30	23	14
1,0	6	—	—	—	—	—	16	50	25	58	19
1,0	6	—	0,4	8	—	—	20	60	40	38	16
1,0—0,9	6	—	ок. 0,55	75	150	—	16	50,5	25	84	34
0,75	6	—	—	4,8	1,1	—	21,5	37,0	30	39	16
0,75	6	—	—	7	ок. 3	—	21,5	60,0	45	44	16
0,75 0,85	18	—	ок. 0,8	9	3,3	—	26	50	52	42	22
1,0	8	—	0,7	—	—	—	21	60	45	61	28
0,7	12	1,32	2,6	26	—	—	34	61,5	105	66	37

Наименование, условное обозначение	Характеристики свежизготовленных изделий								
	напряжение, в	емкость, а · ч		условия разряда при +20°С					
		при +20°С	ниже нуля	непрерывный			прерывистый		
				нагрузка, ом	ток разряда, ма	время разряда, ч	нагрузка, ом	ток разряда, ма	время разряда, ч
373 („Марс“)	1,55	ок. 3	ок. 0,3 (—40°)	20	ок. 75	40	5	ок. 230	ок. 18
374	1,55	ок. 4	ок. 0,4 (—40°)	20	ок. 75	50	5	ок. 230	ок. 22
376	1,55	ок. 5	ок. 0,5 (—40°)	20	ок. 75	65	5	ок. 230	ок. 32
1,58-СНМЦ-17ч	1,58	2,5	—	10	ок. 150	17	—	—	—
145л (2С-л-9)	1,48	ок. 11	ок. 4,2 (—17°)	20	ок. 70	160	—	—	—
145у (1,6-ПМЦ)	1,60	ок. 11	ок. 4,2 (—40°)	20	ок. 70	160	—	—	—
165л (2С-л-30)	1,50	ок. 38	ок. 8 (—17°)	20	ок. 70	550	—	—	—
165у (1,66-ТМЦ)	1,66	ок. 38	ок. 8 (—40°)	20	ок. 70	550	—	—	—

#### Бата

2,9-НМЦ-1,5ч	2,9	ок. 0,1	—	40	ок. 70	1,6	—	—	—
КБС-л-0,50	3,7	ок. 0,5	0,2 (—10°)	10	ок. 350	2	15	ок. 250	3,5
КБС-х-0,70	4,1	0,7	0,2 (—20°)	10	ок. 350	3	15	ок. 250	3,5
4,2-САМЦ-5ч	4,2	ок. 1,7	—	10	ок. 350	5	—	—	—
4,5-ПМЦГ-0,7	4,5	0,7	—	—	350	—	—	—	—
5-ПМЦГ-1,5ч	5,0	ок. 0,05	—	110	ок. 35	1,5	1,5	—	—
5,6-НМЦГ-22ч	5,6	1,5	—	75	ок. 70	22	—	—	30
7-ПМЦГ-0,06	7,0	0,06	—	1000	—	—	—	—	—
„Крона“	9,0	0,15	—	—	ок. 10	15	—	—	—
„Крона 1Л“	9,0	0,25	—	—	ок. 10	20	900	—	—

Конечное напряжение раз- ряда, в	Гарантийный срок хране- ния, мес	Характеристики в конце срока хранения					Габариты, мм			Вес, з	Удельная энергия (для непрерывного режима раз- ряда)	
		напряжение, в	емкость, а · ч	длитель- ность раз- ряда		длина	ширина (диаметр)	высота	по объему, вт · ч Дм³		по весу, вт · ч кг	
				непрерыв- ный, ч	прерыви- стый, ч							
0,85 0,75	18	—	ок. 2,6	28	11,5	—	34	61,5	115	65	31	
0,85 0,75	18	—	ок. 3,2	35	12	—	34	75	130	71	37	
0,85 0,75	18	—	ок. 4	45,5	18,5	—	34	91	165	73	37	
1,0	10	—	2,0	10	—	—	36	101	160	40	25	
0,85	12	—	ок. 9	130	—	42	42	102	300	77	46	
0,85	18	—	ок. 9	130	—	42	42	102	300	77	46	
0,85	21	—	ок. 28	400	—	57	57	132	700	113	68	
0,85	21	—	ок. 28	400	—	57	57	132	700	113	68	

рен

2,3	10	—	0,07	1	—	48	26	70	110	3	2,3	
2,0	6	3,3	0,27	1,3	ок. 3	62	21	63	150	16	10	
3,7	8	3,7	0,38	2	ок. 3	62	21	63	150	27	15	
2,0	6	—	—	2,5	—	102	37	83	400	19	15	
3,0	12	—	—	—	—	55	40	45	350	25	7,5	
3,0	4	4	—	1	—	42	36	28	65	5	3	
3,8	8	—	—	16	20	80	50	57	340	30	20	
3,0	8	—	—	—	—	33	31	31	—	11	—	
6,0	6	—	—	—	—	26	16	49	35	57	32	
5,6	6	—	—	—	—	26	16	49	35	94	54	



Наименование, условное обозначение	Характеристики свежеизготовленных изделий								
	напряжение, <i>в</i>	емкость, <i>а · ч</i>		условия разряда при +20° С					
		при +20°С	ниже нуля	непрерывный			прерывистый		
				нагрузка, <i>ом</i>	ток разряда, <i>мa</i>	время разряда, <i>ч</i>	нагрузка, <i>ом</i>	ток разряда, <i>мa</i>	время разряда, <i>ч</i>
ГБ-10-у-1,3	10,0	1,3	0,16 (—40°)	700	ок. 14	120	—	—	—
11,5-ПМЦГ-у-1,3	11,5	1,3	0,085 (—40°)	780	ок. 14	—	—	—	—
13-АМЦГ-0,5	13,0	0,5	0,1 (—20°)	—	1	—	—	—	—
13-АМЦГ-у-0,5	13,0	0,5	0,1 (—40°)	10 κ	ок. 1	500	—	—	—
19-ПМЦГ-0	19	—	—	14 κ	ок. 1,3	—	—	—	—
22,5-ПМЦГ-60ч	22,5	0,15	—	9 κ	ок. 2	60	—	—	—
31-САМЦЧ-0,02	31	0,02	—	50 κ	ок. 0,6	40	—	—	—
48-ПМЦГ-64ч	48	ок. 0,2	—	14 κ	ок. 3,4	64	—	—	—
49-САМЦГ-102ч	49	0,25	—	25 κ	ок. 2	100	—	—	—
60-ПМЦГ-0,15	60	0,15	—	35 κ	ок. 1,4	—	—	—	—
67,5-АМЦГ-у-0,06	67,5	0,06	—	10 κ	ок. 6	10	—	—	—
74-ПМЦГ-45ч	74	0,05	0,006 (—20°)	48 κ	ок. 1,5	45	—	—	—
75-АМЦГ-22ч	75	ок. 0,2	—	8 κ	ок. 9	22	—	—	30
75-ПМЦГ-80ч	75	ок. 0,2	—	28 κ	ок. 2,6	80	—	—	—
80-АМЦГ-80ч	80	ок. 0,2	—	30 κ	ок. 4	80	—	—	—
87-ПМЦГ-0,15	87	0,15	—	28 κ	ок. 3	—	—	—	—
87-ПМЦГ-у-0,15	87	0,15	0,02 (—40°)	28 κ	ок. 3	70	—	—	—
100-ПМЦГ-у-0,05	100	0,05	0,006 (—40°)	28 κ	ок. 1,2	50	—	—	—
105-ПМЦГ-0,05	105	0,05	—	70 κ	ок. 1,4	—	—	—	—
109-ПМЦГ-0	109	—	—	85 κ	—	—	—	—	—
200-ПМЦГ-10ч	200	0,01	0,0016 (—20°)	—	1	10	—	—	—
230-ПМЦГ-350ч	230	0,01	0,006 (—10°)	6M	—	350	—	—	—
ГБ-400-0,01	400	0,01	0,0003 (—40°)	—	ок. 1	—	—	—	—

Конечное напряжение раз- ряда, в	Гарантийный срок хране- ния, мес	Характеристики в конце срока хранения					Габариты, мм			Вес, г	Удельная энергия (для непрерывного режима раз- ряда)	
		напряжение, в	емкость, а · ч	длитель- ность раз- ряда		длина	ширина (диаметр)	высота	по объему, вт · ч $\frac{вт \cdot ч}{дм^3}$		по весу, $\frac{вт \cdot ч}{кг}$	
				непрерыв- ный, ч	прерыви- стый, ч							
5,7	15	7,9	1,05	92	—	54	49	59	250	70	42	
6,5	8	8,0	1,0	—	—	56	50	68	330	58	34	
8,0	12	—	0,35	—	—	70	52	42	250	42	26	
8,0	18	—	—	—	—	65	51	41	250	50	26	
—	4	—	—	15	—	69	29	19	50	—	—	
15	6	—	0,1	40	—	79	35	24	100	56	32	
20	6	—	0,007	14	—	34	20	46	40	20	15	
30	8	40	—	40	—	48	39	95	250	56	40	
30	10	—	0,15	60	—	45	36	100	250	61	40	
40	6	—	0,01	—	—	78	40	68	250	42	36	
48	6	—	—	—	—	62	38	67	250	26	16	
48	6	—	0,02	30	—	94	35	38	160	30	23	
45	8	—	—	16	20	95	40	70	360	56	41	
50	6	65	—	60	—	52	42	142	380	48	39	
50	10	—	—	60	—	71	46	75	400	65	40	
50	6	—	0,12	—	—	74	26	150	400	47	34	
50	12	—	—	—	—	73	25	150	450	49	30	
70	12	—	—	—	—	77	28	77	250	30	20	
70	6	100 (э. д. с.)	0,02	—	—	77	28	77	180	30	28	
—	6	97	—	—	—	—	47	111	300	—	—	
125	6	—	0,005	—	—	65	37	47	135	17	15	
168	6	—	—	200	—	97	29	36	200	18	9	
250	6	—	0,005	—	—	87	63	35	250	20	16	

Сухие марганцево-

Наименование, условное обозначение	Характеристики свежизготовленных изделий							
	напряжение, в	емкость, а · ч		условия разряда при +20° С				
		при + 20° С	ниже нуля	непрерывный			прерывистый	
				R нагрузки, ом	ток разряда, мА	время, ч	R нагрузки, ом	ток разряда, мА
								время, ч
1,46-НМЦ-60ч	1,46	25	—	3	ок. 400	60	—	—
3-НМЦГ-8ч	3,0	4,5	1,3 (—20°)	6	ок. 450	10	—	—
3,0-МЦ-у-110	3,5	110	—	6,6	ок. 500	385	6,6	ок. 500
„Метеор“	6	3	0,3 (—20°)	13,3	150	20	—	—
„Зарница“	7,5	170	—	30	ок. 250	700	—	—
18-ПМЦГ-0,3	18	0,3	—	1800	ок. 10	180	—	—
18-ПМЦГ-0,7	18	0,7	—	2 κ	ок. 8	—	—	—
23-ПМЦГ-180ч	23	ок. 2	—	1800	ок. 11	180	—	—
25-ПМЦГ-0,6	25	0,6	—	270	ок. 75	—	—	—
25-ПМЦГ-0,8	25	0,8	—	480	ок. 40	—	—	—
29-ГРМЦ-13	29	13	—	—	—	—	60	28
69-ГРМЦ-6	69	6	—	—	—	—	288	35
БАС-Г-60-у-1,3	70	1,3	0,16 (—40°)	4680	ок. 15	120	—	—
БАС-Г-60-л-1,3	70	1,3	0,3 (—20°)	4680	ок. 15	120	—	—
90-ПМЦГ-0,15	90	0,15	—	38 κ	ок. 2	—	—	—
102-АМЦГ-120ч	102	1,2	—	7 κ	ок. 14	120	—	—
100-АМЦГ-0,7	100	0,7	—	7 κ	ок. 14	66	—	—
БАС-80-у-1	102	1,0	0,2 (—40°)	7 κ	ок. 14	95	—	—
БАС-Г-80-у-2,1	100	2,1	0,22 (—40°)	7 κ	ок. 14	180	—	—
БАС-Г-80-л-2,1	100	2,1	0,45 (—20°)	7 κ	ок. 14	180	—	—
120-ПМЦГ-0,15	120	0,15	—	70 κ	ок. 1,4	—	—	—
120-АМЦГ-60ч	120	0,27	—	8750	ок. 13	60	—	—
160-АМЦГ-0,35	160	0,35	—	12 κ	ок. 13	—	—	—
225-ПМЦГ-80ч	225	0,2	—	85 κ	ок. 3	80	—	—
ГБ-300 № 4	335	0,05	—	—	1	—	—	—
315-ПМЦГ-80ч	315	0,2	—	120 κ	ок. 2,6	80	—	—
330-ЭВМЦГ-1000	330	—	—	—	—	—	1000	включений
„Молния“								
450-ПМЦГ-0,06	450	0,06	—	0,5 M	1	—	—	—

Таблица 9

## цинковые батареи

Конечное напряжение раз- ряда, в	Гарантийный срок хране- ния, мес	Характеристики в конце срока хранения				Габариты, мм			Вес, кг	Удельная энергия (для непрерывного режима раз- ряда)	
		напряжение, в	емкость, а · ч	длитель- ность раз- ряда, ч		длина	ширина (диаметр)	высота		по объему, вт · ч $\frac{0,4}{3}$	по весу, $\frac{вт \cdot ч}{кг}$
				непрерывный	прерывистый						
0,9	12	—	—	45	—	180	45	106	1,3	35	23
2,2	12	—	—	5	—	95	62	145	1,4	13,5	8,3
1,5	12	—	—	308	312	181	95	205	5,3	79	52
—	10	—	—	12	—	150	115	110	2,2	12	7
4,2	15	—	—	450	—	250	170	180	10	134	102
12	12	—	—	—	—	75	43	52	0,5	27	9
12	12	—	—	—	—	115	50	58	0,55	31	19
15	24	—	—	—	—	65	54	135	0,8	80	48
16	12	—	—	—	—	95	64	82	0,65	24	19
16	12	—	—	—	—	98	50	75	0,80	44	20
14	12	—	7	—	14	342	287	200	20	20	19
34	9	—	4	—	14	450	360	160	25	16	15
40	15	55	1,05	92	—	174	112	50	1,6	88	53
40	15	55	1,05	92	—	174	112	50	1,6	88	53
63	7	—	0,1	—	—	95	45	75	0,45	37	26
60	12	—	0,85	70	—	185	145	59	2,5	60	36
60	15	70	0,57	54	—	174	117	53	1,7	52	33
60	15	84	0,75	68	—	218	138	73	3,0	36	26
60	15	84	1,6	149	—	218	138	73	3,0	70	52
60	15	84	1,6	149	—	218	138	73	3,35	68	41
82	7	—	0,1	—	—	150	38	70	0,58	56	26
56	6	—	0,2	40	—	240	94	40	1,3	30	21
100	6	—	0,24	—	—	109	77	144	1,8	41	28
150	6	195	—	60	—	86	63	147	1,0	50	40
220	4	285	—	—	—	80	60	145	0,65	23	24
210	6	270	—	60	—	80	80	155	1,3	56	42
240	6	—	700	включений		120	62	132	1,4	—	—
302	6	—	0,03	—	—	162	50	74	0,8	41	31

Таблица 10

## Марганцево-цинковые и воздушно-цинковые сухие элементы и батареи со щелочным электролитом

Наименование элемента (батареи)	Характеристики свежих элементов и батарей						Гарантийный срок хранения, мес		Характеристики в конце срока хранения			Габариты, мм			Вес, г	Удельная энергия	
	напряжение, в	емкость, а·ч		сопротивле- ние нагруз- ки, ом	ток разряда, мА	время раз- ряда, ч	напряжение в конце раз- ряда, в	Гарантийный срок хранения, мес	напряжение, в	емкость, а·ч	длительность разряда, ч	длина	ширина (диа- метр)	высота		по объему, дм³·ч	по весу, кг·ч
		при +20°С	ниже нуля														

## Марганцево-цинковые элементы пугочинного типа

МЦ-1К . . . . .	1,46	0,11	0,01 (-40°)	500	2,5	45	0,8	15	1,36	0,007	30	—	Ø 15,5	6,6	4,1	105	33
МЦ-2К . . . . .	1,46	0,3	0,03 (-40°)	500	2,5	125	0,8	15	1,36	0,187	75	—	Ø 21,0	7,4	8,2	145	45
МЦ-3К . . . . .	1,46	0,4	0,05 (-40°)	117	10	40	0,8	15	1,36	0,25	25	—	Ø 25,5	8,4	14,5	121	36
МЦ-4К . . . . .	1,46	1,0	0,1 (-40°)	117	10	100	0,8	15	1,36	0,60	60	—	Ø 30,1	9,4	21,5	196	61

## Марганцево-цинковые элементы стаканчикового типа

МЦ-7-I . . . . .	1,45	7	3 (-20°)	7,5	200	45	1,0	15	—	—	—	80	35	63	300	52	30
МЦ-7-II . . . . .	1,45	7	3 (-20°)	7,5	200	45	1,0	15	—	—	—	40	40	100	300	56	30

Продолжение

Наименование элемента (батарей)	Характеристики свежизготовленных элементов и батарей					Характеристики в конце срока хранения			Габариты, мм			Удельная энергия				
	напряжение, в	емкость, а·ч	сопротивле- ние, ом	ток разряда, мА	время раз- ряда, ч	напряжение в конце раз- ряда, в	Гарантийный срок хранения, мес	напряжение, в	емкость, а·ч	длительность разряда, ч	длина	ширина (диа- метр)	высота	Вес, г	по объему, дм³	по весу, кг
045 . . . . .	1,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	50	123	—	—
076 . . . . .	1,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	72	72	161	—	—

Марганцево-цинковые и воздушно-цинковые батареи

„Крона ВЦ“ . . .	9,0	0,5	—	900	10	60	6,0	12	—	0,25	30	16	26	49	40	200	100
„Финиш“ . . . .	9,0	0,9	—	900	10	100	6,0	—	—	—	—	26	21	62	60	210	120
КБС рамочной конструкции . .	4,5	2,5	—	300	16	3,7	—	—	—	—	—	63	22	65	200	110	50
„Синичка“ . . .	9,0	0,25	—	200	40	70	6,0	—	—	—	—	72	24	126	250	92	80
„Пионер“ . . . .	9,0	10,0	—	435	18	600	6,0	12	—	—	250	108	54	140	900	155	120
„Полет“ . . . .	9,0	35,0	—	435	18	2000	6,0	12	—	—	—	105	116	206	3300	85	80

Примечания: 1. Данные по времени разряда указаны для прерывистого режима.  
2. Батарея „Финиш“ допускает 25 последующих перезарядок с длительностью разряда 10 часов.

# Батарейные комплекты для

Условное обозначение комплекта	Конструкция	Электролит	Характеристики свежизготовленных бата						
			напряжение, в	емкость, а·ч	сопротивление на грузки, ом	ток разряда, мА	длительность разряда, ч		
							непрерывный		прерывистый
							при +20°С	при -40°С	
65-АНМЦ-1,3-II									
анодная часть	Гал.	Сол.	65	1,3	4680	—	120	—	725
накальная "	Стак.	"	2,5	29,5	20	—	280	—	725
150-МАНМЦ									
анодная часть	Гал.	"	150	0,04	—	15	3	—	—
накальная "	Стак.	"	1,5	1,2	—	400	3	—	—
54-АСМЦГ-5-II									
анодная часть	Гал.	"	54	5	800	67	120	—	1000
сеточная "	"	"	4	5	60	67	120	—	1000
123-АСМЦГ-60ч									
анодная часть	"	"	123	0,78	9000	13	60	—	—
сеточная "	"	"	12,8	0,78	940	13	60	—	—
БАНСС-18									
анодная часть	"	"	117	0,189	17300	7	27	2	—
накальная "	Стак.	"	3,1	3,06	17,3	170	18	1,5	—
сеточная "	"	"	1,58	—	117	10	—	—	—
„Восток“ (ВЦ)									
анодная часть	Гал.	Щел.	86	ок. 4	15200	ок. 5	800	—	—
накальная "	Стак.	"	1,20	ок. 340	2,7	ок. 420	800	—	—
сеточная "	"	"	7,9	ок. 4	1425	ок. 5	800	—	—
„Смена“ (ВЦ)									
анодная часть	Гал.	"	86	5	17300	5	1000	—	—
накальная "	Стак.	"	1,29	450	2,7	450	1000	—	—
сеточная "	"	"	7,9	5	1200	5	1000	—	—

Таблица 11

## питания радиоаппаратуры

рей		Гарантийный срок хранения, мес	Характеристики в конце срока хранения				Габариты, мм			Вес, кг	Удельная энергия	
конечное напряжение разряда, в	напряжение, в		емкость, а·ч	длительность разряда, ч		длина	ширина	высота	по объему $\frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{дм}^3}$		по весу, $\frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$	
				непрерывный	прерывистый							
40 1,4	15 15	58 2,4	0,95 22	80 200	565 565	125	120	190	3,5	51	41	
115 1,15	6 6	— —	— —	2 2	— —	152	46	97	0,9	10	8,1	
27 2	15 15	49 3,7	3,5 —	80 —	700 700	225	85	235	7,0	61	38	
65 7	12 12	— —	— —	45 45	— —	280	53	85	1,65	71	52	
71 2,24 0,8	12 12 12	— — —	— — —	22 15 —	— — —	116	52	140	1,2	36	24	
60 0,91 6,0	15 15 15	78 1,15 7,2	— — —	500 500 500	— — —	236	170	100	5,0	182	145	
60 0,85 6	6 6 6	— — —	— — —	700 700 700	— — —	250	200	120	7,0	155	133	



## Ртутно-цинковые элементы и батареи

Появление новых ртутно-цинковых (РЦ) гальванических элементов вызвано бурным развитием портативной транзисторной радиоприемной и звукозаписывающей аппаратуры, где габариты и вес играют решающую роль.

Среди химических источников тока РЦ элементы не имеют соперников по удельной энергии, по стабильности

характеристик при хранении и разряде и по удобству и простоте эксплуатации, поскольку они относятся к сухим герметичным элементам.

Устройство ртутно-цинкового элемента показано на рис. 11.

Активная масса положительного электрода элемента состоит из окиси ртути с добавкой графита, а отрицательного — из порошкообразного цинка с небольшим количеством ртути. Положительная масса запрессовывается в корпус элемента, а

Рис. 11. Устройство ртутно-цинкового элемента:

1 — крышка (отрицательный полюс); 2 — цинковый электрод; 3 — резиновое уплотнительное кольцо; 4 — бумага, пропитанная электролитом; 5 — ртутный электрод; 6 — корпус (положительный полюс)

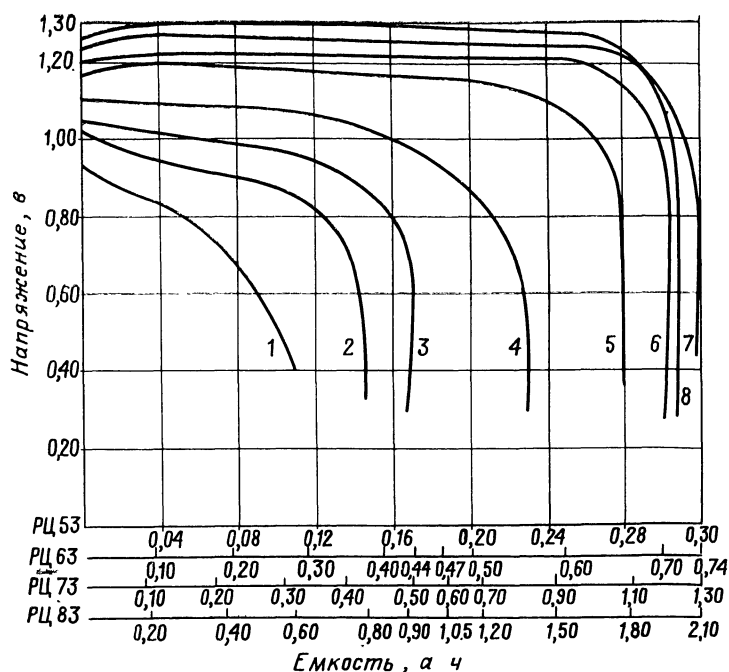
отрицательная — в крышку. Перед сборкой элемента между корпусом и крышкой помещается прокладка из пористой бумаги, пропитанная электролитом, состоящим из раствора едкого кали с окисью цинка. Между крышкой и корпусом находится изолирующая резиновая прокладка, являющаяся в то же время герметизирующим уплотнением.

Благодаря отсутствию токоотводов потери внутри элемента сводятся к минимуму, что обеспечивает низкое внутреннее сопротивление элемента, а следовательно, возможность разряда током повышенной плотности без заметного снижения разрядного напряжения.

Электрохимическая реакция в ртутно-цинковом элементе протекает по уравнению



На рис. 12 изображено семейство разрядных характеристик некоторых типов элементов РЦ. Положительные качества элементов — стабильность напряжения во



Номер кривой	Сопротивление, ом			
	РЦ 53	РЦ 63	РЦ 73	РЦ 83
1	10	5	3	2
2	16	8	5	3
3	25	12	8	5
4	45	25	15	10
5	100	50	30	23
6	225	100	70	45
7	500	225	150	100
8	1000	500	300	225

Рис. 12. Универсальные кривые разряда элементов РЦ при различных сопротивлениях нагрузки (при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ )

время разряда, особенно при малых плотностях тока, что позволяет применять РЦ элементы и батареи в качестве источников опорного напряжения. Характеристики разряда универсального РЦ элемента при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$  приведены на рис. 13.

Саморазряд РЦ элементов в процессе хранения ничтожен: в период от 12 месяцев и до конца срока службы работоспособность элементов снижается не более чем на 10%.

Температурный диапазон работы РЦ элементов лежит в пределах от  $0^{\circ}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  для обычных элементов. Для элементов универсального типа, обозначение которых имеет букву «у», диапазон работы составляет

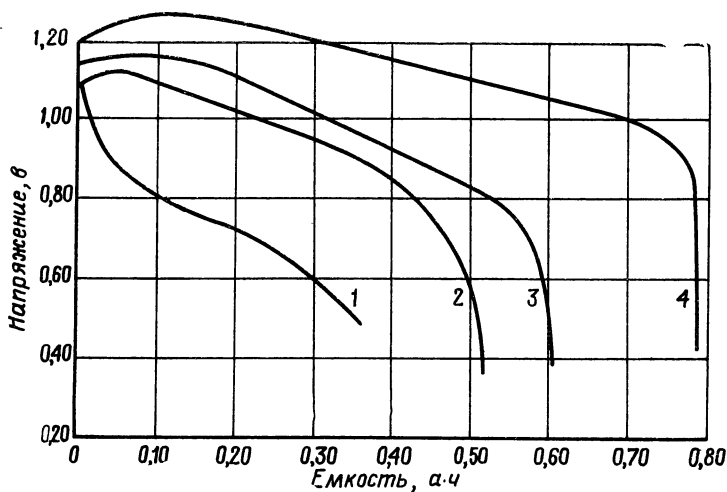


Рис. 13. Характеристики разряда элемента РЦ85у при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$ :

1 — нагрузка 25 ом; 2 — нагрузка 50 ом; 3 — нагрузка 100 ом; 4 — нагрузка 200 ом

от  $-30^{\circ}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ , а для теплостойких, обозначаемых буквой «т» — от  $0^{\circ}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ .

При расчете длительности разряда РЦ элементов обычного типа, предназначенных для разряда в температурном интервале от  $0^{\circ}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ , необходимо учитывать снижение емкости, начиная от температуры  $+15^{\circ}\text{C}$  и ниже, которое составляет около 4% на  $1^{\circ}\text{C}$ . Это значит, что при температуре  $+5^{\circ}\text{C}$  элементы летнего типа, не обозначенные буквой «у», отдадут около 60% своей номинальной емкости. Для элементов универсального типа потери емкости при непрерывном режиме разряда

составят около 2,5% на 1°С, начиная от 0°С и ниже.

В целях обеспечения работоспособности РЦ элементов при низких температурах целесообразно применять различные теплоизолирующие футляры или хранить элементы и батареи под одеждой и вынимать их для установки в аппаратуру непосредственно перед употреблением.

По механическим свойствам —ударопрочности, устойчивости при воздействии вибрации, способности выдерживать как вакуум до  $10^{-6}$  мм рт. ст., так и повышенное давление до 10 атм РЦ элементы занимают одно из первых мест среди источников тока, что и определяет область их применения в военной технике, различной полевой аппаратуре, радиозондах, медицинских приборах, электрочасах.

В табл. 12 приводятся характеристики РЦ элементов и батарей, выпускаемых в Советском Союзе. Элементы, числовое обозначение которых оканчивается цифрой 3, предназначены для работы в условиях разряда повышенными плотностями тока, что следует иметь в виду при выборе элемента.

Ртутно-цинковые элементы допускают в пределах срока сохранности повторные заряды, однако характеристики элементов, заряженных потребителем, не гарантируются промышленностью. Заряд РЦ элементов может производиться асимметричным током, как это описано в главе пятой.

Ртутно-цинковые элементы по габаритам соответствуют марганцево-цинковым элементам МЦ пуговичного типа (табл. 10), вследствие чего при выборе источников тока для той или иной аппаратуры целесообразно использовать в качестве дублирующих источников МЦ элементы, стоимость которых значительно ниже стоимости РЦ элементов. При этом необходимо учитывать, что емкость элементов МЦ меньше однотипных элементов РЦ почти в 1,5—2 раза.

Ртутно-цинковые элементы РЦ31 и РЦ32, применяемые для питания наручных электрочасов, имеют дублиры — миниатюрные марганцево-цинковые элементы ЧМЦ-2, ЧМЦ-3 и ЧМЦ-4, габариты которых соответствуют элементам РЦ, но уступающие последним по длительности работы.

Ртутно-цинковые элементы и батареи

Тип элемента (батареи)	Прежнее наименование	Начальное напря- жение, в	Номинальный ток разряда, мА	Емкость при +20° ± +50°С, а·ч	Время разряда, ч		Нагрузка, ом	Конечное напряжение разряда, в		Гарантийный срок хранения, мес	Габариты, мм		Вес, г	Удельная энергия	
					при +20° ±	при 0°С		при +20°	при 0°С		Диаметр	Высота		по объему, л Вт·ч	по весу, л Вт·ч

## Элементы

РЦ11	—	1,25	0,15	0,02	—	—	—	1,0	—	6	4,7	5,0	0,5	253	44
РЦ13	—	1,25	0,15	0,02	—	—	—	1,0	—	6	6,0	3,5	0,45	155	44
РЦ15	—	1,25	0,30	0,04	—	—	—	1,0	—	6	6,3	6,0	0,85	236	52
РЦ31	ОР-ОМ-Ч	1,25	0,10	0,07	—	—	—	1,0	—	12	11,5	3,6	1,3	206	59
РЦ32	ОР-ОМ-Ч	1,25	2,00	0,05	—	—	—	1,0	—	6	11,0	3,5	1,3	165	42
РЦ53	ОР1К	1,25	10,0	0,25	24	8	120	1,0	0,9	18	15,6	6,3	4,6	229	60
РЦ55	ОР1	1,22	10,0	0,50	50	15	120	1,0	0,9	30	15,6	12,5	9,5	230	58
РЦ57	—	1,25	20,0	1,00	—	—	—	1,0	—	12	16,0	17,0	15,0	294	67
РЦ59	—	1,25	60,0	3,00	—	—	—	1,0	—	12	16,0	50,0	44,0	327	75
РЦ63	ОР2К	1,25	20,0	0,55	27	12	60	1,0	0,9	18	21,0	7,4	10,5	236	58
РЦ65	ОР2	1,22	20,0	1,00	59	15	60	1,0	0,9	30	21,0	13,0	18,1	222	55
РЦ73	ОР3К	1,25	30,0	1,00	32	12	40	1,0	0,9	18	25,5	8,4	17,2	257	58
РЦ75	ОР3	1,22	30,0	1,50	55	15	40	1,0	0,9	30	25,5	13,5	27,0	240	61
РЦ87г	—	1,25	50,0×1,50	35	35	12	25	1,0	0,9	18	30,1	9,4	30,0	250	55

Продолжение

Тип элемента (батареи)	Прежнее наименование	Начальное напря- жение, в	Номинальный ток разряда, мА	Емкость при +20° ± +50°С, а.ч.	Время разряда, ч		Нагрузка, ом	Конечное напряжение разряда, в		Гарантийный срок хранения, мес	Габариты, мм		Вес, г	Удельная энергия	
					при +20° ± +50°С	при 0°С		при +20° +50°С	при 0°С		диаметр	высота		по объему, вт.ч. л	по весу, вт.ч. кг
РЦ83	ОР4К	1,25	50,0	1,50	35	12	25	1,0	0,9	18	30,1	9,4	28,2	250	58
РЦ84	ОР4	1,22	50,0	2,50	50	—	—	1,0	—	30	30,1	14,0	45,0	276	61
РЦ85	Р-04	1,22	50,0	2,50	55	15	25	1,0	0,9	30	30,1	14,0	39,5	276	70
РЦ93	—	1,25	300	13,0	—	—	—	1,0	—	6	31,0	60,0	170	316	84
РЦ85у	—	1,22	50,0	2,50	55	20	25	1,0	0,9	18	30,1	14,0	39,5	276	70
			(—30°) 12,5			(—30°)	100 (—30°)		(—30°)						

Батареи															
2РЦ63	ОР2К	2,50	60,0	0,55	5	1	40	0,9	0,6	12	22,0	16,0	21,1	194	58
5РЦ84	50Р4	6,0	100	3,0	—	—	—	4,5	—	—	35,0	85,0	250	170	55
12РЦ63/6	12-ОР-2К	16,0	100	0,5	15	—	150	11,0	—	6	71×46×105	920	920	24	9
6РЦ63	—	7,2	10	—	50	30	600	5,4	—	6	23	48	71	175	49

## Наливные элементы и батареи

Наливные элементы и батареи иногда называют резервными, так как они могут быть введены в действие лишь после заливки электролитом. Электролит резервных элементов может быть жидким при обычной или низкой температуре. Некоторые виды резервных элементов требуют заливки электролитом, состоящим из расплавленных солей. Такой электролит называется твердым.

Резервные элементы отличаются весьма большим сроком службы в незалитом состоянии. После заливки электролитом срок службы элементов зависит от электрохимической пары и конструкции и колеблется в зависимости от типа элемента от нескольких секунд до 6—9 месяцев.

Номенклатура наливных элементов сравнительно невелика, однако область их применения достаточно обширна. Наливные батареи большой мощности типа МОЭ и ВД применяются для питания аппаратуры сигнализации и связи, как сухопутной, так и морской. Медно-магниевые и марганцево-цинковые батареи работают в радиозондах и геофизической аппаратуре различного назначения. Характеристики наливных элементов и батарей приводятся в табл. 13.

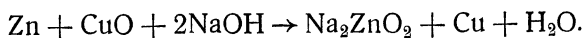
Из приведенных в табл. 13 элементов элементы на основе окиси меди являются наиболее распространенными, так как простота конструкции и эксплуатационная неприхотливость позволяют применять их в устройствах, требующих высокой надежности. К тому же возможность восстановления отработанных положительных медных пластин для многократного их использования является положительным качеством элементов этого типа.

Положительный электрод медноокисного элемента состоит из порошкообразной окиси меди, замешанной на растворимом стекле. После ряда термических операций электрод приобретает необходимую пористость и механическую прочность.

Отрицательный электрод элемента литой и состоит из цинка с примесью ртути. Электролитом медноокисного элемента служит раствор едкого натра плотностью

1,19—1,21 или едкого кали (при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже) плотностью 1,26.

Химическая реакция в медноокисном элементе протекает по уравнению



Медноокисные элементы выпускаются в двух модификациях — морские МОЭМ и общего назначения МОЭ. Морские элементы в качестве электролита имеют раствор едкого калия. Элементы выпускаются в виде блоков пластин, а сосуда производятся и поставляются отдельно, поэтому при использовании медноокисных элементов в стационарных установках по мере выхода из строя элементов заказываются только блоки пластин.

Степень разряда элементов контролируется визуально. Контроль осуществляется по специальным индикаторным панелям, имеющимся на отрицательных электродах. Степень истощения элемента определяется по разложению индикаторных панелей (рис. 14).

Э.Д.С. медноокисного элемента равна 0,9 в. Напряжение в процессе разряда изменяется от 0,8 до 0,5 в. Однако среднее напряжение разряда достаточно стабильно и держится в пределах 0,65 в, что обеспечивает питание аппаратуры без применения стабилизаторов напряжения. К числу достоинств медноокисного элемента относится большой срок службы при практически отсутствующем саморазряде, высокая стабильность разрядной характеристики и относительная дешевизна.

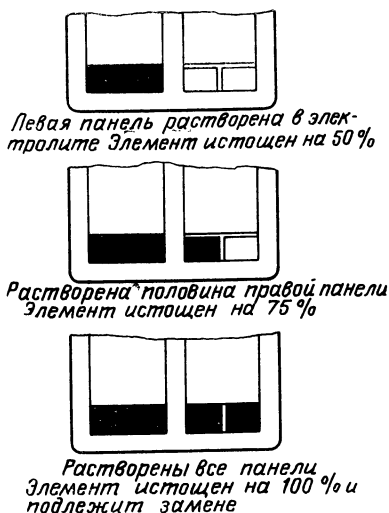


Рис. 14. Индикаторные панели в медноокисных элементах



# Наливные (резервные)

Наименование	Электрохимическая система	Электролит	э. д. с., в	Напряжение, в	Емкость, а·ч	Время непрерывного разряда, ч
3-РЗН-МЦ-2ч	Mn—Zn	NH <sub>4</sub> Cl	—	3,0	ок. 0,2	2
21-РЗА-МЦ-2ч	Mn—Zn	NH <sub>4</sub> Cl	—	21	0,004	2
3-МХМ-7ч	Mg—CuCl	NaCl	—	3,0	ок. 1	7
200-ПМХМ-2ч	Mg—CuCl	NaCl	—	212	ок. 0,04	2
анод			—	6,65	ок. 0,6	2
накал I			—	2,65	ок. 0,56	2
накал II			—	12,7	ок. 0,15	0,5
12-ПМХС-0,5ч	Mg—PbCl <sub>2</sub>	NaCl	—	12,7	ок. 0,15	0,5
80-ПМХС-2ч	Mg—PbCl <sub>2</sub>	NaCl	—	90	ок. 0,03	2
анод			—	3,3	ок. 0,2	2
накал			—	3,3	ок. 0,2	2
МОЭ-250	Zn—CuO	NaOH	0,9	0,65	250	500
МОЭМ-300	Zn—CuO	KOH	0,84	0,65	300	300
МОЭ-500	Zn—CuO	NaOH	0,9	0,65	500	500
МОЭМ-800	Zn—CuO	KOH	0,84	0,65	800	530
МОЭМ-1000	Zn—CuO	KOH	0,84	0,65	1000	450
МОЭ-1000	Zn—CuO	NaOH	0,9	0,65	1000	500
ВД-300	Zn—C	KOH	1,4	1,2	300	—
ВД-500	Zn—C	KOH	1,4	1,2	500	—
ВД-1000	Zn—C	KOH	1,4	1,2	1000	—
ВДЖ-50	Fe—C	KOH	1,0	0,75	50	—
ВДЖ-400	Fe—C	KOH	1,0	0,75	400	—
„Маячок-1“	Mg—CuCl	NaCl	—	2,95	1,6	10
„Маячок-2“	Mg—CuCl	NaCl	—	2,95	2,4	15
3-ХС-15	PbO <sub>2</sub> —Pb	HClO <sub>4</sub>	—	5,3	15	4

Таблица 13

## элементы и батареи

Ток разряда, <i>a</i>	Напряжение в конце разряда, <i>e</i>	Сохран-ность		Габариты, мм			Вес, кг		Примечание
		в сухом со-стоянии, мес	залитых электро-литом, ч	длина	ширина	высота	сухих	залитых электролитом	
ок. 0,1	1,5	48	2—3*	39	39	36	0,055	—	Заливаются водой
0,002	15	48	2—3	62	39	36	0,095	—	
ок. 0,14	2,4	24	2	37	31	60	0,080	—	
ок. 0,02	178	24	2	150	138	80	0,85	—	Заливаются водой
ок. 0,3	5,45	24	2						
ок. 0,26	2,15	24	2						
ок. 0,3	10	15	4—5	46	36	49	0,067	0,082	Заливаются водой
ок. 0,014	72	12	4—5 }	96	58	85	0,275	0,32	Заливаются водой
ок. 0,1	2,52								
0,5	0,5	36	720	180	170	350	3,8	—	Выпускаются залитыми Выпускается залитым Заливаются водой Заливаются водой
1,00	0,55	36	720	133	133	212	4,4	—	
1,00	0,5	36	720	168	193	350	7,1	—	
1,5	0,55	36	720	200	200	237	8,5	—	
2,2	0,55	36	720	225	180	460	11,0	—	
2,0	0,5	36	720	232	180	460	12,5	—	
0,5	1,0	12	10000	186	110	312	4,5	—	
0,75	1,0	12	10000	190	165	345	6,2	—	
1,5	1,0	12	10000	222	178	446	10,6	—	
0,25	0,5	12	7000	—	∅110	30	—	0,52	
0,5	0,5	12	7000	—	∅221	75	—	5,0	
0,16	1,8	24	20	21	48	100	0,085	—	
0,16	1,8	24	20	31	61	99	0,155	—	
3,0	4,7	24	5—6	175	92	123	—	4,0	

Недостатком элементов этого типа является низкое напряжение и невозможность использования в транспортируемой аппаратуре. Правда, первый из перечисленных недостатков может быть устранен путем обработки окиси меди в слабом (5 г на литр) растворе сульфида натрия  $\text{Na}_2\text{S}$ . По свидетельству автора этого предложения В. Н. Флерова положительные пластины медноокисных элементов, активированных  $\text{Na}_2\text{S}$ , имеют рабочий потенциал на 25% выше, чем обычных серийных МОЭ. Напряжение обработанных МОЭ составляет 0,84—0,75 в.

Другой вид наливных элементов со щелочным электролитом — элементы воздушной деполяризации ВД; они в качестве положительного электрода используют кислород воздуха, как и в элементах марганцево-цинковой системы. Отрицательным электродом элемента ВД служит литой цинк. Положительные электроды с целью создания высокой пористости для большей диффузии кислорода состоят из специально обработанной углеродистой массы. Электролитом ВД элементов служит раствор КОН плотностью 1,33—1,35.

Сравнительно высокое напряжение элементов ВД, хорошая стабильность разрядной характеристики и низкий саморазряд при значительном сроке сохранности делают эти элементы приемлемыми для использования в стационарных установках, в том числе и работающих в условиях низких температур, так как работоспособность элементов ВД лежит в пределах от +40° до —40° С. Недостатком элементов ВД, так же как и элементов МОЭ, является невозможность транспортировки.

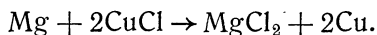
Стремление к созданию дешевого элемента с электродами из недефицитных материалов привело к разработке элемента воздушной деполяризации с железным анодом. В элементах ВДЖ в качестве положительного электрода используется кислород воздуха, запасенный в пористом угольном электроде, состоящем из угольной пыли с каучуком и парафином. Отрицательным электродом является губчатое железо. Образование тока происходит в результате окисления железа. Электролит элемента ВДЖ состоит из раствора КОН большой плотности.

Элементы ВДЖ по величине рабочего напряжения, высоким удельным характеристикам, малой величине

саморазряда при длительном хранении имеют несомненные преимущества по сравнению с другими наливными элементами. К достоинствам ВДЖ элементов относится также возможность их транспортировки, так как приведение их в рабочее состояние производится при выпуске с завода. Недостатком железо-угольных элементов является плохая их отдача при температуре ниже нуля.

Для питания аппаратуры радиозондов применяются наливные марганцево-цинковые и медно-магниевые элементы. Марганцево-цинковые элементы по конструкции не отличаются от сухих МЦ элементов и приводятся в действие путем заливки электролита, состоящего из раствора 5 весовых частей хлористого аммония в 6 весовых частях воды с примесью 1 части спирта. Спирт добавляется для обеспечения работы батареи в условиях низких температур при подъеме радиозонда в область больших высот. После пропитки в течение 20—60 минут батареи готовы к употреблению. Залитые батареи должны быть немедленно использованы, так как срок их сохранности в этом состоянии ограничен. Марганцево-цинковые наливные батареи типа РЗН и РЗА работоспособны при температуре  $-25^{\circ}\text{C}$ , однако срок их работы при этой температуре уменьшается вдвое.

Медно-магниевые элементы хотя и относятся к наливным элементам, но не требуют заливки электролитом, а смачиваются перед употреблением водой, так как хлоридные соли присутствуют в электродных материалах. Положительным электродом элемента служит хлористая медь, напрессованная на медную решетку, а отрицательным — металлический магний. Токообразующая реакция в элементе протекает по уравнению



Так как при соединении магния с водой происходит экзотермическая реакция с выделением тепла, все магниевые элементы хорошо работают при температуре минус  $50\text{—}70^{\circ}\text{C}$ . По удельной энергии медно-магниевые элементы приближаются к марганцево-цинковым станканчиковым элементам обычной технологии.

Другую разновидность магниевых элементов представляют элементы, где в качестве положительного элект-

трода применяется хлористый свинец. В отличие от медно-магниевого элемента, напряжение которого составляет 1,2—1,4 в, элемент с хлористым свинцом работает при напряжении около 1 в. По удельным характеристикам и температурному диапазону работы элементы с хлористым свинцом аналогичны медно-магниевым элементам.



**Рис. 15.** Аварийная магниевая батарея «Маячок-1»

Весьма интересными по конструктивному исполнению являются малогабаритные батареи «Маячок» (рис. 15), приводимые в действие погружением в морскую или речную воду. Эти батареи относятся к электрохимической системе магний — хлористая медь и применяются для аварийных спасательных работ, где батарея с лампочкой крепится на специальном жилете или нагруднике и служит миниатюрным маяком. Высокие удельные характеристики этих батарей дают все основания для широкого их применения в малогабаритной аппаратуре, работающей в режиме кратковременного использования.

Среди элементов магниевой группы привлекают внимание элементы с положительным электродом из серы. Элементы этого типа хотя и дают небольшое напряжение — 0,7 в, но отличаются хорошей сохранностью в сухом виде и дешевы.

Один из элементов серно-магниевого типа, рассчитанный на длительное действие, относится к элементам сухого исполнения с электролитом из бромистого магния. Хотя элемент имеет и невысокое рабочее напряжение (0,9 в), его удельная энергия приближается к СЦ аккумуляторам, а разрядная характеристика отличается хорошей стабильностью по напряжению. Недостатком элементов с серой является выделение во время работы

сероводорода, что ограничивает возможность их применения в помещении.

Особое место в элементах с магнием занимают хлор-серебряно-магниевые элементы, химические процессы в которых не отличаются от процессов в медно-магниевых и свинцово-магниевых элементах, однако эксплуатационные качества делают их незаменимыми в тех видах аппаратуры, где в течение весьма короткого времени требуется получить высокую плотность тока. По возможности работы в коротких режимах разряда хлорсеребряно-магниевые элементы превосходят даже серебряно-цинковые аккумуляторы, разрядная плотность которых составляет  $0,4 \text{ а}$  на квадратный сантиметр поверхности электрода. ХСМ элементы допускают разряд плотностью  $0,8 \text{ а/см}^2$ . Приведение в действие этих элементов производится пресной или морской водой в течение короткого времени.

Рабочее напряжение ХСМ элементов значительно выше, чем других элементов магниевой группы, и составляет  $1,5 \text{ в}$ . Разрядная характеристика после стабилизации напряжения, связанной с замочкой элемента, отличается хорошим постоянством в довольно широком интервале нагрузок, в том числе и в условиях работы при температурах до  $-50^\circ \text{ С}$ . Сохранность в залитом состоянии ХСМ элементов невысока — до 48 часов.

В аппаратуре, требующей мгновенного включения источника, рассчитанного на разряд большим током в течение нескольких секунд, широкое применение нашли серебряно-цинковые (СЦ) одноразовые элементы. В отличие от серебряно-цинковых аккумуляторов, рассчитанных на длительную работу с рядом повторных перезарядок, СЦ одноразовые элементы выпускаются в сухом виде, но с предварительно заряженными электродами.

Как и в серебряно-цинковом аккумуляторе положительным электродом СЦ элемента служит окисно-серебряный электрод, несколько отличающийся по конструкции и технологии изготовления. Отрицательный цинковый электрод изготавливается либо осаждением губчатого цинка на подложку из фольги, либо прессовкой порошка из цинка со ртутью. Сепарация СЦ элементов практически не отличается от применяемой в СЦ аккумуляторах, за исключением толщины пленки и количества слоев, которые для СЦ элементов выбираются

минимальными, так как срок службы залитых электролитом СЦ элементов по условиям работы невелик.

Приведение в действие серебряно-цинковых гальванических батарей производится почти мгновенно с помощью пиротехнического устройства, обеспечивающего выдавливание электролита из ампулы в сосуды батареи.

Устройство батарей с пиротехническим запалом изображено на рис. 16. Здесь по команде включается под-

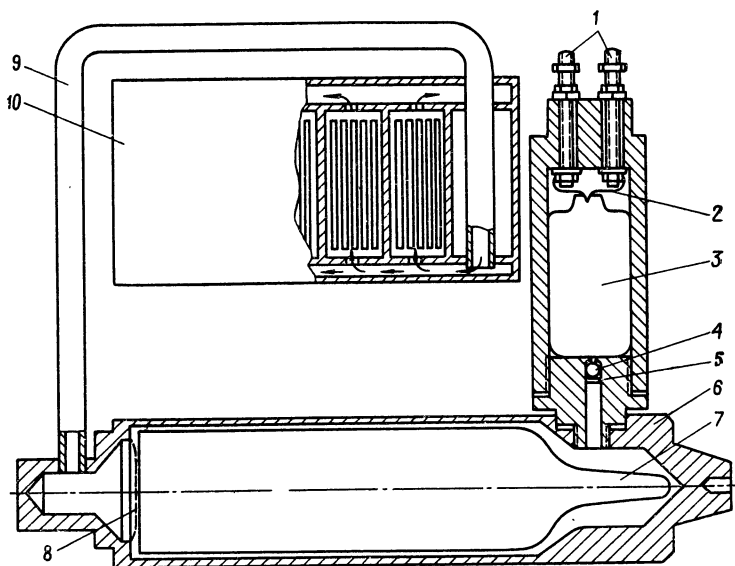


Рис. 16. Схема устройства ампульной СЦ батареи с пиропатроном:

1 — клеммы для электроподжига; 2 — нагревательная спираль; 3 — пиропатрон; 4 — металлический шарик; 5 — металлический диск; 6 — корпус; 7 — ампула с электролитом; 8 — сетка; 9 — трубка; 10 — батарея

жиг пиропатрона. Газы, выделяющиеся при взрыве, выбивают с помощью шарика металлический диск, который разбивает ампулу с электролитом. Другие устройства используют для подачи электролита сжатый воздух или инертные газы. Для работы в условиях низких температур применяются различные подогреватели.

Несколько меньшее распространение имеют наливные элементы с положительными электродами на основе свинца — свинцово-цинковые элементы, свинцово-кадмиевые и свинцовые элементы с хлорной кислотой.

Свинцово-цинковые элементы рассчитаны на питание установок большой мощности и обеспечивают разряд током порядка 100 а и более. Электролитом в свинцово-цинковых элементах является серная кислота, вследствие чего срок их службы в залитом состоянии не превышает 4 часов. Напряжение свинцово-цинкового элемента 2,2 в, что обуславливает их довольно высокие удельные характеристики, приближающиеся к удельным характеристикам СЦ аккумуляторов, особенно по удельной энергии на единицу объема. К числу недостатков свинцово-цинковых элементов относится полная неработоспособность при температурах, близких к нулю, и значительное газо-выделение во время работы.

Свинцово-кадмиевые элементы по стоимости значительно выше свинцово-цинковых, но достаточно хорошо работают при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$ . Напряжение свинцово-кадмиевых элементов довольно высокое — около 2 в. Электролит свинцово-кадмиевых элементов — серная кислота плотностью 1,30, что также обуславливает кратковременность их службы в залитом состоянии. Удельные характеристики свинцово-кадмиевых элементов выше, чем у свинцовых аккумуляторов, а стабильность разрядного напряжения позволяет применять их в устройствах, требующих плавной разрядной характеристики. Недостатком свинцово-кадмиевых элементов является сильное выделение газов во время разряда.

Свинцовый элемент с хлорной кислотой в качестве положительного электрода имеет двуокись свинца, нанесенную на решетку из меди, пассивированную металлом, стойким в хлорной кислоте. Отрицательный электрод изготавливается из свинца. Электролитом, как сказано выше, служит хлорная кислота — весьма агрессивный химикат, требующий чрезвычайно осторожного обращения.

Достоинством свинцовых элементов с хлорной кислотой является хорошая работоспособность при низких температурах. Батареи, составленные из элементов ХС-15, при температуре  $-40^{\circ}\text{C}$  отдавали до 90% своей номинальной емкости, а температурный предел элементов ХС простирается до  $-60^{\circ}\text{C}$ , в чем элементы ХС не имеют себе равных. К недостаткам элементов этого типа относятся малый срок службы в залитом состоянии и необходимость крайне осторожного обра-



щения с электролитом — хлорной кислотой, вызывающей тяжелые ожоги при попадании на кожу человека, а также способной к самовозгоранию и взрыву при соединении с органическими веществами.

К числу резервных элементов, которые, однако, трудно назвать наливными, относятся гальванические элементы с твердым электролитом. Элементы этого типа в качестве отрицательного электрода имеют пластины из листового кальция или магния. Положительный электрод состоит из окиси вольфрама в смеси с хромовокислым свинцом, нанесенными на никелевую решетку. Электролит элемента состоит из смеси хлористого калия и хлористого лития и при обычной температуре представляет твердую кристаллическую массу. Элемент приводится в действие путем нагревания электролита до температуры  $400\text{--}600^\circ\text{C}$  до перехода в расплавленное состояние. Элемент при этой температуре позволяет снимать весьма большой ток в течение короткого промежутка времени. Образец кольцевого элемента с твердым электролитом из смеси  $\text{KCl}$  и  $\text{LiCl}$ , имеющий размеры  $9 \times 51$  мм (диаметр), весом 38 г при разряде током 10 а работал в течение 5 минут с напряжением 1,8 в. Элементы такого типа в коротких режимах разряда развивают удельную мощность до  $880 \text{ вт/кг}$ . Недостаток элемента, как и других резервных источников тока, — малая сохранность после задействия элемента. Срок сохранности элементов в незадействованном состоянии 10 лет. В качестве источников тепла для приведения электролита в расплавленное состояние служат специальные термитные таблетки, помещаемые непосредственно в электролите.

### Топливные элементы

Первые образцы топливных элементов были созданы еще в 1839 году Грове. Принцип действия этих элементов состоял в непрерывном окислении водорода на одном из платиновых электродов, погруженных в электролит. Конечным результатом химической реакции между кислородом и водородом, омывавших электроды, было образование воды с одновременным возникновением электродвижущей силы, величина которой достигала 1 в.

В 1876 году инженер-поручиком П. Н. Яблочковым был получен патент на «электродвижущий элемент горения», являющийся одним из вариантов водородно-кислородных элементов, а в 1890 году им же предложена «автоаккумуляторная гальваническая батарея» с весьма интересной патентной формулой, в которой указывалось, что автоаккумулятор представляет «элемент постоянного действия, положительный электрод которого непрерывно поляризуется, и электрический аккумулятор, действующий по желанию, лишь только замкнута цепь между телом, аккумулирующим водород, и телом, аккумулирующим кислород». Водородным электродом в топливном элементе Яблочкова был свинец, кислородным — пористый уголь, а в качестве топлива в этом элементе был применен металлический натрий.

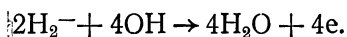
Важность решения проблемы создания топливного элемента заключается в том, что в отличие от химических источников тока, ресурс работы которых зависит от количества запасенных электродами активных веществ, топливные элементы могут работать столько времени, сколько будут подводиться вещества, необходимые для их действия. То есть топливные источники тока можно отнести к генераторам, аналогичным по своему действию тепловым машинам, где сжигается топливо для получения механической энергии.

Способность непосредственного превращения энергии топлива в электрическую является важнейшей особенностью топливных элементов, поскольку их теоретический коэффициент полезного действия может достигать 100%, а к.п.д., достигнутый в современных образцах топливных элементов, уже в настоящее время составляет 60—70%. При этом необходимо напомнить, что к.п.д. таких машин, как паровая или газовая турбина, не превышает 40%, не говоря уже о двигателях внутреннего сгорания и паровых машинах с к.п.д. 30 и 20% соответственно.

Кроме того, топливные элементы характеризуются весьма высокими удельными характеристиками. Например, величина удельной энергии кислородно-водородного элемента для режима длительной эксплуатации может достигать  $1000 \text{ вт} \cdot \text{ч/кг}$ , в то время как лучшие образцы гальванических элементов и аккумуляторов по удельной энергии не превышают  $110\text{—}140 \text{ вт} \cdot \text{ч/кг}$ . Если при этом

учесть, что топливные элементы не выделяют вредных веществ, бесшумны и могут действовать в течение длительного времени, то вполне понятен интерес, проявляемый к этим источникам тока.

Принцип действия топливного элемента состоит в том, что при пропускании водорода и кислорода через пористые трубки, находящиеся в сосуде со щелочным электролитом, происходит соединение атомов водорода с гидроксильным остатком  $\text{OH}$ , полученным в результате распада электролита на ионы калия и остаток  $\text{OH}$ . При этом образуется вода и высвобождаются электроны:



В то же время на положительном электроде происходит соединение кислорода с водой и образование гидроксильного остатка  $\text{OH}$ .

В принципе в топливном элементе в качестве отрицательного электрода может служить не только водород, но и любое углеводородное топливо — метан, водяной газ, природный газ, окись углерода и др. Положительным

электродом служат кислород или воздух, а также сильные окислители.

Принцип действия топливного элемента показан на рис. 17. Электроны, накопленные на трубке 2, являющейся отрицательным электродом, направляются во внешнюю цепь на кислородный положительный электрод 3, где захватываются кислородом, в результате чего по внешней цепи начинает протекать электрический ток. Таким образом, кислород непрерывно пополняет в электролите расход  $\text{OH}$ , а водород поддерживает необходимое количество воды в электролите.

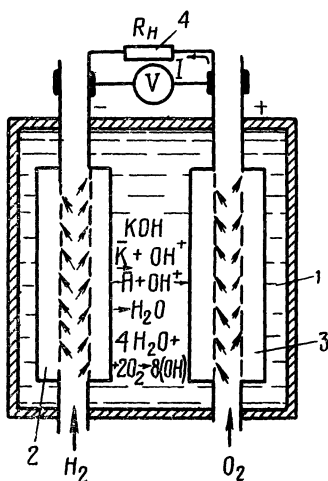


Рис. 17. Принцип действия топливного элемента:

1 — электролит  $\text{KOH}$ ; 2 — водородный отрицательный электрод; 3 — кислородный положительный электрод; 4 — нагрузка

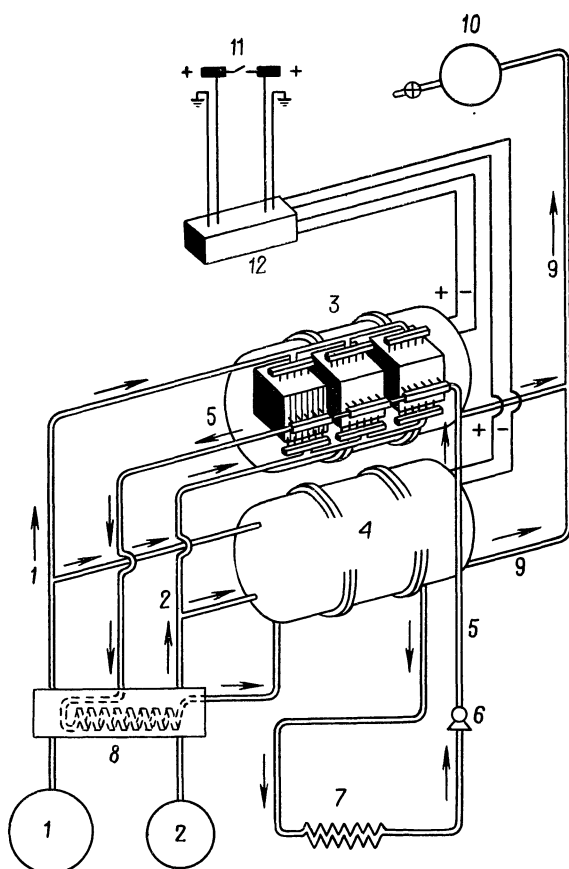
су электролитического разложения воды, где при пропускании тока через подкисленную воду образуется кислород и водород.

В настоящее время разработано большое количество топливных элементов, отличающихся принципом действия и конструктивным исполнением. В соответствии с принятой в электрохимии классификацией топливные элементы могут быть разбиты на четыре основные группы: I — низкотемпературные элементы с рабочей температурой до  $100^{\circ}\text{C}$ ; II — среднетемпературные от  $100^{\circ}$  до  $300^{\circ}\text{C}$ ; III — высокотемпературные от  $300^{\circ}$  до  $1000^{\circ}\text{C}$ ; IV — регенеративные, или редокс-элементы.

К низкотемпературным элементам относится ряд водородно-кислородных элементов со щелочным электролитом. По принципу действия эти элементы практически не отличаются от показанного на рис. 17. Важной проблемой, от решения которой зависит промышленная реализация элементов этого типа, является создание высокопористого угольного электрода, рассчитанного на большие плотности тока, несмачиваемого электролитом. Другие типы низкотемпературных элементов имеют металлокерамические пористые электроды, а электролитом пропитываются пористые прокладки между электродами.

Разработанные фирмой «Дженерал электрик» портативные генераторы для питания связных установок и радиолокационных полевых станций мощностью 200 вт имеют в качестве электродов платинированные металлические сетки, нанесенные на обе стороны пластины из специальной ионообменной смолы, являющейся твердым электролитом. Если в первоначальных разработках такие мембраны из ионообменных смол позволяли снимать с электродов ток плотностью  $20\text{--}30\text{ ма/см}^2$ , то в последующем удалось разработать мембраны, рассчитанные на съем тока до  $200\text{ ма/см}^2$ .

Батарея, составленная из топливных элементов такого типа, была установлена на американском космическом корабле «Джемини». Напряжение каждого из элементов, входящих в батарею, 0,8 в. Мощность батареи 2 кВт при к. п. д. 60%. В качестве топлива батареи применялся жидкий водород, а окислитель — жидкий кислород. Образовавшаяся во время работы вода выводилась в коллектор и могла быть использована экипажем корабля в качестве питьевой. Принцип действия



**Рис. 18.** Схема энергетической установки «Джемини»:

1 — водород; 2 — кислород; 3 — батарея топливных элементов (3 блока); 4 — резервная батарея топливных элементов; 5 — охлаждающая жидкость; 6 — насос; 7 — радиатор; 8 — теплообменник для предварительного нагрева активных веществ; 9 — вода; 10 — коллектор воды; 11 — выходные борны; 12 — электрическое регулирующее устройство

батареи показан на рис. 18. По мнению американских специалистов, батареи такого типа могут успешно применяться на подводных лодках системы противолодочной обороны.

В батарее для подводных лодок, изготавливаемой в Швеции, вместо жидкого водорода, хранение которого

представляет известные технические трудности, предполагается использовать жидкий аммиак, который допускает хранение в тонкостенных баллонах.

В других низкотемпературных топливных элементах используется такое горючее, как метанол, гидразин, металлический натрий. Такие батареи разрабатываются различными фирмами Швейцарии, ФРГ и США на мощность от 10 вт до 3 кВт.

К среднетемпературным топливным элементам относится широко известный элемент Бэкона с пористыми электродами, конструкция которого обеспечивает хорошую ионную проводимость между электродными материалами — водородом и кислородом — и электролитом — КОН, одновременно препятствуя их смешиванию или вытеснению. Схема действия среднетемпературного элемента

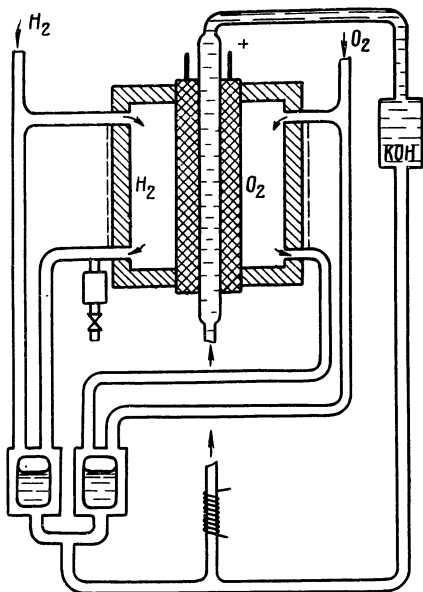


Рис. 19. Топливный элемент «Гидрокс» (элемент Бэкона)

Бэкона показана на рис. 19. Элемент работает при температуре 200° С. На этом принципе в США разработаны топливные элементы, допускающие съем тока плотностью до 250 ма/см<sup>2</sup> при напряжении 0,92 в. В батарее, разработанной для проекта «Аполло», мощностью 3 кВт, так же как и в батарее корабля «Джемини», образующаяся в результате электрохимической реакции вода может быть использована космонавтами для питья. Охлаждение батареи также жидкостное по замкнутой схеме с использованием в качестве хладагента этиленгликоля. Электролитом в батарее служит расплавленный 85% раствор КОН.

В батареях других типов, где в качестве электролита

используется концентрированная ортофосфорная кислота, возможно применение в качестве топлива паров спирта и углеводов, что сильно упрощает конструкцию батареи и ее эксплуатацию, поскольку отпадает необходимость в давлении при подаче топлива.

Высокотемпературные топливные элементы привлекают внимание инженеров и ученых принципиальной возможностью использования в них в качестве топлива не только водорода, но и углеводов, окиси углерода, метилового спирта, природного газа, аммиака и даже твердого топлива — кокса, древесного угля, ламповой сажи. В качестве электродов в высокотемпературных элементах применяются платина, серебро, окись цинка. Электролиты элементов этого типа представляют либо расплавленные карбонаты щелочных металлов, например  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , либо так называемые твердые электролиты, составленные из спеченной смеси церия, циркония, лантана, или представляющие собой керамические пористые пластины, пропитанные расплавленными карбонатами. Назначением электролитов в элементах этого типа является обеспечение хорошей ионной проводимости в направлении катод — анод для ионов кислорода и недопущение электронной проводимости.

Создание промышленных образцов высокотемпературных топливных элементов осложняется рядом технологических и конструктивных трудностей, к числу которых относится разрушение электродов элементов, разложение электролита, необходимость поддержания высокой температуры в рабочей камере и т. д.

В образцах топливных элементов, работающих на углеводородном топливе, удалось достигнуть высокую плотность тока — около  $150 \text{ ма/см}^2$  — при сроке службы элементов 1500 ч. Другие элементы, работающие на твердом топливе, позволяли снимать ток плотностью до  $40 \text{ ма/см}^2$  при напряжении 0,7 в, однако срок их службы ограничивался десятками часов. Высокотемпературные элементы могут найти применение в аппаратуре с ограниченным сроком службы, но основное их назначение в энергетике будущего — прямое преобразование энергии твердых топлив в электрическую с высоким к. п. д.

Четвертая группа топливных элементов — регенеративные, или редокс-элементы — отличается от ранее

описанных способностью восстановления активных веществ, израсходованных на образование электрического тока. Регенерация активных веществ может производиться различными способами, однако наибольший практический интерес представляет химическая регенерация. На рис. 20 показана принципиальная схема работы редокс-элемента, в котором протекают реакции, не связанные с химическим изменением вещества, а только изменяющие валентность инертных электродов, например олова или брома.

В отрицательном электроде элемента происходит реакция восстановления четырехвалентного олова в двухвалентное, связанная с приобретением электродом двух электронов, в результате чего он заряжается отрицательно. На положительном электроде происходит реакция окисления брома в двухвалентный бром кислородом воздуха, и электрод заряжается положительно.

Таким образом, между положительным и отрицательным электродами редокс-элемента возникает разность потенциалов. Элементы с переменной валентностью — олово и бром — в этом образце редокс-элемента являются электролитами. Олово, которым пропитан отрицательный угольный пористый электрод, называется католитом, а бром в положительном также угольном электроде — анолитом. Оба электрода разделены ионообменной мембраной, не допускающей смешивания электролитов, но не препятствующей обмену ионами.

Процесс токообразования в этом элементе сводится к восстановлению иона высоковалентного вещества анолита (в данном случае брома) и окислению иона католита (олова) в низком валентном состоянии в высоковалентное.

Поскольку расходуемыми в процессе работы регенеративного элемента веществами являются горючее (окись углерода) и окислитель (кислород воздуха), то для поддержания непрерывной работы элемента требуется регенерация веществ католита и анолита, кото-

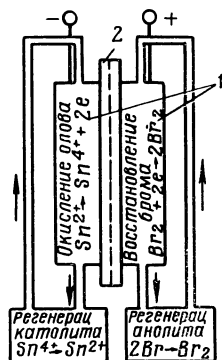


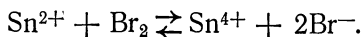
Рис. 20. Редокс-элемент:

1 — угольные пористые электроды; 2 — ионообменная мембрана



рая и происходит, как это было указано выше, путем восстановления горючим олова (католита) и окисления кислородом брома (анолита).

Суммарную реакцию токообразования (и в обратном направлении — регенерацию) в элементе можно представить следующим образом:



Так как горение окиси углерода и ее превращение в углекислый газ  $\text{CO}_2$  приводят к возникновению э. д. с. 1,02 в, то и вещества, применяемые в католите и анолите, также должны совпадать по своим электродным потенциалам с э. д. с. В системе олово — бром изменение валентности олова в католите дает 0,15 в, а брома — 1,07 в. Суммарная э. д. с.  $E = E^+ - E^- = 1,07 - (-0,15) = 1,22$  в, т. е. примерно совпадает.

Редокс-элементы работают при нормальной температуре, что является их положительным качеством. Кроме того, выделяемое ими тепло может быть использовано в самом элементе для обеспечения процесса регенерации, на что в других видах топливных элементов требуется подвод дополнительного тепла, иногда превышающего полезную энергию электрического тока.

Топливные элементы наряду с присущими им положительными качествами — высоким к. п. д., бесшумностью работы, отсутствием вредных выделений во время работы и относительно высоким сроком службы — имеют и недостатки: необходимость применения взрывоопасных смесей, большие габариты баллонов для хранения топлив и окислителей, большие габариты всей установки, включая систему охлаждения и т. д.

Применение топливных элементов ограничивается питанием аппаратуры средней и большой мощности от сотен ватт до десятков и сотен киловатт, причем время питания должно быть достаточно большим. Тогда удельные характеристики топливных элементов становятся несоизмеримыми с обычными химическими источниками тока, удельная энергия которых не превышает 200 вт. ч/кг, в то время как удельная энергия топливных элементов длительного действия очевидно не ограничится 1000 вт. ч/кг.

Весьма вероятно использование топливных элементов в электромобиле, поскольку попытки, произведенные

конструкторами США в этом направлении, дали положительные результаты.

### Биологические элементы

Биологические элементы относятся к химическим источникам тока, так как возникновение электродвижущей силы в них является следствием окислительно-восстановительных процессов, присущих химическим источникам тока.

Как это было сказано выше, для получения электрического тока необходимо, чтобы элемент имел топливо (водород или другие горючие газы) и окислитель (кислород). В биологических элементах топливо и окислитель могут быть получены из различных органических веществ при введении в них соответствующей бактериальной флоры, вызывающей процессы брожения, в процессе которых получается водород и кислород.

Процесс получения электрического тока в биологическом элементе, где бактерии используются для превращения органического топлива в водород и кислород, называется косвенным способом в отличие от непосредственного способа, где бактерии сами принимают участие в токообразующем процессе. Непосредственный способ представляется наиболее перспективным, поскольку он не предусматривает использование органических веществ, требующих непрерывного их пополнения во время работы.

Принцип действия биологического источника тока с непосредственным участием бактерий в токообразующем процессе показан на рис. 21. Здесь в сосуде со слабым раствором серной кислоты с некоторым количест-

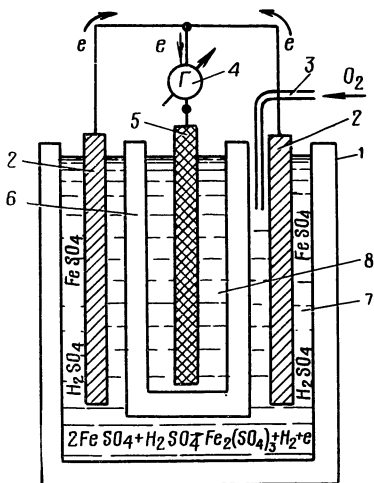
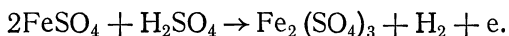


Рис. 21. Биологический элемент:

1 — сосуд элемента; 2 — пассивный цилиндрический электрод; 3 — трубка для подачи воздуха; 4 — гальванометр; 5 — коллекторный электрод; 6 — сосуд с пористыми стенками; 7 — электролит из серной кислоты и железного купороса; 8 — раствор, содержащий бактериальную флору

вом сернокислого железа имеется пассивный электрод из платины или угля. В том же сосуде находится другой сосуд *б* из пористого материала, в котором размещается такой же электрод. Внутренний сосуд содержит водный раствор с особым типом бактерий, в который подается кислород или воздух.

При взаимодействии слабой серной кислоты с железным купоросом происходит превращение двухвалентного железа в трехвалентное, сопровождаемое потерей одного валентного электрона:



Освободившийся электрон через пассивный электрод, являющийся коллектором электронов, и внешнюю цепь направляется к другому пассивному электроду в биологическом растворе, бактерии которого обладают способностью пожирать электроны с образованием молекул воды за счет присоединения кислорода, также поступающего в раствор. В результате непрерывного уничтожения поступающих электронов бактериями в цепи протекает ток, величина которого определяется поглощательной способностью бактерий.

Разработкой источников тока, использующих биологические процессы, занимаются многие исследовательские организации. Так, например, зарубежная печать сообщает о разработанном биологическом источнике тока, в котором в качестве бактериальной флоры служит кашицеобразная масса из бананов, а в качестве электролита — раствор неорганических солей. Этот источник тока, по сообщению печати, отдает в течение суток ток силой 4,92 *а* при напряжении 0,76 *в*. Бананы в этом элементе могут быть заменены тыквой, виноградом и практически любыми плодами. Утверждают, что подобный генератор после усовершенствования может давать энергию постоянного тока мощностью до киловатта.

Другое сообщение указывает на возможность использования бактерий для деполяризации в химических источниках тока. Например, в батарее с магниевым анодом и морской водой в качестве электролита предлагается для уменьшения поляризации на катоде применять бактерии, потребляющие водород.

В топливных элементах, использующих в качестве

активных материалов водород и кислород, предлагается применить на одном электроде бактерии, потребляющие соответственно  $O_2$  или  $H_2$ , а на другом — бактерии, выделяющие  $O_2$  или  $H_2$ . Для катодной деполяризации в элементах с железным катодом также рекомендуется использовать колонии соответствующих бактерий.

Так как биологические источники тока только начали создаваться, то в настоящее время трудно дать анализ их характеристик и указать возможные области применения. Однако использование бактерий для обеспечения некоторых процессов, являющихся побочными в токообразовании, уже становится реальным в настоящее время.

Что же касается самих биологических элементов, то считается, что они могут получить развитие и применение в качестве резервных источников тока, работающих в качестве дублеров химических источников тока в районах, где отсутствуют источники промышленной электроэнергии, или в специфической аппаратуре.

## **Б. АККУМУЛЯТОРЫ**

### **Кадмий-никелевые (КН) герметичные аккумуляторы**

В последнее время внимание потребителей источников тока привлекли малогабаритные аккумуляторы герметичного типа — цилиндрические, дисковые и прямоугольные, не требующие в процессе эксплуатации смены или доливки электролита и обеспечивающие работу в любом положении. В таких источниках тока нуждаются современная портативная аппаратура и осветительные установки, вследствие чего герметичные КН аккумуляторы находят все большее применение в радиовещательных приемниках, магнитофонах, слуховых аппаратах, карманных фонарях, освещении к оптическим прицелам.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается три основных типа КН аккумуляторов в герметичном исполнении: дисковые, цилиндрические и аккумуляторы типа КНГ.

#### **Дисковые кадмий-никелевые аккумуляторы**

Этот тип аккумуляторов получил наибольшее распространение вследствие цилиндрической формы, весьма

Таблица 14

## Герметичные дисковые кадмий-никелевые аккумуляторы и батареи

Тип аккумулятора (батареи)	Напряжение, в	Емкость, а · ч	Ток разряда, ма	Напряжение в конце разряда, в	Ток заряда, ма	Время заряда, ч	Срок службы, цикл	Срок сохранности, лет	Габариты, мм		Вес, з
									Диаметр	Высота	
Аккумуляторы											
Д-0,06 . . . . .	1,25	0,06	6	1,0	6	15	150	2	15,6	6,4	4
Д-0,1 . . . . .	1,25	0,1	10	1,0	12	15	150	1,5	20,1	6,9	7
Д-0,25 . . . . .	1,25	0,25	25	1,0	20	19	200	1,5	27,2	10,3	16
Батареи											
2×2Д-0,1 . . . . .	2,50	0,20	60	2,0	24	15	70	1,5	23,2	38,0	36
2Д-0,25 . . . . .	2,5	0,25	25	2,0	20	19	150	1,5	27,2	22,5	33
7Д-0,1 . . . . .	8,75	0,10	10	7,0	12	15	150	1,5	24,1	62,2	60
10Д-0,25 . . . . .	12,50	0,25	50	10,0	20	19	—	—	82×109	×10,5	200

удобной при соединении в батареи, когда электрическое соединение может быть обеспечено механическим прижимом отдельных аккумуляторов.

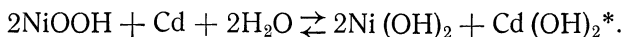
Отечественной промышленностью выпускаются аккумуляторы Д-0,06; Д-0,1; Д-0,25 и аккумуляторные батареи  $2 \times 2Д-0,1$  и  $7Д-0,1$ . Основные характеристики дисковых аккумуляторов и батарей приводятся в табл. 14.

Конструкция аккумуляторов и батарей показана на рис. 22.

Дисковый аккумулятор состоит из корпуса 1, в котором размещаются положительный 5 и отрицательный 6 электроды, разделенные сепараторной прокладкой 4. Весь блок прижимается к корпусу распорной пружиной крестовидной формы 3. Крышка корпуса 2 завальцована с корпусом 1 через изоляционную прокладку 7. Аккумулятор содержит минимально необходимое количество электролита, что обуславливает его низкое внутреннее сопротивление.

Так как положительный электрод аккумулятора 5 электрически контактирует с корпусом, последний для всех типов дисковых аккумуляторов имеет положительную полярность «+».

Химические процессы, протекающие в герметичных КН аккумуляторах, при разряде и заряде аналогичны процессам в КН аккумуляторах обычной конструкции, а именно:



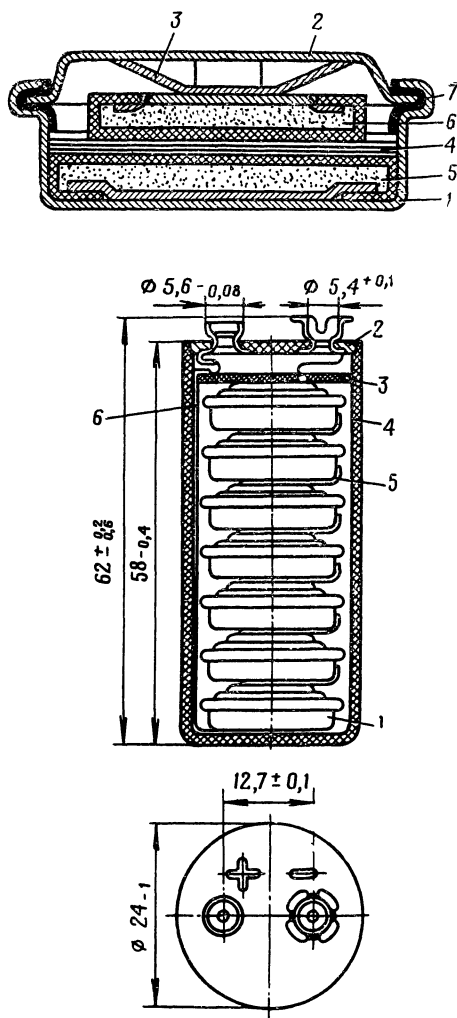
Электролит в дисковых аккумуляторах, так же как и в других щелочных аккумуляторах, является лишь носителем кислорода или ионов  $OH$  с положительной пластины на отрицательную и не принимает участия в химических процессах образования тока.

Известно, что при заряде КН аккумуляторов происходит выделение водорода и кислорода, вследствие чего КН аккумуляторы снабжаются вентиляционными пробками. Каким же образом удается избежать газовой выделения в герметичных аккумуляторах?

В дисковых аккумуляторах процесс газовой выделения ограничен одним только кислородом, так как масса от-

---

\* Здесь и в последующих формулах слева направо показана реакция при разряде, справа налево — при заряде.



**Рис. 22.** Устройство дисковых герметичных аккумуляторов и батарей:

вверху — разрез дискового аккумулятора: 1 — корпус; 2 — крышка корпуса; 3 — пружина; 4 — сепаратор; 5 — положительный электрод; 6 — отрицательный электрод; 7 — изолирующая прокладка; внизу — аккумуляторная батарея 7Д-0,1: 1 — аккумулятор Д-0,1; 2 — крышка; 3 — изолирующая прокладка; 4 — корпус; 5 — никелевый лепесток; 6 — никелевая лента

рицательного электрода для этих аккумуляторов всегда берется с избытком по отношению к положительному электроду, что исключает возможность выделения водорода на отрицательном электроде в конце заряда, так как этот электрод всегда остается недозаряженным.

В то же время выделяющийся на положительном окисноникелевом электроде кислород благодаря чрезвычайно ограниченному количеству электролита в аккумуляторе не успевает выделиться в свободное состояние и непрерывно поглощается отрицательным кадмиевым электродом, масса которого, как указывалось выше, больше массы положительного электрода. Таким образом, дисковые кадмий-никелевые аккумуляторы полностью герметичны как при разряде, так и при заряде.

Конструкция КН дисковых герметичных аккумуляторов допускает перезаряд по времени порядка 50%. Эти аккумуляторы могут также эксплуатироваться в режиме непрерывного подзаряда, что может быть использовано при комбинированном питании аппаратуры от солнечных источников тока в буфере с дисковыми КН аккумуляторами.

За последние годы в производстве дисковых аккумуляторов произошли значительные изменения, в результате которых существенно увеличился срок службы и срок сохранности аккумуляторов, улучшились такие эксплуатационные характеристики, как работа при температуре ниже нуля.

Если 5—6 лет назад заводы-изготовители гарантировали работу дисковых КН аккумуляторов только в пределах  $+5^{\circ} \div +35^{\circ}$ , то теперь (ГОСТ 11258—65) нижняя температурная граница работоспособности дисковых аккумуляторов доведена до  $-10^{\circ}$ . При этом емкость дисковых аккумуляторов при температуре  $-10^{\circ}$  не должна уменьшаться более чем на 40% номинальной.

На графиках рис. 23—25 показаны характеристики разряда аккумуляторов Д-0,1; Д-0,25 и батарей  $2 \times 2Д-0,1$  при нормальной температуре и температуре ниже нуля, из которых следует, что практическая работоспособность дисковых аккумуляторов при отрицательной температуре значительно выше гарантированной ГОСТ, что свидетельствует о некотором производственном запасе емкости аккумуляторов. Из разрядных кривых следует, что дисковые аккумуляторы при температуре  $-20^{\circ}$  способны отда-



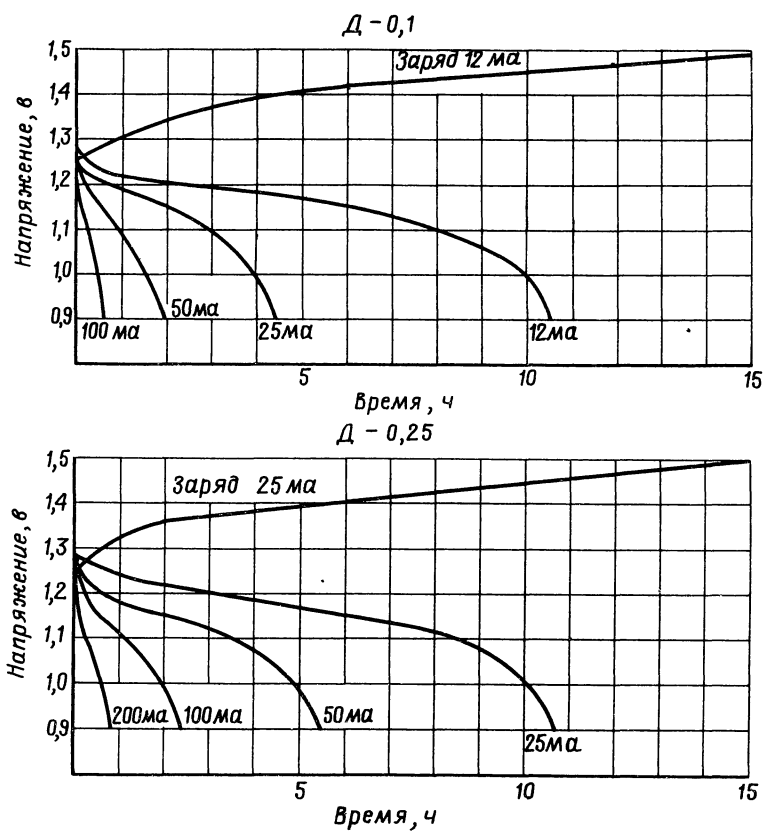


Рис. 23. Характеристики заряда и разряда аккумуляторов Д-0,1 и Д-0,25 при температуре  $+18^{\circ}\text{C}$

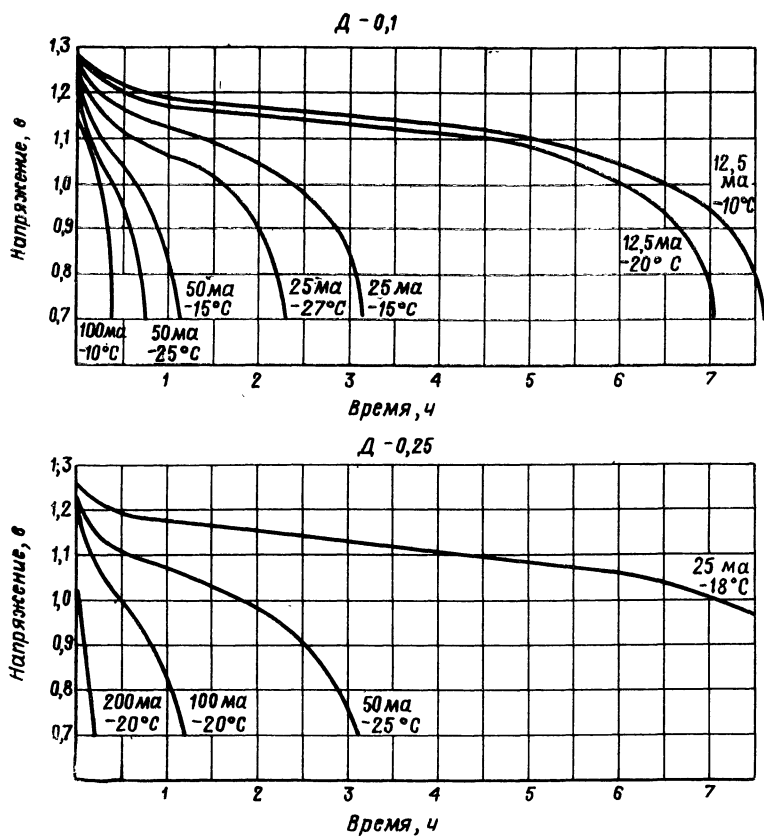


Рис. 24. Характеристики разряда дисковых аккумуляторов при отрицательной температуре

вать до 50% своей номинальной емкости, что позволяет значительно расширить пределы их применения в переносной аппаратуре.

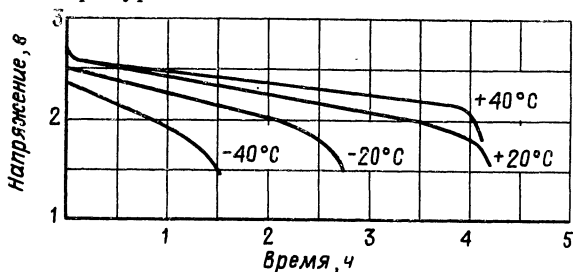


Рис. 25. Кривые разряда батареи  $2 \times 2Д-0,1$  на постоянное сопротивление  $3,6 \text{ ом}$

Как и другие КН аккумуляторы, дисковые аккумуляторы отдают пониженную емкость при форсированных режимах разряда (рис. 26).

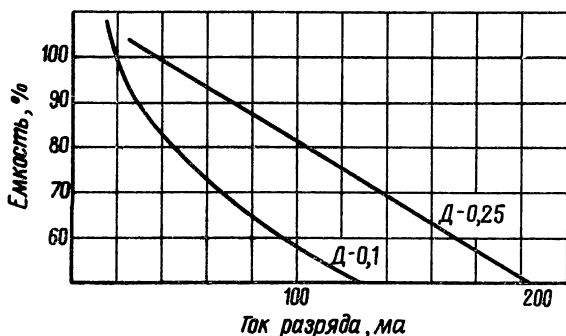


Рис. 26. Характеристики зависимости емкости дисковых аккумуляторов от тока разряда (при разряде до  $1,0 \text{ в}$ )

Учитывая, что выпускаемые в настоящее время дисковые аккумуляторы имеют достаточно стабильные характеристики по емкости, допускается в ряде случаев применять не только последовательное, но и параллельное соединение аккумуляторов в батареи, как это сделано, например, в батарее  $2 \times 2Д-0,1$ . Эта батарея при номинальном напряжении  $2,5 \text{ в}$  имеет емкость  $0,2 \text{ а} \cdot \text{ч}$ , что дает возможность применять ее в качестве источника

питания для миниатюрных ламп накаливания. При нормальной температуре время горения такой лампы от батареи  $2 \times 2Д-0,1$  около 4 часов, а при температуре  $-40^\circ$  около 1 часа.

Дисковые аккумуляторы, разряженные при температуре ниже нуля, после оттаивания при нормальной комнатной температуре способны отдать дополнительную емкость. Способность к отдаче дополнительной емкости после оттаивания объясняется увеличением подвижности ионов при повышении температуры.

В течение срока службы емкость дисковых аккумуляторов уменьшается, что специально оговаривается заводскими техническими условиями. После половины срока службы емкость аккумуляторов может снижаться на 20% ниже номинальной. Саморазряд дисковых аккумуляторов после 30 суток хранения в заряженном состоянии составляет 30—35%.

Особенностью эксплуатации дисковых герметичных аккумуляторов является необходимость их заряда слабыми токами порядка 10% величины номинальной емкости, так как ускоренные режимы заряда не обеспечивают своевременное поглощение отрицательным электродом кислорода, что может привести к раздутию аккумулятора и потере им герметичности.

Применение дисковых аккумуляторов в основном ограничивается переносными «карманными» аппаратами: аккумуляторы Д-0,06 широко применяются в различного рода слуховых аппаратах, аккумуляторные батареи Д-0,01 применяются в малогабаритных радиоприемниках, где ток разряда не превышает 20 *ма*, а также в системах освещения в виде батареи  $2 \times 2Д-0,1$ , где ток разряда составляет 60 *ма*. Аккумуляторы Д-0,25 применяются в аппаратуре, где ток разряда достигает 100—150 *ма*.

Поскольку эксплуатация герметичных аккумуляторов производится в режиме их периодического включения, на рис. 27 приведены разрядные характеристики аккумуляторов и батарей в прерывистом включении, из которых следует, что в условиях прерывистого режима разряда герметичные аккумуляторы при разряде током, превышающим в 5—6 раз номинальный разрядный ток, способны отдавать номинальную емкость.

На рис. 28 изображены образцы дисковых аккумуляторов и батарей, выпускаемых нашей промышленностью.

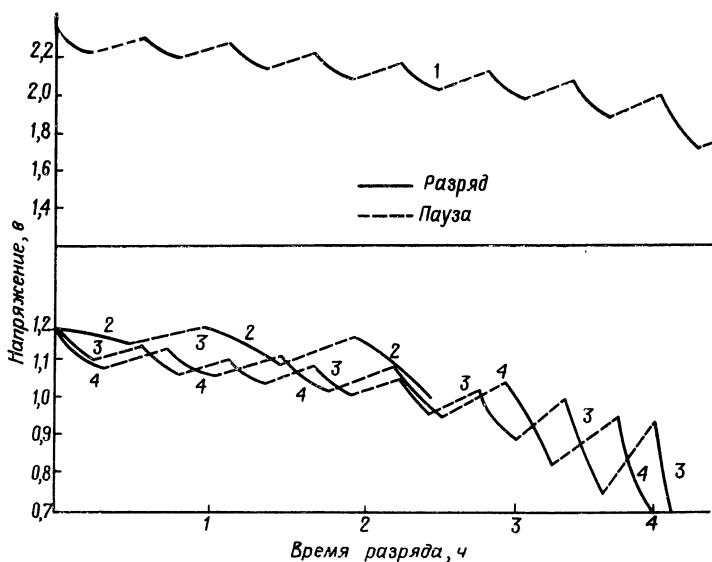


Рис. 27. Характеристики герметичных аккумуляторов в прерывистом режиме разряда:

1 — батарея 2×2Д-0,1 током 60 мА при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ ; 2 — аккумулятор Д-0,06 током 30 мА при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ ; 3 — аккумулятор ЦНК-0,45 током 100 мА при  $-25^{\circ}\text{C}$ ; 4 — аккумулятор Д-0,01 током 30 мА при  $-25^{\circ}\text{C}$

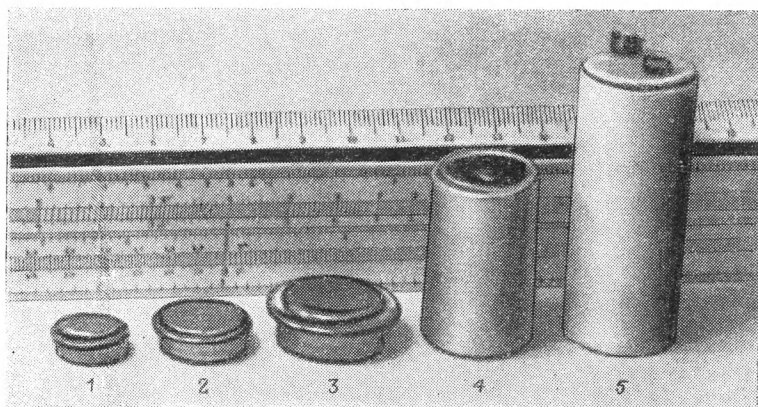


Рис. 28. Образцы дисковых герметичных КН аккумуляторов и батарей:

1 — Д-0,06; 2 — Д-0,1; 3 — Д-0,25; 4 — 2×2Д-0,1; 5 — 7Д-0,1

## Цилиндрические герметичные кадмий-никелевые аккумуляторы

Цилиндрические герметичные аккумуляторы отличаются от дисковых не только формой, но и степенью герметизации — они имеют сравнительно мощный гофрированный корпус, способный выдерживать давление в несколько десятков атмосфер.

Электроды цилиндрических аккумуляторов могут быть как ламельными, так и безламельными. В аккумуляторах ЦНК применяются ламельные электроды. Электролит, так же как и в дисковых аккумуляторах, находится в порах пластин и в сепарации и в свободном состоянии практически отсутствует.

Устройство цилиндрического герметичного КН аккумулятора ЦНК-0,45 показано на рис. 29.

Поскольку в цилиндрическом аккумуляторе отрицательный электрод 3 имеет электрический контакт с корпусом, то последний имеет отрицательную полярность «—» в отличие от дисковых аккумуляторов, где корпус имеет знак «+». Вывод положительного электрода запрессован в пластмассовой крышке, и от него отходят токоотводы в виде лент для включения в схему.

Конструкция цилиндрических аккумуляторов допускает 100% перезаряд по емкости и дает возможность проведения форсированных режимов разряда без нарушения герметичности, вследствие чего цилиндрические аккумуляторы применяются в устройствах, требующих минутных разрядов током большой силы.

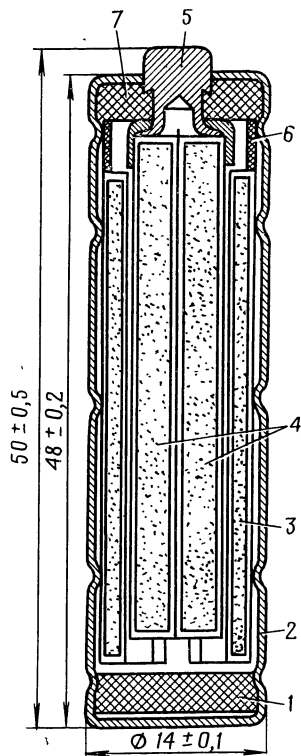


Рис. 29. Аккумулятор ЦНК-0,45:

- 1 — дно; 2 — корпус сосуда;
- 3 — пластина отрицательная;
- 4 — блок положительных электродов с сепарацией;
- 5 — положительный вывод;
- 6 — кольцо; 7 — крышка

## Цилиндрические кадмий-никелевые аккумуляторы

Тип аккумулятора (батареи)	Э. д. с., в	Емкость, а·ч	Ток разряда, ма	Напряжение в конце разряда, в	Ток заряда, ма	Время заряда, ч	Габариты, мм			Вес, з
							Длина	ширина (диаметр)	высота	
Аккумуляторы										
ЦНК-0,2 . . . . .	1,36	0,20	20	1,0	20	15	—	Ø 16	24,5	15,0
ЦНК-0,45 . . . . .	1,36	0,45	45	1,0	45	15	—	Ø 14	50,0	23,0
ЦНК-0,85 . . . . .	1,36	0,85	85	1,0	85	15	—	Ø 14	96,0	41,0
Батареи										
3ЦНК-0,2 . . . . .	4,08	0,20	40	3,0	20	15	—	Ø 16	74,0	40,0
5ЦНК-0,2 . . . . .	6,80	0,20	100	5,0	20	15	87,0	24,0	27,0	117,0
11ЦНК-0,45 . . . . .	14,96	0,45	90	11,0	45	15	112,0	39,0	57,0	350,0

Температурный диапазон работы цилиндрических аккумуляторов лежит в пределах от  $+35^{\circ}$  до  $+5^{\circ}$  С (по ТУ завода-изготовителя). Однако действительная граница температурного диапазона достигает минус  $10-15^{\circ}$  С.

Срок службы цилиндрических аккумуляторов лежит в пределах от 100 до 300 циклов в зависимости от типа аккумулятора и режима его работы: аккумуляторы, работающие в длительном режиме разряда, имеют повышенный срок службы.

В табл. 15 приводятся основные характеристики цилиндрических аккумуляторов, выпускаемых отечественной промышленностью.

Цилиндрические герметичные КН аккумуляторы применяются для питания малогабаритной переносной ап-

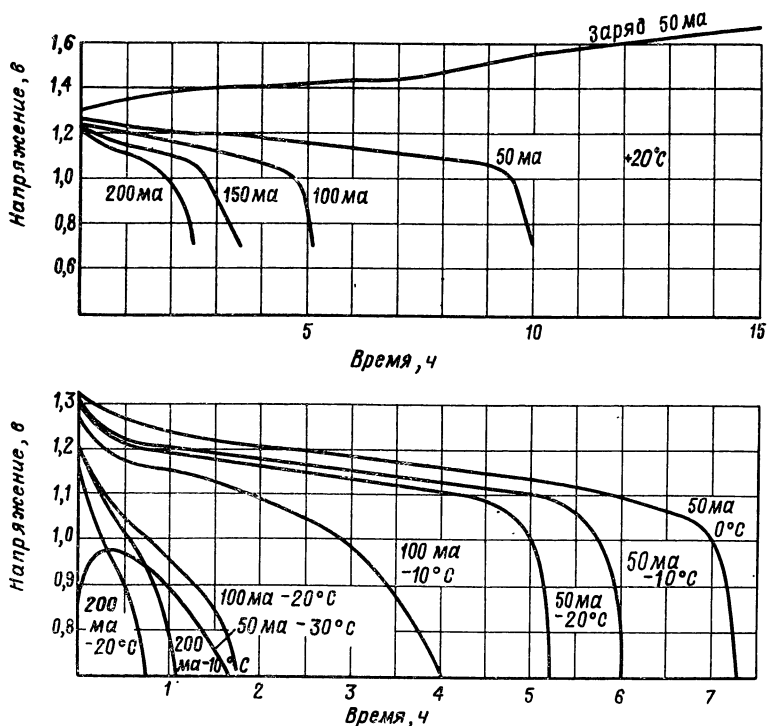


Рис. 30. Характеристики заряда и разряда аккумулятора ЦНК-0,45



паратуры: радиоприемников, магнитофонов, аппаратуры связи, геофизической аппаратуры и т. д. Относительно невысокая стоимость, большой срок службы, хорошая

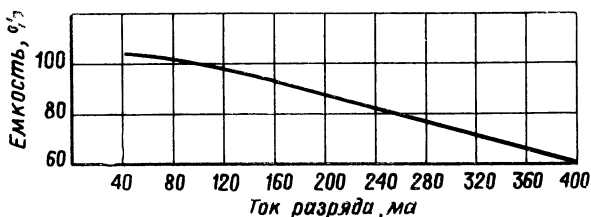


Рис. 31. Характеристика зависимости емкости аккумулятора ЦНК-0,45 от разрядного тока (при разряде до 1,0 в при температуре  $+20^{\circ}C$ )

стойкость к воздействию ударных нагрузок и простота эксплуатации обуславливают их широкое применение.

Наибольшее распространение получил цилиндрический аккумулятор ЦНК-0,45, характеристики заряда и

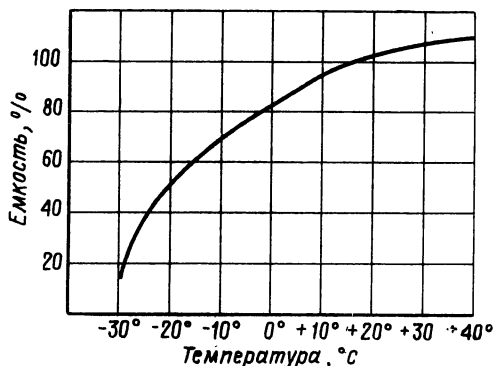


Рис. 32. Характеристика зависимости емкости аккумулятора ЦНК-0,45 от температуры при 10-часовом режиме разряда (разряд до 0,7 в)

разряда которого приводятся на рис. 30. На рис. 31 приводится характеристика зависимости емкости этого аккумулятора от режима разряда, а на рис. 32 температурная зависимость.

Очень хорошие результаты дают батареи 4ЦНК-0,45 в аппаратуре, рассчитанной на питание от батарей КБС-0,5. Автором в течение нескольких лет использовались в кинокамере «Спорт-3» и радиоприемнике «Атмосфера» батареи, составленные из 4 и 8 аккумуляторов ЦНК-0,45, заключенные в корпус из органического стекла.

Кадмий-никелевые герметичные дисковые и цилиндрические аккумуляторы получили широкое распространение и за рубежом. Эти аккумуляторы изготавливаются в большинстве европейских стран, а также в США и Японии.

### Герметичные кадмий-никелевые аккумуляторы КНГ

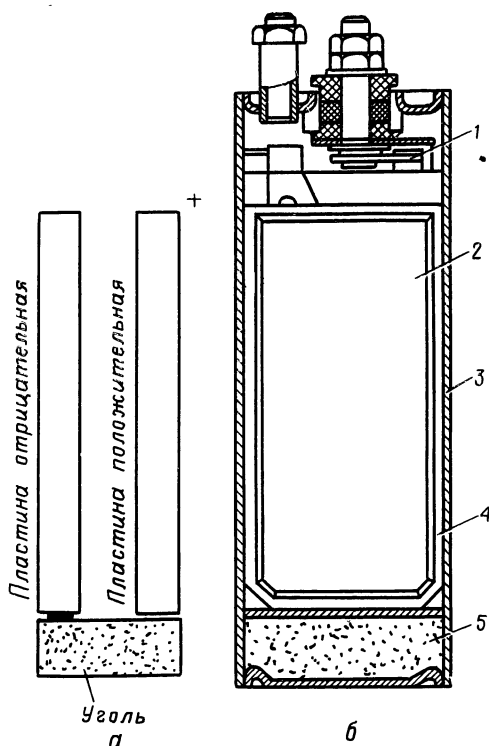
Кадмий-никелевые герметичные аккумуляторы (КНГ) отличаются от КН герметичных дисковых и цилиндрических аккумуляторов как конструктивным исполнением, так и принципом снижения давления, обеспечивающим герметичность.

Если в цилиндрических и дисковых аккумуляторах поглощение кислорода кадмиевым электродом при заряде и отсутствие выделения свободного водорода в конце заряда обеспечивается избыточной емкостью отрицательного электрода, то в аккумуляторах типа КНГ использован дополнительный угольный электрод, соединенный с отрицательным кадмиевым электродом, назначением которого является поглощение кислорода в процессе заряда, а также отбор электролита и обеспечение выравнивания потенциала по высоте пластин, что в целом способствует более полному набору зарядной емкости и нормализации давления внутри сосуда аккумулятора. Устройство аккумулятора типа КНГ показано на рис. 33.

В зависимости от режима разряда промышленностью выпускаются три вида аккумуляторов КНГ: КНГ-д — для длинных режимов, КНГ-с — для средних и КНГ-к — для коротких.

Основные характеристики некоторых типов аккумуляторов и батарей КНГ приводятся в табл. 16.

Особенностью эксплуатации аккумуляторов КНГ является необходимость тщательного контроля емкости при заряде. Поскольку избыточная емкость при заряде аккумуля-



**Рис. 33.** Схема (а) и устройство (б) кадмий-никелевого герметичного аккумулятора с угольным электродом:

1 — блок положительных пластин; 2 — блок отрицательных пластин; 3 — сосуд; 4 — сепараторная прокладка; 5 — угольный электрод

мулятора КНГ превращается в тепло, то систематические перезаряды уменьшают емкость аккумулятора и снижают его срок службы. Нормальный заряд аккумулятора КНГ должен обеспечивать получение емкости при заряде порядка 110—120% фактической емкости данного аккумулятора. Допустимый перезаряд не должен превышать 50% фактической емкости аккумулятора.

Нормальной температурой, обеспечивающей наиболее благоприятные условия заряда аккумуляторов типа КНГ, является температура  $+15^{\circ} \div +20^{\circ} \text{C}$ .

Герметичные кадмий-никелевые аккумуляторы и батареи в сосудах прямоугольной формы

Тип аккумулятора (батареи)	Напряжение, в	Емкость, а·ч	Ток разряда (ном.), а	Конечное напряжение, в	Характеристики заряда		Срок служ- бы, циклов	Срок сохран- ности, лет	Габариты, мм			Вес, кг	
					Время заряда, ч	Ток заряда, а			длина мм	ширина мм	высота мм		
Аккумуляторы													
КНГ-0,7 . . . . .	1,26	0,7	0,07	1,0	15	0,07	—	—	25	12	41	0,038	
КНГ-3,5Д . . . . .	1,26	3,5	0,35	1,0	15	0,35	800	3 г	45	20	70	0,20	
КНГ-7,5 . . . . .	1,26	7,5	0,75	1,0	15	0,75	800	3 г	45	42	70	0,50	
КНГ-10Д . . . . .	1,26	10	1,0	1,0	15	1,0	800	3 г	45	30	146	0,55	
КНГ-15С . . . . .	1,26	15	5,0	1,0	15	1,5	800	3 г	46	45	146	0,83	
КНГ-30С . . . . .	1,26	30	9,0	1,0	15	3,0	800	3 г	87	41	171	1,50	
КНГ-30СА . . . . .	1,26	30	9,0	1,0	15	3,0	800	3 г	87	41	171	1,50	
КНГ-50С . . . . .	1,26	50	15,0	1,0	15	5,0	800	3 г	88	73	171	2,70	
Батареи													
ЗКНГ-10Д . . . . .	3,75	10,5	1,0	1,0	13—15	1,0	600	ок. 2	90	45	145	1,80	

При соединении аккумуляторов КНГ в батареи необходимо подбирать аккумуляторы по емкости, с тем чтобы избежать глубоких разрядов аккумуляторов с несколько пониженной емкостью и связанной с ними возможности переполюсовки и выхода аккумуляторов из строя. Подбор аккумуляторов производится в пределах отклонения емкости 3—4%. При определении емкости аккумуляторов их разряд ведется до напряжения 1 в.

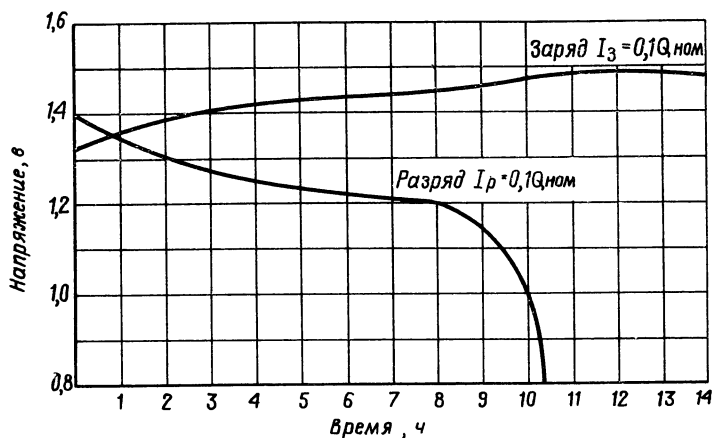


Рис. 34. Характеристика заряда и разряда аккумулятора КНГ при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$

В процессе эксплуатации батарей, составленных из аккумуляторов типа КНГ, необходимо следить, чтобы конечное напряжение на батарее было не ниже 1 в на каждом аккумуляторе.

При длительном хранении аккумуляторов КНГ первый заряд необходимо проводить до набора 100% емкости и лишь в последующие заряды сообщать аккумуляторам 120—130% их фактической емкости.

Характеристики разряда аккумуляторов КНГ приводятся на рис. 34. Рекомендуемый для эксплуатации аккумуляторов КНГ режим разряда (указанный в табл. 16), когда разрядный ток не превышает 0,1 емкости аккумулятора, обеспечивает длительную эксплуатацию без нарушения герметичности аккумуляторов. Зависимость

емкости, отдаваемой аккумуляторами при разряде, от величины разрядного тока представлена на рис. 35.

Аккумуляторы КНГ работоспособны в интервале температур от  $+40^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$ , однако при отрицательных

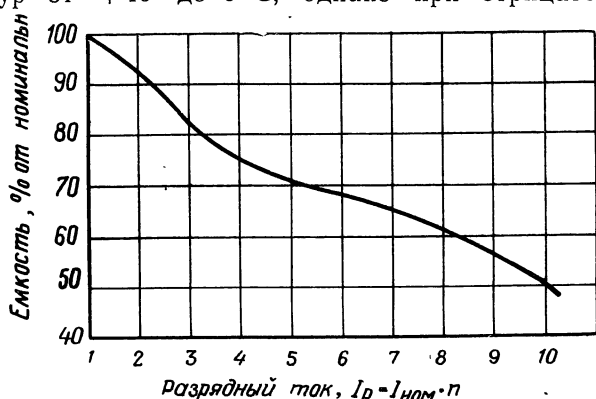


Рис. 35. График зависимости емкости, отдаваемой при разряде аккумулятором КНГ, от тока разряда

температурах емкость аккумуляторов КНГ, как и других химических источников тока, падает. Зависимость емкости аккумуляторов КНГ от температуры приведена на рис. 36.

Аккумуляторы КНГ могут храниться при температуре

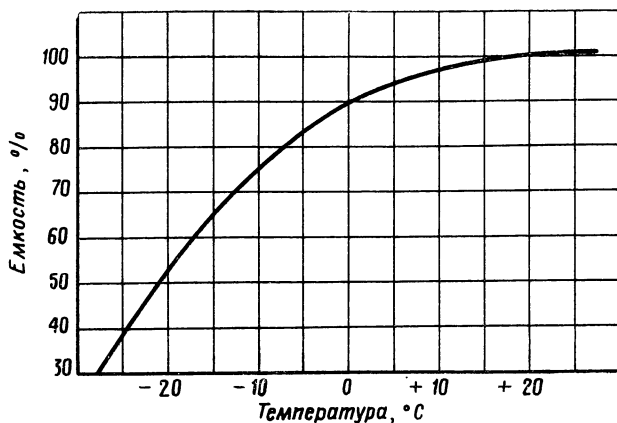


Рис. 36. Зависимость емкости, отдаваемой аккумулятором КНГ, от температуры

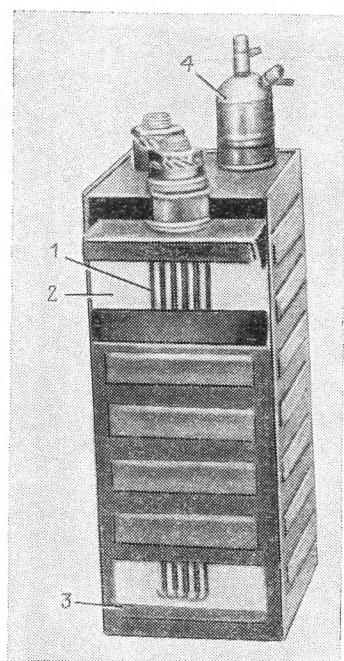
от  $-40^{\circ}$  до  $+40^{\circ}$  С. Саморазряд при хранении в нормальных условиях ( $+20^{\circ}$  С) составляет 30—35% за месяц. При температуре ниже нуля саморазряд аккумуляторов КНГ резко падает. После длительного хранения в заряженном состоянии аккумуляторы КНГ отдают пониженную емкость, при этом средняя величина разрядного напряжения также уменьшается. После нормального заряда аккумуляторы КНГ полностью восстанавливают свои характеристики.

Аккумуляторы КНГ обладают хорошими механическими качествами: работоспособны при вибрационных

нагрузках с ускорением до 10 g и частоте вибрации от 10 до 2000 гц и переносят ударные нагрузки с ускорением до 400 g. Несколько хуже переносятся аккумуляторами КНГ ударные нагрузки, направленные вдоль пластин.

Как указывалось выше, аккумуляторы КНГ должны заряжаться током, величина которого составляет 0,1 номинального значения емкости аккумулятора. При необходимости может быть применен форсированный режим заряда в две ступени: первая—током 0,2—0,5 ном. значения емкости до набора 80% номинальной емкости и вторая—током 0,1 ном. емкости до набора суммарной 120—150% емкости.

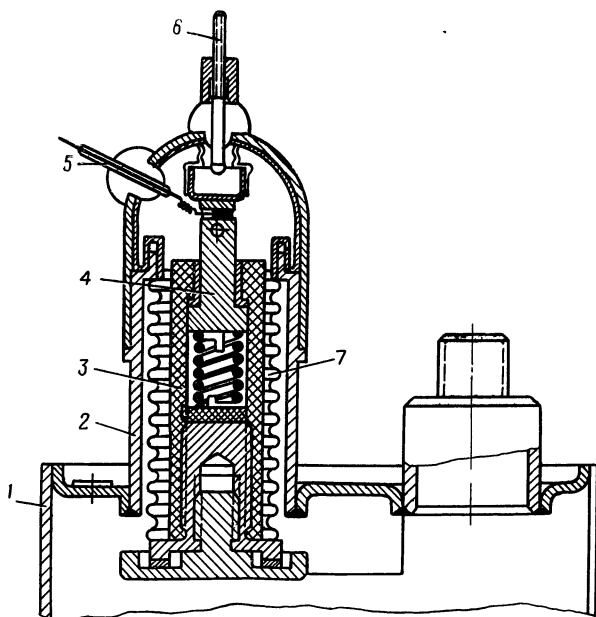
Однако форсированный режим заряда требует тщательного контроля в процессе заряда, что не всегда может быть обеспечено в условиях использования аккумуляторов в автономных системах.



**Рис. 37.** Аккумулятор КНГ-50СА с автоматическим индикатором конца заряда:

1 — металлокерамические пластины; 2 — сепараторная ткань; 3 — слой активированного угля; 4 — автоматический индикатор конца заряда

Для автономных систем, контроль работы которых осуществляется средствами автоматики, выпускается герметичный аккумулятор КНГ-50СА (рис. 37) с автоматическим индикатором конца заряда, устройство которого показано на рис. 38.



**Рис. 38.** Автоматический индикатор конца заряда:

1 — корпус аккумулятора; 2 — стакан индикатора; 3 — изолирующий стакан; 4 — контактный шток; 5 — контактный вывод; 6 — контактный стержень; 7 — сильфон

Индикатор конца заряда представляет собой датчик давления на сильфоне, вмонтированный в корпус аккумулятора. При этом наружная поверхность сильфона находится под воздействием давления внутри аккумулятора, а внутренняя сообщается с атмосферой. При наборе аккумулятором зарядной емкости, обеспечивающей нормальную отдачу энергии, что обычно сопровождается резким скачком давления в конце заряда, сильфон сжимается, а контактные выводы 5 и 6 замыкаются, чем осуществляется подача сигнала на устройство, управляющее зарядом.



Индикатор конца заряда обеспечивает возможность заряда аккумуляторов КНГ-30СА и КНГ-50СА большими токами в короткий промежуток времени, что весьма существенно расширяет область применения герметичных аккумуляторов. Максимальный ток заряда для аккумулятора КНГ-50СА с индикатором конца заряда 20 а.

### Безламельные кадмий-никелевые аккумуляторы

Широко распространенные кадмий-никелевые и железо-никелевые аккумуляторы имеют невысокие удельные характеристики, а главное, плохую отдачу при низ-

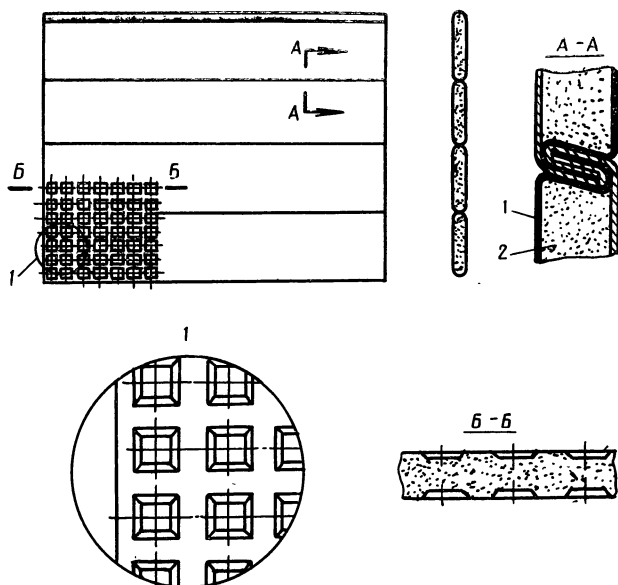


Рис. 39. Ламельная пластина:

1 — ламельная лента; 2 — активная масса

ких температурах. Эти недостатки препятствовали применению КН и ЖН аккумуляторов в переносной аппаратуре и приборах, предназначенных для работы на севере.

КН и ЖН аккумуляторы носят название ламельных, так как их активные материалы упакованы в перфорированные ленты — ламели, из которых собираются пластины (рис. 39). Ламели имеют отверстия (перфорацию),

размеры которых не превышают размеров зерен активных материалов (чтобы исключить возможность высыпания и вымывания активных материалов и обеспечить одновременно максимальную поверхность соприкосновения с электролитом).

Первые попытки улучшить удельные характеристики КН и ЖН ламельных аккумуляторов были предприняты в направлении изменения конструкции и технологии их производства. Увеличение активной поверхности пластин путем изменения формы и размера отверстий не дало ощутимых результатов. Успех имела новая конструкция пластин и новая технология их изготовления, в результате чего появился более совершенный тип кадмий-никелевого аккумулятора, названный по конструкции пластин безламельным.

Вместо ламельной пластины в новом аккумуляторе М. С. Цыганковым, А. Г. Ситниковым, Н. А. Шутовой и др. была применена металлокерамическая пластина, состоящая из рамки с напрессованным на нее порошком из карбонильного никеля в смеси с углекислым аммонием. После прессования пластины спекаются в водородной печи при температуре  $900^{\circ}$ . При этом углекислый аммоний улетучивается из активной массы, создавая высокую пористость (до 80%). Затем производится пропитка пластин, в результате которой пластина, пропитанная в растворе азотнокислого никеля, приобретает свойства положительного электрода, а пластина, пропитанная в растворе хлористого кадмия, — отрицательного электрода.

Таким образом, пластины безламельного аккумулятора изготавливаются по единой технологии, а их разделение на положительные и отрицательные производится лишь на конечной стадии — пропитке.

Высокая пористость металлокерамической пластины обеспечивает большую активную поверхность электродов аккумулятора и хороший доступ электролита, что значительно улучшает ионообменные процессы. Кроме того, безламельные пластины не разбухают и не осыпаются в процессе эксплуатации, в том числе при тряске и ударах с ускорением до 100 g.

Развернутая активная поверхность обеспечивает безламельному аккумулятору сравнительно низкое внутреннее сопротивление, а вместе с тем возможность работы

в стартерном режиме. Безламельные аккумуляторы обладают высокой работоспособностью в условиях низких температур.

По своим удельным характеристикам КНБ аккумуляторы несколько уступают серебряно-кадмиевым аккумуляторам при положительных температурах, но превосходят их при разряде в условиях низких температур.

По сроку службы и сроку сохранности безламельные кадмий-никелевые аккумуляторы значительно превосходят серебряно-цинковые, серебряно-кадмиевые и свинцовые, но уступают ламельным КН и ЖН аккумуляторам. К числу недостатков аккумуляторов КНБ относится повышенный расход никеля при изготовлении пластин, а вследствие этого повышенная стоимость в производстве.

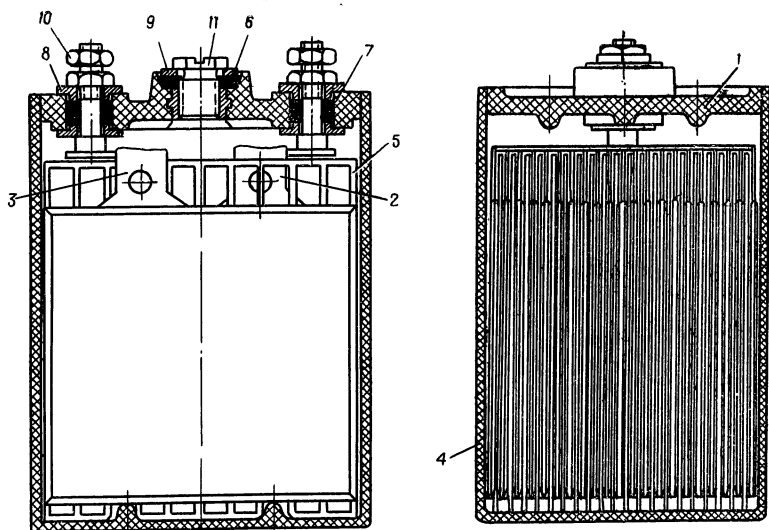
По своим эксплуатационным характеристикам, удобству и простоте обслуживания, неприхотливости КНБ аккумуляторы ничем не отличаются от широко распространенных КН и ЖН аккумуляторов.

По рекламным объявлениям фирмы «Saft», безламельные аккумуляторы с успехом заменили свинцовые аккумуляторы в автомобилях.

В отличие от ламельных аккумуляторов безламельные аккумуляторы, кроме КНБ-60, оформлены в пластмассовых сосудах с непроливаемыми пробками, чем обеспечивается их хорошая сохранность в эксплуатации.

На рис. 40 изображено устройство безламельного кадмий-никелевого аккумулятора КНБ-25. Аккумулятор имеет сосуд из ударопрочного пластика — сополимера стирола 4 с крышкой 1 из того же материала. На крышке смонтированы борны, несущие блоки положительных 3 и отрицательных 2 пластин. Вентиляционная пробка в аккумуляторе КНБ-25 изготовлена из стали. В других типах аккумуляторов вентиляционные пробки выполняются из полистирола. В качестве сепаратора в аккумуляторе КНБ-25 применены решетки из винипласта. В других КНБ аккумуляторах применяется сепарация из полиамидной жилки в сочетании с капроновой тканью.

Применение в большинстве типов безламельных аккумуляторов сосудов, крышек и пробок из пластмассы значительно повысило коррозионную стойкость аккумулятора, уменьшило до минимума паразитные утечки и замыкания через крышку, как это случается при эксплуатации КН и ЖН ламельных аккумуляторов.



**Рис. 40.** Устройство кадмий-никелевого безламельного аккумулятора КНБ-25:

1 — крышка; 2 — блок отрицательных пластин; 3 — блок положительных пластин; 4 — сосуд; 5 — сепаратор; 6, 7 — сальники; 8 — шайба нажимная; 9 — шайба; 10 — гайка; 11 — пробка

Преимущества КНБ аккумуляторов по сравнению с ламельными видны из сопоставления батареи 2ФКН-8-II и безламельной аккумуляторной батареи 2КНБ-20 (табл. 17).

Как это следует из таблицы, батарея 2КНБ-20, имеющая объем и вес соответственно на 45% и 10% больше, чем батарея 2ФКН-8-II, отдает в 2,5 раза большую емкость, чем ламельная батарея. При этом необходимо иметь в виду, что батарея 2ФКН-8-II разряжалась в 16-часовом режиме, а батарея 2КНБ-20 — в 4-часовом. При разряде батареи 2ФКН-8-II в 4-часовом режиме ее характеристики были бы значительно хуже.

Номенклатура батарей и аккумуляторов КНБ сравнительно невелика, однако, учитывая возможность последовательного и параллельного соединения, из аккумуляторов и батарей КНБ могут быть набраны комбинации на любое напряжение и емкость.

Сравнительные характеристики аккумуляторных батарей 2ФКН-8-II и 2КНБ-20

Наименование характеристик	Размерность	2ФКН-8-II	2КНБ-20
Напряжение . . . . .	<i>в</i>	2,52	2,52
Емкость:	<i>а · ч</i>		
при температуре +20° . . . . .		8,0	20,0
при температуре —20° . . . . .		6,0	18,0
при температуре —40° . . . . .		1,6	6,5
Ток разряда . . . . .	<i>а</i>	0,5	5,0
Габариты:	<i>мм</i>		
длина . . . . .		160	163
ширина . . . . .		32	44
высота . . . . .		120	125
Объем . . . . .	<i>дм³</i>	0,614	0,895
Вес . . . . .	<i>кг</i>	1,45	1,60
Удельная емкость:			
по объему . . . . .	$\frac{а · ч}{дм³}$	13,0	22,3
по весу . . . . .	$\frac{а · ч}{кг}$	5,5	13,5
Удельная энергия:			
по объему . . . . .	$\frac{вт · ч}{дм³}$	32,5	55,8
по весу . . . . .	$\frac{вт · ч}{кг}$	13,75	31,3

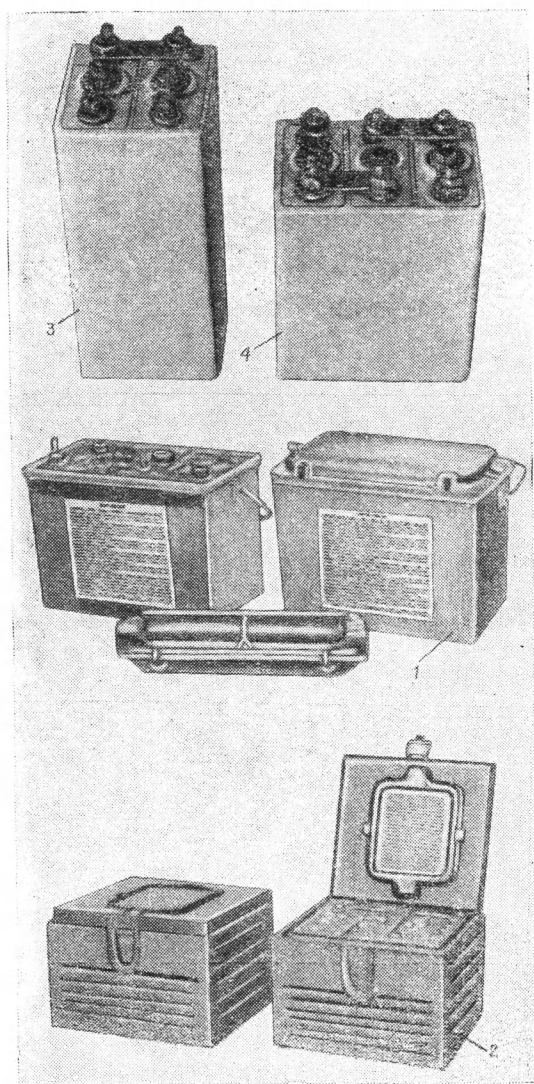
На рис. 41 показан внешний вид батарей 4КНБ-20, 8КНБ-25, 2КНБ-2 и 3КНБН-1,5.

Основные характеристики кадмий-никелевых безламельных аккумуляторных батарей приведены в табл. 18.

Гарантийный срок службы КНБ аккумуляторов составляет 250-400 циклов в зависимости от типа аккумулятора, но практически он приближается к сроку службы ламельных КН аккумуляторов.

Срок сохранности безламельных аккумуляторов в сухом и залитом состоянии такой же как и у ламельных аккумуляторов.

Саморазряд КНБ аккумуляторов и батарей после хранения в течение 30 суток в заряженном состоянии ле-



**Рис. 41.** Внешний вид безламельных аккумуляторных батарей:

1 — 4КНБ-20; 2 — 8КНБ-25; 3 — 2КНБ-2; 4 — 3КНБН-1,5

Кадмий-никелевые безламельные аккумуляторы

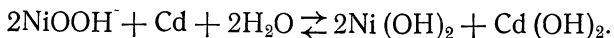
Тип батареи	Напряжение, в	Емкость, а·ч		Ток разряда, а	Конечное напряжение разряда, в	Ток заряда, а	Время заряда, ч	Вес, кг	Габариты, мм			Удельная энергия	
		при +20°	при -40°						Длина	ширина	высота	по объему вт·ч/дм³	по весу, кг
2КНБН-1,5 . . . . .	2,52	1,5	0,8	0,15	1,8	0,5	6	0,15	35	35	60	46	30
3КНБН-1,5 . . . . .	3,78	1,5	0,8	0,15	2,7	0,5	6	0,22	55	35	60	46	24
2КНБ-2 . . . . .	2,52	2,0	1,2	0,4	1,8	0,4	8	0,22	36	36	92	42	23
4КНБ-15 . . . . .	5,2	15	5,5	5,0	4,0	5,0	5	2,1	112	83	125	65	36
2КНБ-20 . . . . .	2,52	20	6,5	5,0	2,0	7,0	5	1,6	163	44	125	56	31
4КНБ-20 . . . . .	5,2	20	7,0	6,5	4,0	7,0	5	3,2	180	93	127	47	31
4КНБ-25 . . . . .	5,2	25	12	5,0	4,0	8,0	5	5,8	180	151	132	37	22
8КНБ-25 . . . . .	10,4	25	16	7,5	8,0	8,0	5	7,5	190	180	132	55	33
10КНБ-60 . . . . .	12,6	60	30	15	10	20	4,5	30	450	178	225	42	25

жит в пределах 18—20% при комнатной температуре. При пониженной температуре саморазряд уменьшается.

На рис. 42 приводятся кривые разряда безламельных батарей при различной температуре, из которых следует, что КНБ аккумуляторы отдают при температуре —40° от 30 до 50% своей первоначальной емкости, что в пересчете на удельную энергию составит  $15—18 \frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$ , т. е. величину

удельной энергии ламельных аккумуляторов при температуре +20°. При снятии кривых рис. 42 измерялась температура электролита.

Химические процессы при заряде и разряде протекают по циклу



Высокие удельные характеристики безламельных аккумуляторов, хорошая отдача ими емкости в условиях низких температур дают основания для их широкого применения в различной переносной аппаратуре.

По способу эксплуатации КНБ аккумуляторы почти не отличаются от ламельных КН и ЖН аккумуляторов. Электролит для КНБ аккумуляторов можно брать как калиевый, так и составной с примесью едкого лития. В летнее время КНБ аккумуляторы заливаются составным электролитом плотностью 1,19—1,21, а при температуре —20° и ниже — электролитом из КОН плотностью 1,27—1,29, но без примеси едкого лития. Натриевый электролит в безламельных аккумуляторах не употребляется.

Вода, используемая для приготовления электролита, не должна содержать посторонних примесей, особенно солей железа и кремния, присутствие которых снижает срок службы аккумулятора.

Перед зарядом необходимо отобрать с помощью резиновой груши или шприца часть электролита из каждого аккумулятора. Эту же операцию следует проводить и в процессе заряда, когда уровень электролита повышается.

После заряда аккумуляторам дается время для отдыха с открытыми горловинами, во время которого происходит выделение газов из электролита. Процесс удаления газов продолжается от 8 до 24 часов в зависимости



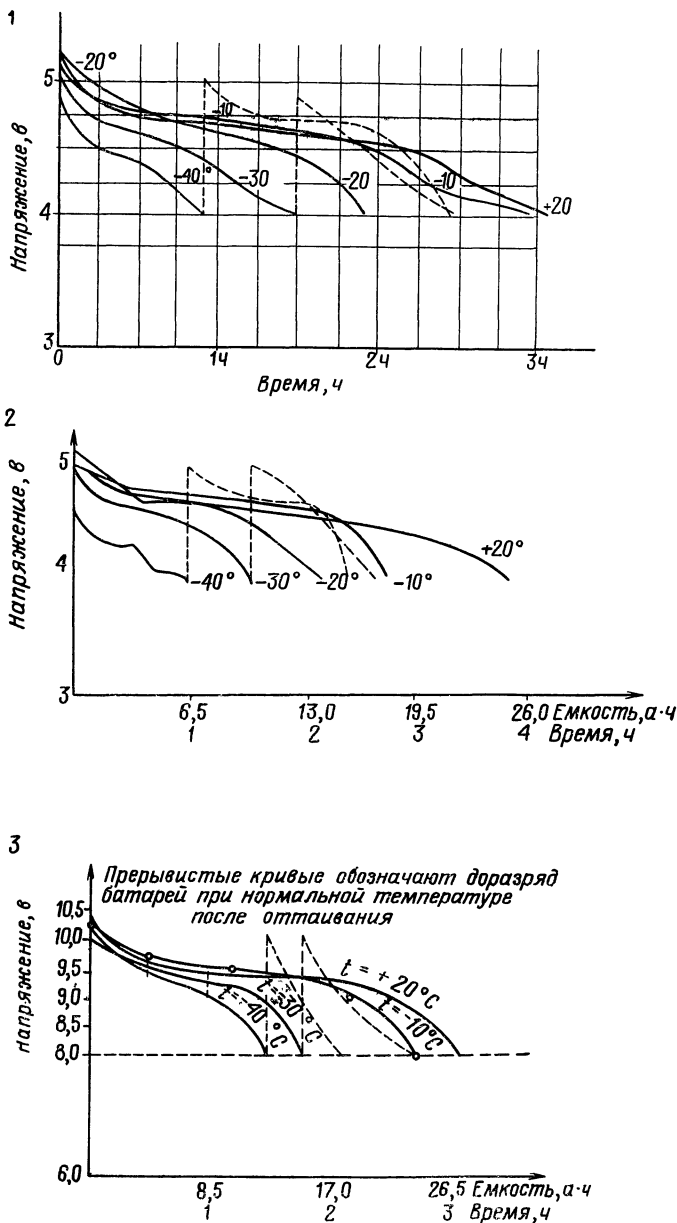


Рис. 42. Характеристики разряда безламельных КН аккумуляторных батарей:

1 — батарея 4КНБ-15, разряд на постоянное сопротивление 1 ом;  
 2 — батарея 4КНБ-20, разряд током 6,5 а; 3 — батарея 8КНБ-25, разряд током 8,5 а

от типа батареи и способа ее использования. Если батарея имеет вентиляционные пробки, то можно ограничиться 8-часовой выдержкой. Если же батарея включается в работу с глухими пробками и разряжается в условиях тряски при переноске или в положении пробками вниз, то в этом случае необходима 24-часовая выдержка для удаления газов, так как в противном случае сосуды батареи будут разорваны.

В случае необходимости КНБ батареи могут быть включены в работу и после 4—4,5-часовой выдержки, но тогда при первой возможности следует открыть пробки и выпустить накопившиеся газы. Операция эта должна быть произведена в течение разряда батареи несколько раз через 2—3 часа. После отстоя КНБ аккумуляторы необходимо долить отобранным ранее электролитом до уровня верхнего края пластин или на 5—10 мм выше края.

Дальнейшее совершенствование кадмий-никелевых аккумуляторов привело к созданию аккумуляторов, способных к отдаче емкости при температуре  $-50^{\circ}$ . Эта задача решена в таблеточном аккумуляторе, активные материалы которого в виде набора таблеток образуют электродные столбы. Удельная энергия таблеточного КН аккумулятора на 60—70% превышает удельную энергию ламельных аккумуляторов и на 20—25% энергию безламельных аккумуляторов типа КНБ-60, при этом срок службы таблеточных аккумуляторов в 2—2,5 раза выше, чем безламельных, а стоимость в два раза ниже.

Таблеточные батареи разрабатываются также на железо-никелевой основе для замены стартерных свинцовых аккумуляторов 6СТ-42 и 6СТ-68. Новые батареи по удельной энергии соответствуют свинцовым стартерным батареям, однако срок их службы составит не менее 5 лет.

Другой способ увеличения удельных характеристик КН аккумуляторов осуществляется в КН аккумуляторе с прессованными электродами, что дает возможность повысить удельные характеристики в два раза по сравнению с ламельными аккумуляторами КН-10. Новые аккумуляторные батареи с прессованными электродами 2КНП-20 по работоспособности в условиях низких температур значительно превышают ламельные аккумуляторы, несколько уступая им по сроку службы.

Новые батареи таблеточного типа и с прессованными пластинами по удельным характеристикам уступают СЦ аккумуляторам всего в два раза, однако их работоспособность при низких температурах значительно выше СЦ аккумуляторов.

### Никель-цинковый (НЦ) щелочной аккумулятор

Первые попытки создания никель-цинкового аккумулятора относятся к 1867 году, когда был предложен аккумулятор с отрицательным электродом из металличе-

ского цинка и положительным из окиси никеля  $Ni_2O_3$ . Применение металлического цинка в качестве отрицательного электрода сулило большие перспективы в создании аккумулятора с высокими удельными характеристиками, так как электродвижущая сила электрохимической пары цинк — никель равна 1,83 в, в то время как э. д. с. пары никель — кадмий равна 1,4 в, а пары серебро — цинк 1,56 в.

Как и в серебряно-цинковом аккумуляторе, где основные трудности заключались в создании нерастворимого отрицательного электрода, здесь также в течение длительного времени велись поиски цинкового электрода, пока в 30-х годах не был предложен для этой системы электрод из порошкообразного цинка, который в дальнейшем был использован для серебряно-цинкового аккумулятора.

С появлением металлокерамических электродов из окиси никеля В. Н. Флерову и его сотрудникам удалось создать НЦ аккумулятор, пригодный для промышленного изготовления. Конструктивно НЦ ак-

кумулятор почти не отличается от серебряно-цинкового (рис. 43). Здесь так же, как в СЦ аккумуляторе, электролит не принимает участия в электрохимической реакции.

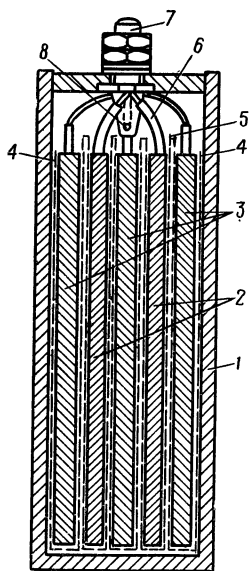


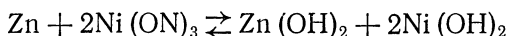
Рис. 43. Никель-цинковый аккумулятор

1 — полистироловый сосуд; 2 — отрицательный электрод; 3 — положительный электрод; 4 — капроновый чехол; 5 — целлофановая оболочка; 6 — изоляционная трубка отрицательного электрода; 7 — борн; 8 — пробка

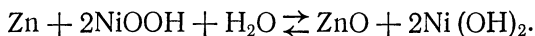
По конструкции пластин НЦ аккумулятор принадлежит к безампельным аккумуляторам. Его положительный электрод изготовлен путем прессовки с последующим спеканием и пропиткой, а отрицательный состоит из прессованной массы цинкового порошка в смеси с порошком окиси цинка и крахмалом, как и в СЦ аккумуляторе. Сепарация положительных пластин изготовлена из капроновой ткани, а отрицательных — из триацетатной пленки.

В отличие от СЦ аккумуляторов в НЦ аккумуляторе применяется составной электролит из КОН с добавкой моногидрата лития в количестве 5 г на литр раствора. Плотность электролита 1,12—1,18.

Химические реакции, происходящие в процессе работы аккумулятора:



или



Этот процесс не является полностью обратимым вследствие неодинаковой отдачи по току положительным и отрицательным электродами. Положительный окисно-никелевый электрод отдает около 90%, а цинковый — 100%, поэтому при заряде возникает постоянная возможность перезаряда отрицательного цинкового электрода, что ведет к окислению сепараторной пленки и вызывает ускоренный процесс дендритообразования и выход аккумулятора из строя.

Напряжение НЦ аккумулятора при комнатной температуре составляет 1,6—1,7 в, т. е. больше чем у СЦ аккумулятора.

Промышленный образец никель-цинкового аккумулятора НЦ-15 имеет номинальную емкость 15 а · ч (рис. 44), а при разряде в 3-часовом режиме при температуре —30°

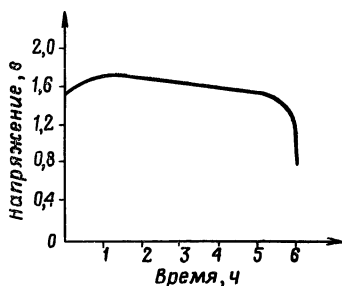


Рис. 44. Кривая разряда никель-цинкового аккумулятора НЦ-15 при температуре +20° С током 3 а

отдает около 30% своей номинальной емкости (конечное напряжение 1 в), а при менее глубоком разряде до 1,3 в — 20% номинальной емкости.

Заряд НЦ аккумулятора производится током 5 а в течение 6 часов (нормальный заряд) до напряжения не более 2,1 в. В случае необходимости допускается ускоренный заряд током 15 а в течение 1 часа.

Саморазряд после 30 суток хранения в заряженном состоянии составляет так же, как и у ламельных аккумуляторов, 18—25%.

По своей удельной энергии (57 вт·ч/кг) никель-цинковый аккумулятор превосходит лучшие образцы безламельных КНБ аккумуляторов, хотя и уступает серебряно-цинковым.

Промышленностью выпускается также никель-цинковая аккумуляторная батарея 2РНЦ-10 напряжением 3,4 в. При разряде до 3,0 в батарея обеспечивает 150 заряд-разрядных циклов емкостью от 15 до 10 а·ч (к концу срока службы). Нормальным разрядным током считается ток 1 а. При систематических разрядах током 1 а до напряжения 3,3 в срок службы батареи увеличивается до 250—300 циклов.

Саморазряд батареи 2РНЦ-10 составляет 80—90% за 30 суток хранения. Срок сохранности батарей, залитых электролитом, 6 месяцев. При температуре —20°С емкость батареи составляет 8—10% номинальной емкости (при разряде до 3,0 в).

Несомненным достоинством НЦ аккумулятора является его дешевизна: он в два раза дешевле равноценных ему по емкости КНБ аккумуляторов и в 4 раза дешевле серебряно-цинковых.

НЦ аккумуляторы наиболее пригодны для питания установок с кратковременным режимом действия: осветительных приборов, мощных накальных цепей радиостановок, полевой геологической и геофизической аппаратуры.

К особенностям эксплуатации НЦ аккумулятора следует отнести необходимость тщательного контроля напряжения в процессе заряда, так как зарядная кривая не имеет скачков напряжения, по которым можно было бы судить о конце заряда. Кроме того, учитывая неравномерную отдачу емкости электродами, следует производить возможно более глубокий разряд НЦ аккумулято-

ров с целью устранения запаса емкости в отрицательном электроде.

### Серебряно-цинковые (СЦ) аккумуляторы

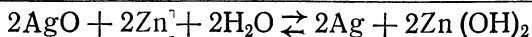
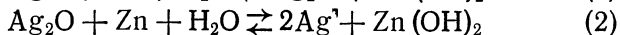
Пригодность серебряно-цинковой электрохимической пары для использования в качестве источника тока была установлена еще Вольта. Однако как аккумулятор эта пара была запатентована лишь в 1898 году, а практическое использование серебряно-цинкового аккумулятора началось в 1943 году после создания нерастворимого цинкового электрода. Препятствием к созданию СЦ аккумулятора являлось еще отсутствие нужного материала для сепарации, обладающего как хорошей проницаемостью при ионном обмене, так и хорошими механическими свойствами, плотностью и упругостью, препятствующими прорастанию дендритов серебра.

Положительный электрод СЦ аккумулятора изготавливается прессованием порошкообразного металлического серебра на проволоочный каркас — токоотвод. После прессования пластина спекается в печи при температуре около 400°, что придает ей необходимую прочность и пористость.

Отрицательный электрод представляет собой напескованную также на проволоочную сетку-токоотвод массу, состоящую из окиси цинка (70—75%) и цинковой пыли (25—30%). Изготовленный таким образом отрицательный электрод не растворяется в щелочном электролите, так как при его окислении поры пластины заполняются гидроокисью и окисью цинка, нерастворимыми в небольшом количестве электролита.

Наиболее подходящей сепарацией для СЦ аккумулятора оказалась пленка из гидратцеллюлозы (целлофан), которая, набухая в электролите, уплотняет сборку и препятствует оплыванию цинковых электродов. Высокая плотность сборки электродов СЦ аккумулятора обеспечивает его высокие механические качества.

Химические процессы, протекающие в СЦ аккумуляторе, описываются уравнениями:



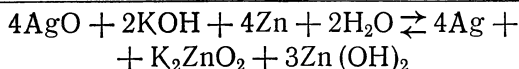
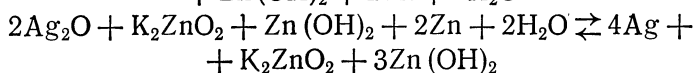
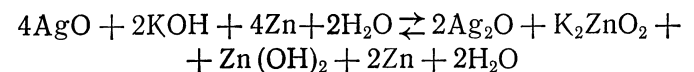
Приведенная суммарная реакция относится к стартерному режиму разряда, когда цинк не успевает раствориться в щелочном электролите и образовать калиевую соль цинковой кислоты — цинкат калия  $K_2ZnO_2$ .

Уравнения (1) и (2) иллюстрируют характерную кривую разряда СЦ аккумулятора (рис. 46), где процесс разряда распадается на два периода: первый — от напряжения 1,8 в до 1,5 в и второй — на уровне 1,5 в до конца разряда.

Уравнение (1) соответствует периоду разряда от 1,8 в до 1,5 в, где химический процесс заключается в окислении цинкового электрода и образовании гидрата окиси цинка. Одновременно положительный электрод из окиси серебра  $AgO$  восстанавливается до  $Ag_2O$ .

Второе уравнение относится к разряду на уровне 1,5 в, когда остаток цинка на отрицательном электроде переходит в гидрат окиси цинка, а окисел серебра  $Ag_2O$  восстанавливается до металлического серебра.

В длительном режиме разряда химические процессы в СЦ аккумуляторе осложняются образованием цинката калия  $K_2ZnO_2$ , когда реакция протекает по уравнениям:



Первое из приведенных выше уравнений показывает процесс растворения цинка в щелочном электролите с образованием цинката калия  $K_2ZnO_2$ , окисления цинка в гидрат окиси  $Zn(OH)_2$  и восстановления  $AgO$  в  $Ag_2O$ . Второе уравнение описывает дальнейший процесс окисления цинка и восстановления окиси серебра в металлическое серебро. Первое уравнение относится к ступени разряда от 1,88 до 1,5 в, второе — к разряду при 1,5 в.

Приведенные выше формулы хорошо характеризуют химические процессы в СЦ аккумуляторах, разряд которых сопровождается убылью воды, а заряд — ее выделением.

Устройство СЦ аккумулятора показано на рис. 45. Серебряно-цинковые аккумуляторы выполняются в прозрачных или полупрозрачных сосудах из химически и термически стойких пластмасс, позволяющих осуществлять визуальный контроль за уровнем электролита.

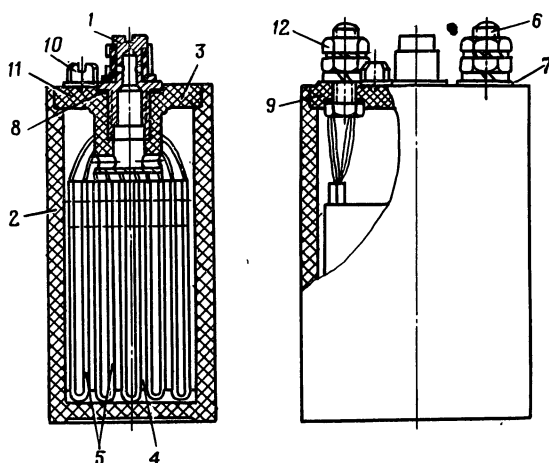


Рис. 45. Устройство серебряно-цинкового аккумулятора:

1 — клапан; 2 — бачок; 3 — крышка; 4 — положительный электрод; 5 — комплект отрицательных электродов; 6 — борн; 7 — шайба; 8 — прокладка уплотнительная; 9 — прокладка; 10 — пробка; 11 — прокладка уплотнительная; 12 — гайка

Крышка сосуда выполнена из того же материала, что и сосуд. К ней прикрепляются полюсные борны с впаянными в них пучками серебряных токоотводов от положительных и отрицательных пластин аккумулятора. Крышка имеет отверстие для заливки электролита и выхода газов. Обычно отверстие закрывается вентиляционной пробкой, обеспечивающей работу аккумулятора в любом положении, но в некоторых типах аккумулятора заливочное отверстие закрывается пластмассовым колпачком.

Цинковые электроды в СЦ аккумуляторе располагаются в сепарации попарно. При укладке их в сосуд в каждую пару между отдельными пластинами укладывается серебряный положительный электрод. Положи-



тельные электроды укладываются также между пакетами отрицательных пластин.

Сборка пластин ведется с учетом их разбухания в процессе работы, так как от плотности сборки зависит устойчивость СЦ аккумулятора к механическим перегрузкам, связанным с транспортировкой. Кроме того, от плотности сборки зависит такая важная характеристика аккумулятора, как срок службы, поскольку при плотной сборке отрицательный электрод лишен возможности деформироваться вследствие оплывания цинка.

На сосуде собранного аккумулятора наносятся красной краской две горизонтальные черты, указывающие допустимый уровень электролита в аккумуляторе при заряде (верхняя черта) и при разряде (нижняя черта). В некоторых типах аккумуляторов, сосуды которых изготовлены из недостаточно прозрачной пластмассы, уровень электролита следует наблюдать со стороны ребер пластин, покачивая сосуд.

Серебряно-цинковые аккумуляторы применяются как в виде отдельных элементов, так и собранными в батареи. В настоящее время нашей промышленностью выпускается большое количество различных типов серебряно-цинковых аккумуляторов и батарей емкостью от 0,5 до 120 а·ч, основные характеристики которых приводятся в табл. 19.

Срок службы СЦ аккумуляторов в зависимости от назначения и режима разряда колеблется от 10 до 100 заряд-разрядных циклов: аккумуляторы СЦК, предназначенные для работы в коротких режимах разряда, имеют срок службы 10 циклов и срок сохранности в залитом электролитом состоянии 4 месяца; СЦС, предназначенные для средних режимов разряда, — срок службы 25 циклов и срок сохранности 6 месяцев; СЦД — для длительных режимов — срок службы 30 циклов и срок сохранности 6 месяцев; СЦМ — для средних режимов, но с большим сроком службы — 100 циклов при сроке сохранности 9 месяцев (буква М в обозначении этих аккумуляторов означает «многоцикловый»); СЦБ — для работы в буферном режиме — не имеют установленного срока службы.

Аккумулятор СЦ25 по сроку службы и сроку сохранности (60 циклов и 9 месяцев соответственно) можно отнести к многоцикловым аккумуляторам.

Таблица 19

Серебряно-цинковые аккумуляторы и батареи

Тип аккумулятора (батареи)	Среднее на- пряжение, в	Разряд			Заряд		Габариты, мм			Вес с элек- тролитом, кг	Удельная энергия	
		емкость, а · ч	длитель- ность, ч	конечное напряжение, в	ток, а	время, ч	длина	ширина	высота (без гор- на)		по объе- му, $\frac{Q}{M \cdot \chi}$	по весу, $\frac{Q}{W \cdot \chi}$
СЦ0,5 . . . . .	1,5	0,5	10	1,0	0,025	25	24	12	37	0,024	58	31
СЦ1,5 . . . . .	1,5	1,7	10	1,0	0,15	13	28	14	50	0,035	112	73
СЦ3 . . . . .	1,5	4,5	10	1,0	0,5	10	44	19	64	0,105	123	63
СЦК3 . . . . .	1,5	4,0	1	1,0	0,5	8				0,105	112	57
СЦД3 . . . . .	1,5	6,0	20	1,0	0,4	17				0,110	168	82
СЦМ3 . . . . .	1,5	3,0	3	1,0	0,3	16				0,105	75	44
СЦС5 . . . . .	1,5	8,0	10	1,0	0,8	11	47	34	69	0,180	109	67
СЦД5 . . . . .	1,5	12	20	1,0	0,8	17				0,200	163	90
СЦМ5 . . . . .	1,5	5,5	3	1,0	0,45	15				0,185	75	44
СЦБ5 . . . . .	—	2,0	—	—	—	—				0,200	—	—
СЦС12 . . . . .	1,5	11	10	1,0	1,0	12	50	23	104	0,225	138	73
СЦД12 . . . . .	1,5	13	20	1,0	0,8	19				0,230	163	85
СЦМ12 . . . . .	1,5	7,0	3	1,0	0,6	15				0,190	88	55
СЦС15 . . . . .	1,5	15	10	1,0	1,5	11	50	29	104	0,275	145	82
СЦД15 . . . . .	1,5	18	20	1,0	1,3	16				0,280	177	100
СЦМ15 . . . . .	1,5	10,5	3	1,0	0,8	16				0,280	104	56

## Продолжение

Тип аккумулятора (батарея)	Среднее на- пряжение, в	Разряд			Заряд		Габариты, мм			Вес с элек- тритом, кг	Удельная энергия	
		емкость, а · ч	длитель- ность, ч	конечное напряже- ние, в	ток, а	время, ч	длина	ширина	высота (без бор- та)		по объе- му, $\frac{Q_{\text{уд}}}{\text{л}}$	по ве- су, $\frac{Q_{\text{уд}}}{\text{кг}}$
СЦК18 . . . . .	1,5	14	1	1,0	3,0	7	50	35	104	0,345	115	61
СЦС18 . . . . .	1,5	19	10	1,0	2,0	10				0,335	155	91
СЦМ18 . . . . .	1,5	12	3	1,0	0,8	18				0,330	99	55
СЦД18 . . . . .	1,5	25	20	1,0	1,5	20				0,360	210	104
СЦ25 . . . . .	1,5	25	3	1,0	1,5	18	48	48	125	0,330	130	114
СЦК25 . . . . .	1,5	20	1	1,0	5,0	6	50	50	118	0,555	102	54
СЦС25 . . . . .	1,5	30	10	1,0	3,0	11				0,545	152	82
СЦД25 . . . . .	1,5	40	20	1,0	2,5	18				0,540	200	110
СЦМ25 . . . . .	1,5	23	3	1,0	2,0	16				0,510	117	68
СЦБ25 . . . . .	—	6	—	—	—	—				0,530	—	—
СЦК40 . . . . .	1,5	50	1	1,0	7,0	8	56	52	141	0,785	180	95
СЦС40 . . . . .	1,5	42	10	1,0	5,0	9				0,785	153	80
СЦД40 . . . . .	1,5	70	20	1,0	4,5	17				0,825	260	128
СЦБ40 . . . . .	—	10	—	—	—	—				0,780	—	—
СЦК50 . . . . .	1,5	54	1	1,0	8,0	8	66	51	144	0,985	167	82
СЦС50 . . . . .	1,5	50	10	1,0	6,0	9				0,985	155	76

Продолжение

Тип аккумулятора (батареи)	Среднее на- пряжение, в	Разряд			Заряд		Габариты, мм			Вес с элек- тритом, кг	Удельная энергия	
		емкость, а. ч	длитель- ность, ч	конечное напряже- ние, в	ток, а	время, ч	длина	ширина	высота (без про- на)		по объе- му, $\frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$	по ве- су, $\frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$
СЦД50 . . . . .	1,5	83	20	1,0	5,5	17				0,990	260	126
СЦМ50 . . . . .	1,5	40	3	1,0	3,0	17				0,850	124	71
СЦБ50 . . . . .	—	15	—	—	—	—				0,950	—	—
СЦС70 . . . . .	1,5	80	10	1,0	8,0	11	94	52	149	1,450	165	83
СЦД70 . . . . .	1,5	130	20	1,0	8,0	19				1,505	268	130
СЦМ70 . . . . .	1,5	55	3	1,0	4,5	15				1,300	113	63
СЦБ70 . . . . .	—	25	—	—	—	—				1,450	—	—
СЦС100 . . . . .	1,5	110	10	1,0	10,0	11	108	51	168	1,750	177	94
СЦС120 . . . . .	1,5	130	10	1,0	12,0	12	71	55	212	1,985	235	98
3СЦС1,5 . . . . .	4,5	1,5	5	3,0	0,2	9	44	30	54	0,150	95	45
3СЦ5 . . . . .	4,5	7,5	3	3,0	0,5	20	96	45	77	0,590	100	57
5СЦ5 . . . . .	7,5	7,5	3	5,0	0,5	20	160	45	77	1,020	102	55
3СЦ25 . . . . .	4,5	25	3	3,0	1,5	18	144	48	136	1,050	120	110
8СЦ45 . . . . .	12	50	3	8,0	4,5	15	200	110	160	6,480	165	93
15СЦ45 . . . . .	22,5	45	10	15,0	4,5	15	432	126	170	16,0	110	63

Срок сохранности сухих аккумуляторов СЦ, не бывших в употреблении и не заливавшихся электролитом, гарантируется в пределах от 3 до 8 лет.

Причиной сравнительно небольшого срока службы и срока сохранности СЦ аккумуляторов является разрушение сепарации в щелочном электролите и прораствание дендритов (игольчатых кристаллов) серебра и цинка в процессе работы аккумулятора, приводящие в конечном счете к точечным коротким замыканиям между электродами и выходу аккумулятора из строя.

Одной из причин ускоренного роста дендритов является перезаряд аккумулятора, при котором происходит сильное окисление триацетатной сепараторной пленки и ее разрушение. Окисление пленки происходит также при длительном хранении СЦ аккумуляторов с открытыми горловинами.

Саморазряд для всех типов СЦ аккумуляторов, кроме СЦС1,5, составляет 10% за 30 суток хранения в заряженном состоянии. При повышении температуры саморазряд увеличивается, а при температуре  $+40^{\circ}$  и выше СЦ аккумуляторы теряют часть своей емкости безвозвратно.

Серебряно-цинковые аккумуляторы по своим удельным характеристикам значительно превосходят все известные многоразовые источники тока. Малый вес, незначительные габариты, отнесенные к единице емкости, повышенное напряжение, независимость емкости от разрядного тока, работоспособность при пониженном атмосферном давлении делают СЦ аккумуляторы незаменимыми для использования в малогабаритной переносной аппаратуре.

Разрядные характеристики СЦ аккумуляторов приводятся на рис. 46.

В условиях низких температур СЦ аккумуляторы отдают повышенную по сравнению с ламельными КН аккумуляторами емкость. Из разрядных кривых (рис. 47) следует, что СЦ аккумулятор при температуре  $-30^{\circ}$  способен отдать 40—50% номинальной емкости, а при температуре  $-40^{\circ}$  — около 20% (при разряде до конечного напряжения 1 в на аккумулятор).

При пониженной температуре внутреннее сопротивление СЦ аккумулятора увеличивается, вследствие чего СЦ аккумуляторы при температуре  $-30^{\circ}$  и ниже не в со-

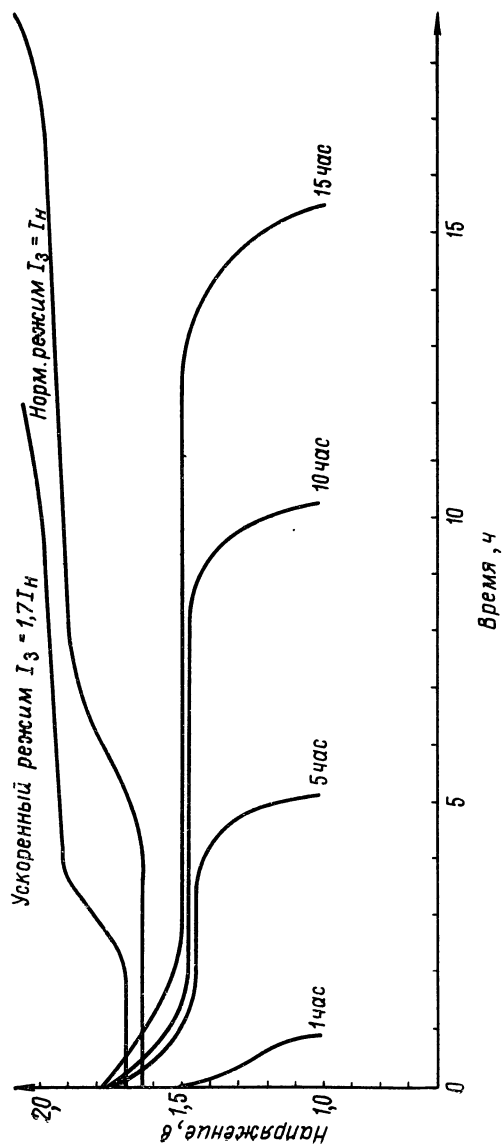


Рис. 46. Типовые характеристики заряда и разряда серебряно-цинковых аккумуляторов

стоянии конкурировать с безламельными КН аккумуляторами типа КНБ. Полная неработоспособность СЦ аккумуляторов наступает при температуре  $-59^{\circ}$ .

При повышенной температуре внутреннее сопротивление СЦ аккумулятора уменьшается вследствие отрицательного температурного коэффициента его электролита.

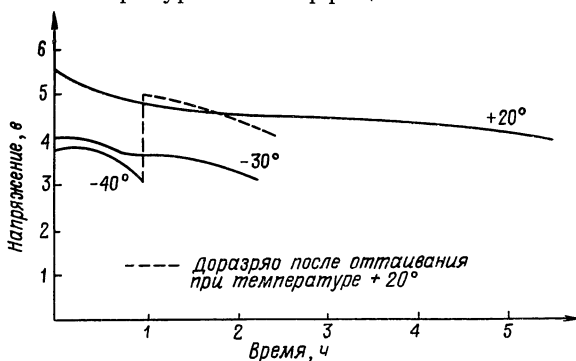


Рис. 47. Кривые разряда батареи 3СЦ-25 при различной температуре током 5 а

К особенностям эксплуатации СЦ аккумуляторов следует отнести их чрезвычайную чувствительность к перезаряду и чистоте электролита. Перезаряд аккумуляторов, как указывалось выше, приводит к разрушению сепарации и повышенному дендритообразованию. Кроме того, при заряде нескольких СЦ аккумуляторов в последовательном соединении может произойти переполюсовка отдельных перезаряженных аккумуляторов. Поэтому при заряде СЦ аккумуляторов необходим тщательный контроль за напряжением каждого аккумулятора. К концу заряда особое внимание должно быть обращено на те аккумуляторы, напряжение которых было повышено по сравнению с остальными аккумуляторами. Аккумуляторы, напряжение на которых достигло 2,10 в, должны быть сняты из зарядной цепи во избежание переполюсовки.

Недопустим также и глубокий разряд отдельных аккумуляторов в батарее, так как аккумулятор, имеющий пониженное напряжение, начнет заряжаться от других аккумуляторов, что может привести к выходу его из строя.

Особенно опасна для СЦ аккумуляторов их работа при параллельном включении. Неоднородность по емкости и напряжению отдельных аккумуляторов, терпимая при последовательном напряжении, здесь является губительной. Поэтому заряжать и разряжать СЦ аккумуляторы в параллельном соединении нельзя.

В качестве электролита СЦ аккумуляторов применяется химически чистый едкий калий плотностью 1,40 марки ЧДА или ХЧДА. Применение каких-либо других электролитов, в том числе обычного или составного электролита для КН аккумуляторов, недопустимо.

При убыли электролита необходимо произвести добавку до соответствующего уровня, обозначенного чертой на сосудах СЦ аккумулятора, учитывая состояние аккумулятора, т. е. заряжен он или разряжен. Добавлять можно только электролит, применяемый для СЦ аккумуляторов, приданный в комплект к аккумуляторам, или электролит, приготовленный из химически чистой щелочи. При отсутствии электролита можно долить аккумулятор дистиллированной водой. Доливка недистиллированной водой запрещается.

Требования к чистоте электролита для СЦ аккумуляторов объясняются тем, что все компоненты, входящие в активные массы пластин, имеют высокую степень химической чистоты. Загрязнение аккумулятора другими веществами может вызвать окисление и разрушение сепарации.

Недостаточная работоспособность СЦ аккумуляторов в условиях низких температур заставляет искать такие условия эксплуатации, при которых СЦ аккумуляторы могут отдавать повышенную емкость. К таким условиям относится помещение СЦ аккумулятора или батареи в утепленный футляр или предварительный разряд током короткого замыкания с целью разогрева аккумулятора или обогрева аккумулятора нагревательным элементом.

Помещение СЦ аккумуляторов в теплоизоляцию само по себе еще не обеспечивает их работоспособность при низких температурах, так как в режиме длительного разряда сильно вымороженный при температуре  $-40^{\circ}$  и ниже аккумулятор не способен отдать напряжение более 1 в. Для этого случая работоспособность аккумулятора будет определяться временем его нахождения при данной низкой температуре, т. е. температурой электролита



аккумулятора: аккумулятор в теплоизоляции после 7—8 часов его пребывания при температуре  $-40^{\circ}$  может иметь температуру в электролите около  $-20^{\circ}$ , что даст возможность снять около 70% его номинальной емкости. Однако при выдержке в той же температуре свыше 30 часов температура в электролите достигнет температуры окружающей среды и аккумулятор окажется практически неработоспособным.

При коротких режимах разряда (не более 5 часов) СЦ аккумулятор, помещенный в теплоизоляцию, способен отдавать большую емкость даже при температуре  $-40^{\circ}$  в электролите. При этом, начальное напряжение вымороженного при температуре  $-40^{\circ}$  аккумулятора лежит в пределах около 1 в. Затем после 5—10 минут разряда происходит повышение напряжения, которое достигает 1,2—1,4 в и держится на этом уровне до конца разряда. Отдача аккумулятора СЦ 25 в пенопластовой теплоизоляции толщиной 3 мм составляет для этих условий около 20%.

Предварительный разогрев СЦ аккумуляторов путем их кратковременного разряда током короткого замыкания является наиболее эффективным, поскольку этот способ обеспечивает работу СЦ аккумуляторов независимо от времени их пребывания на морозе и режима разряда.

Авторазогрев коротким замыканием позволяет эксплуатировать СЦ аккумулятор с напряжением разряда 1,5 в, что особенно ценно для аппаратуры, требующей постоянства напряжения. Потери на короткое замыкание лежат в пределах 20—30%, что обеспечивает возможность съема около 70% номинальной емкости аккумулятора. Естественно, аккумулятор, работающий в режиме авторазогрева, должен иметь теплоизоляцию, назначением которой является не замедление процесса охлаждения аккумулятора, а сохранение выделившегося тепла, что значительно проще конструктивно.

В качестве теплоизоляции могут быть применены любые теплоизоляторы, допустимые по условиям работы.

В некоторых видах аппаратуры с целью замедления процесса охлаждения источников тока использовались контейнеры, стенки которых состояли из сосудов с водой, что, учитывая большую теплоемкость воды, обеспечивает постоянство температуры источника питания, по-

мещенного в такой контейнер, в течение длительного времени.

Применение специальных нагревательных элементов для СЦ аккумуляторов может иметь место в устройствах, не предназначенных для их переноски человеком, поскольку в этом случае потери на подогрев составляют более половины ресурса аккумулятора и при температуре  $-40^{\circ}$  и ниже могут не дать требуемого эффекта при условии их питания от того же СЦ аккумулятора.

Эксплуатация в режиме короткого замыкания может привести к снижению срока службы СЦ аккумулятора, однако, учитывая возможность улучшения его характеристик путем заряда асимметричным током (глава пятая), это снижение не окажется чувствительным.

### **Серебряно-кадмиевые (СК) аккумуляторы**

Несмотря на то, что производство серебряно-цинковых аккумуляторов у нас и за рубежом ведется более 10 лет, до настоящего времени не удалось существенно увеличить срок службы и срок сохранности этих источников тока, обладающих наиболее высокими удельными характеристиками.

Так как повышение эксплуатационных характеристик СЦ аккумуляторов ограничивает отрицательный цинковый электрод, то, естественно, были предприняты шаги по исследованию возможности применения других металлов, в частности кадмия. Кадмий значительно превосходит цинк по своим эксплуатационным характеристикам: по сроку службы в условиях длительного пребывания в крепкой щелочи и механической прочности, уступая, однако, по величине электродного потенциала.

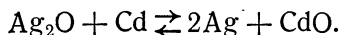
Расчеты показывают, что аккумулятор, основанный на электрохимической системе серебро — кадмий, превосходит по удельной энергии такие электрохимические системы, как кадмий — никель и даже цинк — окись ртути (для часового режима разряда), уступая серебряно-цинковой.

Поскольку СК аккумулятор является логическим продолжением работы по совершенствованию СЦ аккумулятора, то и его основные конструктивные элементы сохраняют признаки СЦ аккумуляторов. В качестве положительного электрода СК аккумулятора служит одновалентная окись серебра, напрессованного на проволооч-

ный токоотвод. Отрицательный электрод изготавливается из окиси кадмия. Материал для сепарации берется тот же, что и в СЦ аккумуляторах, — триацетатная пленка в сочетании с волокнистым материалом. Сборка аккумулятора из электродных пакетов и их установка в сосуд — плотная, как и в СЦ аккумуляторах.

Так как растворимость окиси кадмия в щелочи очень мала, то образование дендритов и сопутствующих им коротких замыканий пластин практически исключено. Однако невысокая стойкость целлофанового сепаратора, разрушающегося в процессе работы аккумулятора, не позволяет получить в СК аккумуляторах срок службы, близкий КН аккумуляторам.

Электролитом в СК аккумуляторе служит раствор КОН плотностью 1,40. Электрохимическая реакция протекает по уравнению



Герметичные аккумуляторы СКГ по принципу устройства напоминают герметичные КН аккумуляторы. В СКГ аккумуляторах отрицательный электрод по массе превосходит положительный, вследствие чего в процессе заряда отрицательный электрод всегда остается недозаряженным и не достигает потенциала выделения свободного водорода.

Зарядная и разрядная кривые СК аккумулятора (рис. 48) напоминают характеристики СЦ аккумуляторов. Среднее напряжение СК аккумулятора лежит в пределах 1,05—1,1 в. Характеристика разряда представляет почти горизонтальную линию, что является положительным качеством аккумулятора.

СК аккумуляторы хорошо работают в стартерных режимах разряда. При этом в зависимости от режима разряда начальный участок разрядной характеристики увеличивается или уменьшается в пределах от 1,4 до 1,0 в по напряжению.

Напряжение горизонтальной площадки на разрядной характеристике зависит от тока разряда: при коротком замыкании напряжение на площадке составляет 0,9 в на аккумулятор, при одночасовом режиме напряжение равно 1,0 в, а для 4-часового режима эта величина достигает 1,05 в, что необходимо учитывать при проектировании аппаратуры, питаемой от СК аккумуляторов.

Саморазряд СК аккумуляторов за 90 суток хранения в заряженном состоянии не превышает 5%, что является их положительным качеством. Срок сохранности СК аккумуляторов, залитых электролитом, составляет не менее 1,5 лет, в том числе 6 месяцев в заряженном состоянии.

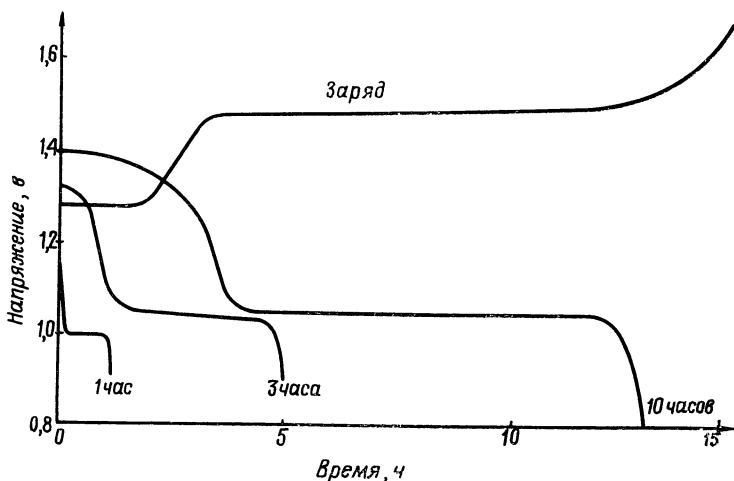


Рис. 48. Характеристики заряда и разряда СК аккумулятора при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$

По рекламным сообщениям зарубежных фирм, серебряно-кадмиевые аккумуляторы в зависимости от режима разряда способны отдавать от 1500 до 3000 циклов.

По своим удельным характеристикам СК аккумуляторы представляют нечто среднее между КНБ и СЦ аккумуляторами. Удельная энергия по весу СК аккумулятора достигает  $70 \text{ Вт} \cdot \text{ч/кг}$ , а по объему —  $130 \text{ Вт} \cdot \text{ч/дм}^3$ .

При низких температурах характеристики СК аккумуляторов ухудшаются аналогично СЦ аккумуляторам. Напряжение СК аккумулятора, разряжаемого 2-часовым режимом при температуре  $-20^{\circ}$ , не превышает  $0,8 \text{ В}$ , а при  $-40^{\circ}$   $0,4 \text{ В}$ . Поэтому в целях обеспечения работоспособности СК аккумуляторов при отрицательных температурах необходимо либо утеплять аккумуляторы, если ток разряда составляет не менее 50% номинальной емкости.

сти аккумулятора, либо разогреть кратковременным коротким замыканием.

На рис. 49 показана характеристика разряда аккумулятора СКГ емкостью 15 а·ч при низких температурах (2), из которой видно, как увеличивается напряжение аккумулятора по мере его разогрева. Аккумулятор

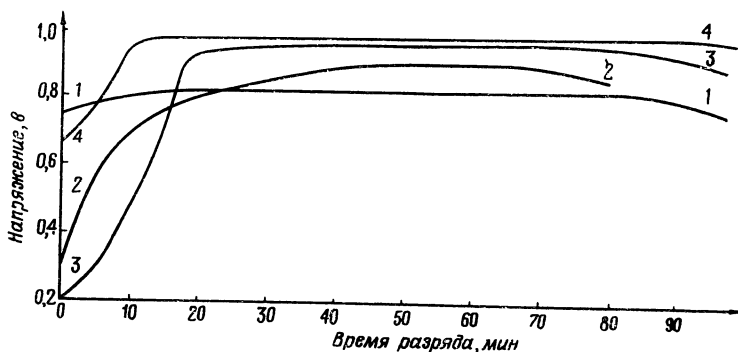


Рис. 49. Характеристики разряда аккумулятора СК-15 при низких температурах:

1 — ток разряда 8 а, температура  $-20^{\circ}\text{C}$ , без теплоизоляции; 2 — ток разряда 8 а, температура  $-35^{\circ}\text{C}$ , теплоизоляция из пенопласта толщиной 10 мм; 3 — короткое замыкание и последующий разряд током 8 а при температуре  $-40^{\circ}\text{C}$ ; 4 — короткое замыкание и последующий разряд током 8 а при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$

окружался слоем пенопласта толщиной 10 мм. Ток разряда 8 а. При разряде в тех же условиях неутепленного пенопластом аккумулятора емкость с него снять не удалось.

На рис. 50 приводится зависимость емкости СК аккумуляторов от температуры для 3-часового режима разряда с неутепленными сосудами.

Утепление аккумуляторов пенопластом дает возможность снять с СК аккумулятора до 50% его номинальной емкости, правда, при пониженном напряжении (около 0,8 в).

Другой способ обеспечения работоспособности СК аккумуляторов заключается в кратковременном коротком замыкании с целью резкого повышения температуры электролита. Этот способ при условии теплоизоляции аккумуляторов или батарей дает возможность снимать

до 80% номинальной емкости аккумулятора при температуре  $-40^{\circ}$ , причем кривая разряда идет на уровне 1 в. В случае применения для авторазогрева аккумулятора короткого замыкания срок службы СК аккумуляторов, так же как и СЦ аккумуляторов, уменьшается.

Механические качества СК аккумуляторов достаточно высоки и аналогичны качествам СЦ аккумуляторов, что обеспечивается применением ударопрочных сосудов, плотной сборкой пластин и амортизацией.

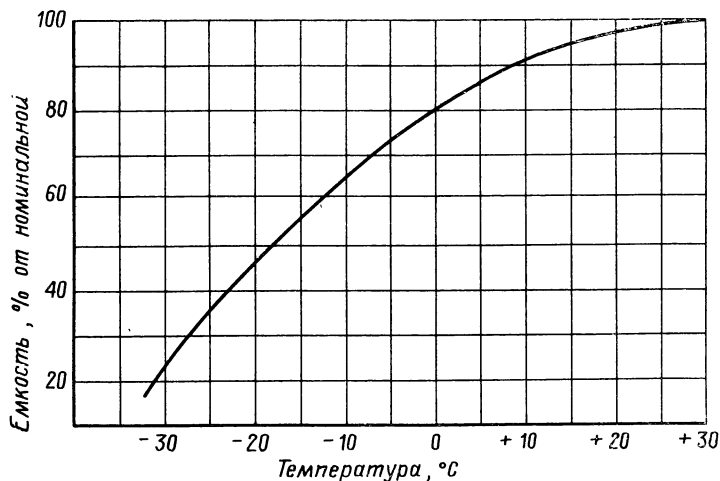


Рис. 50. Характеристика зависимости емкости аккумуляторов СК-1,5 от температуры (без утепления) для 3-часового режима разряда

Область применения СК аккумуляторов так же обширна, как и серебряно-цинковых: портативная аппаратура, радиостанции, геофизические и геологические приборы, авиационная техника.

К особенностям эксплуатации СК аккумуляторов относится необходимость их заряда трехступенчатым режимом: первая ступень — заряд током около 30% номинальной емкости, вторая — заряд током величиной 15% номинальной емкости и третья ступень — длительный заряд током порядка 5% емкости. Такой заряд, проведенный при стабилизированном напряжении, обеспечивает заряд аккумулятора без газовыделения.

В табл. 20 приводятся основные характеристики некоторых типов СК аккумуляторов, разработанных отечественной промышленностью.

Т а б л и ц а 20

Серебряно-кадмиевые аккумуляторы

Характеристики	Размер- ность	Тип аккумулятора				
		СКГ-1,5	СК-15	СК-80	СК-100	СК-300
Напряжение . . . . .	<i>в</i>	1—1,1	1—1,1	1—1,1	1—1,1	1—1,1
Емкость . . . . .	<i>а · ч</i>	1,5	15	80	100	300
Длительность раз- ряда . . . . .	<i>ч</i>	3	3	3	3	3
Напряжение в конце разряда . . . . .	<i>в</i>	0,8—1	0,8—1	0,8—1	0,8—1	0,8—1
Длительность заряда	<i>ч</i>	10—15	10—15	10—15	10—15	10—15
Габариты:						
длина . . . . .	<i>мм</i>	28	66	107	107	138
ширина . . . . .	<i>»</i>	14	32	52	52	56
высота с борнами	<i>»</i>	52	100	168	183	255
Вес . . . . .	<i>кг</i>	0,052	0,4	1,72	1,9	4,65
Удельная энергия:						
по объему . . . . .	$\frac{вт \cdot ч}{дм^3}$	110	105	141	153	181
по весу . . . . .	$\frac{вт \cdot ч}{кг}$	41	56	78	84	77

П р и м е ч а н и е. Данные по величине удельной энергии приводятся из расчета фактической емкости СК аккумуляторов, которая превышает номинальную на 30—40%.

## Глава третья

### ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Еще десятилетие назад удельный вес полупроводниковых источников питания в сравнении с химическими источниками тока составлял доли процента. В настоящее время положение резко изменилось. Сейчас трудно представить без полупроводниковых источников тока такие области техники, как космическая и гелиотехника.

Процессы генерирования электрической энергии полупроводниковыми источниками тока существенно отличаются от окислительно-восстановительных процессов токообразования в химических источниках энергии.

По своим электрическим свойствам твердые тела делятся на металлы, полупроводники и диэлектрики. Физические свойства их определяются составом ядра и состоянием окружающих его электронов: прочностью связей электронов в атомах, энергией электронов и их подвижностью.

Электроны, окружающие ядро, образуют систему электронных оболочек. В каждой оболочке может находиться строго определенное число электронов. Электроны, входящие в состав наружных оболочек атомов, так называемые валентные электроны, наиболее удалены от ядра и, следовательно, слабее всего с ним связаны. Это обстоятельство приводит к тому, что в некоторых условиях атом может потерять один или несколько этих электронов. Причиной отрыва электрона от атома может быть, например, тепловое движение атомов. При этом может оказаться, что в момент столкновения частиц друг с другом в результате сильного удара из атома будет вы-



бит один или несколько электронов. Атом, потерявший электрон, становится положительным ионом, а выбитые в результате столкновения электроны некоторое время будут свободно блуждать по всему объему твердого тела, пока не примкнут к какому-нибудь положительному иону или нейтральному атому.

Из сказанного следует, что для ионизации атома необходимо затратить некоторое количество энергии. Однако в таких твердых телах, как металлы, валентные электроны настолько слабо связаны с ядром, что сравнительно легко отрываются от него и свободно блуждают по всей массе металла. При этом концентрация свободных электронов в кубическом сантиметре металла чрезвычайно велика — около  $10^{22}$ . И, что особенно важно, эта величина является постоянной и не зависит от внешних факторов: температуры, давления и т. д.

В металлах как при температуре абсолютного нуля ( $-273^\circ$ ), так и при температуре плавления содержится одно и то же число свободных электронов. Это обстоятельство резко отличает металлы от всех других твердых тел.

Участвуя в тепловом движении, свободные электроны движутся по всевозможным направлениям со скоростью около  $10^8$  см/сек. Так как свободных электронов очень много и тепловое движение — процесс статистический, то число электронов, перемещающихся в одном направлении, в среднем равно числу электронов, перемещающихся в противоположном направлении. Поэтому суммарный заряд, переносимый сквозь любое сечение металлического проводника, в отсутствие внешнего электрического поля равен нулю.

При наличии поля, приложенного к проводнику, электроны приобретают дополнительную скорость, направленную от низшего потенциала к высшему, в результате чего в проводнике возникает поток электронов, который принято называть электрическим током.

Двигаясь направленно под влиянием разности потенциалов, свободные электроны на своем пути испытывают многочисленные столкновения с ионами металла. Иначе говоря, всякий металл обладает сопротивлением. Сопротивление металла зависит от температуры. С повышением температуры оно возрастает, так как тепловое движение ионов становится более интенсивным. И, наоборот,

с понижением температуры интенсивность теплового движения падает, уменьшается число столкновений электронов, их направленное движение облегчается — сопротивление металла уменьшается.

Атом полупроводника, так же как и атом металла, состоит из ядра и электронов. Однако в атоме полупроводников все электроны, даже самые удаленные, довольно прочно связаны с ядром. Это обстоятельство приводит к тому, что при достаточно низких температурах в полупроводнике нет свободных электронов, следовательно, не может протекать и электрический ток. Таким образом, при низких температурах полупроводник оказывается изолятором, обладающим большим электрическим сопротивлением.

С повышением температуры в полупроводнике, так же как и в металлах, возрастает интенсивность тепловых колебаний атомов и молекул. В результате столкновений из некоторых частиц могут быть выбиты электроны, но в отличие от проводника их будет мало. Освободившиеся электроны полупроводника практически ничем не отличаются от свободных электронов металлов. Они также могут совершенно свободно передвигаться в пределах границ тела в течение некоторого непродолжительного времени — «времени жизни», пока не соединятся с каким-нибудь ионом.

Таким образом, в полупроводнике одновременно идут два процесса: возникновение электронов проводимости и их исчезновение. В результате этого устанавливается динамическое равновесие между числом освобождающихся электронов и числом электронов, примкнувших к ионам. Следовательно, в полупроводнике всегда существует некоторое количество свободных электронов, называемых электронами проводимости. Если в полупроводнике создать разность потенциалов, то электроны проводимости начнут перемещаться от низшего потенциала к высшему и в нем потечет ток.

С повышением температуры возрастает число столкновений атомов друг с другом, а следовательно, возрастает и число выбитых электронов, т. е. возрастает концентрация электронов проводимости. Одновременно с этим процессом увеличение температуры приводит к более интенсивному тепловому движению атомов вещества, которое в полупроводнике, как и в металлах, приводит

к увеличению сопротивления. Однако в полупроводнике первый процесс превалирует над вторым. Поэтому электропроводность полупроводников  $\sigma$  в отличие от металлов с увеличением температуры увеличивается, а с понижением температуры уменьшается по закону

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta E}{2kT}},$$

где  $\Delta E$  — ширина запрещенной зоны полупроводника, характеризующая электрические свойства материала (о чем речь пойдет ниже);

$\sigma_0$  — коэффициент с численным значением  $10^5$ ;

$k$  — постоянная Больцмана, равная  $1,38 \cdot 10^{-16}$  эрг/град;

$T$  — абсолютная температура.

Тепловое движение не единственная причина возникновения в полупроводнике электронов проводимости. Так как электропроводность полупроводника возникает вследствие того, что прежде связанные электроны освобождаются, то достаточно сообщить электронам необходимую для их отрыва энергию, чтобы возникла проводимость. Кроме теплового движения эту энергию электронам полупроводника могут сообщить электромагнитное излучение (в том числе и свет), быстролетающие элементарные частицы, сильное электрическое поле и т. д.

Еще в прошлом столетии было обнаружено, что сопротивление ряда полупроводников резко меняется в зависимости от освещения. Это явление, называемое внутренним фотоэффектом, находит объяснение с позиций только что описанных явлений.

Рассмотрим энергетический спектр валентных электронов в полупроводниках и металлах.

Каждый электрон обладает некоторой энергией. Но электроны, входящие в состав атома, могут находиться лишь в «разрешенных» энергетических состояниях, причем все электроны атома распределены по строго определенным энергетическим состояниям, или, как их называют, уровням. На каждом энергетическом уровне может находиться не более двух электронов.

Так как электроны связаны с ядром силами притяжения, то переход электрона с более низкого энергетического уровня на более высокий связан с затратой энергии, которую необходимо сообщить электрону. При об-

ратном переходе электрон теряет некоторую часть энергии. Причем в силу того, что электроны в атоме могут занимать лишь строго определенные «разрешенные» уровни, то как потеря электроном энергии, так и ее приобретение происходит обязательно скачками, а не непрерывно.

Кроме разрешенных, т. е. основных уровней, в полупроводнике имеются еще уровни возбуждения, отличающиеся от основных тем, что для перехода на них необходимо сообщить электронам дополнительную энергию.

В твердом теле атомы располагаются столь близко друг к другу, что происходит их группировка по энергетическим уровням, которые образуют полосу или энергетическую зону. Так образуется разрешенная зона. Кроме энергетических зон существуют зоны, в которых электроны не могут находиться. Эти области называются запрещенными зонами.

В металле (рис. 51, *а*) к основной зоне непосредственно примыкает или перекрывает ее зона возбужденных уровней. При температуре, близкой к абсолютному нулю, основная зона заполнена электронами, а зона возбужденных уровней свободна. Для того чтобы электроны из основной зоны перешли в зону возбужденных уровней, необходимо сообщить им дополнительную энергию. Такой энергией может быть электрическое поле, под действием которого электроны начнут покидать основную зону и переходить на более высокий энергетический уровень возбужденной зоны, в результате чего в проводнике возникнет электропроводность.

Структура энергетических зон полупроводника представлена на рис. 51, *б*. Вблизи абсолютного нуля наивысшая валентная зона *1* целиком заполнена электронами. Далее следует запрещенная зона, а еще выше — свободная зона, которая называется зоной проводимости. Для

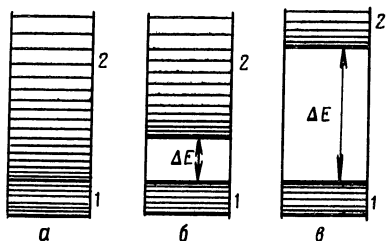


Рис. 51. Распределение энергетических зон:

*а* — в металле; *б* — в полупроводнике; *в* — в диэлектрике  
1 — основная (валентная) зона; 2 — зона проводимости (зона возбужденных уровней);  $\Delta E$  — запрещенная зона

возникновения электропроводности необходимо, чтобы некоторое число электронов из запрещенной зоны перешло в свободную, где они смогли бы перемещаться под действием электрического поля. Но для перехода электрона в свободную зону нужно сообщить ему некоторое количество энергии  $\Delta E$ , необходимое для преодоления запрещенной зоны.

Наличие запрещенной зоны «шириной»  $\Delta E$  отличает полупроводник от металла. Величина  $\Delta E$  в различных полупроводниках имеет значение от нескольких десятых до 2 эв.\* Изоляторами называют вещества, у которых ширина запрещенной зоны больше 2 эв (рис. 51, в).

Изоляторы и полупроводники при температуре, близкой к абсолютному нулю, имеют очень большое удельное сопротивление. Казалось бы, что даже при комнатной температуре полупроводники из-за существования запрещенной зоны  $\Delta E$  должны были бы плохо проводить электричество. В действительности наблюдается другая картина, физические причины ее будут рассмотрены ниже.

Для большинства полупроводников  $\Delta E$  лежит в пределах 0,1—1,5 эв. Откуда может электрон получить эту энергию?

Главный источник — это тепловое движение атомов полупроводникового вещества. При комнатной температуре средняя тепловая энергия частицы 0,04 эв, что примерно в 30 раз меньше той величины, какая необходима для перевода электрона в зону проводимости. Но дело в том, что тепловое движение — процесс хаотический, имеющий статистический характер. В таком процессе, где участвует колоссальное количество частиц, всегда имеется некоторое количество атомов с тепловой энергией 1,5 эв и больше. Подобные атомы при столкновении с соседними могут передать связанным электронам свою энергию, достаточную для их перевода в зону проводимости. С повышением температуры тепловое движение становится более интенсивным, возрастает число частиц с необходимой энергией, вместе с этим возрастает и число электронов проводимости. И, наоборот,

---

\* Следует иметь в виду, что выражения «энергетические уровни», «энергетические зоны», «переход из запрещенной зоны в зону проводимости» и т. п. отражают энергетическую, а не геометрическую сторону вопроса.

с понижением температуры падает число электронов проводимости, доходя до нуля при температуре  $-273^{\circ}$ .

Помимо этого на величину электропроводности очень сильно влияют примеси атомов других элементов. Механизм электропроводности полупроводников определяется главным образом примесными атомами. Совершенно чистых полупроводников практически не бывает, встречаются лишь примесные полупроводники.

Схематическое изображение энергетической структуры примесного полупроводника представлено на рис. 52. В чистом полупроводнике (рис. 52, а) поставщиком электронов в зону проводимости является валентная зона. При этом для перехода в зону проводимости электронам необходимо повысить свою энергию на  $\Delta E$ . При-

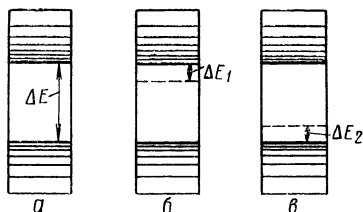


Рис. 52. Схема энергетических уровней электронов в полупроводнике:

а — беспримесный полупроводник; б — полупроводник с донорными примесями; в — полупроводник с акцепторными примесями

месные атомы создают в полупроводнике энергетические уровни двух типов. Одни примеси создают энергетические уровни в запрещенной зоне вблизи зоны проводимости, другие — также в запрещенной зоне, но вблизи заполненной зоны.

Примесные уровни первого типа являются поставщиком электронов в зону проводимости, причем электронам для перехода в зону проводимости с примесного уровня необходима энергия  $\Delta E_1$  (рис. 52, б) меньше всей ширины запрещенной зоны. Эти уровни называют донорными, а примеси, создающие такие уровни, донорными примесями.

Примеси, создающие энергетические уровни вблизи валентной зоны, называют акцепторными. При температуре абсолютного нуля акцепторные уровни свободны. С повышением температуры электроны из заполненной зоны могут перейти либо в зону проводимости, либо на свободный акцепторный уровень, причем вероятность второго перехода значительно больше, так как  $\Delta E_2 < \Delta E$  (рис. 52, в).

Если из заполненной зоны некоторая часть электронов перешла в зону проводимости или на акцепторные уровни, то в заполненной зоне образуется соответствующее количество свободных уровней, которые назвали дырками. В результате в заполненной зоне становится возможным перемещение электронов. Под действием электрического поля электроны будут перемещаться против направления электрического поля. При этом они будут оставлять после своего ухода пустые места — дырки, движение которых окажется направленным в сторону, противоположную полю. Дырки в полупроводнике равноценны положительному заряду, а по величине равны заряду электрона. Таким образом, движение электронов в заполненной зоне будет представляться как движение положительных зарядов, дырок.

Поэтому в полупроводнике могут иметь место два механизма проводимости: электронный и дырочный. Электронный механизм соответствует движению электронов в свободной зоне, дырочный — движению электронов (или дырок) в заполненной зоне. В полупроводниках, не имеющих примесей, наблюдается собственная проводимость, обусловленная переходом электронов из запрещенной зоны в зону проводимости и движение дырок в запрещенной зоне.

В соответствии с типом проводимости различают полупроводники собственные и примесные. Примесные, в свою очередь, бывают с донорной примесью ( $n$ -полупроводники), с акцепторной примесью ( $p$ -полупроводники) или с примесями, обеспечивающими смешанную проводимость.

Рассмотрев механизм проводимости в полупроводнике, перейдем к физическим процессам возникновения электродвижущей силы в полупроводниковых источниках тока.

В основе работы термоэлектрических генераторов лежит эффект перемещения носителей заряда (электронов или дырок) из горячей области полупроводника в холодную.

Если нагреть один конец  $n$ -полупроводника, то электроны будут перемещаться из области с большей концентрацией электронов, вызываемой нагревом, в область с меньшей концентрацией. При этом на холодном конце полупроводника будут накапливаться электроны, а

на горячем соответственно дырки. В результате на концах полупроводника возникнет разность потенциалов, величина которой будет определяться степенью нагрева горячего конца и свойствами полупроводникового материала.

Аналогичная картина наблюдается при нагреве одного из концов  $p$ -полупроводника, где роль носителей тока выполняют дырки. Здесь возникающие при нагреве дырки также перемещаются к холодному концу, увеличивая его положительный заряд. Соответственно возрастает отрицательный заряд нагретого конца. Возникает термоэлектродвижущая сила.



Рис. 53. Образование термоэлектродвижущей силы

У полупроводников с собственной или смешанной проводимостью, где носителями тока являются как электроны, так и дырки, величина термо—э.д.с. меньше, чем у полупроводников с чисто электронной или с чисто дырочной проводимостью. Поэтому при изготовлении термоэлементов применяются пары полупроводников, один из которых имеет донорную примесь, а другой акцепторную. Схема термоэлемента представлена на рис. 53. При нагреве места стыка двух разнородных полупроводников происходит диффузия электронов и дырок в холодные области, при этом на концах полупроводниковой пары возникает разность потенциалов. Для увеличения выходного напряжения термоэлементы соединяются в батарею.

Несколько иной механизм возникновения электродвижущей силы в фотопреобразователях.

Фотоэлектрический источник тока составляется также из полупроводников с различной проводимостью —  $n$  и  $p$ . При этом на границе двух полупроводников с  $n$ - и  $p$ -проводимостью образуется так называемый  $p$ - $n$  переход. Практически  $p$ - $n$  переход создается в монокристалле полупроводника путем введения в одну из его областей примесей, создающих  $p$ -проводимость, а в другую — примесей, создающих  $n$ -проводимость. Образованный таким образом  $p$ - $n$  переход представляет барьер,



который препятствует перемещению основных носителей тока — электронов и дырок из одной области в другую. По обе стороны этого барьера скапливаются положительные и отрицательные заряды, вследствие чего на полупроводнике возникает разность потенциалов. Эта разность потенциалов создает ток проводимости неосновных носителей из одной области в другую.

Кроме того, под воздействием окружающего тепла в полупроводнике небольшое число основных носителей также получает возможность преодоления барьера.

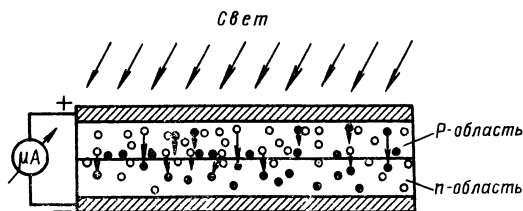


Рис. 54. Образование фотоэлектродвижущей силы в полупроводнике

Вследствие этих причин в затемненном полупроводниковом преобразователе можно обнаружить небольшой ток. Этот ток носит название темнового тока проводимости. С понижением температуры тепловое движение основных носителей уменьшается, что приводит к уменьшению темнового тока. Однако ток проводимости, обусловленный движением неосновных носителей под действием разности потенциалов  $p$ - $n$  перехода, не зависит от температуры и, следовательно, будет иметь место.

При попадании лучистой энергии на полупроводник (рис. 54) фотоны, обладая энергией, отдают ее атомам полупроводника, в результате чего атом, поглощая фотон, теряет электрон, который становится свободным, а сам атом с потерей электрона становится дыркой. Пары электрон — дырка подойдут к потенциальному барьеру, откуда электроны будут перемещаться к  $n$  стороне, а дырки — к  $p$  стороне. Таким образом, возникнет движение положительных зарядов (дырок) от  $n$ -полупроводника к  $p$ -полупроводнику и отрицательных зарядов (свободных электронов) от  $p$ -полупроводника к

*n*-полупроводнику. На электродах фотоэлемента возникает разность потенциалов.

При подключении фотоэлемента к внешней цепи в ней потечет электрический ток, величина которого зависит от освещения, а напряжение — от величины потенциального барьера, определяемого материалом полупроводникового элемента.

Что же касается темнового тока, создаваемого, как это указывалось выше, диффузией малого числа электронов примеси в темноте, то в фотоэлектрических источниках тока он по аналогии с химическими источниками тока играет роль э. д. с. поляризации. Чем меньше величина темнового тока, тем большую величину фото э. д. с. можно получить от полупроводникового фотоэлемента при его освещении.

Однако для создания в полупроводнике пары электрон — дырка энергия фотона не должна быть меньше энергии отрыва валентного электрона от своего атома, которая для полупроводников лежит в пределах 1,1—2,1 эв. Энергией, равной 1,4 эв, обладают фотоны солнечного спектра с длиной волны 0,75 мкм (ближняя ИК-область). Следовательно, для работы от энергии, излучаемой Солнцем, целесообразно использовать такие полупроводниковые фотопреобразователи, спектральный максимум чувствительности которых лежит в области, близкой к излучению с длиной волны 0,75 мкм. Причем энергия разрыва междоатомных связей, или, иначе, ширина запрещенной зоны полупроводника, не должна быть больше 1,4 эв.

Ширина запрещенной зоны является фактором, от которого зависят важнейшие характеристики полупроводникового преобразователя лучистой энергии — его фото э. д. с. и к. п. д., так как для эффективного преобразования необходимо, чтобы *p-n* переход имел небольшой ток насыщения. Но ток насыщения зависит от собственной проводимости полупроводника, причем, чем меньше проводимость, тем меньше ток насыщения. В свою очередь, проводимость определяется шириной запрещенной зоны: чем больше ширина запрещенной зоны, тем меньше проводимость. Поэтому полупроводник для фотоэлектрического источника должен выбираться таким, чтобы ширина его запрещенной зоны была бы максимальной, но не превосходила энергию фотона для данного участка спектра лучистой энергии.

## Термоэлектрические источники тока

Термоэлектрические источники тока независимо от происхождения питающей их тепловой энергии относятся к большой группе тепловых электрогенераторов, включающей термоэлектрические генераторы, термоэмиссионные генераторы (как вакуумные, так и плазменные) и термоэлектромеханические генераторы, называемые также магнитогидродинамическими.

Принцип действия термоэлемента основан на известном явлении возникновения э. д. с. при нагревании места стыка двух проводников из различных металлов, открытым немецким ученым Зеебеком в 1822 году.

В 1834 году француз Пельтье установил закономерность выделения или поглощения тепла на стыке двух разнородных металлических проводников при прохождении по ним тока, причем выделение или поглощение тепла происходило в зависимости от направления тока. Эти явления были исследованы Томсоном, который в 1853 году дал правильное объяснение явлению термоэлектродвижущей силы и разработал теоретические предпосылки термоэлектричества, установив связь между коэффициентами Зеебека и Пельтье:

$$P = \alpha T,$$

где  $P$  — коэффициент Пельтье, численно равный количеству тепла, выделяемому или поглощаемому при прохождении в цепи тока;  $\alpha$  — коэффициент Зеебека, устанавливающий зависимость термо-э. д. с. от материала проводников, составляющих термоэлемент;  $T$  — температура по шкале Кельвина (Томсона).

Однако термоэлементы, основанные на использовании разнородных металлов, не нашли применения вследствие низкого к.п.д. и только после работ академика А. Ф. Иоффе, который в качестве контактных материалов предложил использовать полупроводники вместо металлов, удалось повысить к.п.д. термоэлементов до величины, обеспечивающей возможность их применения в качестве источников тока.

Полупроводниковый термоэлемент состоит из полупроводников с различной проводимостью — электронной и дырочной, что дает возможность получить максимальную термо-э. д. с., т. к. суммарная э. д. с. складывается из

э. д. с. электронного (отрицательная ветвь) и дырочного (положительная ветвь) полупроводников:

$$E = (\alpha_1 + \alpha_2) \Delta T,$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — коэффициенты термоэлектродвижущей силы в *мкв/град*,  $\Delta T$  — разность температур горячего и холодного спаев.

Термоэлемент, составленный из полупроводниковых сплавов висмут — теллур — сурьма (положительная ветвь) и висмут — теллур — селен (отрицательная ветвь), обеспечивает получение термо-э. д. с. около 400 *мкв/град*, в то время как термоэлемент, составленный Зеебеком из пары медь — висмут, развивал лишь около 70 *мкв/град*.

Коэффициент полезного действия термоэлемента определяется формулой

$$\eta = \frac{\alpha^2 \sigma}{\chi} \Delta T,$$

где  $\alpha$  и  $\sigma$  — уже известные нам коэффициенты термо-э. д. с. и электропроводности, а  $\chi$  — коэффициент теплопроводности.

Из приведенной формулы следует, что высоким к. п. д. может обладать материал, коэффициент термоэлектродвижущей силы и удельная электропроводность которого велики, а коэффициент теплопроводности мал. Для металлов это соотношение неблагоприятно, так как металлы, обладая незначительным  $\alpha$  и большим  $\chi$ , не могут обеспечить к. п. д. больше 1,5—2%.

Полупроводники имеют более выгодное соотношение между указанными величинами: сравнительно большой  $\alpha$  и невысокую теплопроводность. Правда, при всех, казалось бы, благоприятных условиях в полупроводниках существует связь между удельной электропроводностью  $\sigma$  и коэффициентом термо-э. д. с., когда при большом  $\alpha$  не удастся обеспечить достаточную величину  $\sigma$ .

Соотношение  $\frac{\alpha^2 \sigma}{\chi}$  обозначается буквой  $Z$ , которая именуется в технике полупроводников коэффициентом добротности полупроводникового вещества.

Коэффициент добротности для различных полупроводниковых сплавов имеет максимальное значение лишь в определенном температурном интервале, вследствие чего

при составлении термоэлемента необходимо учитывать условия, в которых будет работать каждая ветвь.

Так как напряжение термоэлемента невелико и для отдельных типов лежит в пределах 0,05—0,15 в, термоэлементы соединяются в последовательные и параллельные группы и образуют термобатарею. Термоэлектрическая батарея с источником тепла составляет термоэлектрогенератор с определенными выходными параметрами — выходной мощностью, напряжением и предельным током.

Родоначальником современных сложных атомных термоэлектрогенераторов является скромный «Партизанский котелок», разработанный академиком А. Ф. Иоффе и его сотрудниками в годы Великой Отечественной войны. Этот котелок, в днище которого находилась термобатарея, подогреваемая от костра, наполненный водой для охлаждения холодных спаев, сослужил хорошую службу связистам партизанских отрядов и соединений, обеспечивая питанием их радиы в любое время погоды и суток. Серийный выпуск первых в мире термоэлектрогенераторов ТГ-1 для питания военных приемно-передающих радиостанций был начат в Советском Союзе еще в 1943 году.

В послевоенные годы сотрудниками Института полупроводников Академии наук СССР были разработаны промышленные образцы термоэлектрогенераторов ТГК-3, ТЭГК-2-2 и ТГК-10, получившие широкое распространение в районах, не имеющих электрической сети. Термоэлектрогенераторы ТГК-3, ТЭГК-2-2 и ТГК-10 предназначены для питания радиоприемников и малых колхозных радиоузлов типа КРУ-2.

Термоэлектрогенераторы для питания радиоустройств отличаются друг от друга конструктивным оформлением и выходными параметрами. Термоэлектрогенератор (рис. 55) состоит из теплопередатчика 1, на боковых гранях которого укреплены секции термобатарей 2. Холодные спаи 3 термобатарей выведены на алюминиевые ребра 4, являющиеся радиаторами для рассеивания тепла. Каждая секция батареи состоит из нескольких последовательно соединенных термоэлементов. Нагревание горячих спаев термобатареи производится теплом испускаемым при работе керосиновой горелки.

Самым маломощным из семейства термоэлектрогенераторов для питания радиоустройств является термоэлектрогенератор ТГК-3 мощностью 3 вт. Он имеет две термо-

батареи, одна из которых напряжением 2 в при токе 2 а предназначена для питания вибропреобразователя цепи анодного питания радиоламп, а другая напряжением 2 в и током 0,5 а питает накаливающие цепи.

Другой тип термоэлектрогенератора — ТЭГК-2-2 мощностью 4 вт также имеет две термобатареи: одну низковольтную для питания накаливающих цепей напряжением 1,4 и 0,6 в при токе 180 и 650 ма соответственно и другую высоковольтную напряжением 150 и 60 в при токе 5 и 13,5 ма для анодной цепи. Нагревание термобатареи производится 20-линейной керосиновой лампой «Молния» с расходом керосина 60—70 г на один час работы. Термоэлектрогенераторы ТГК-3 и ТЭГК-2-2 при общем коэффициенте преобразования тепловой энергии в электрическую 0,75% весят 8 кг. Нагрузочные характеристики термоэлектрогенератора ТЭГК-2-2 приведены на рис. 56.

Шагом вперед является создание термоэлектрогенератора ТГК-10 мощностью 10—12 вт. Каждый термоэлемент этого генератора дает напряжение около 55 мв при разности температур между горячим и холодным спаями 300° С. Коэффициент полезного действия ТГК-10 3,5%. Как и другие термоэлектрогенераторы, ТГК-10 имеет накаливающую термобатарею напряжением 1,2 в и током 0,7 а и термобатарею для питания вибропреобразователя напряжением 10 в и током 1 а для получения напряжения питания анодной цепи ламп узла КРУ-2. Нагрев термобатареи ТГК-10 осуществляет-

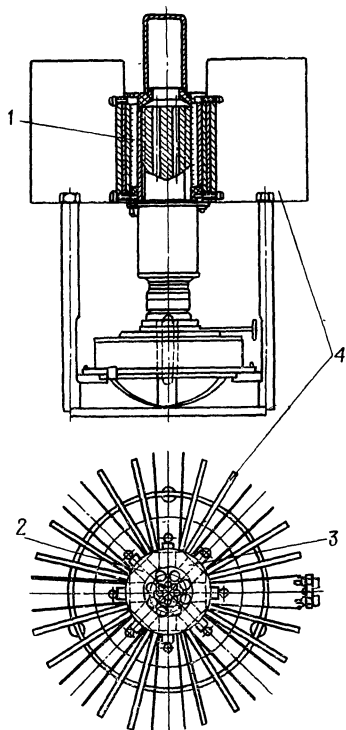


Рис. 55. Термоэлектрогенератор ТГК-10:

1 — теплопередатчик; 2 — секции термобатареи; 3 — холодные спаи термобатареи; 4 — радиаторы

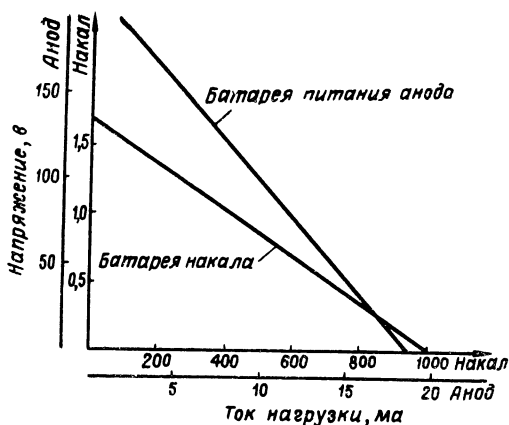


Рис. 56. Нагрузочные характеристики ТЭГК-2-2

ся от специальной керогазовой горелки с расходом керосина около 100 г за 1 час работы. Нагрузочные характеристики термоэлектрогенератора ТГК-10 приводятся на рис. 57.

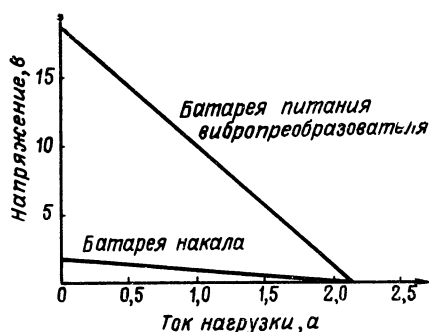


Рис. 57. Нагрузочные характеристики ТГК-10

Необходимо отметить, что применение в термоэлектрогенераторах ТГК-3 и ТГК-10 вибропреобразователей для получения питания анодных цепей ламп радиоустройств является устаревшим решением. Разработанные в последние годы транзисторные преобразователи напряжения могут вполне заменить несовершенные вибропре-

образователи, являющиеся источником дополнительных помех и обладающие низким коэффициентом преобразования.

Описанные выше термоэлектрогенераторы имеют батареи, составленные из термоэлементов с рабочей температурой до  $300^{\circ}\text{C}$ , т. е. из низкотемпературных полупроводниковых термоэлектрических веществ. Несмотря на сравнительно простое конструктивное оформление и несложность решения таких проблем, как отвод тепла, термоэлектрогенераторы, использующие низкотемпературные термоэлементы, имеют невысокий к. п. д., что является их основным недостатком. Поэтому применение среднетемпературных и высокотемпературных термоэлементов привлекает пристальное внимание конструкторов вследствие возможности значительного повышения к. п. д. термоэлектрогенераторов с температурой горячих спаев  $300\text{—}700^{\circ}\text{C}$  (среднетемпературные термоэлементы) и  $700\text{—}1500^{\circ}\text{C}$  (высокотемпературные термоэлементы).

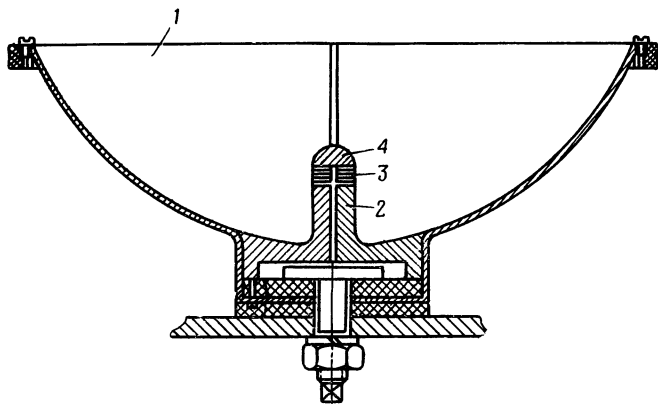
А. Н. Ворониным с сотрудниками разработан новый тип термоэлектрогенератора, работающего на природном топливе. Новый термоэлектрогенератор ТЭГ-50 обеспечивает выходную мощность 50 *вт* при напряжении 8 *в*. Расход природного газа составляет 0,8  $\text{м}^3$  в час. Разработан также комплекс термоэлектрогенераторов, рассчитанный на мощность 300 *вт* с подогревом от горелки, работающей на природном газе. Аналогичные термоэлектрогенераторы небольшой мощности выпускаются в США в виде портативных установок весом 5 *кг*, работающих от баллона с пропаном.

Большой интерес представляют термоэлектрогенераторы, использующие для нагревания спая термобатареи энергию Солнца. Известно, что каждый квадратный метр земной поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, получает около 1 *квт* энергии, поэтому утилизация солнечной энергии имеет большое народнохозяйственное значение и применение термоэлектрических преобразователей наряду с другими устройствами имеет определенные перспективы.

У нас и за рубежом созданы солнечные термоэлектрогенераторы мощностью от нескольких ватт до киловатта. Среди множества конструкций термоэлектрогенераторов, использующих солнечную энергию, интересное решение концентрации энергии и теплоотвода в одном конструк-



тивном элементе найдено А. Н. Ворониным, предложившим использовать небольшие параболические отражатели (рис. 58). Здесь энергия солнечных лучей концентрируется параболическим отражателем типа отражателя автомобильной фары на термоэлементе, причем холодные спаи термоэлемента имеют тепловой контакт с самим отражателем, который в данном случае выполняет



**Рис. 58.** Гелиотермоэлектрогенератор А. Н. Воронина:

1 — параболический рефлектор; 2 — тепло и токопровод; 3 — термоэлемент; 4 — теплоприемник

роль радиатора для сброса тепла с холодных спаев в окружающее пространство.

В настоящее время усилия ученых и инженеров сосредоточены на создании термоэлектрогенераторов, использующих в качестве источника тепла различные радиоактивные элементы. Интерес, проявляемый к такого рода генераторам, объясняется необходимостью создания источника тока, действующего в течение длительного времени без пополнения израсходованных в процессе работы материалов.

Первым устройством такого вида является созданная советскими учеными и инженерами атомная электростанция «Бета-1», представляющая собой термоэлектрогенератор на низкотемпературных термоэлементах, работающий от тепла, выделяемого радиоактивным изотопом церий-144. Атомный термоэлектрогенератор «Бета-1» обеспечивает питание автоматической метеорологической станции.

Несколько позже после опубликования данных о станции «Бета-1» зарубежная печать сообщила о создании в США ряда атомных термоэлектрогенераторов на низкотемпературных термоэлементах типа SNAP, используемых в основном для питания аппаратуры искусственных спутников Земли различного назначения и маяков.

Большим шагом вперед в деле создания атомного термоэлектрогенератора на высокотемпературных термоэлементах явилось (также впервые в мировой технике) создание советскими учеными ядерной термоэлектростанции «Ромашка» мощностью 0,5—0,8 кВт с кремний-германиевыми термоэлементами, рассчитанными на работу при температуре горячих спаев около  $1000^{\circ}\text{C}$ . Термобатарея генератора «Ромашка» обеспечивает получение на выходе тока величиной 88 а.

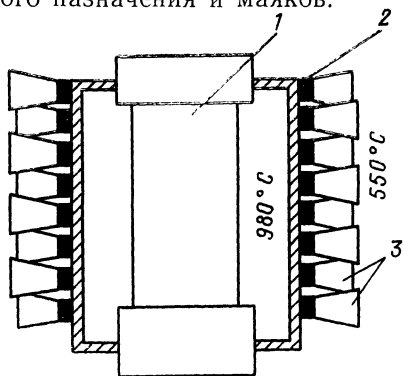


Рис. 59. Схема устройства преобразователя «Ромашка»:

1 — цилиндр реактора с отражателем нейтронов; 2 — термоэлементы; 3 — теплоизлучающие радиаторы

Схематическое устройство атомного электрогенератора показано на рис. 59. Активная зона установки «Ромашка» состоит из графитового цилиндра с дикарибидом урана и бериллиевого отражателя, способного выдерживать высокую температуру. Атомный реактор «Ромашки» развивает мощность 40 кВт с температурой в активной зоне около  $1900^{\circ}\text{C}$ . Холодные спаи термобатареи контактируются на систему радиаторов, сбрасывающих тепло в окружающее пространство. Температура холодных спаев атомного электрогенератора «Ромашка» достигает  $600^{\circ}\text{C}$ .

Лучшие образцы термоэлементов, изготавливаемых в настоящее время, обладают коэффициентом полезного действия около 10%. Теоретически возможным пределом для полупроводниковых термоэлементов считается к. п. д. 25—30%, причем здесь подразумевается к. п. д. самих термоэлементов, так как к. п. д. термоэлектрогенераторов, работающих на обычном топливе, не превышает 5%. При-

чиной такого расхождения является большая величина потерь тепловой энергии. Поэтому наибольший к. п. д. удастся, очевидно, достигнуть в ядерных термоэлектрогенераторах, где коэффициент использования энергии тепла значительно выше.

Перспективы повышения к. п. д. термоэлементов заключаются в создании полупроводниковых веществ с большим коэффициентом добротности  $Z$ , в частности жидких полупроводниковых термоэлементов и высокотемпературных полупроводниковых материалов.

### **Фотоэлектрические источники тока**

Фотоэлектрические источники тока являются прямыми преобразователями солнечной энергии в электрическую, чем отличаются от солнечных термоэлектрических батарей, преобразующих солнечную энергию в электрическую через промежуточный процесс концентрации энергии Солнца в энергию тепловую.

Созданию фотоэлектрических источников тока, являющихся в настоящее время самостоятельной отраслью науки и промышленного производства, предшествовали большая исследовательская работа и технологические изыскания в области получения материалов, обеспечивающих оптимальные характеристики преобразователя по коэффициенту полезного действия, спектральной чувствительности и выходным характеристикам — напряжению и допустимой плотности тока.

В качестве преобразователей энергии светового излучения в электрическую энергию, как это было показано в начале этой главы, наиболее пригодными оказались фотоэлементы с запирающим слоем или, как их еще называют, вентильные фотоэлементы. Вентильные фотоэлементы составляют довольно большую группу среди полупроводниковых преобразователей, однако для практического использования оказались пригодными лишь немногие. Одним из условий пригодности того или иного полупроводника для применения в качестве фотопреобразователя является его спектральная чувствительность. На рис. 60 приводятся кривые спектральной чувствительности различных фотопреобразователей и кривая спектрального излучения Солнца.

Так как источником энергии для фотопреобразователей является энергия, испускаемая Солнцем, то выбира-

ются фотопреобразователи, спектральная чувствительность которых отвечает кривой спектрального распределения солнечной энергии. Однако помимо нужной спектральной чувствительности фотопреобразователь должен обладать необходимым к. п. д. Так, например, давно известные селеновые фотоэлементы, спектральная чувствительность которых хорошо согласуется со спектром сол-

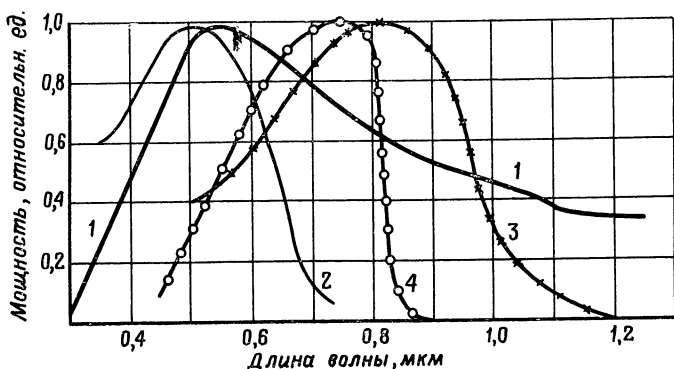


Рис. 60. Спектр излучения Солнца (1) и спектральные характеристики фотопреобразователей:

2 — селеновый; 3 — кремниевый (монокристаллический); 4 — пленочный на теллуриде кадмия

нечного излучения, непригодны для использования в качестве силовых преобразователей солнечной энергии в электрическую, вследствие чрезвычайно низкого к. п. д. (0,1%), хотя и находят широкое применение в различных устройствах типа фотоэкспонетров и т. п.

При выборе материалов для фотопреобразователей большое внимание было уделено монокристаллам кремния и германия с искусственно созданным *p-n* переходом, свойства которых обещали достижение необходимых характеристик. Однако в дальнейшем оказалось, что характеристики германиевых фотопреобразователей оказались ниже кремниевых, что объясняется большей шириной запрещенной зоны в кремнии, чем в германии, а также в селене.

Теоретически вентильные фотопреобразователи могут иметь 100% к. п. д. при условии облучения их светом, длина волны которого соответствует максимуму спектраль-

ной чувствительности данного фотоэлемента (рис. 60). При этом вся падающая на фотоэлемент лучистая энергия должна поглощаться  $p$ - $n$  переходом с тем условием, чтобы ток в фотоэлементе соответствовал числу пар электрон — дырка, возникающих в один и тот же промежуток времени, а его внутреннее сопротивление от бесконечно большого в темноте становилось бы бесконечно малым при освещении.

Но фотоэлементов, удовлетворяющих приведенным выше условиям, в природе не существует. Прежде всего спектральная чувствительность большинства фотоэлектрических преобразователей лежит в области длин волн 0,6—1,0  $\mu\text{м}$ , т. е. желтых и красных лучей и примыкающих к ним инфракрасных лучей. Что же касается солнечного излучения, то энергия в спектральном диапазоне от 0,6 до 1,0  $\mu\text{м}$  составляет около 40% всей энергии, испускаемой Солнцем. Поэтому уже несоответствие спектральной характеристики делает невозможным получение к. п. д. преобразователя свыше 40%.

Кроме того, процесс преобразования фотонов в пары электрон — дырка в полупроводнике сопровождается различными потерями как энергии самих фотонов в толще полупроводника, так и энергии вновь образованных электронов и дырок на преодоление сопротивления электронной и дырочной частей полупроводника. Значительную долю потерь составляет прохождение солнечного излучения через поверхность фотоэлемента за счет отражения и поглощения в поверхностном слое.

Эти причины препятствуют получению фотоэлектрических преобразователей с к. п. д. более 14%, который считается максимально возможным пределом для полупроводниковых преобразователей.

В настоящее время основным фотоэлектрическим источником тока, имеющим сравнительно широкое применение, является кремниевый солнечный преобразователь.

Устройство кремниевого фотопреобразователя показано на рис. 61. Кремниевый фотопреобразователь изготавливается из монокристалла чистого кремния путем выдержки его при высокой температуре в присутствии газобразного бора. В результате такой обработки поверхностный слой кремниевой пластины превращается в кремний с  $p$ -проводимостью, в то время, как внутренняя часть пластины остается в первоначальном состоянии с  $n$ -про-

водимостью. На некотором расстоянии от поверхности обработанной пластины образуется  $p$ - $n$  переход. После снятия с одной из поверхностей пластины слоя с ненужным типом проводимости образуется полупроводниковый фотопреобразователь, наружные части которого имеют  $p$ -проводимость и  $n$ -проводимость, а в глубине —  $p$ - $n$  переход. К поверхности из  $p$ -кремния подводится токоотвод. Такой же токоотвод образуется и со слоем из  $n$ -кремния. В качестве токоотводов обычно применяются напыленные тонкие пленки из серебра или никеля. Готовый элемент упаковывается в герметичную пленочную оболочку, защищающую токоотводы и чувствительный слой от воздействия атмосферных осадков и механических повреждений.

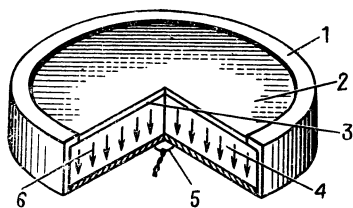


Рис. 61. Кремниевый фотозлемента дисковой формы:

1 — токоотвод от слоя с  $n$ -проводимостью (отрицательный полюс); 2 — слой кремния с  $n$ -проводимостью; 3 —  $p$ - $n$  переход; 4 — слой кремния с  $p$ -проводимостью; 5 — токоотвод от слоя с  $p$ -проводимостью (положительный полюс); 6 — движение носителей тока в  $p$ -слое

Кремниевый фотопреобразователь приведенной выше конструкции имеет следующие основные характеристики: электродвижущая сила 0,5—0,55 в, напряжение 0,4 в, ток короткого замыкания 20—30 ма на 1 см<sup>2</sup> площади, коэффициент полезного действия 8—11%.

Выпускаемые отечественной промышленностью кремниевые солнечные фотопреобразователи имеют следующие основные характеристики, приведенные в табл. 21.

Таблица 21

Кремниевые фотопреобразователи

Тип фотопреобразователя	Размеры, мм	Рабочая поверхность, см <sup>2</sup>	Средний к. п. д., %	Выходной ток, мА	Выходная мощность, мВт	Напряжение, в	Температура поверхности, °С	Энергия солнечной радиации, мВт/см <sup>2</sup>
ФКД-2	10×10	0,85	8	18	7,2	0,4	30	100
ФКД-3	10×15	1,275	8	27	10,8	0,4	30	100
ФКД-4	10×20	1,7	8	36	14,4	0,4	30	100
ФКД-5	10×30	2,4	8	50	20,0	0,4	30	100

Как это следует из табл. 21, напряжение кремниевых фотоэлементов не зависит от рабочей площади и является постоянной величиной в отличие от выходного тока и мощности, величина которых пропорциональна рабочей поверхности фотоэлемента.

Из отдельных элементов путем их последовательного и параллельного соединения собираются солнечные батареи площадью от одного квадратного дециметра до одного квадратного метра. Форма и размеры солнечных батарей варьируются в зависимости от ее назначения.

При соединении отдельных фотоэлементов в батарею необходимо учитывать величину оптимальной нагрузки фотоэлемента, так как оптимальная нагрузка зависит от площади фотоэлемента. Так, для фотоэлемента площадью  $0,7 \text{ см}^2$  оптимальное сопротивление нагрузки составляет  $3,3 \text{ ом}$ , а для фотоэлемента площадью  $2,1 \text{ см}^2$   $8,5 \text{ ом}$ .

Соединение отдельных фотоэлементов в батарею производится либо с помощью специальных коммутационных шин, либо внахлестку, причем в последнем случае рабочая поверхность батареи уменьшается из-за перекрытия фотоэлементами друг друга. Включение в буфер к солнечной батарее обычной аккумуляторной батареи производится через плоскостной германиевый или кремниевый диод, имеющий минимальное сопротивление в прямом направлении и достаточную мощность, рассчитанную на пропускание требуемой величины зарядного тока.

Характеристики кремниевых фотопреобразователей зависят от величины освещенности и температуры. Так, при увеличении радиации в 10 раз ток короткого замыкания кремниевой фотобатареи также увеличивается почти в 10 раз. Однако выходная мощность фотобатареи с увеличением освещенности растет до известного предела, так как величина оптимального сопротивления нагрузки при этом уменьшается. Поэтому колебания светового потока в пределах 15—20% практически не отражаются на выходной мощности фотобатареи. Также практически не изменяется при колебании освещенности коэффициент полезного действия кремниевых фотобатарей. Так, например, изменение радиации с  $1000$  до  $100 \text{ вт/см}^2$  вызывает уменьшение к. п. д. с 10 до 7%.

Вместе с этим кремниевые фотобатареи, как и любой другой фотоэлектрический источник тока, требуют для получения от них максимального к. п. д. оптимальной освещенности.

ценности, выбор которой осуществляется в зависимости от ряда факторов и в первую очередь от температуры. Установлено, что при увеличении радиации до 150 раз выходная мощность увеличивается только 20—30 раз. При этом не рекомендуется увеличивать солнечную радиацию более  $5 \text{ вт/см}^2$ , так как выходная мощность при этом расти не будет. Нормальной радиацией, при которой кремниевые фотобатареи работают стабильно, считается поток около  $0,1 \text{ вт/см}^2$ .

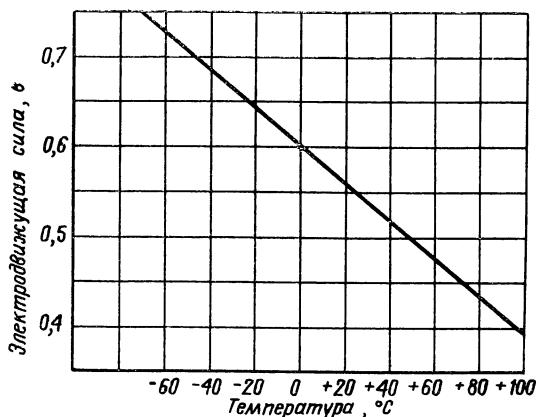


Рис. 62. График зависимости э.д.с. кремниевых фотоэлементов от температуры

Влияние температуры на характеристики кремниевых фотопреобразователей сказывается, прежде всего, на изменении э.д.с., так как величина температурного коэффициента составляет  $2 \cdot 10^{-3} \text{ в/}^\circ\text{C}$ . Так, при изменении температуры кремниевых фотоэлементов от  $-60^\circ$  до  $+100^\circ\text{C}$  его э.д.с. уменьшается с 0,7 до 0,4 в (рис. 62). При этом наблюдается соответствующее падение к.п.д., величина которого при изменении температуры в  $160^\circ\text{C}$  уменьшается почти в два раза. Тем не менее температурным пределом работоспособности кремниевых преобразователей является температура от  $-65^\circ$  до  $+175^\circ\text{C}$ .

Учитывая, что солнечные батареи требуют для обеспечения нормальной работы радиационный поток около  $0,1 \text{ вт/см}^2$ , что бывает только при безоблачном небе в солнечную погоду, применение солнечных фотопреобразо-



вателей в пасмурную погоду не дает должного эффекта. Поэтому наибольший эффект использования кремниевых фотобатарей может быть получен при эксплуатации фотогенераторов в южных районах нашей страны, где количество солнечных дней в течение года достигает 80%, в то время как в центральных районах число безоблачных дней составляет лишь 25—45%.

На один квадратный метр земной поверхности, перпендикулярной потоку солнечных лучей, приходится около

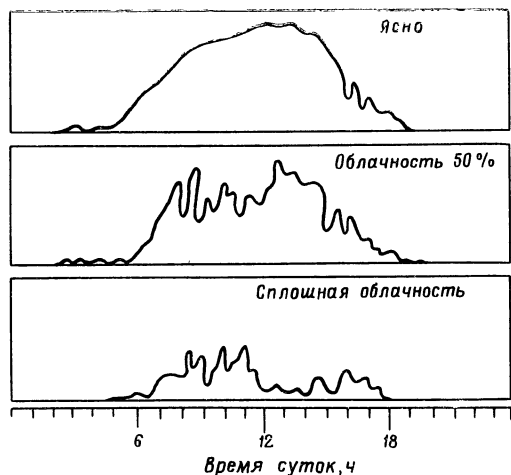


Рис. 63. Суточный ход изменения мощности излучения Солнца

киловатта солнечной энергии. Если принять к. п. д. современных солнечных батарей равным 8%, то для освещения небольшого жилого дома достаточно поставить на крыше солнечную батарею с рабочей поверхностью 3—4 м<sup>2</sup>. Такая батарея в дневное время сможет развивать мощность 250—300 вт, что достаточно для питания бытовых электроприборов небольшой мощности и зарядки аккумуляторов для освещения помещения в темное время суток.

На графике рис. 63 приводится величина суточного изменения мощности солнечного излучения, падающего на один квадратный метр земной поверхности, расположенный перпендикулярно Солнцу. Как видно из графика, уровень солнечной энергии в пасмурный день составляет

около  $\frac{1}{4}$  потока в ясную погоду. На графиках рис. 64 изображены кривые изменения солнечной освещенности в течение года в северных, центральных и южных районах СССР.

Из данных, приведенных на графиках рис. 63 и 64, следует, что в ряде случаев для обеспечения эффективного использования фотоэлектрических источников тока потребуется применение концентраторов солнечного излучения в виде зеркал или собирающих линз. Один из видов концентраторов, применяемый на солнечной фотоэлектростанции ВНИИТ, изображен на рис. 65. Но концентраторы наряду с увеличением эффективности работы установки имеют и существенный недостаток, заключающийся в необходимости системы слежения за Солнцем в течение суточного вращения Земли. При этом концентраторы солнечного излучения не должны приводить к перегреву кремниевых фото-  
батарей, учитывая, что верхний температурный предел их работы  $+175^\circ$ .

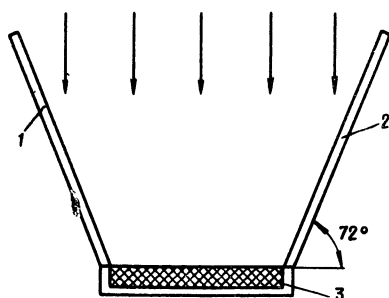


Рис. 65. Солнечный концентратор для кремниевых фотопреобразователей:

1 и 2 — зеркала; 3 — фотопреобразователь

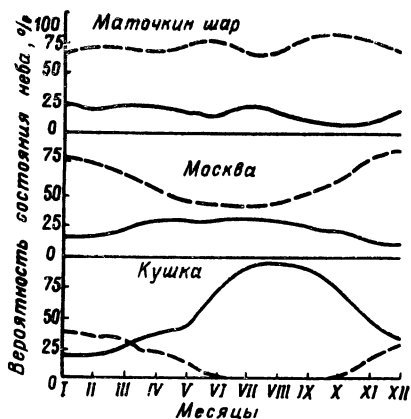


Рис. 64. Кривые солнечной активности на разных широтах в течение года: пунктирная кривая — пасмурно; непрерывная — ясно

Как указывалось выше, для обеспечения непрерывной работы аппаратуры, питаемой от солнечных батарей, необходимо подключать к ним в параллель аккумуляторную батарею, с тем чтобы в пасмурную погоду или ночью питание аппаратуры производилось бы от аккумуляторов.

В качестве примера приведем ориентировочный расчет фотобатареи для питания транзисторного приемника «Алмаз» с аккумуляторной батареей 7Д-0,1 напряжением 9 в.

В режиме приема «Алмаз» потребляет мощность около 90 мвт при токе 10 ма. Для питания приемника в солнечную погоду потребуется фотобатарея напряжением 9 в, составленная из кремниевых фотоэлементов в количестве  $9 : 0,42 = 22$  шт. Кроме того фотобатарея в солнечную погоду должна подзаряжать буферную аккумуляторную батарею 7Д-0,1, поэтому рабочий ток фотобатареи должен быть рассчитан на 22 ма, так как 12 ма необходимы для заряда батареи 7Д-0,1. Наиболее подходящими по току являются элементы ФКД-3, которые с учетом перекрытия рабочей поверхности обеспечат необходимый ток 22 ма. Однако для заряда аккумуляторной батареи 7Д-0,1 необходимо зарядное напряжение 10,5 в, вследствие чего число элементов ФКД-3 в последовательном соединении должно быть увеличено до 27 шт. Общая площадь фотобатареи, составленной из 27 элементов ФКД-3, будет равна  $40 \text{ см}^2$ , что обеспечит ее установку на верхней деке корпуса приемника «Алмаз» ( $134 \times 35 \text{ мм}$ ).

Преимущества такого комбинированного способа питания для аппаратуры, работающей в полевых условиях, очевидны.

Образцы кремниевых солнечных батарей, экспонированные на Выставке достижений народного хозяйства СССР, состояли из 12 и 19 элементов, соединенных последовательно. Первая батарея отдает ток 20 ма при напряжении 5 в, вторая — 40 ма при напряжении 7 в. Другой тип батареи, также экспонированный на выставке, предназначен для геологической аппаратуры и состоит из нескольких листов с фотобатареями, общая мощность которых достигает 100 вт.

Впервые разработанная в нашей стране фотоэлектростанция для питания насоса «Кама» состоит из трех панелей размером  $1 \times 5 \text{ м}$ , на которых смонтированы фотобатареи в виде 10 полос шириной 30 мм с концентраторами (рис. 65). Рабочая площадь фотобатареи  $3,6 \text{ м}^2$ .

Оптимальная мощность установки при потоке солнечного излучения  $810 \text{ вт/м}^2$  составляет 248 вт при напряжении 45 в. Так как установка была построена для экспериментальной работы и не имела целью получение максимально возможных выходных характеристик, то ее

фотобатареи были собраны из кремниевых фотоэлементов с низким к. п. д. — 3—3,5%. Общий к. п. д. установки, учитывая расход мощности на устройства слежения за Солнцем, составил 2,6%.

Из зарубежных образцов фотоэлектрогенераторов можно назвать фотобатареи, выпускаемые в США для питания транзисторных радиоприемников. Один из типов таких батарей состоит из 32 кремниевых элементов с рабочей поверхностью  $60 \text{ см}^2$ , что обеспечивает напряжение 9 в при токе 15 ма. Другой солнечный агрегат предназначается для зарядки аккумуляторов напряжением 12 в и состоит из двух пластин общей площадью  $400 \text{ см}^2$ . Вес агрегата 400 г.

Выпускаемая одной из японских фирм кремниевая солнечная батарея предназначается для работы в наручных часах в буфере с кадмий-никелевым герметичным аккумулятором емкостью 0,1 а·ч. При полном заряде КН аккумулятора часы могут работать в течение 6 месяцев без дополнительного освещения. Светового потока 250 лм в течение 4 часов достаточно, чтобы обеспечить работу часов в течение одного дня.

В зарубежной печати сообщалось о размещении солнечных батарей на каске солдата для питания походной радиостанции, на оправе очков для питания аппарата для плохослышащих и т. п.

Однако, по расчетам зарубежных экономистов, применение фотобатарей для питания бытовой радиоэлектронной аппаратуры и в качестве силовых установок в домашнем хозяйстве в настоящее время экономически невыгодно, так как стоимость одного ватт-часа энергии, получаемой от фотопреобразователей, составляет 10 долларов, что объясняется в первую очередь высокой стоимостью производства кремниевых элементов.

Поэтому наиболее широкое применение кремниевые фотобатареи получили в аппаратуре для космических исследований. В настоящее время трудно назвать космический аппарат как у нас, так и за рубежом, который не имел бы на борту фотоэлектрические кремниевые батареи.

В последнее время разработаны новые фотопреобразователи, называемые пленочными, в отличие от кремниевых, которые изготавливаются из монокристаллов чистого кремния. Пленочные преобразователи представляют

собой тонкие пленки из полупроводниковых материалов — сульфида кадмия, теллурида кадмия и арсенида галлия, напыленные на стекло с металлической подложкой, играющей роль токоотвода. После напыления производится операция по созданию в пленке *p-n* перехода.

Удельная мощность пленочных преобразователей составляет около 120 *вт/кг*, в то время как удельная мощность кремниевых преобразователей не превышает 45 *вт/кг*.

Пленочные преобразователи могут иметь поверхность до 100 *см*<sup>2</sup>, а кремниевые ограничены размерами монокристалла кремния 25×12×1 *мм*.

Считают, что стоимость пленочных фотопреобразователей будет примерно в 10 раз дешевле кремниевых, однако при всех положительных качествах пленочные преобразователи обладают существенным недостатком, а именно — низким к. п. д., величина которого колеблется в пределах 3—5% (кроме преобразователей из арсенида галлия).

Основные характеристики имеющихся в настоящее время пленочных фотопреобразователей приведены в табл. 22.

Т а б л и ц а 22

Пленочные фотопреобразователи

Наименование материала фотопреобразователя	Напряжение холостого хода э. д. с., в	Ток короткого замыкания, <i>ма/см</i> <sup>2</sup>	Коэффициент полезного действия, %
Теллурид кадмия . . . . .	0,4—0,57	6—14	3,5
Сульфид кадмия . . . . .	0,4—0,5	10—15	Около 3
Кремний с <i>p-n</i> переходом на пленке из <i>Cu<sub>2</sub>S</i> . . .	0,25—0,3	5—7	Около 3
Арсенид галлия . . . . .	0,8—0,9	—	12—14

Зависимость э. д. с. от температуры у пленочных преобразователей выражена значительно меньше, чем у кремниевых монокристаллических.

Термоэмиссионные (плазменные) источники тока

В 1949 году А. Ф. Иоффе предложил использовать явление термоэлектронной эмиссии для создания вакуум-

ных термоэлементов, которые в отличие от полупроводниковых твердых термоэлементов не имели бы контакта между холодным и горячим спаями. В термоэмиссионном элементе горячий и холодный концы разделены промежутком, не проводящим или плохо проводящим тепло, вследствие чего потери в таком преобразователе сводятся к минимуму.

В простейшем виде термоэмиссионный преобразователь представляет собой вакуумный или газонаполненный сосуд с катодом и анодом (рис. 66).

Материал катода и анода термоэмиссионного элемента выбирается таким образом, чтобы работа, затраченная на обеспечение вылета электрона (работа выхода) из анода была меньше работы выхода катода. При нагревании катода он испускает электроны, которые, ударяясь об анод, сообщают ему свою энергию, часть которой расходуется на нагрев анода (потери энергии), а часть отводится во внешнюю цепь, где совершает полезную работу.

В термоэмиссионном преобразователе катод изготавливается из тугоплавкого металла вольфрама и покрывается слоем из элементов, обладающих большой эмиссионной способностью, — цезия, тория или бария. Анод изготавливается из цезия с окисью серебра или бария с расчетом, чтобы работа выхода была меньше работы выхода материалов катода. Образующийся при вылете электронов из катода пространственный заряд устраняется с помощью паров цезия, которыми заполняется сосуд преобразователя. При соударении электронов, образующих пространственный заряд, с атомами цезия получается плазма, течение которой направлено от катода к аноду. Одновременно пары цезия уменьшают работу выхода катода и анода, что повышает общую эффективность преобразователя.

Термоэмиссионные электрогенераторы можно разде-

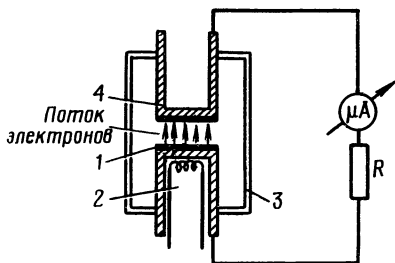


Рис. 66. Принцип действия плазменного преобразователя:

1 — катод; 2 — нагреватель; 3 — вакуумный цилиндр; 4 — анод

лить на три основные группы: газонаполненные, вакуумные и плазменные. По рабочей температуре катода эмиссионные преобразователи подразделяются на низкотемпературные — с температурой катода  $900^{\circ}$ — $1300^{\circ}$ , среднетемпературные — с температурой катода  $1600$ — $1900^{\circ}$  и высокотемпературные —  $2300$ — $2700^{\circ}$ .

Низкотемпературные преобразователи имеют катод из металла или полупроводника, покрытый пленкой из щелочного или щелочноземельного металла, который и является поставщиком электронов. Плазменный преобразователь с катодом из вольфрама, покрытого пленкой бария, работает при температуре  $1300^{\circ}$  С. Его выходное напряжение составляет 0,7 в при к. п. д. около 5%. Другой преобразователь с катодом из вольфрама с цезиевой пленкой, работающий при температуре  $1600^{\circ}$  С, имеет выходное напряжение 0,8 в и к. п. д. 9%. Тот же преобразователь при температуре  $1100^{\circ}$  С дает напряжение 0,7 в при к. п. д. 5%.

Среднетемпературные преобразователи имеют в качестве катодного материала ту же вольфрамовую основу с пленкой из бикарида кремния. При температуре  $1900^{\circ}$  С такой источник тока развивает напряжение 1,1 в при к. п. д. 10—15%. Катод из карбидов урана и тория при температуре  $2300^{\circ}$  С позволяет довести к. п. д. преобразователя до 15%. Такой катод интересен еще и тем, что в случае его применения отпадает необходимость в подогреве катода, так как выделение тепла происходит за счет деления ядер урана.

Катодная основа высокотемпературных преобразователей изготавливается из тантала или вольфрама. Свободное пространство заполняется парами цезия. В одном из образцов высокотемпературного преобразователя удалось при напряжении 2,5 в получить к. п. д. около 10%.

Перечисленные выше образцы термоэлектронных преобразователей являются вакуумными и отличаются от газонаполненных малым междуэлектродным промежутком, который в большинстве конструкций не превышает 10 мк.

Газонаполненные преобразователи в качестве газа используют ксенон или аргон, а также пары ртути в смеси с одним из благородных газов. Катодная основа таких преобразователей состоит из тантала, а металлический анод покрыт пленкой окиси бария. В первый момент за-

пуска преобразователя к нему прикладывается напряжение, которое после образования дуги выключается, и дуговой разряд поддерживается разностью потенциалов между анодом и катодом. Выходное напряжение некоторых газонаполненных ТЭГ составляет 0,7 в при к. п. д. около 0,3%, хотя практический к. п. д. может быть доведен до 25% и более.

В конструктивном отношении газонаполненные термоэмиссионные генераторы проще вакуумных, так как зазор между их электродами может быть 1 мм и более. Существует довольно много различных видов генераторов, в том числе и генераторы, позволяющие получить переменный ток, что особенно важно для питания установок, рассчитанных на различную величину напряжения.

Третий вид термоэмиссионных электрогенераторов — плазменные генераторы в отличие от газонаполненных и вакуумных обладают высокой степенью ионизации междуэлектродного промежутка при весьма высокой температуре ионизированного электронного газа, достигающей нескольких тысяч градусов. Наличие в междуэлектродном промежутке плазмы, температура которой может быть сколь угодно велика, обеспечивает довольно высокий к. п. д. плазменного генератора, причем напряжение плазменного генератора может достигать 3 в и более, в то время как напряжение вакуумных и газонаполненных генераторов не превышает 0,8—1,2 в.

Высокая электропроводность  $\sigma$ , большой коэффициент термо-э. д. с.  $\alpha$  и низкий коэффициент теплопроводности  $\chi$  свидетельствуют о том, что плазма является идеальным полупроводником, дающим возможность получать весьма высокий к. п. д. Положительным качеством плазмы является также отсутствие зависимости выходного напряжения от температуры, как это имеет место у твердых полупроводниковых элементов.

Одним из вопросов в практической реализации термоэмиссионных электрогенераторов является способ нагрева катода. Применение каких-либо горелок с обычным химическим топливом нецелесообразно по тем же причинам, что и для термоэлектрических генераторов, т. е. вследствие больших потерь на лучеиспускание и невозможности получения высокой температуры.

Эти недостатки могут быть устранены путем применения в качестве топлива ядерных материалов: карбида



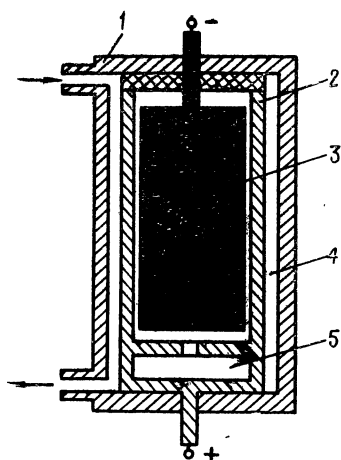


Рис. 67. Схема термоэлектронного преобразователя с ядерным источником тепла:

- 1 — защитная рубашка; 2 — анод;  
3 — катод из карбида урана UC;  
4 — промежуток для хладагента;  
5 — камера с парами цезия

В целях повышения к.п.д. предложена конструкция двухкаскадного преобразователя (рис. 68), предусматривающая помимо обеспечения работы термоэлектронного генератора за счет ядерного топлива использование выделяющегося на стенках тепла для нагрева термоэлементов, расположенных по периметру цилиндра, что позволит повысить удельную мощность преобразователя. Преобразователь такого вида предполагается использовать в качестве бортового источника тока космических кораблей.

К числу недостатков термоэлектронных

урана и др., причем некоторые из этих материалов могут одновременно выполнять функции катода, чем значительно упрощается конструкция преобразователя и достигается значительное уменьшение габаритов и веса. Схематическое изображение термоэлектронного генератора с ядерным катодом приведено на рис. 67.

Разработанный в США термоэлектронный генератор на ядерном топливе при температуре катода  $2000^{\circ}$  и анода  $1400^{\circ}$  отдает во внешнюю цепь мощность 100 вт при к.п.д. 12%. Один из подобных генераторов выполнен в виде цилиндра диаметром 25 мм и длиной около 300 мм.

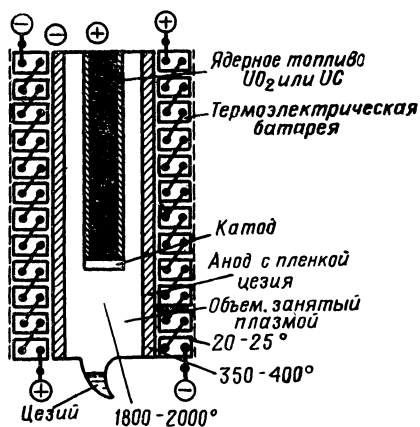


Рис. 68. Комбинированный термоэлектронный (плазменный) и термоэлектрический преобразователь

генераторов относят небольшое выходное напряжение при весьма большой плотности тока. Так, для большинства генераторов мощностью 1 кВт выходной ток составляет 1000 а при напряжении 1 в.

Зарубежная печать сообщает о выпущенном фирмой «Дженерал электрик» модульном термоэлектронном генераторе с габаритами, близкими габаритам металлического рубля, и весом около 85 г. К. п. д. генератора 2,5%, рабочая температура катода  $1100^{\circ}$  и анода  $600^{\circ}$ , выходная мощность генератора 1 вт.

Интересны перспективы применения термоэмиссионных преобразователей в гелиотехнике. Солнечные термоэмиссионные преобразователи при налаженном серийном производстве, возможно, окажутся наиболее рентабельными из всех существующих в настоящее время солнечных генераторов.

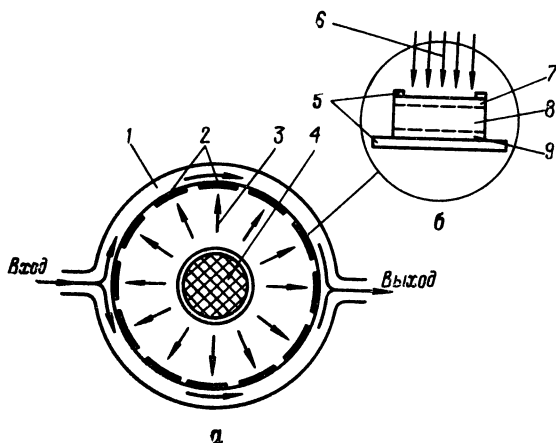
Термоэмиссионный солнечный преобразователь вследствие необходимости поддержания температуры катода порядка  $1700\text{--}2000^{\circ}\text{C}$ , что может быть обеспечено при плотности мощности около  $20\text{ вт/см}^2$ , должен иметь концентратор солнечной энергии с коэффициентом концентрации в несколько тысяч (так как плотность солнечного излучения у поверхности земли составляет, как указывалось выше,  $0,08\text{--}0,1\text{ вт/см}^2$ ). Таким концентратором может служить параболическое зеркало диаметром около 3 м.

Существующие конструкции термоэмиссионных преобразователей обладают к. п. д. до 15% при плотности мощности  $20\text{--}30\text{ вт/см}^2$ . В солнечных установках можно ожидать получения плотности  $7\text{--}12\text{ вт/см}^2$ . Т. е. при потоке солнечной энергии  $800\text{ вт/м}^2$  к. п. д. солнечного термоэмиссионного преобразователя достигнет значительной величины — 11%. Реальным, вполне достижимым в настоящее время к. п. д. солнечных установок с термоэмиссионными преобразователями, учитывая расход мощности на ориентацию установки относительно Солнца и охлаждение, следует считать 7,5%. Это значительно превысит к. п. д. установок на кремниевых преобразователях.

### **Термофотоэлектрические преобразователи**

В приведенных выше разделах, где описывались термоэлектрические и фотоэлектрические источники тока, отмечалось, что преобразователи этих видов имеют недо-

статочный к. п. д., что ограничивает их применение. Кроме того, выходные характеристики солнечных термо- и фотопреобразователей в значительной степени зависят от плотности потока солнечной радиации, величина которого в приземном слое значительно меньше, чем за пределами атмосферы, а постоянные колебания освещенности,



**Рис. 69.** Схема устройства термофотопреобразователя:

*а* — термофотопреобразователь; *б* — фотоэлемент; 1 — охлаждающая рубашка; 2 — фотоэлементы; 3 — световой поток; 4 — источник лучистой энергии; 5 — токоотводящие контакты; 6 — световой поток; 7 — слой с *n*-проводимостью; 8 — область с *n*- или собственной проводимостью; 9 — *p*-полупроводник

вызванные погодой, требуют включения в буфер аккумуляторных батарей, что не всегда приемлемо по условиям эксплуатации. Поэтому вполне понятен интерес, проявляемый в последнее время к термофотоэлектрическим преобразователям, которые могут иметь более высокий к. п. д. и лучшие весовые характеристики, чем термоэлектрические или термоэмиссионные.

В термофотоэлектрическом преобразователе, принцип действия которого показан на рис. 69, излучение нагретого до высокой температуры тела 4 преобразуется фотоэлементами 2 в электрический ток. Высокий к. п. д. достигается за счет возврата непоглощенного фотоэлементами излучения к излучателю, что обеспечивается оптическими фильтрами или особой конструкцией фотоэлементов с

зеркальным тыльным контактом. Практически возможным к. п. д. в таких преобразователях считается 30% при плотности  $10 \text{ вт/см}^2$ .

Образец зарубежного термофотопреобразователя на германии, работающий от излучателя с температурой  $1600^\circ\text{С}$  при плотности падающей мощности  $0,282 \text{ вт/см}^2$ , имел к. п. д. 4,23%. К. п. д. может быть повышен до

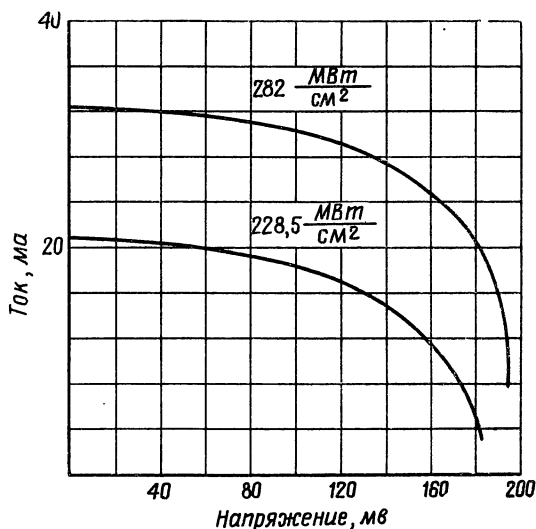


Рис. 70. Вольт-амперные характеристики термофотоэлектрического преобразователя при различных плотностях падающего потока лучистой энергии

10—16% при условии увеличения интенсивности облучения (плотности мощности) до 3—30  $\text{вт/см}^2$ .

На рис. 70 приведены вольт-амперные характеристики термофотоэлектрического преобразователя, из которых следует, что при повышении излучения ток, вырабатываемый преобразователем, значительно возрастает.

### Сегнетоэлектрики

Сегнетоэлектрические и пьезоэлектрические источники тока основаны на эффекте возникновения э. д. с. при воздействии на полупроводник сил электрического поля и механической нагрузки.

Сегнетоэлектрики представляют довольно большую группу полупроводниковых соединений, отличающихся от других полупроводников тем, что их внутренняя структура образована микроскопическими областями, называемыми доменами, которые обладают определенной электрической ориентацией, напоминающей магнитную ориентацию в ферромагнитных материалах.

При помещении сегнетоэлектрика в электростатическое поле его домены, имеющие собственное поле, складываются с внешним полем, в результате чего суммарное поле приобретает весьма большую напряженность, значительно превышающую напряженность собственного поля доменов и внешнего поля. Однако такое поле может возникнуть только при определенной температуре, ниже так называемой точки Кюри. При температуре, превышающей точку Кюри, происходит разрушение доменов и увеличение напряженности поля не наблюдается.

Так как сегнетоэлектрики обладают очень высокой величиной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , конденсатор с диэлектриком из сегнетоэлектрического материала способен запасти значительный заряд. Если такой сегнетоэлектрический конденсатор зарядить внешним источником тока при температуре Кюри, то он будет иметь максимальную емкость. При помещении этого же конденсатора в область с другой температурой его диэлектрическая проницаемость уменьшится, что приведет к уменьшению емкости конденсатора.

Энергия заряженного конденсатора определяется формулой

$$W = \frac{CU^2}{2}.$$

Следовательно при уменьшении емкости будет расти напряжение на обкладках конденсатора (считая энергию, запасенную конденсатором, неизменной) и он окажется способным к отдаче во внешнюю цепь какого-то количества электрической энергии. При периодическом охлаждении и нагреве сегнетоэлектрического конденсатора можно получить переменный ток.

Другие полупроводники при приложении к ним механических сил растяжения или сжатия обнаруживают способность образовывать на боковых гранях разноименные электрические заряды, что носит название пьезоэлектри-

ческого эффекта. К пьезоэлектрическим материалам относятся сегнетова соль и некоторые другие искусственные полупроводниковые материалы, у которых пьезоэффект выражен сильнее.

Эффект возбуждения э. д. с. при изменении температуры сегнетоэлектрического конденсатора до настоящего времени не получил приемлемого технического решения, позволяющего создать источник тока, и поэтому практическое применение получили только источники тока, основанные на пьезоэлектрическом эффекте сегнетоэлектриков.

До последнего времени в качестве пьезоэлектрических элементов применялись в основном сегнетова соль, турмалин, кварц, но в настоящее время они уступили место новым веществам на основе титана, в частности титанату бария, обладающему высоким значением пьезоэлектрической постоянной и хорошими механическими качествами.

Если к пьезоэлектрику приложить усилие, меняющееся по синусоидальному закону с частотой  $10^4 - 10^5$  гц, то можно получить на пьезоэлементе переменный ток с удельной мощностью до  $8 \text{ вт/см}^2$ .

В качестве примера использования пьезоэффекта для возбуждения разности потенциалов можно привести принципиальную схему устройства датчика, применяемого во многих областях техники (рис. 71).

Напряжение, возбуждаемое на обкладках такого датчика под действием механической нагрузки, определяется по формуле

$$U = \delta_e \frac{P}{C + C_0},$$

где  $P$  — усилие в кг,  $\delta_e$  — пьезомодуль,  $C$  — емкость конденсатора, образованного обкладками и пьезоэлектрической пластиной в фарадах,  $C_0$  — емкость измерительной схемы датчика в фарадах.

Датчики такого типа используются для исследования быстротекущих процессов и могут быть применены для возбуждения кратковременных импульсов электриче-

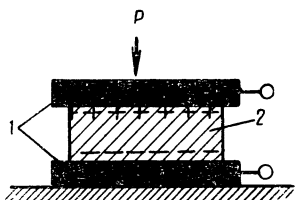


Рис. 71. Пьезоэлектрический датчик:

1 — токопроводящие обкладки; 2 — пьезоэлектрик

ского тока в устройствах, срабатывающих при ударе о какое-либо препятствие.

Так как плотность тока, который можно получить от пьезоэлектрического элемента, чрезвычайно мала, напряжение на зажимах пьезоэлектрического датчика можно измерять только ламповым вольтметром.

Величина пьезомодуля  $\delta_e$  для кварца составляет  $2,1 \cdot 10^{-11}$ , для титаната бария  $1,07 \cdot 10^{-9}$  и для сегнетовой соли  $3 \cdot 10^{-9}$ . Применение сегнетовой соли в пьезоэлементах ограничено вследствие ее невысоких механических качеств и большой гигроскопичности.

## Электреты

Электретом называется тело, длительно сохраняющее поляризацию после удаления внешнего электрического поля и создающее в окружающем его пространстве электрическое поле.

Практически электреты получают из диэлектриков, расплавленных до жидкого состояния и охлажденных до затвердевания в сильном электрическом поле. После такой операции диэлектрик становится источником электрического поля и сохраняет заряд в течение длительного промежутка времени.

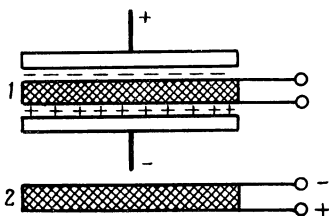


Рис. 72. Электретный эффект:

1 — расплавленный диэлектрик, охлажденный до затвердевания в сильном электрическом поле; 2 — тот же диэлектрик при нормальной температуре после снятия электрического поля

Как известно из курса физики, при воздействии на диэлектрик сильного электрического поля в массе диэлектрического вещества образуются заряды противоположных знаков (рис. 72), причем на стороне диэлектрика, обращенной к положительному электроду,

возникает заряд отрицательного знака, а на стороне, обращенной к отрицательному электроду, — заряд положительного знака.

Возникновение заряда в диэлектрике некоторыми учеными объясняется пьезоэлектрическим эффектом, вызванным деформацией диэлектрика под воздействием сил электрического поля.

Роль охлаждения, по мнению физиков, состоит в стабилизации или, как говорят, «вмерзании» диполей, образующих диэлектрик, что способствует сохранению заряда в диэлектрике даже при положительной температуре.

В качестве материала для электретов применяются такие диэлектрики, как карнаубский воск, янтарь, органические смолы, полимерные материалы на основе титана. Помимо электретов, обладающих способностью сохранять заряд после пребывания в электрическом поле, известны также фотоэлектреты, поляризующиеся под действием света.

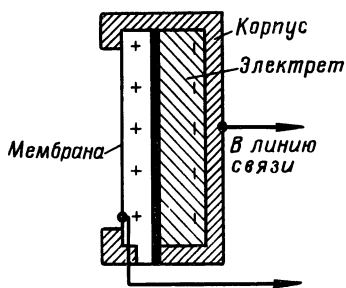


Рис. 73. Электретный микрофон

Хотя в настоящее время электретных источников тока не создано, имеется ряд приборов, где электреты в той или иной степени играют роль источников тока. К таким приборам относится электретный микрофон, устройство которого показано на рис. 73.

Так как внутреннее сопротивление микрофона равно бесконечности, то на него почти не оказывает влияние омическое сопротивление проводников, образующих линию связи. Однако влияние проводников как емкости, шунтирующей емкость микрофона, сказывается на громкости передачи, которая в случае длинной линии уменьшается.

К числу возможных областей применения электретов относится фокусировка электронных пучков в различных электронно-лучевых трубках и преобразователях, использование электретов в качестве источников тока для создания напряжения смещения в электронных схемах, а также в качестве выпрямителей.



## Глава четвертая

### АТОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

#### Атомные источники тока

В главе третьей были описаны термоэлектрические и термоэлектронные источники тока, в которых в качестве источника тепла использовалась тепловая энергия, образующаяся в результате радиоактивного распада. Такой способ использования ядерной энергии почти не отличается от ставшего уже обычным процесса превращения энергии распада в реакторе в тепловую энергию теплоносителя.

В термоэлектрических и термоэлектронных преобразователях, использующих тепло ядерного распада, также происходят безвозвратные потери энергии на излучение, поэтому способ непосредственного превращения энергии частиц, образующихся при радиоактивном распаде, в электрическую энергию является весьма привлекательным с точки зрения получения максимального к. п. д.

В атомных источниках тока, использующих энергию частиц, образующихся при распаде радиоактивных изотопов, применяется как способ прямого преобразования, когда частицы улавливаются коллектором и создается разность потенциалов, так и способы с промежуточными процессами, когда энергия частиц превращается в другой вид энергии, например, световую с последующим преобразованием фотоэлектрогенераторами.

Как известно, при распаде радиоактивных веществ помимо ядерных осколков, обладающих максимальной энергией, образуются  $\gamma$ -лучи,  $\beta$ -лучи и  $\alpha$ -лучи. Наиболее подходящими для использования в портативных источниках

тока являются радиоактивные изотопы с бета-излучением, так как они не требуют применения плотной биологической защиты, как, например, изотопы с гамма- или альфа-излучением, опасные для организма человека.

По принципу действия атомные источники тока можно разделить на две основные группы: источники с прямым переносом заряженных частиц на электроды и источники с промежуточным поглощением частиц на *p-n* переходе полупроводниковых веществ.

В качестве источников радиоактивного излучения для атомных источников тока в США используются следующие изотопы, характеристики которых приводятся в табл. 23.

Т а б л и ц а 23

**Радиоактивные изотопы, используемые в источниках тока**

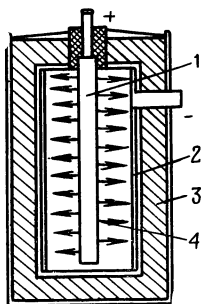
Вид изотопа	Вид радиации	Плотность мощности излучения, $вт/см^2$	Энергия излучения, Мэв	Период полураспада, лет	Защита
Кобальт-60 . . .	$\gamma, \beta$	26	1,33 ( $\gamma$ ) 0,30 ( $\beta$ )	5,3	Тяжелая
Стронций-90 . . .	$\gamma, \chi, \beta$	1,4	0,61	27,7	„
Цезий-137 . . . .	$\gamma, \chi, \beta$	0,23	—	26,6	„
Церий-144 . . . .	$\gamma, \beta, \chi$	17	—	0,78	„
Прометий-147 . .	$\beta, \gamma$	1,5	0,223	2,26	Легкая
Полоний-210 . . .	$\alpha$	1300	5,298	0,88	„
Плутоний-238 . .	$\alpha$	3,3	—	86,4	„
Криптон-85 . . .	$\beta$	—	0,67	10,6	„
Тритий . . . . .	$\beta$	—	0,018	12,26	„
Никель-63 . . . .	$\beta$	—	0,063	80	„
Углерод-14 . . .	$\beta$	—	0,0156	5600	„

П р и м е ч а н и е.  $\chi$  — рентгеновское излучение.

Атомные батареи являются по существу источниками тока одноразового действия. Поэтому период полураспада их активных веществ, определяющий срок службы, является весьма важной характеристикой. Из табл. 23 следует, что из приведенных в ней радиоактивных изотопов наименее пригодными по сроку службы являются поло-

ний-210 и церий-144, хотя эти изотопы имеют хорошие характеристики по плотности мощности.

Вид радиации, испускаемой изотопом, помимо технических характеристик атомного источника тока определя-



**Рис. 74.** Атомная батарея:

1 — радиоактивное вещество; 2 — коллектор; 3 — биологическая защита (свинец); 4 — направление движения электронов

ет его габариты и вес, поскольку по характеру радиации выбирается биологическая защита. Для бета- и альфа-излучения в качестве биологической защиты могут быть использованы практически любые твердые материалы толщиной несколько миллиметров, что же касается гамма-лучей, то защита от их воздействия на человеческий организм осуществляется с помощью свинца.

К числу наиболее приемлемых с точки зрения несложности защитных средств для использования в атомных батареях является тритий.

Принцип действия атомного источника тока с прямым преобразованием, основанный на прямом заряде одного электрода относительно другого, приведен на рис. 74. Пластина из радиоактивного вещества 1 помещена на некотором расстоянии от пластины 2, являющейся коллектором заряженных частиц, испускаемых радиоактивным веществом. По мере накапливания заряженных частиц на коллекторе устанавливается разность потенциалов между пластиной 1 и коллектором 2. Причем если источником излучения являются бета-лучи, то на коллекторе накапливаются электроны и он приобретает отрицательный заряд, в то время как пластина с изотопом является положительным электродом.

Поскольку такой атомный источник тока является конденсатором, то его максимальное напряжение будет равно произведению заряда частиц на величину максимальной энергии частиц с учетом диэлектрических свойств промежутка между электродами.

Так как энергия частиц зависит от скорости распада радиоактивного вещества, определяемого периодом полураспада, то для изотопов с малым периодом полураспада, где в единицу времени образуется большее число частиц,

ток, который можно получить от элемента, больше, чем ток от элемента с большим периодом полураспада, где число частиц меньше.

Для атомной батареи, изображенной на рис. 74, в случае использования в качестве радиоактивного вещества изотопа стронций-90 с  $\beta$ -излучением напряжение между электродами 1 и 2 может достигать десятков киловольт, однако ток такой батареи, учитывая большой период полураспада стронция-90, весьма мал —  $10^{-12}$  а. Батареи такого типа могут быть как вакуумные, так и с заполнением промежутка между эмиттером и коллектором каким-либо диэлектриком.

Форма батарей зависит от расположения активного вещества. Большой частью представляет цилиндр. Распространена также конструкция батареи в виде полусферы.

В одном из образцов такой батареи, запатентованной в США, в качестве источника излучения используется стронций-90; пространство между электродами заполнено термопластиком. Напряжение батареи 300 в, ток, отдаваемый во внешнюю цепь,  $4,5 \cdot 10^{-12}$  а.

На рис. 75 изображен образец атомной батареи (США) на изотопах стронций-90 — иттрий-90. Ток батареи  $4 \cdot 10^{-10}$  а. После 4 месяцев работы напряжение батареи понизилось до 5 кв.

Атомные источники тока с промежуточным поглощением излучаемых частиц на  $p$ - $n$  переходе в полупроводнике (рис. 76) подобно вакуумным или газонаполненным атомным батареям, использующим вторичную электронную эмиссию, используют энергию испускаемых радиоактивным веществом частиц на образование пар электрон-дырка при бомбардировке  $p$ - $n$  перехода. Образовавшиеся пары электрон-дырка подобно парам, образующимся при облучении  $p$ - $n$  перехода в фотопреобразователях фотонами, уходят в свои области, образуя разность потенциалов.

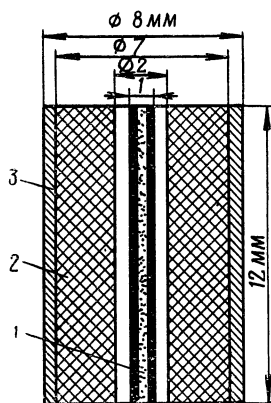
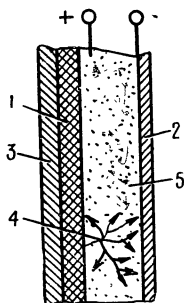


Рис. 75. Атомная батарея на изотопах  $\text{Sr}^{90}$  —  $\text{Y}^{90}$ :

1 — трубка с изотопами; 2 — изоляция из полиэтилена; 3 — алюминиевый коллектор

Практически достижимым пределом к. п. д. для атомных источников тока с полупроводниковым промежуточным преобразователем считается 10%.

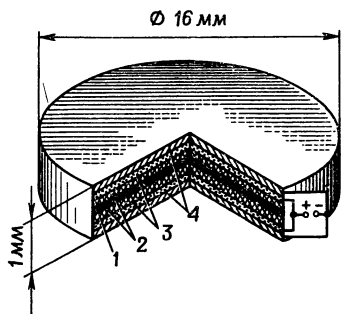


**Рис. 76.** Принцип действия атомного источника тока с поглощением частиц распада в полупроводниковом веществе:

1 — радиоактивный изотоп; 2 — коллектор; 3 — защитный слой; 4 — движение электронов и дырок под действием энергии частиц; 5 — полупроводник

Другие атомные батареи с полупроводниковыми преобразователями используют эффект возбуждения люминофора под действием частиц радиоактивного распада, который сопровождается выделением инфракрасных или ультрафиолетовых лучей или видимого света. В свою очередь, испускаемая люминофором лучистая энергия возбуждает фотоэлектрический преобразователь, в результате чего возникает электрический ток.

В литературе описаны образцы таких батарей, обеспечивающих получение тока порядка 20—40 *ма* при напряжении 1 *в*. В качестве источника радиоактивного излучения чаще всего используется изотоп прометия-147 с атомами фосфора, так как другие изотопы с альфа- и гамма-излучением разрушают фосфор и полупроводниковые фотоэлементы. Атомная микробатарея с фотопреобразователем изображена на рис. 77. Батарея применяется для наручных часов и слуховых аппаратов и при напряжении 1 *в* отдает ток 2 *мка*. Срок действия



**Рис. 77.** Микробатарея:

1 — изотоп прометия-147; 2 — люминофор; 3 — положительный слой кремниевого фотоэлемента; 4 — отрицательный слой кремниевого фотоэлемента

батареи определяется периодом полураспада прометия и составляет около 3 лет.

Описанными выше атомными батареями не исчерпываются возможности использования ядерной энергии для превращения в энергию электрического тока.

Большим преимуществом атомных батарей по сравнению с другими источниками тока является постоянная готовность к действию в пределах своего срока службы, высокая надежность, практическое отсутствие зависимости выходных характеристик от температуры, отсутствие порчи при коротком замыкании.

## Глава пятая

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Помещение для работы с источниками тока выбирается в зависимости от типов источников, их габаритов и количества. Так как большинство полупроводниковых источников тока не подлежат разборке и ремонту, то при рассмотрении условий, необходимых для обеспечения работы с источниками тока, подразумевается работа с химическими источниками тока — аккумуляторами и некоторыми видами гальванических элементов, требующих проведения таких операций, как заряд, заливка электролитом, чистка, ремонт, проверка готовности к работе.

Требования к помещению для работы по приведению в рабочее состояние негерметичных химических источников тока заключаются прежде всего в обеспечении хорошей вентиляции. При заряде таких аккумуляторов, как свинцовые, щелочные КН, ЖН, КНБ, СЦ, выделяются вредные пары и газы, удаление которых необходимо как в процессе работы, так и при длительном хранении, особенно в тех случаях, когда помещение для заряда и отстоя аккумуляторов служит одновременно хранилищем небольших партий аккумуляторов. Вентиляция помещения должна быть приточно-вытяжной, причем включение вентиляции аккумуляторного помещения в общую систему вентиляции не допускается, а включение в дымоходы здания категорически запрещается.

Удаление воздуха из помещения должно производиться из верхней и нижней его частей, а нагнетание — на высоте 1,5 м от пола, с тем чтобы нагнетаемый воздух попадал на стеллажи с аккумуляторами. Нагнетаемый воздух

не должен иметь пыли и газов, вредно действующих на источники тока. Вытяжная вентиляция должна предусматривать применение двигателей, не образующих при работе искр, а лопасти вентиляторов должны быть достаточно удалены от стенок вытяжных труб в целях предупреждения искрообразования.

Освещение помещения должно выбираться из расчета создания нормальной освещенности на рабочих местах, а проводка оборудоваться по правилам, предусмотренным для сырых помещений. Лампы потолочных светильников должны быть оборудованы стеклянными колпаками, а выключатели вынесены за пределы рабочего помещения. Установка в аккумуляторном помещении розеток и предохранителей запрещается. Переносные лампы должны находиться во взрывобезопасном колпаке, а провод заключен в резиновый шланг. Помещение должно иметь аварийное освещение.

Отопление помещения должно обеспечивать поддержание в нем температуры 15—20°, так как именно при этой температуре обеспечиваются наиболее благоприятные условия для заряда подавляющего числа типов аккумуляторов и хранения как аккумуляторов, так и гальванических элементов. В случае применения печного отопления топка печи должна находиться вне рабочего помещения.

Пол в рабочем помещении должен иметь покрытие, стойкое к кислотам и щелочам (метлахская плитка, пластик).

Окраска стен, потолка, дверей и оконных проемов выполняется серой краской, химически стойкой к воздействию щелочи, если помещение предназначается для работы со щелочными аккумуляторами и гальваническими элементами, или кислотостойкой краской, если помещение будет использовано для работы с кислотными аккумуляторами. Металлические конструкции стеллажей и рабочих столов грунтуются свинцовым суриком и дважды окрашиваются химически стойкой краской, например, молотковой эмалью МЛ-165 или МЛ-26.

Рабочие места заряда аккумуляторов должны иметь резиновые коврики независимо от материала пола. Наличие водопровода и канализации в рабочем помещении является также одним из основных условий обеспечения удобства и безопасности работы. В случае невозможности



подводки водопроводной и канализационной сетей в помещении должен быть установлен бак с водой по типу питьевого бачка с краном и ведро для грязной воды, устанавливаемое в специальный шкафчик с отверстием в крышке.

В помещении должны быть установлены столы для работы с химическими источниками тока (заливка, пропитка, ремонт), столы для заряда аккумуляторов, стеллажи для хранения аккумуляторов, шкаф для хранения химикатов и химической посуды, шкаф для хранения электроизмерительной аппаратуры и приборов, вешалки для соединительных и монтажных проводов и проводов измерительных приборов, аптечка.

Крышки столов для работы с аккумуляторами должны быть покрыты винипластом или окрашены щелочестойкой краской. Полки стеллажей также должны быть окрашены.

Помимо аптечки, в которой должно быть все необходимое для оказания первой помощи при порезах, ожогах и травмах, в помещении должен быть установлен сосуд с борной кислотой, снабженный краном или трубкой с зажимом, если в помещении ведется работа со щелочными источниками тока. Для помещения, где работают с кислотными аккумуляторами, обязательно наличие сосуда с раствором двууглекислой соды для нейтрализации кислоты.

Необходимые инструменты: небольшие слесарные тиски, ручные тисочки, разводной гаечный ключ, набор торцевых ключей с деревянными или пластмассовыми рукоятками, плоскогубцы, кусачки, монтерский нож, напильники личные, молоток слесарный, молоток деревянный или текстолитовый, зубило, ножовка слесарная, паяльник и принадлежности к нему.

Из специального оборудования и инструмента необходимы: ареометры, груши резиновые для отбора электролита и резиновые трубки — удлинители, шприц стеклянный медицинский на 20 мл для заливки миниатюрных аккумуляторов, воронки стеклянные или фарфоровые 3—4 шт., фарфоровые или стеклянные химические стаканы емкостью от 0,25 до 2 л, банки стеклянные с притертыми пробками для хранения химикатов, резиновые перчатки хирургические и резиновые рукавицы, пинцеты, скальпель хирургический, ручные тисочки часовые.

Набор измерительной аппаратуры и приборов: нагрузочная вилка, амперметр постоянного тока с пределами измерений 30 *ма*; 0,3; 3; 10 и 30 *а*, амперметр переменного тока на те же пределы измерений, вольтметр постоянного тока класса 0,5 или 1,0 с пределами измерений 3, 10, 30, 100 и 300 *в* (типа М-16 или М-45), авометр АВО-5 или тестер ТТ-1.

Расходные материалы: ветошь хлопчатобумажная, гигроскопическая вата, ацетон, бензин Б-70, спирт этиловый, парафин, клей БФ-2, эпоксидная смола ЭД-6, полиэтиленполиамин, дибутилфталат, дистиллированная вода, дихлорэтан, твердый едкий калий марки А и жидкий марки В (ГОСТ 9285—59), едкий калий химически чистый (ГОСТ 4203—48), едкий литий (ГОСТ 8595—57), борная кислота, сода питьевая.

Работы по приведению в рабочее состояние таких источников тока, как аккумуляторы, связаны с электрическими силовыми сетями, применением различных сильно действующих химических реактивов и выполнением механических операций и поэтому требуют соблюдения правил техники безопасности.

При работе с силовыми сетями необходимо иметь в виду, что напряжение переменного и постоянного тока свыше 36 *в* является опасным для жизни, и поэтому работы с устройствами, находящимися под напряжением, должны выполняться крайне осторожно, особенно если в помещении находится только один человек. Все включения и выключения тока должны выполняться одной рукой, чтобы избежать поражения током жизненно важных органов.

Корпуса и экраны, каркасы и металлические панели выпрямителей, находящихся под напряжением, должны быть надежно заземлены. Приборы, предназначенные для регулирования, включения и выключения тока, должны быть легко доступными, а их рукоятки хорошо изолированными. Концы проводов, подключаемые к клеммам, должны иметь наконечники.

Касание оголенных проводов или контактов неизолированными щупами измерительных приборов опасно. Присоединение и отсоединение выпрямителей, амперметров и других приборов, требующих разрыва первичной цепи, должно производиться при полном снятии напряжения с тех элементов цепи, к которым подключаются приборы.

Смена деталей в выпрямителях и преобразователях, пайка и доделки должны производиться только на обесточенных устройствах. При этом необходимо иметь в виду, что в случае пробоя диодов в бестрансформаторных выпрямительных схемах конденсаторы в течение длительного времени способны сохранять заряд, что может вызвать поражение током.

Категорически запрещается производить заземление аппаратуры и приборов через трубы водопроводных, тепловых и газовых сетей. Заземление в рабочем помещении должно быть выполнено по правилам устройства заземления для радиоаппаратуры.

Запрещается подключать временную проводку к силовым щитам, находящимся под напряжением, а также производить работы с незаземленным инструментом (паяльник и др.). Нельзя проверять наличие напряжения касанием пальцами рук.

Паяльники для работ в зарядных помещениях должны быть рассчитаны на напряжение 36 в. При этом запрещается питание таких паяльников от автотрансформаторов. Электрические паяльники на 36 в должны питаться от специальной низковольтной сети или от понижающих трансформаторов. Помещение, где производится работа с включенными приборами, оставлять хотя бы на короткое время нельзя.

Обращение с едкими веществами и химикатами, применяемыми при работе с источниками тока, также требует большой осторожности. Все химические реактивы должны храниться в стеклянной, фарфоровой или специальной посуде, снабженной плотными пробками. Банки должны иметь несмываемые этикетки с четкими названиями реактивов и степени их ядовитости. Ядовитые вещества должны храниться в отдельном шкафчике или в специальном отделении шкафа, снабженном замком.

Категорически запрещается определять неизвестные химические вещества на вкус или по запаху путем поднесения открытой банки к носу. Чтобы определить химические вещества по запаху, надо открыть флакон или банку и сделать несколько движений рукой около горловины по направлению к носу; при этом банка должна находиться на безопасном расстоянии. Неизвестные вещества должны быть направлены на анализ в химическую лабораторию.

Такие реактивы, как едкий калий или едкий натр, полиэтиленполиамин, требуют особой осторожности при работе с ними. Работы по приготовлению электролита из твердой щелочи, а также приготовление эпоксидного клея должны выполняться в резиновых перчатках и защитных очках. При этом приготовление эпоксидного клея должно производиться в вытяжном шкафу или на открытом воздухе.

Попадание осколков твердой щелочи на незащищенные участки кожи вызывает ожоги, а попадание полиэтиленполиамин — экзему. В случае попадания щелочи на кожу рук или другие части тела необходимо смыть щелочь раствором борной кислоты (10%). В случае попадания щелочи в глаза необходимо произвести их промывание большим количеством 3% раствора борной кислоты, а затем немедленно обратиться к врачу. Необходимо помнить, что щелочь плотностью 1,26—1,40 может вызвать весьма тяжелые ожоги кожи и необратимое поражение глаз.

При попадании на кожу полиэтиленполиамин надо хорошо промыть пострадавшее место сильной струей воды, а затем обмыть теплой водой с мылом. В случае покраснения кожи или образования сыпи необходимо обратиться к врачу.

### **Зарядные устройства**

К зарядным устройствам, применяемым для заряда источников тока, относятся выпрямители, электромеханические преобразователи и зарядные агрегаты.

Современные выпрямители и зарядные устройства, выпускаемые нашей промышленностью, обеспечивают возможность зарядки практически любых химических источников тока. Номенклатура выпрямителей достаточно обширна — от выпрямительных устройств типа ВСА до автоматизированных выпрямителей типа ВУ и зарядных агрегатов ВАГЗ и ВАҚЗ.

Выпрямительные устройства типа ВСА (выпрямитель селеновый для зарядки аккумуляторов) представляют собой однофазные двухполупериодные выпрямители с регулируемым напряжением на выходе, оформленные конструктивно в виде сравнительно небольших переносных ящиков весом 50—55 кг. Выпрямители ВСА выпускаются трех типов: ВСА-111А, рассчитанный на выпрямлен-

ное напряжение от 5 до 80 в и ток 0,25—8 а; ВСА-5 с выпрямленным напряжением от 0 до 64 в и током нагрузки 0—12 а и ВСА-6М с напряжением 24 или 12 в и током 12 или 24 а, причем последний не имеет устройства для регулировки выходного напряжения, а зарядный ток понижается во время заряда автоматически в зависимости от возрастания напряжения заряжаемой батареи (рис. 78).

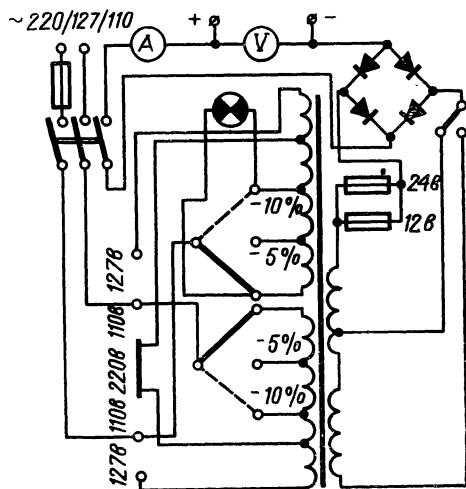


Рис. 78. Схема селенового выпрямителя ВСА-6М

Выпрямительные устройства ВУ предназначены для питания средств связи и представляют серию выпрямителей, рассчитанных на мощность 1, 2, 4, 8 и 16 кВт. Каждая серия выпрямителей ВУ имеет группу, состоящую из четырех типов ВУ: 24 в, 60 в, 120 в и 220 в.

Все ВУ мощностью 1 и 2 кВт, а также ВУ для питания анодных и накальных цепей мощностью 4 и 8 кВт рассчитаны на зарядно-буферный режим работы, т. е. могут работать с аккумуляторными батареями в режиме непрерывного подзаряда, а также могут быть использованы для заряда аккумуляторных батарей. Все остальные типы ВУ рассчитаны на работу с аккумуляторными батареями только в режиме непрерывного подзаряда, а для за-

Таблица 24

## Промышленные выпрямители

Тип выпрямителя	Характеристики на выходе выпрямителя			Габариты, мм			Вес, кг	Охлаждение
	мощность, кВт	напряжение, в	ток, а	ширина	глубина	высота		
ВАГЗ-0,14-8,4/14,8 . .	0,14	8,4/14,8	10	400	300	500	10	Естеств. возд.
ВАГЗ-0,03-8,4/14,8 . .	0,03	8,4/14,8	10	400	300	500	10	То же
ВАГЗБ-0,22-37 . . . .	0,22	37	6	400	300	500	18	„
ВАКЗБ-0,56-37/74 . . .	0,46	37/74	12,5	400	300	500	40	„
ВАГЗБ-0,9-37/74 . . .	0,9	37/74	25	600	500	1000	80	„
ВАКЗБ-1,18-37/74 . . .	1,18	37/74	60	600	500	1000	85	„
ВАКЗБ-1,85/74 . . . .	1,85	74	25	600	500	1000	105	„
ВАКЗБ-1,5-93 . . . . .	1,5	93	12,5	600	500	1000	100	„
ВАКЗБ-2,3-93 . . . . .	2,3	93	25	600	500	1000	120	„
ВАКБ-1,92-48 . . . . .	1,92	48	40	600	500	1000	110	„
ВАКБ-3,7-60 . . . . .	3,7	60	63	600	500	1000	150	Принудит. возд.
ВАКЗ-4,6-37 . . . . .	4,6	37	125	600	500	1500	200	То же

Тип выпрямителя	Характеристики на выходе выпрямителя			Габариты, мм			Вес, кг	Охлаждение
	мощность, кВт	напряже- ние, в	ток, а	ширина	глубина	высота		
ВАК3-5,5-37 . . . . .	5,5	37	150	600	500	1500	120	Принудит. возд.
ВАКЗБ-5,9-93 . . . . .	5,9	93	63	600	500	1500	200	То же
ВАКЗБ-2,3-37 . . . . .	2,3	37	63	600	500	1500	150	»
ВАК3-6,25-50 . . . . .	6,25	50	125	600	500	1500	265	»
ВАК3-5-80 . . . . .	5	80	63	600	500	1800	200	»
ВАК3-6,4-64 . . . . .	6,4	64	100	600	500	1500	270	»
ВАК3-9,6-64 . . . . .	9,6	64	150	600	500	1800	280	»
ВАК3-12-64 . . . . .	12	64	185	600	500	1800	310	»
ВАК3-14-80 . . . . .	14	80	175	600	500	1800	325	»
ВАК3-16-64 . . . . .	16	64	250	600	500	1800	310	»
ВАК3-18,7-50 . . . . .	18,7	50	375	700	500	1800	450	»

ряда этих батарей требуют включения отдельных буферных выпрямителей.

Выпрямители типа ВУ рассчитаны на работу от сети 3-фазного тока, автоматизированы и имеют защиту от перегрузок и перенапряжений. ВУ обеспечивают автоматическое включение на не полностью заряженную батарею со стабилизацией по току и переход на стабилизацию по напряжению при повышении напряжения до заранее заданной величины.

ВУ оформлены в виде шкафов высотой 2250 мм, глубиной 700 мм и шириной от 450 до 900 мм в зависимости от мощности. В выпрямителях ВУ применяются германиевые силовые вентили или селеновые вентили типа АВС 100×100 мм, допускающие взаимозаменяемость без какой-либо переделки ВУ.

Зарядные агрегаты типа ВАКЗ и ВАГЗ для зарядки кислотных и щелочных аккумуляторных батарей выпускаются промышленностью для использования в хозяйстве электростанций и подстанций, а также других потребителей, требующих выпрямительных устройств с автоматической стабилизацией напряжения и автоматической стабилизацией тока, с возможностью перевода из режима буферной работы в режим заряда.

Агрегаты оформлены в виде шкафов, габариты и вес которых определяются выходной мощностью. В табл. 24 приведены типы агрегатов с кремниевыми и германиевыми силовыми вентилями и их основные характеристики. Принципиальная схема агрегата ВАГЗ-12/24 приведена на рис. 79. ВАГЗ мощностью 0,03 и 0,14 кВт предназначены для зарядки стартерных аккумуляторных батарей.

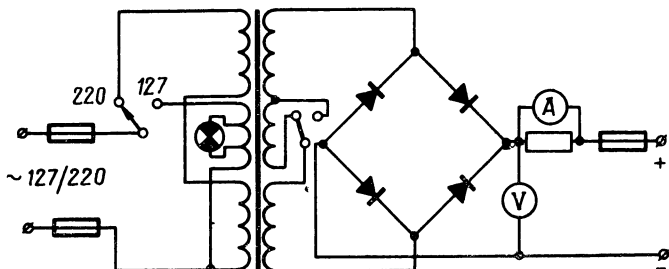


Рис. 79. Схема выпрямителя ВАГЗ-12/24-10-20



Указанные выше выпрямительные устройства, выпускаемые промышленностью, предназначены для обслуживания сравнительно большого аккумуляторного хозяйства. В ряде случаев можно использовать более простые выпрямители, пригодные для зарядки маломощных аккумуляторов КН, ЖН и КНБ,

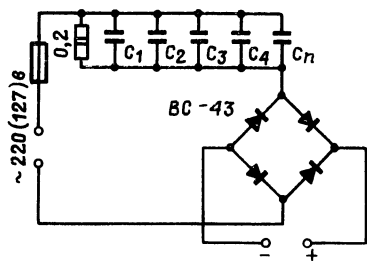


Рис. 80. Принципиальная схема бестрансформаторного двухполупериодного выпрямителя, собранного по мостовой схеме, для заряда аккумуляторных батарей

серебряно-цинковых и серебряно-кадмиевых, герметичных КН типа Д, ЦНК и КНГ. Изготовление таких выпрямителей вполне возможно своими силами.

Большой интерес представляют бестрансформаторные выпрямители, схемы которых разработаны С. П. Фурсовым. Достоинством бестрансформаторных выпрямителей являются чрезвычайная простота их изготовления и высокие техни-

ческие и эксплуатационные характеристики, вследствие чего эти выпрямители (учитывая также их несомненные преимущества по габаритам и весу в сравнении с однопериодными образцами промышленных выпрямителей) должны найти широкое применение.

На рис. 80 изображена схема простейшего бестрансформаторного выпрямителя, а на рис. 81 — более сложная с емкостным делителем напряжения, рассчитанная на выходную мощность 0,5 кВт.

В схеме рис. 80 емкость конденсаторов определяется по формуле

$$C = 3250 \frac{I_z}{U_c}, \text{ мкф,}$$

где  $I_z$  — зарядный ток, а  $U_c$  — напряжение сети.

Для получения зарядного тока 2 а при напряжении сети 220 в емкость батареи конденсаторов составит  $C = 3250 \cdot 2/220 = 32 \text{ мкф}$ .

Выпрямитель по схеме рис. 81 имеет емкостной делитель, образованный конденсаторами  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ , включение и выключение которых производится соответствующими тумблерами, а тем самым изменяется вели-

чина выпрямленного тока. Для предохранения вентилей от пробоя при включении и выключении выпрямителя и улучшения его выходной характеристики в схеме имеется дроссель Др. Неоновая лампа на входе выпрямителя служит для индикации включения и для разряда конденсаторов после выключения выпрямителя.

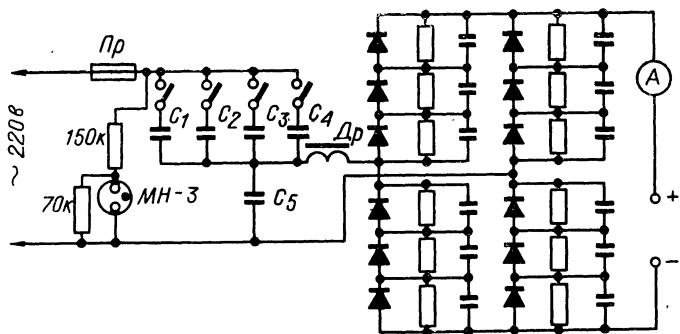


Рис. 81. Схема бестрансформаторного выпрямителя с емкостным делителем

Так как применяемые в выпрямителях вентили имеют разброс по вольтамперным характеристикам и их обратные сопротивления неодинаковы, то вентили в последовательных цепях, как это имеет место в схеме рис. 81, имеют неодинаковые обратные напряжения. В случае пробоя одного из вентилей на остальные будет приходиться повышенное напряжение, что может привести к выходу из строя всех вентилей в данном плече выпрямителя. Поэтому в целях предотвращения пробоя вентилей применяется их шунтирование активными сопротивлениями. Величина шунтирующего вентиль сопротивления выбирается такой, чтобы она не превышала обратное сопротивление вентиль.

Необходимо иметь в виду, что в бестрансформаторных выпрямителях можно применять только бумажные конденсаторы типа КБГ, МБГП, МБГЧ, МБГО и др. Использовать в схемах этого типа различные электролитические конденсаторы нельзя, так как при прохождении тока большой плотности происходит разложение электролита, сопровождаемое обильным газовыделением, что вызывает разрыв конденсатора.

Более сложные схемы с применением силового трансформатора и электронным регулятором зарядного тока описаны в журнале «Радио» № 7 за 1966 год.

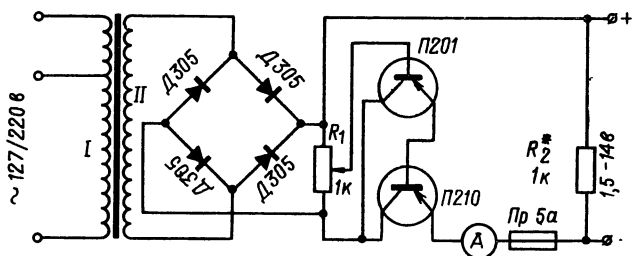


Рис. 82. Схема выпрямителя для зарядки аккумуляторов с выпрямленным током до 6 а

В схеме, приведенной на рис. 82, переменное сопротивление  $R_1$  позволяет изменять зарядный ток в пределах от 25 ма до 6 а, а сопротивление  $R_2$  — выходное напряжение выпрямителя от 1,5 до 14 в. Вторичная обмотка трансформатора состоит из 45 витков провода ПЭВ 1,5. Сечение сердечника 6 см<sup>2</sup>. Первичная обмотка

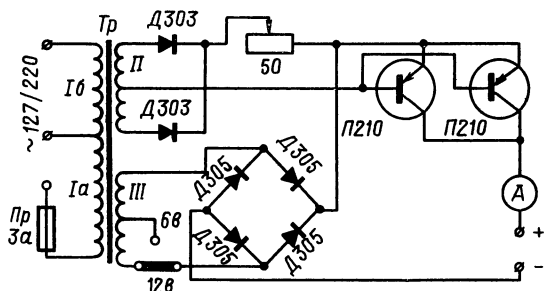


Рис. 83. Схема выпрямителя для зарядки аккумуляторов с выпрямленным током до 10 а

для напряжения 220 в имеет 675 витков провода ПЭВ 0,35. Транзистор  $T_1$  устанавливается на медном или алюминиевом радиаторе толщиной 3 мм, площадью не менее 180 см<sup>2</sup>.

В схеме, приведенной на рис. 83, транзисторы включены параллельно, что позволяет увеличить зарядный ток на выходе выпрямителя до 10 а. Вторичная обмотка

трансформатора — провод ПЭВ 1,87, 82 витка (41+41 виток), секционирована для переключения при зарядке 6-вольтовых и 12-вольтовых аккумуляторных батарей. Сердечник трансформатора УШ35×35. Обмотка Ia состоит из 328 витков ПЭВ 0,85, обмотка Ib — из 233 витков ПЭВ 0,63. Обмотка III — 7+7 витков ПЭВ 0,63. Для зарядки малогабаритных кадмий-никелевых аккумуляторов промышленностью выпускается большое количество

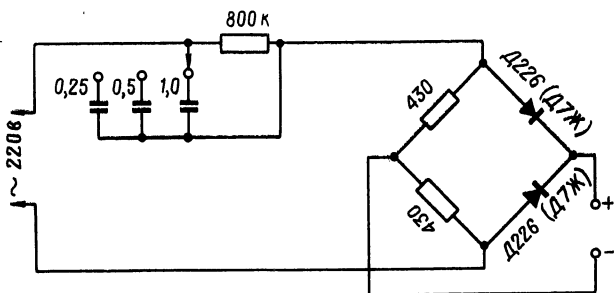


Рис. 84. Выпрямитель для зарядки герметичных дисковых и цилиндрических КН аккумуляторов с током заряда 12, 25 и 50 ма

самых разнообразных выпрямительных устройств. Однако большинство таких выпрямителей с целью удешевления построены по однополупериодной схеме, что приводит к уменьшению срока службы герметичных дисковых и цилиндрических аккумуляторов.

Наиболее полно требованиям длительной эксплуатации дисковых и цилиндрических герметичных аккумуляторов отвечает схема, предложенная Б. М. Плоткиным (рис. 84). Схема рассчитана на зарядку герметичных КН аккумуляторов и аккумуляторных батарей током 24 ма с конденсатором 0,5 мкф.

Изменением емкости разделительного конденсатора можно изменять ток на выходе выпрямителя. Увеличение емкости конденсатора в целое число раз обеспечивает пропорциональное увеличение тока. Так, например, увеличение емкости до 4 мкф, т. е. в 8 раз, дает возможность получить зарядный ток  $24 \times 8 = 192$  ма. В выпрямителе не разрешается применение электролитических конденсаторов, поскольку он относится к бестрансформаторной схеме.

Зарядка миниатюрных аккумуляторных батарей, таких, как  $2 \times 2Д-0,1$  или  $7Д-0,1$ , может производиться в полевых условиях от любых источников постоянного тока, в частности от автомобильных аккумуляторов напряжением 12 в или бортовой сети напряжением 27 в. Для зарядки аккумуляторной батареи  $2 \times 2Д-0,1$  от 12-вольтовой аккумуляторной батареи необходимо в зарядную цепь включить последовательно ограничительное сопротивление МЛТ на 110 ом, как это показано на рис. 85.

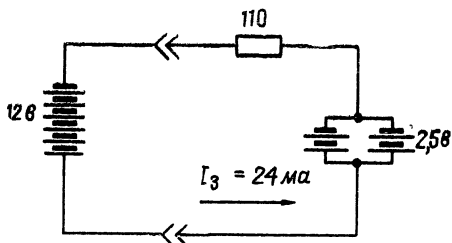


Рис. 85. Схема зарядки батареи  $2 \times 2Д-0,1$  от автомобильного аккумулятора

Для батареи  $7Д-0,1$ , зарядный ток которой составляет 12 ма, требуется сопротивление 300 ом.

В приведенных выше случаях время полного заряда составит 15—16 часов. В случае необходимости частично разряженным батареям может быть дан подзаряд, время которого определяется величиной утраченной емкости.

### Электролиты

В современных аккумуляторах применяются следующие щелочные электролиты.

Для кадмий-никелевых безламельных аккумуляторов КНБ — летний электролит из раствора едкого кали плотностью 1,19—1,21 с добавкой моногидрата лития из расчета 20 г  $LiOH$  на литр раствора; зимний электролит из раствора едкого кали плотностью 1,27.

Для никель-цинковых аккумуляторов — электролит из раствора едкого кали плотностью 1,18 с добавкой моногидрата лития из расчета 5 г на один литр раствора.

Для серебряно-цинковых аккумуляторов — электролит из раствора химически чистого едкого кали плот-

ностью 1,40 или электролит той же плотности, но с добавкой окиси цинка.

Для серебряно-кадмиевых аккумуляторов — электролит из раствора химически чистого едкого кали плотностью 1,40.

Электролит для кадмий-никелевых безламельных аккумуляторов КНБ можно приготовить из твердого едкого кали марки А. Для этого куски щелочи, отбитые железным зубилом, растворяются в дистиллированной или дождевой воде или в воде, признанной саннадзором годной для питья (ни в коем случае не пользоваться минеральной водой или водой из соленых озер или морской водой), из расчета 30 г твердой едкой щелочи на 70 г воды. Такой раствор будет соответствовать плотности 1,29.

Для получения электролита плотностью 1,19 берется 20 г твердого едкого кали на 80 г воды.

Для безламельных аккумуляторов КНБ можно применять и жидкий электролит, состав которого приведен в табл. 25. Такой электролит имеет плотность 1,514, значительно превышающую практически применяемую в аккумуляторах, вследствие чего концентрированный электролит разбавляют.

Т а б л и ц а 25

Технические условия на едкий калий (ГОСТ 9285—59)

Сорт	Содержание KOH, не менее, %	Примесей, не более, %				
		$K_2CO_3 + Na_2CO_3$	Хлориды (Cl <sup>-</sup> )	Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	Железо	Едкий натр
Твердый марки А . . . . .	96	2,5	0,75	0,2	0,03	2,0
Жидкий марки В . . . . .	50	1,5	0,75	0,2	0,01	2,0

Для получения электролита нужной плотности жидкий электролит, приготовленный из твердой щелочи, или жидкий готовый электролит, ГОСТ 9285—59 разбавляется водой в количестве, указанном в табл. 26.

Например, для получения разбавленного электролита плотностью 1,20 из готового жидкого электролита плотностью 1,48 необходимо к 1 л последнего добавить 1,546 л воды.

Таблица 26

## Приготовление электролита из концентрированных растворов

Плотность концентрированного раствора КОН при +25°	Количество воды в г, добавляемое к одному литру концентрированного раствора КОН для получения электролита плотностью					
	1,19	1,20	1,21	1,25	1,26	1,27
1,22	156,7	95,9	45,8	—	—	—
1,23	207,2	144,0	91,6	—	—	—
1,24	267,4	200,8	145,9	—	—	—
1,25	313,3	244,5	187,4	—	—	—
1,26	368,6	296,9	237,5	42,2	—	—
1,27	419,3	344,8	283,3	80,8	36,9	—
1,30	580,7	497,7	429,2	203,8	154,9	113,8
1,357	916	815	733	460	401	352
1,410	1217	1102	1106	690	623	565
1,453	1492	1362	1254	901	825	761
1,483	1686	1546	1430	1050	968	899
1,530	1998	1842	1714	1291	1199	1122
1,563	2222	2055	1917	1493	1365	1282
1,597	2463	2284	2136	1653	1544	1455

Для большего удобства пользования табл. 26 следует вычертить на листе миллиметровой бумаги в виде семейства кривых, по которым можно будет легко определять количество воды, необходимое для получения электролита требуемой плотности.

В отличие от большинства электролитов, точка замерзания которых понижается с увеличением плотности, калиевый электролит обнаруживает эту закономерность только до определенной плотности, а затем с повышением плотности точка замерзания электролита смещается вверх, что иллюстрируется данными табл. 27. Поэтому при выборе электролита для КНБ аккумуляторов необходимо руководствоваться данными о температуре замерзания из табл. 27.

Таблица 27

## Зависимость точки замерзания калиевого электролита от плотности

Плотность при температуре +18°	Температура замерзания, °С
1,008	—1
1,045	—3
1,092	—8
1,140	—15
1,188	—24
1,239	—38
1,290	—59
1,344	—50
1,399	—35
1,456	—18
1,514	—8

Добавка гидрата окиси лития в электролит, предназначенный для эксплуатации аккумуляторов КНБ в диапазоне температур от  $-15^{\circ}$  до  $+40^{\circ}$  С, увеличивает отдачу емкости аккумулятором и повышает срок его службы, отчего переход с зимнего электролита на летний весьма желателен.

Электролит необходимо хранить в наглухо закрытых сосудах, так как при соприкосновении с углекислым газом, находящимся в воздухе, в электролите образуются карбонаты калия, вызывающие увеличение удельного сопротивления электролита, а следовательно, уменьшение емкости аккумулятора. Также нужно предохранять от соприкосновения с воздухом и электролит, находящийся непосредственно в аккумуляторах, а при образовании у борнов или пробок белого порошка — карбоната калия удалять его, следя за тем, чтобы порошок не попал в аккумулятор.

Электролит для серебряно-цинковых и серебряно-кадмиевых аккумуляторов готовится из твердого химически чистого едкого калия, ГОСТ 4203—48. Для приготовления электролита плотностью 1,40 берется 485 г химически чистого едкого калия, обычно гранулированного, и растворяется в 550 г дистиллированной воды при нагревании и постоянном перемешивании до полного растворения щелочи. В качестве сосуда для приготовления электролита СЦ и СК аккумуляторов должна применяться фарфоровая или стеклянная посуда из стекла № 23 и № 32, так как другие сорта стекла при воздействии на них крепкой щелочи могут выделить в электролит нежелательные примеси.

Полученный раствор профильтровывается через стеклянную или полиэтиленовую воронку с ватой в сосудах, предназначенные для хранения. Очень хорошо сохраняется электролит в полиэтиленовых флягах, как это делается в комплектах батарей ЗСЦ25.

Электролит, приготовленный указанным выше способом, является основным и им заливаются аккумуляторы, вводимые в эксплуатацию. Для доливки аккумуляторов, бывших в работе, применяется электролит плотностью 1,36, для приготовления которого берется 470 г едкого калия той же марки на 500—600 г дистиллированной воды. Готовый электролит проверяется на плотность ареометром. Необходимо иметь в виду, что плот-



ность электролита в щелочных аккумуляторах не изменяется в процессе заряда и разряда аккумулятора, однако при соприкосновении с воздухом плотность щелочного электролита может измениться за счет образования карбонатов, поэтому периодическое измерение плотности электролита желательно.

Выше уже указывалось на нежелательность примесей в электролите, применяемом для заливки серебряно-цинковых и серебряно-кадмиевых аккумуляторов. Особенно вредными являются примеси железа. Поэтому при приготовлении электролита из чистой щелочи необходимо принимать меры предосторожности от попадания железа в электролит. Для электролита СЦ аккумуляторов допускается содержание железа не более 0,003 г на литр раствора.

Так как повышенное содержание железа в электролите особенно сильно сказывается на образовании дендритов цинка, требования к чистоте электролита остаются в силе и для никель-цинкового аккумулятора, срок службы которого невелик именно из-за образования электропроводящих мостиков дендритами цинка.

### Способы заряда аккумуляторов

Заряд большинства аккумуляторов производится при постоянной величине зарядного тока. При этом поддержание постоянства тока осуществляется изменением величины сопротивления, включенного в зарядную цепь.

Начальная и конечная величины сопротивления реостата определяются из выражений:

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{в}} - n \cdot U_{\text{н}}}{I_{\text{зар}}}; \quad R_{\text{к}} = \frac{U_{\text{в}} - n \cdot U_{\text{к}}}{I_{\text{зар}}},$$

где  $U_{\text{в}}$  — напряжение выпрямителя,  $U_{\text{н}}$  и  $U_{\text{к}}$  — напряжение на аккумуляторе или батарее в начале и конце заряда,  $n$  — число аккумуляторов в батарее,  $I_{\text{зар}}$  — ток заряда.

Напряжение выпрямителя всегда должно быть больше конечного зарядного напряжения аккумулятора или батареи.

Конечное напряжение заряда составляет (из расчета на один аккумулятор):

— серебряно-цинковых аккумуляторов — не более 2,1 в,

— никель-цинковых аккумуляторов — не более 2,1 в,  
— серебряно-кадмиевых аккумуляторов — 1,60÷1,65 в,  
— кадмий-никелевых безламельных аккумуляторов — 1,7 в,

— кадмий-никелевых герметичных аккумуляторов КНГ — 1,5 в,

— кадмий-никелевых дисковых и цилиндрических герметичных аккумуляторов — 1,48÷1,50 в.

Заряд серебряно-цинковых аккумуляторов по сравнению с другими аккумуляторами (КН, ЖН, КНБ и др.) является более сложным и требует точного выполнения инструкций заводов-изготовителей, так как в противном случае электрические и эксплуатационные характеристики заводами не гарантируются.

Так как новые не бывшие в употреблении СЦ аккумуляторы не имеют электролита, то первой операцией по приведению их в рабочее состояние является пропитка. Пропитка аккумуляторов может производиться как в барокамере, так и без нее. Пропитка в барокамере значительно сокращает общее время ввода аккумуляторов в действие, так как позволяет уже на первых циклах получить требуемую емкость. Однако в большинстве случаев пропитка СЦ аккумуляторов производится при нормальном атмосферном давлении.

Для пропитки СЦ аккумуляторы при помощи воронки или специальным шприцем заливаются электролитом до уровня, обозначенного на банке аккумулятора верхней чертой, после чего производится проверка вольтметром наличия э. д. с. Затем аккумуляторы выдерживаются при нормальном давлении 10—12 часов и доливаются электролитом до уровня верхней черты, после чего они помещаются с открытыми горловинами в барокамеру с уменьшенным на 20—35 мм рт. ст. давлением, где выдерживаются 2—3 минуты. Затем давление поднимается до нормального. Такая операция повторяется 5—6 раз, после чего производится доливка аккумуляторов электролитом до уровня верхней черты и аккумуляторы выдерживаются при нормальном давлении 8—10 часов.

Пропитка без барокамеры при нормальном атмосферном давлении производится в течение двух суток с постепенной добавкой впитавшегося электролита, с тем чтобы по окончании пропитки уровень электролита достигал верхней черты.

После пропитки следует формировка аккумуляторов, которая производится путем заряда аккумуляторов током, величина которого зависит от типа аккумулятора (см. табл. 19). Продолжительность заряда 15—18 часов. Во время заряда необходимо тщательно следить за напряжением на отдельных аккумуляторах, особенно к концу заряда, с тем чтобы не допустить повышения напряжения более 2,05—2,10 в на один аккумулятор.

Если во время заряда отдельные аккумуляторы будут иметь напряжение свыше 2,05 в раньше указанного времени, то заряд необходимо прекратить на 2—3 часа, а затем продолжить до конечного напряжения 2,1 в. Зарядная емкость на формировочном цикле должна составлять 150—160% номинальной емкости аккумулятора.

После первого формировочного заряда аккумуляторы помещаются в барокамеру, где выдерживаются в течение 2—3 минут при пониженном давлении для лучшей пропитки пластин. Такая операция также повторяется 5—6 раз и, если это необходимо, сопровождается доливкой электролита до уровня верхней черты.

При отсутствии барокамеры выдержка аккумуляторов после первого формировочного заряда должна составлять 12—15 часов. Разряд аккумуляторов после выдержки производится тем же током, что и заряд до конечного напряжения 1,0 в на аккумулятор.

Второй формировочный заряд проводится в том же режиме, что и первый, но разрядный ток после отстоя должен быть рабочим, т. е. таким, какой будет иметь место при эксплуатации аккумулятора. Нормальный рабочий заряд отформированных аккумуляторов или аккумуляторов, уже бывших в эксплуатации, производится током формировочного заряда до набора зарядной емкости 150—160% номинальной.

Контроль напряжения на отдельных аккумуляторах, особенно в конце заряда, необходим, так как превышение напряжения приведет к переполюсовке аккумулятора и его выходу из строя.

В процессе заряда необходимо контролировать температуру, не допуская сильного разогрева отдельных аккумуляторов, что, как правило, указывает на появление короткого замыкания между пластинами. Такие аккумуляторы подлежат немедленному отключению из зарядной цепи, так как дальнейший их заряд может при-

вести к оплавлению сосудов и фонтанированию электролита.

Рабочий заряд серебряно-цинковых аккумуляторов необходимо проводить в последовательной цепи. Параллельное соединение СЦ аккумуляторов как при заряде, так и разряде не рекомендуется, так как отдельные аккумуляторы, недоразряженные по тем или иным причинам, начнут заряжать аккумуляторы в параллельной цепи, что вызовет нарушение режима заряда и может привести к переполновке отдельных аккумуляторов.

В результате работ, проведенных В. В. Романовым (и другими исследователями), установлено, что некоторые из отрицательных качеств СЦ аккумуляторов могут быть устранены путем заряда асимметричным током. Заряд СЦ аккумуляторов асимметричным током, полученным путем шунтирования диода в выпрямителе сопротивлением, приводит к значительному снижению начального напряжения при разряде и выравниванию кривой разряда, что объясняется увеличением омического сопротивления аккумулятора, происходящим в результате электрохимических процессов на серебряном электроде под действием асимметричного тока. Заряд асимметричным током в течение 20 часов до конечного напряжения 2,05 в приводит к увеличению срока службы аккумуляторов СЦД5 и СЦД12 на 30—50% и устраняет необходимость проведения формировочных зарядно-разрядных циклов для аккумуляторов, вводимых в эксплуатацию.

Для ввода в работу новых аккумуляторов достаточно провести один заряд асимметричным током той же продолжительности, что и заряд постоянным током. При этом емкость, отдаваемая при разряде СЦ аккумуляторами, заряженными асимметричным током, увеличивается на 45—60%.

По данным Р. Ю. Бека и Н. Т. Кудрявцева, плотный осадок цинка может быть получен при наложении на постоянный ток переменной составляющей, причем при соотношении плотности постоянного тока к плотности переменного тока, равном  $1:1,7 \text{ а/дм}^3$ , плотный осадок цинка получается при температуре  $+30^\circ \text{С}$ , а при соотношении  $1,5:3 \text{ а/дм}^3$  при температуре  $+50^\circ \text{С}$ . При этом указывается, что наложение переменного тока препятствует развитию дендритов цинка. Периодическое изме-

нение направления и пульсации тока с частотой 1—2 гц улучшает плотность осадка цинка на катоде. Электролит — натриевый.

В работе В. Н. Флерова, также посвященной вопросам влияния переменного тока на электродные процессы в цинкатых электролитах, показано, что при соотношении плотности переменного тока к плотности постоянного, равном 3:1, полностью устраняется образование губки на цинковом электроде и осадок получается плотным.

Таким образом, в настоящее время можно считать решенным вопрос получения плотного осадка цинка на катоде при процессах заряда как аккумуляторов, имеющих в качестве отрицательного электрода цинк, так и гальванических элементов МЦ и ВЦ электрохимических систем, а также ртутно-цинковых элементов.

Для серебряно-цинковых аккумуляторов рекомендуются следующие режимы заряда асимметричным током, повышающие общую зарядную емкость и устраняющие повышенное напряжение в начале разряда, приведенные в табл. 28.

Таблица 28

**Режим заряда серебряно-цинковых аккумуляторов  
асимметричным током**

Тип аккумулятора	Зарядный ток		Время заряда, ч
	постоянный ток, а	переменный ток, а	
СЦД3 . . . . .	0,25	1—1,5	30
СЦД5 . . . . .	0,5	2—3	28
СЦД12 . . . . .	0,5	2—3	30
СЦД15 . . . . .	0,8	3,5—5	30
СЦД18 . . . . .	1,0	4—6	30
СЦД25 . . . . .	1,5	6—8	30
СЦД40 . . . . .	2,5	10—13	32
СЦД50 . . . . .	3,0	12—15	33
СЦД70 . . . . .	5,0	20—25	30
СЦД70 . . . . .	3,0	12—15	50
СЦМ3 . . . . .	0,25	1—1,5	21
СЦМ5 . . . . .	0,35	1,5—2	21
СЦМ12 . . . . .	0,5	2—3	19
СЦМ15 . . . . .	0,8	3,5—5	21
СЦМ18 . . . . .	0,8	3,5—5	21
СЦМ25 . . . . .	1,5	7—10	24
СЦМ50 . . . . .	2,5	10—13	22

Одна из схем устройства для получения асимметричного тока приводится на рис. 86.

Для улучшения характеристик никель-цинкового аккумулятора также целесообразно применять заряд асимметричным током в сочетании с периодическими глубокими разрядами с целью исключения возможности перезаряда цинкового электрода, вызывающего дендри-тообразование.

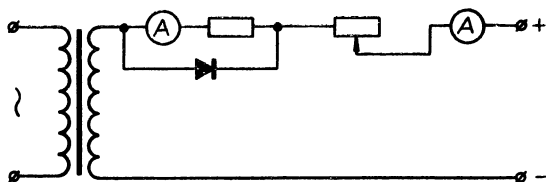


Рис. 86. Принципиальная схема устройства для зарядки СЦ и НЦ аккумуляторов асимметричным током

Заряд серебряно-кадмиевых аккумуляторов, как указывалось в главе второй, проводится при постоянном напряжении, т. е. током, величина которого в процессе заряда уменьшается. Это ограничение действительно для герметичных СК аккумуляторов. Для СК аккумуляторов с ограниченной герметичностью, заряд которых ведется с открытыми горловинами, можно применять как ступенчатый, так и непрерывный заряд током постоянной силы. При этом общая зарядная емкость, сообщаемая СК аккумулятору, должна составлять 110—115% его номинальной емкости.

Заряд СК аккумулятора должен производиться возможно малым током, так как заряд током большой силы (в короткий промежуток времени) в значительной мере снижает разрядную емкость СК аккумулятора, как, впрочем, и других вторичных источников тока.

Особенно тщательно надо следить за напряжением в конце заряда: в процессе заряда СК аккумулятора (рис. 48) резкий подъем напряжения имеет место после 2—3 часов заряда и в конце заряда — на 11—12 часе, когда напряжение на аккумуляторе резко идет вверх. Этот подъем напряжения является наиболее опасным,

так как после перехода напряжения через 1,6—1,65 в начинается выделение газов и аккумуляторный сосуд деформируется. Поэтому при заряде серебряно-кадмиевых герметичных аккумуляторов контроль напряжения в конце заряда необходим так же, как и для серебряно-цинковых.

В главе второй отмечались особенности заряда кадмий-никелевых безламельных аккумуляторов, связанные с их конструкцией. Необходимо иметь в виду, что приведенные в главе второй данные по времени выдержки аккумуляторов КНБ с открытыми горловинами для выхода газов могут быть уменьшены при проведении заряда в ступенчатом режиме.

Ступенчатый режим заряда проводится в два периода: 1-й, когда аккумулятору или батарее сообщается зарядная емкость, равная 60% его номинальной емкости (при номинальном зарядном токе), и 2-й, когда аккумулятору сообщается зарядная емкость, равная 100% номинальной, но током, величина которого в два раза меньше номинального зарядного тока.

Ступенчатый режим следует применять в тех случаях, когда от аккумулятора необходимо получить полную емкость, а также в тех случаях, когда вдруг обнаруживается падение емкости от цикла к циклу.

Аккумулятор, потерявший часть своей емкости, необходимо зарядить так называемым уравнительным зарядом, сущность которого состоит в длительном заряде током малой плотности не более 3—5% значения номинальной емкости аккумулятора. При этом аккумулятор должен набрать не менее 200% своей номинальной емкости. Уравнительный заряд способствует более полному восстановлению активных масс аккумулятора.

В ряде случаев требуется зарядить батарею в короткий промежуток времени. Форсированный заряд КНБ аккумуляторов и батарей производится током в 2—3 раза больше номинального. При этом зарядная емкость должна быть около 200% номинальной. Так как форсированные режимы заряда неблагоприятно отзываются на отдаче емкости аккумуляторами и приводят к сокращению срока службы, необходимо после нескольких форсированных зарядов провести уравнительные заряды с замером емкости на контрольных разрядных циклах номинальным для данной батареи током разряда.

Выдержка аккумуляторов типа КНБН в течение 24 часов после заряда для выхода газов является обязательной, так как в противном случае сосуды аккумуляторов могут быть разорваны.

Заряд безламельных КН аккумуляторов лучше всего производить при температуре  $+5 \div +35^\circ \text{C}$ , так как заряд при пониженной температуре приводит к недобору зарядной емкости, а при повышенной температуре уменьшается срок службы аккумуляторов.

Разряд КНБ аккумуляторов, особенно тех, что эксплуатируются с глухими зарядными пробками, следует производить до напряжения не ниже 2 в.

### Зарядка и восстановление гальванических элементов и батарей

Разработанная в последнее время нашей промышленностью марганцево-цинковая батарея «Финиш» помимо высоких удельных характеристик, обеспечивающих длительное время разряда, обладает еще одним замечательным свойством — способностью к перезарядке. Техническими условиями на батарею «Финиш» гарантируется отдача 10% номинальной емкости при последующих 20—25 перезарядках. Однако способностью отдавать емкость после проведения зарядки обладают и широко распространенные элементы и батареи ФБС, КБС, «Крона» и др. при условии, что подзаряды производятся в пределах срока сохранности элемента или батареи, а также при условии отсутствия повреждений цинкового стакана или изолирующей оболочки элемента. Зарядка марганцево-цинковых элементов и батарей производится асимметричным током, обеспечивающим получение плотного осадка цинка на отрицательном электроде.

Существует несколько схем получения асимметричного тока. Простейшая схема выпрямителя для зарядки МЦ и РЦ элементов и батарей приведена на рис. 87. Более сложные схемы, предложенные В. В. Романовым (рис. 88), также рассчитаны на использование понижаю-

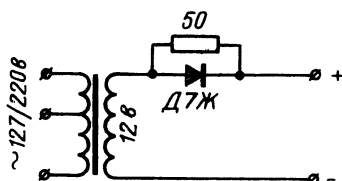
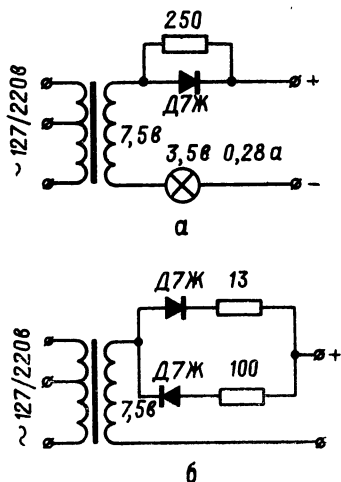


Рис. 87. Схема простейшего устройства для зарядки МЦ и РЦ элементов и батарей асимметричным током

Существует несколько схем получения асимметричного тока. Простейшая схема выпрямителя для зарядки МЦ и РЦ элементов и батарей приведена на рис. 87. Более сложные схемы, предложенные В. В. Романовым (рис. 88), также рассчитаны на использование понижаю-



щего трансформатора с выходным напряжением 7,5 в, что позволяет применять их для зарядки батарей с напряжением 4,5 в и ниже. Одна из схем (схема а) использует для пропускания переменной составляющей диод, шунтированный небольшим сопротивлением. Лампочка 3,5 в, 0,28 ма, включенная в зарядную цепь, служит стабилизатором тока и одновременно выполняет роль индикатора конца заряда батареи, который определяется по уменьшению яркости накала нити.



**Рис. 88.** Схемы для заряда МЦ элементов и батарей асимметричным током:

а — с индикатором; б — с уравнивающей цепью

Другая схема (б) для получения асимметричного тока использует два включенных навстречу диода. Окончание заряда батареи в этой схеме определяется по прекращению роста напряжения, которое после достижения 6 в (для батарей КБС) уже не повышается вследствие уравнивания токов в обеих параллельных ветвях и протекания только переменной составляющей, не вызывающей увеличения напряжения.

При использовании этих схем необходимо в процессе заряда контролировать как напряжение постоянного тока, так и переменную составляющую. Заряд батарей КБС, разряженных не ниже 2,3—2,4 в, продолжается с помощью описанных устройств в течение 12—14 часов, с тем чтобы сообщить батарее 140—160% номинальной емкости.

Схема, предложенная Е. Гумеля, не имеет понижающего трансформатора и питается от сети переменного тока 127/220 в (рис. 89). Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  должны выдерживать напряжение 250 в. Конденсаторы могут быть заменены сопротивлениями 4,7 к мощностью 4 вт. Схема предназначена для подзарядки батарей, частично разряженных, но не более чем до напряжения 1,1 в на один элемент, так как зарядка с помощью такой схе-

мы предусматривает восстановление только положительного электрода путем окисления  $\text{MnOOH}$  в  $\text{MnO}_2$ .

Восстановление отработанных галетных батарей может быть произведено по способу, рекомендованному Е. Шестаковым, когда блоки галет кипятятся в растворе

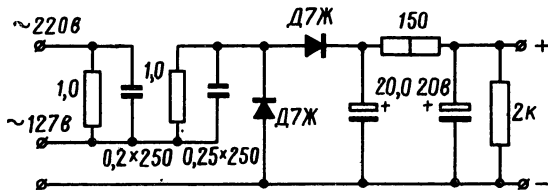


Рис. 89. Выпрямитель для подзаряда элементов и батарей ФБС, КБС, «Крона» и др.

нашатыря (150 г  $\text{NH}_4\text{Cl}$  на 500 г воды). Блоки кипятятся до разбухания галет, после чего охлаждаются в холодной воде, насухо вытираются и заново перевязываются для упаковки в батарею. После упаковки производится формировка батарей, заключающаяся в подзаряде постоянным током в течение 2—6 минут. При этом источник тока должен иметь напряжение, на 20—30% превышающее напряжение заряжаемой батареи.

Другой способ частичного восстановления работоспособности стаканчиковых элементов и батарей состоит в просверливании нескольких отверстий в стаканчике элемента для обеспечения доступа кислорода воздуха к марганцевому электроду. В полевых условиях стаканчики с отверстиями можно на несколько минут погрузить в воду для увлажнения высохшего электролита. Конечно, элементы после такого примитивного восстановления не будут работать долго, но на некоторое время они все же могут оказаться работоспособными.

### Некоторые неисправности аккумуляторов и способы их устранения

В процессе эксплуатации аккумуляторов происходят различные нарушения их работы, связанные либо с небрежным уходом и отступлениями от установленных инструкциями правил, либо с непредвиденными обстоятельствами, когда источник тока выходит из строя.

Основные виды нарушений нормальной работы аккумуляторов и способы их устранения приведены в табл. 29.

Т а б л и ц а 29

**Некоторые неисправности щелочных аккумуляторов  
и способы их устранения**

Характер неисправности и тип аккумулятора	Причина неисправности	Способ устранения
Нет напряжения на зажимах батареи. КН, ЖН, КНБ, Д, ЦНК	Отсутствие контакта в соединениях между аккумуляторами Отсутствие электролита Короткое замыкание между пластинами или блоками пластин	Затянуть гайки на перемычках, припаять шину Залить электролит Передать аккумулятор в ремонт
Повышенный саморазряд. КН, ЖН, КНБ, СЦ, Д, ЦНК, КНГ	Короткое замыкание по поверхности крышек и через изолирующие прокладки. Утечки через мостики по выступившим солям Примеси в электролите	Осмотреть и очистить крышки, заменить прокладки, очистить крышки и отводы от солей Сменить электролит
Потери емкости. КН, ЖН, КНБ, СЦ, Д, ЦНК, КНГ	Недостаточный уровень электролита Систематический недозаряд Короткие замыкания и утечка тока Вредные примеси в электролите	Исправить пробки, долить электролит Уравнительный заряд То же, что и при саморазряде Сменить электролит
Быстрое образование ползучих солей. КН, ЖН, КНБ, Д, СЦ, ЦНК	Плохая затяжка борнов Высокий уровень электролита Высокая плотность электролита Плохая герметизация крышки	Затянуть гайки у борнов Отобрать электролит Добавить воды Очистить крышку и промазать ее клеем БФ-2
Плохая работоспособность при низких температурах. КН, ЖН, КНБ, Д	Низкая плотность электролита Избыток карбоната калия в электролите, систематический недозаряд	Сменить электролит Провести два формовочных заряд-разрядных цикла

Характер неисправности и тип аккумулятора	Причина неисправности	Способ устранения
Выделение пены. КН, КНБ, СЦ	Примеси органических веществ в электролите	Сменить электролит
Чрезмерный нагрев перемычек и борнов. КН, КНБ, СЦ	Плохой контакт в борнах Высокий уровень электролита Короткие замыкания между пластинами	Зачистить перемычки Отобрать электролит Отдать в ремонт
Вспучивание сосудов. КН, КНБ, СЦ, Д	Заряд при глухих пробках или забитых вентиляционных отверстиях, тугие кольца на пробках Чрезмерный зарядный ток (Д)	Отвинтить пробки, прочистить каналы, заменить резиновые кольца Зажать дисковый аккумулятор через изолирующие прокладки в тисках и провести два заряд-разрядных цикла с постепенным поджатием

### Ремонт безламельных кадмий-никелевых, серебряно-цинковых, герметичных дисковых и цилиндрических аккумуляторов

В случае выхода аккумулятора из строя из-за отрыва пластин от полюсных борнов, внутреннего короткого замыкания из-за разрушения сепарации, попадания внутрь аккумулятора металлических предметов или образования осадка (шлама), который нельзя удалить промывкой, аккумулятор необходимо разобрать, для чего крышку надо отделить от корпуса.

Способ отделения крышки от корпуса зависит от материала сосуда.

Для металлических сосудов аккумуляторов возможность ремонта с устранением внутренних дефектов определяется наличием в мастерской сварочного аппарата. Крышки аккумуляторов, подлежащих разборке, опиляются по сварному шву до появления стыка между

крышкой и корпусом, после чего крышка с блоком пластин извлекается из сосуда.

Отделение крышек пластмассовых сосудов производится либо тонкой фрезой, либо остро отточенным тонким резакон, изготовленным из ножовочного полотна.

После устранения неисправности крышка металлического сосуда с блоками пластин осторожно устанавливается в свой сосуд и аккуратно заваривается по шву крышки. При этом необходимо избегать перегрева остальных частей аккумулятора, особенно нижней его части, где сепарация прилегает к корпусу. В безламелльных аккумуляторах, где пластины крепятся к общему мостику, оторванные пластины соединяются с мостиком только сваркой, так как в случае пайки медью или серебром место соединения быстро разрушится под действием коррозии.

После тщательного осмотра блоков пластин находят места с поврежденной сепарацией и заменяют ее новой, а разрушенную полиамидную жилку заменяют новой того же сечения (можно пользоваться рыболовной леской). Если на дне сосудов есть нерастворимый осадок шлама, его удаляют металлической щеткой, а сосуды хорошо промывают и высушивают. Блоки пластин после устранения повреждений также хорошо промывают в проточной воде и хорошо просушивают, для чего пластины слегка веерообразно раздвигаются.

Пластмассовые сосуды безламелльных и СЦ аккумуляторов из органического стекла и полистирола соединяются с крышками клеем, состоящим из 1% раствора органического стекла или полистирола в дихлорэтане. Для других пластмасс, кроме фторопласта, применяется эпоксидный клей (см. приложение 2).

Необходимо иметь в виду, что склеиваемые поверхности должны быть тщательно очищены от грязи и обезжирены. Чистка поверхностей производится ацетоном, чистым бензином Б-70 (или «Калоша») или спиртом в зависимости от склеиваемого материала. Сосуды и крышки из органического стекла или полистирола ни в коем случае нельзя обезжиривать дихлорэтаном, так как поверхности частично растворяются и «поплывут».

Для склеивания изделий из фторопласта-4, полиэтилена и некоторых других видов пластмасс, относящихся к группе неполярных материалов, склеиваемые поверх-

ности этих пластиков подвергают термической обработке и чистке пескоструйной установкой, после чего наносят тонкий слой клея АК-20, 88, ВКТ-3.

Ремонт серебряно-цинковых аккумуляторов заключается в переборке пластин и удалении оплывших цинковых электродов и разрушенной сепарации на тех пластинах, где имеются повреждения вследствие короткого замыкания через дендриты в виде темных проплавленных точек с ореолом. Если пластины не разрушены, а повреждена лишь сепарация, необходимо произвести замену, для чего пара пластин обрабатывается новой сепарацией из целлофана или ацетатной пленки, предварительно хорошо промытой в воде. При этом количество слоев пленки необходимо сохранить. Если нет рулонного целлофана или ацетатной пленки нужной толщины, обертку пластин малогабаритных СЦ аккумуляторов можно выполнить целлофаном, идущим на упаковку пищевых продуктов.

В случае, когда вышла из строя одна или несколько пластин, а остальные находятся в хорошем состоянии, необходимо удалить неисправные пластины, для чего производится выпаивание пучка токоотводов из борна. Перед выпаиванием токоотводов борн снимается с крышки аккумулятора, чтобы не покоробить крышку нагреванием. Взамен неисправных пластин в блок вводятся исправные пластины из другого разобранного аккумулятора или новые. Пластины из ранее работавшего аккумулятора необходимо хорошо промыть в дистиллированной воде.

Восстановление герметичных аккумуляторов (КНГ, ЦНК и дисковых) возможно лишь в том случае, если не нарушена их герметичность. Иногда встречаются аккумуляторы, не принимающие заряд, восстановление которых практически невозможно, но в ряде случаев герметичные аккумуляторы удастся восстановить почти полностью. К таким случаям относится восстановление аккумуляторов глубоко разряженных, долго не бывших в употреблении или претерпевших короткое замыкание. Аккумуляторы, пострадавшие вследствие указанных причин, восстанавливаются путем прерывистого заряда малым током, примерно в два раза меньше номинального зарядного тока. После каждого восстановительного заряда дается разряд номинальным током. Операция по-

вторяется несколько раз до восстановления номинальной емкости аккумулятора или батареи.

Соединение шин в батареях, составленных из герметичных дисковых аккумуляторов или аккумуляторов ЦНК, производится пайкой шин к корпусу или крышке аккумуляторов. Однако длительный нагрев корпуса или крышки приводит к разрушению прокладки и разгерметизации аккумулятора. Поэтому пайку шин к крышке дисковых герметичных аккумуляторов можно производить только при условии хорошего теплоотвода, например, следующим образом.

Аккумулятор помещается в плоский сосуд с водой с таким расчетом, чтобы уровень воды достигал бурта аккумулятора. На крышку аккумулятора наносится тонкий слой флюса, после чего паяльником с торцом не более 2 мм наносится на крышку капелька припоя. Крышка немедленно охлаждается тряпочкой, смоченной в воде, или кисточкой. Заранее залуженная шина из тонкой жести, латуни или меди прикладывается к сухой капельке припоя на крышке, после чего прогревается паяльником до полного расплавления припоя и плотного прилегания шины к крышке. Как только шина ляжет на место, необходимо быстро охладить место спайки и насухо его протереть.

Пайку новой шины к корпусу дискового аккумулятора лучше всего производить к бурту аккумулятора, так как пайка к днищу, как правило, вызывает газообразование и разгерметизацию аккумулятора. Для припайки залуженной заранее шины на буртик аккумулятора, зажатого в обыкновенной прищепке для белья и опущенного в воду, быстрым движением паяльника наносится тонкий слой припоя. Шине придается профиль, соответствующий переходу от боковой поверхности аккумулятора к буртику, после чего шина прикладывается к залуженному месту на буртике и паяльником наносится требуемый слой припоя.

Пайка новых шин к аккумуляторам типа ЦНК производится также при условии хорошего теплоотвода.

Таким способом хорошо удается заменять вышедшие из строя аккумуляторы в батарее 7Д-0,1. Заклейку крышки в батарее можно произвести полистироловым клеем. Клей БФ-2 для этой цели непригоден.

Описанным выше способом пайки можно осуществлять набор аккумуляторов в батареи на нужное напряжение. Так как такой способ пайки не обеспечивает достаточную прочность крепления шины, батарею, собранную из отдельных аккумуляторов, целесообразно разместить в подходящем по размеру футляре или хорошо обмотать клейкой полистироловой лентой, а затем поместить в картонный футляр, пропитанный водостойким клеем типа БФ-2.



ТАБЛИЦА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ

В кислых растворах		В щелочных растворах	
Электрохимическая система	Потенциал, в	Электрохимическая система	Потенциал, в
$\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + e$	-3,045	$\text{Ca} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2e$	-3,03
$\text{Ba} \rightarrow \text{Ba}^{2+} + 2e$	-2,90	$\text{Mg} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + 2e$	-2,69
$\text{Ca} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2e$	-2,87	$\text{Al} + 4\text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{AlO}_3 + \text{H}_2\text{O} + 3e$	-2,35
$\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + e$	-2,71	$\text{Si} + 6\text{OH}^- \rightarrow \text{SiO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4e$	-1,70
$\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2e$	-2,37	$\text{Zn} + 4\text{OH}^- \rightarrow \text{ZnO}_2^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e$	-1,216
$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3e$	-1,66	$\text{Fe} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2e$	-0,877
$\text{Mn} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2e$	-1,18	$\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + e$	-0,828
$\text{Si} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e$	-0,86	$\text{Cd} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Cd}(\text{OH})_2 + 2e$	-0,810
$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e$	-0,763	$\text{Mn}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e$	-0,05
$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e$	-0,440	$2\text{Ag} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2e$	+0,344
$\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2e$	-0,402	$4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e$	+0,401
$\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2e$	-0,356	$\text{Ni}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{NiO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e$	+0,49

В кислых растворах		В щелочных растворах	
Электрохимическая система	Потенциал, в	Электрохимическая система	Потенциал, в
$\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}$	-0,126	$\text{Ag}_2\text{O} + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{AgO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}$	+0,57
$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	-0,000		
$\text{Ag} + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl} + \text{e}$	+0,222		
$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}$	+0,337		
$\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	+0,682		
$\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}$	+0,799		
$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}$	+1,229		
$\text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}$	+1,23		
$2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}$	+1,36		
$\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}$	+1,685		
$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	+1,77		
$\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Ag}^{2+} + \text{e}$	+1,98		
$2\text{F}^- \rightarrow \text{F}_2 + 2\text{e}$	+2,87		

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### КЛЕИ И СМОЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ РЕМОНТА АККУМУЛЯТОРНЫХ СОСУДОВ

Клей БФ-2 — для склеивания стекла, фарфора, резины с пластмассой (кроме полиэтилена и термопластмасс), резины с металлом.

Клей для органического стекла — раствор оргстекла в дихлорэтано (0,5—1 %).

Клей для полистирола — раствор полистироловой стружки в дихлорэтано (2—3 %).

Эпоксидная смола (эпоксидный клей) — для склеивания пластмасс, резины с пластмассой и металлом, металлов с пластмассой (кроме фторопласта).

Смола, полимеризующаяся при комнатной температуре, готовится следующим образом. Состав: смолы ЭД-6 — 100 весовых частей, дибутилфталата — 20—25 весовых частей (пластификатор), полиэтиленполиамин — 12—14 весовых частей (отвердитель).

Смола разогревается до 80° и в нее вводится  $\frac{1}{3}$  всего количества пластификатора, после чего продолжается нагрев при той же температуре в течение часа. Затем масса охлаждается до комнатной температуры и в нее вводится остаток пластификатора и отвердитель. Вся масса энергично размешивается до получения полужидкой консистенции одинакового цвета. Окончательная полимеризация происходит через 24 часа.

Другой вид эпоксидной смолы полимеризуется при температуре 90—120°, вследствие чего эта смола может применяться для склеивания пластмасс, имеющих достаточную температурную стойкость. Ее состав: смолы ЭД-5 или ЭД-6 — 100 весовых частей, малеинового ангидрида — 35—40 весовых частей.

Способ приготовления заключается в разогреве смолы при температуре  $80^{\circ}$  и введении малеинового ангидрида, после чего масса размешивается до получения однородного цвета. Окончательная полимеризация происходит через 1,5—2 часа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Багоцкий В. С. и Флеров В. Н. Новейшие достижения в области химических источников тока. Госэнергоиздат, 1963.
2. Дасоян М. А. Химические источники тока. Госэнергоиздат, 1961.
3. Гарднер Дж. Электричество без динамомашин. Изд-во «Мир», 1965.
4. Аккумуляторы. Материалы 15-й конференции по источникам тока. ЦИНТИ ГКАиМ, 1962.
5. Новые источники тока для питания транзисторной аппаратуры. ЦИНТИ ГКАиМ, 1962.
6. Герметичные кадмий-никелевые аккумуляторы. ЦИНТИ ГКАиМ, 1962.
7. Молоткова Е. Н., Березина Н. В., Сегаль Е. Н. Электрические и эксплуатационные характеристики серебряно-кадмиевых аккумуляторов. Изд-во Новочеркасского политехнического института, 1966.
8. Теньковцев В. В., Васильев К. В. Герметичные аккумуляторы и их применение в горной промышленности. Изд-во «Недра», 1966.
9. Бек Р. Ю., Кудрявцев Н. Т. Влияние переменного тока на электроосаждение цинка. Журнал прикладной химии, 1961, т. 34, вып. 9.
10. Флеров В. Н. Влияние наложения переменного тока на электродные процессы в цинк-цинковых электролитах. Журн. прикл. химии, 1961, т. 34.
11. Флеров В. Н. Медноокисные гальванические элементы с повышенным разрядным напряжением. Журн. прикл. химии, 1961, т. 34, вып. 8.
12. Дасоян М. А., Новодережкин В. В., Томашевский Ф. Ф. Производство электрических аккумуляторов. Изд-во «Высшая школа», 1965.
13. Дамаскин Б. Б., Петрин О. А. Современная электрохимия. Изд-во «Наука», 1965.
14. Пионтковский Б. А., Серяков Н. И. Электропитание предприятий проводной связи. Изд-во «Связь», 1964.
15. Соколов П. Н. Химические источники электрической энергии. Изд-во Ленинградского университета, 1965.

16. Казакевич Г. З., Яблокова И. Е., Багоцкий В. С. Особенности поведения серебра в щелочи при поляризации асимметричным током. Журнал «Электрохимия» АН СССР, 1966, т. 2, вып. 9.

17. Как продлить жизнь батареек. Журнал «Химия и жизнь», 1967, № 3.

18. Советская электрохимия. С. А. Погодин. Вокруг электромобиля. Журнал «Химия и жизнь», 1967, № 8.

19. Л. Пенькова, М. Кочергинский и др. Электрохимические источники тока и их возможности. Журнал «Радио», 1966, № 10.

20. Архангельская З. П. Влияние соединений железа на работоспособность и срок службы серебряно-цинковых аккумуляторов. Сборник работ по химическим источникам тока. Изд-во «Энергия», 1966.

21. Котоусов С. Г., Архангельская З. П., Березина Н. В. Конструкция серебряно-цинковых аккумуляторов и батарей одноразового действия. Сборник работ по химическим источникам тока. Изд-во «Энергия», 1966.

22. Моисеев Н. Н. Аккумуляторы новых конструкций. Сборник «Новое в производстве химических источников тока», вып. 2. Изд. отделения ВНИИЭМ по научно-технической информации МЭТП. М., 1966.

23. Фурсов С. П. Выпрямители для зарядки аккумуляторов. Изд-во «Карта молдовеняске», Кишинев, 1966.

24. Лидоренко Н. С., Набиуллин Ф. Х. и др. Экспериментальная солнечная электростанция. Журнал «Гелиотехника», Ташкент, 1965, № 3.

25. Тыквенко Р. Н. Исследование некоторых свойств пленочных фотопреобразователей на основе теллурида кадмия. Журнал «Гелиотехника», Ташкент, 1966, № 1.

26. Егорова И. В., Тыквенко Р. Н., Четверикова Г. А. Пленочные фотоэлектрические преобразователи. Журнал «Гелиотехника», Ташкент, 1966, № 4.

27. Орлов В. А. Малогабаритные источники тока. Воениздат, 1965.

28. Кузнецов О. А., Стиоп Я. И. Полупроводниковые выпрямители. Изд-во «Энергия», 1966.

29. Алексеев Г. Н. Преобразование энергии. Изд-во «Наука», 1966.

30. Соминский М. С. Солнечная энергия и ее использование. Изд-во «Наука», 1965.

31. Новые автоматизированные выпрямительные устройства для электропитания аппаратуры проводной связи. Гос. изд-во литературы по вопросам связи, М., 1960.

32. Б. Васильев, А. Вардашкин. Выпрямители с электронным регулятором для зарядки аккумуляторов. Журнал «Радио», 1966, № 7.

33. Балугев В. К. Развитие военно-инженерной электротехники. Воениздат, 1958.

34. Проценко А. Н. Покорение атома. Атомиздат, М., 1967.

35. Котоусов С. Г., Архангельская З. П., Березина Н. В., Молоткова Е. Н. Источник тока на основе электрохимической пары окись серебра—кадмий. ЦИНТИ ГКАиМ, М., 1962.

36. Артамкин В. Н., Ушаков Б. А. Необыкновенные превращения атомной энергии. Атомиздат, 1966.

37. Пятницкий А. П., Сергеев Д. И., Невежин О. А. Вольтамперные характеристики термоэмиссионных преобразователей. Атомиздат, М., 1967.

38. Романов В. В. Серебряно-цинковые аккумуляторы. Воениздат, 1967.

39. Бек Р. Ю. и Кудрявцев Н. Т. Влияние переменного тока на электроосаждение цинка. Журнал прикладной химии. 1961, т. 34, вып. 9.

40. Флеров В. Н. Влияние наложения переменного тока на электродные процессы в цинкатых электролитах. Журнал прикладной химии. 1961, т. 34, вып. 7.

41. Лабутин В. К. Полупроводниковые диоды. Изд-во «Энергия», М., 1967.

42. Конфедератов И. Я. Основы энергетики. Изд-во «Просвещение», М., 1967.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Введение . . . . .	3
Глава первая. Основные характеристики источников тока . . . . .	7
Электродвижущая сила . . . . .	—
Напряжение . . . . .	9
Внутреннее сопротивление . . . . .	11
Емкость . . . . .	13
Удельные характеристики . . . . .	17
Отдача . . . . .	20
Саморазряд . . . . .	21
Срок службы и срок сохранности . . . . .	23
Устойчивость к ударным и вибрационным нагрузкам . . . . .	26
Температурный диапазон работы . . . . .	27
Обозначение источников тока . . . . .	28
Глава вторая. Химические источники тока . . . . .	32
А. Гальванические, топливные и биологические элементы . . . . .	35
Сухие марганцево-цинковые элементы и батареи . . . . .	36
Ртутно-цинковые элементы и батареи . . . . .	56
Наливные элементы и батареи . . . . .	62
Топливные элементы . . . . .	72
Биологические элементы . . . . .	81
Б. Аккумуляторы . . . . .	83
Кадмий-никелевые герметичные аккумуляторы . . . . .	—
Дисковые кадмий-никелевые аккумуляторы . . . . .	—
Цилиндрические герметичные кадмий-никелевые аккумуляторы . . . . .	93
Кадмий-никелевые герметичные аккумуляторы КНГ . . . . .	97
Безламельные кадмий-никелевые аккумуляторы . . . . .	104
Никель-цинковый щелочной аккумулятор . . . . .	114
Серебряно-цинковые аккумуляторы . . . . .	117
Серебряно-кадмиевые аккумуляторы . . . . .	129
Глава третья. Полупроводниковые источники тока . . . . .	135
Термоэлектрические источники тока . . . . .	146
Фотоэлектрические источники тока . . . . .	154
Термоэмиссионные (плазменные) источники тока . . . . .	164
Термофотоэлектрические преобразователи . . . . .	169
Сегнетоэлектрики . . . . .	171
Электреты . . . . .	174



	<i>Стр.</i>
Глава четвертая. Атомные источники тока . . . . .	176
Атомные источники тока . . . . .	—
Глава пятая. Эксплуатация источников тока . . . . .	182
Зарядные устройства . . . . .	187
Электролиты . . . . .	196
Способы заряда аккумуляторов . . . . .	200
Зарядка и восстановление гальванических элементов и батарей . . . . .	207
Некоторые неисправности аккумуляторов и способы их устранения . . . . .	209
Ремонт безламельных кадмий-никелевых, серебряно- цинковых, герметичных дисковых и цилиндрических аккумуляторов . . . . .	211
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ:</b>	
1. Таблица электрохимических потенциалов . . . . .	216
2. Клеи и смолы, применяемые для ремонта аккумуля- торных сосудов . . . . .	218
Литература . . . . .	220

*Орлов Вадим Александрович*

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Редактор *Матвеев С. П.*

Обложка художника *Лаушкина И. В.*

Технический редактор *Зудина М. П.*

Корректор *Митрошина Е. П.*

---

Г-75059.	Сдано в набор 7.2.69 г.	Подписано к печати 16.2.70 г.
Формат бумаги 84×108 <sup>1</sup> / <sub>32</sub> — 7 печ. л.	= 11,76 усл. печ. л.	11,251 уч.-изд. л.
Бумага типографская № 1	Цена 75 коп.	Тираж 17000 экз.
Изд. № 6/1400.		Зак. 719.

---

Ордена Трудового Красного Знамени  
Военное издательство Министерства обороны СССР, Москва, К-160  
1-я типография Воениздата  
Москва, К-6, проезд Сковцова-Стпанова, дом 3

Цена 75 коп.

