

621-359

0-66

В А ОРЛОВ

# МАЛОГАБАРИТНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА



*Орлов Вадим Александрович*

## МАЛОГАБАРИТНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

В брошюре в краткой форме изложены устройство и основные принципы действия источников тока, используемых для питания малогабаритной аппаратуры. Приводятся их электрические и эксплуатационные характеристики, указывается область применения.

Целью брошюры является ознакомление читателя с достижениями в области химических и полупроводниковых источников тока и основными направлениями в деле их дальнейшего совершенствования. Приведенный в брошюре справочный материал по источникам тока, выпускаемым отечественной промышленностью, и способам их эксплуатации поможет читателю решить задачу о питании той или иной малогабаритной аппаратуры.

Брошюра предназначена для широкого круга военных и гражданских читателей.

Брошюра написана по материалам отечественной и зарубежной печати.

В. А. Орлов  
Малогабаритные источники тока  
М., Воениздат, 1965 г., 192 с.

Редактор Шаргородский С. Г.  
Технический редактор Мурашова Л. А.  
Корректоры Борунова Р. В., Текучева Л. А.

Сдано в набор 8.1.64 г. Подписано к печати 31.5.65 г.

Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub> — 6 печ. л. 9,84 усл. печ. л. 9,513 уч.-изд. л.

Тираж 19000 экз. ТП 65 г. № 147

Изд. № 6/5621.

Г-12463.

Зак. 20.

1-я типография

Воспного издательства Министерства обороны СССР  
Москва, К-6, проезд Скворцова-Степанова, дом 3

Цена 43 коп.

## ВВЕДЕНИЕ

В 1960 г. мощность всех электростанций Советского Союза достигла внушительной цифры — 66 700 000 киловатт, а к 1980 г. уровень их мощности увеличится примерно в десять раз, т. е. составит около 700 000 000 киловатт. Эта поистине астрономическая цифра будет достигнута прежде всего за счет ввода в строй мощных тепловых, атомных и гидроэлектрических станций.

Немаловажную роль в деле повышения энергооборуженности страны играют и маломощные источники тока: химические, термоэлектрические, солнечные, плазменные и др.

Любое электрическое устройство, будь то карманный фонарь или космическая лаборатория, работающие без включения в электрическую сеть, требуют источников электроэнергии.

До 1952 г. основными источниками питания были кадмиево-никелевые, железо-никелевые и свинцовые аккумуляторы, одноразовые марганцево-цинковые гальванические элементы в различных модификациях и медно-окисные элементы.

Эти источники тока сыграли большую роль во всех без исключения отраслях народного хозяйства, военной технике и в быту и до последнего времени удовлетворяли требованиям потребителей. Бурное развитие народного хозяйства, появление новых отраслей техники настоятельно потребовали создания новых типов источников питания и увеличения их выпуска.

Рассмотрение широко распространенных источников тока показывает, что многие из них уже не удовлетворяют современным требованиям из-за больших габаритов и веса, плохой работы в условиях низких температур, невысоких удельных характеристик по емкости и энергии.

Основные электрические характеристики любого источника тока — напряжение в начале и в конце разряда, емкость, режим разряда, саморазряд при хранении в заряженном состоянии, удельные характеристики должны строго соответствовать предъявляемым требованиям.

Высокие требования предъявляются и к эксплуатационным характеристикам: надежности в работе, устойчивости действия в широком интервале температур, сроку службы и сроку сохранности, механической прочности, отсутствию вредных выделений во время работы.

Немаловажное значение имеет и стоимость источника тока, определяющая его массовое производство.

Широко распространенные кадмиево-никелевые, железо-никелевые и свинцовые аккумуляторы наряду с положительными качествами — относительной дешевизной, простотой обслуживания, эксплуатационной надежностью — не всегда могут быть применены в существующих образцах новой техники из-за большого веса и габаритов, невысоких характеристик при работе на морозе, невозможности работы в любом положении.

Кроме того, эти аккумуляторы чувствительны к перезаряду и перезаряду, взрывоопасны вследствие выделения водорода при работе и сравнительно неустойчивы к ударным и вибрационным нагрузкам.

Марганцево-цинковые и медноокисные элементы одноразового действия просты в эксплуатации, но плохо работают в условиях низких температур и не допускают разряда током большой силы, что резко ограничивает область их применения.

Механизация и автоматизация производства гальванических элементов обуславливают их дешевизну. Однако если учесть, что одноразовые источники тока приходят в негодность по израсходованию заложенных в них активных материалов, то в ряде случаев применение более дорогих, но неоднократно перезаряжаемых аккумуляторов является более экономичным.

Если принять стоимость одного ватт-часа гальванического элемента за единицу, то стоимость ватт-часа энергии свинцового аккумулятора составит 2 единицы, железо-никелевого — 4, кадмиево-никелевого — 8 единиц. При этом срок службы гальванических элементов равен одному циклу, в то время как срок службы свинцовых аккумуляторов лежит в пределах 50—100 циклов, а кадмиево-никелевых и железо-никелевых достигает 400—700 циклов.

Таким образом, гальванические элементы нецелесообразно применять в устройствах, рассчитанных на длительную эксплуатацию.

Улучшение существующих кадмиево-никелевых и железо-никелевых аккумуляторов шло в направлении разработки новой технологии производства пластин, а также усовершенствования конструкции самих аккумуляторов.

Появилась новая технология изготовления пластин, названная безламельной.

Безламельная технология в производстве пластин позволила создать новые аккумуляторы на базе электрохимических пар серебро — цинк и никель — цинк (открытых еще в прошлом веке).

Новая технология производства марганцево-цинковых элементов одноразового действия резко улучшила электрические характеристики гальванических элементов и позволила создать малогабаритные герметичные элементы.

Изыскания, проведенные учеными по открытию новых электрохимических пар, привели к созданию таких элементов, как окиснортутные, серебряно-магниево-свинцово-кадмиевые, марганцево-магниево-кислородно-цинковые и др.

Особых успехов достигла наука в деле создания новых источников тока, основанных на физических явлениях, происходящих в твердом теле.

Термоэлектрогенераторы, солнечные германиевые и кремниевые батареи, сегнетоэлектрические и пьезоэлектрические элементы, атомные батареи — вот далеко не полный перечень новых источников тока, применяемых в современной аппаратуре.

На рис. 1 приведены сравнительные характеристики различных источников тока по удельной энергии на единицу объема.

Квадрат, расположенный слева, обозначает величину удельной энергии гальванического элемента стаканчиккового типа старой технологии. Он принят за единицу.

Как видно из рисунка, элементы, изготавливаемые по новой технологии, значительно превышают по удельной

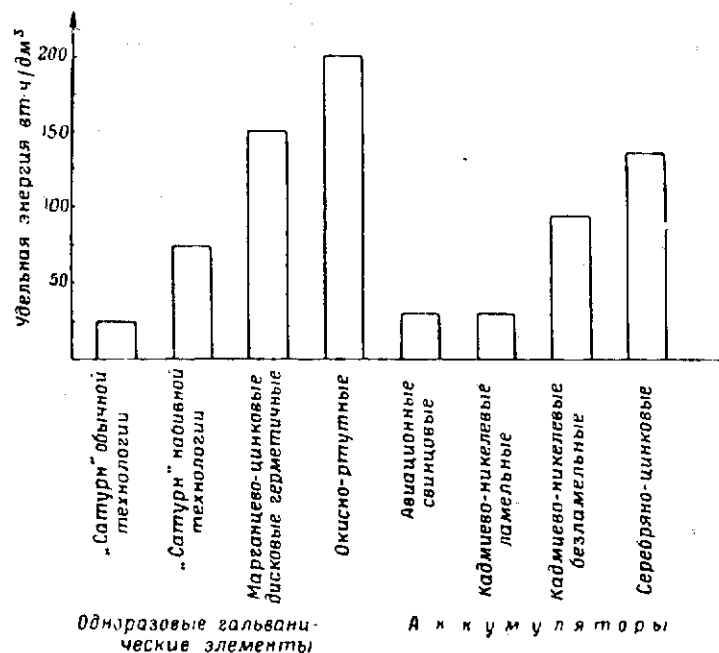


Рис. 1. Сравнительные характеристики различных источников тока по удельной энергии на единицу объема

энергии элементы старого типа, а элементы на новых электрохимических парах не имеют себе равных даже по сравнению с новыми аккумуляторами.

Конечно, и новые источники тока имеют недостатки: малый срок службы, высокая стоимость, необходимость использования драгоценных и редких металлов, но в целом электрохимической наукой сделан большой шаг вперед в разработке совершенных источников тока.

Недалеко то время, когда источники тока достигнут такой степени миниатюризации, какую имеют транзисто-

ры, с успехом заменяющие громоздкие, хрупкие и неэкономичные электронные лампы.

Задачей книги является познакомить читателя с последними достижениями в области источников тока, как выпускаемых серийно, так и с новыми источниками, принципиально отличающимися от известных химических источников тока.

В первых главах книги описаны химические и физические процессы, происходящие в источниках тока, даны объяснения электрическим и эксплуатационным характеристикам и приведены их величины, даны условные обозначения химических источников тока, установленные ГОСТ.

Справочный материал, приведенный в приложении, поможет читателю выбрать подходящие твердые выпрямители для заряда аккумуляторов и произвести необходимые технологические операции, связанные с эксплуатацией маломощных источников тока.

**КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ХИМИЧЕСКОМ И ФИЗИЧЕСКОМ  
ДЕЙСТВИИ ИСТОЧНИКОВ ТОКА**

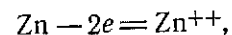
«Гальваническая цепь есть не что иное, как приспособление, аппарат, превращающий освобождающуюся химическую энергию в электричество подобно тому, как паровая машина превращает доставляемую ей теплоту в механическое движение, причем в обоих случаях совершающий превращение аппарат не прибавляет еще от самого себя какой-либо добавочной энергии». Эти слова одного из основоположников научного марксизма Ф. Энгельса очень точно характеризуют работу химических источников тока, процесс возникновения электродвижущей силы в которых определяется химическими реакциями между основными частями источника тока — его положительным и отрицательным электродами.

Разность потенциалов, возникающая между электродами химического источника тока, обязана своим происхождением реакциям окисления и восстановления. Один из электродов источника тока, окисляясь, теряет электроны и получает положительный заряд, а другой в результате реакции восстановления приобретает отрицательные ионы или электроны и заряжается отрицательно.

Это основное положение электрохимии охватывает все процессы, происходящие в современных источниках тока: гальванических элементах, аккумуляторах и топливных элементах.

Сущность электрохимических процессов, сопровождающих получение тока в химических источниках питания, целесообразно разобрать на примере работы простейшего гальванического элемента.

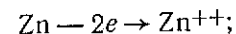
Как известно, валентные электроны в атомах металлов весьма слабо связаны с ядром. Металлы обладают способностью отдавать свои валентные электроны, приобретая при этом положительный заряд. Например, цинк с потерей своих двух валентных электронов становится электроположительным:



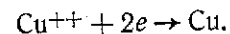
где  $e$  — заряд электрона.

Этот процесс является процессом окисления цинка.

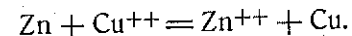
Если цинк опустить в раствор медного купороса  $\text{CuSO}_4$ , то при взаимодействии цинка с электролитом будут иметь место реакции окисления и восстановления: реакция окисления цинка:



реакция восстановления меди, которая, получив два электрона, становится нейтральной:



Эти реакции можно условно представить уравнением



Однако при таком процессе электрический ток не возникает, так как металлы находятся в непосредственном контакте друг с другом, что обуславливает переход электронов как в одну, так и в другую сторону, и освобождающаяся при этом энергия является чисто тепловой.

Для того чтобы получить электрический ток, процессы окисления и восстановления не должны происходить в одном объеме, их необходимо разделить, с тем чтобы освобождающиеся при окислении валентные электроны направить к месту, где происходит реакция восстановления. Это условие выполняется путем помещения цинкового электрода в сосуд с цинковым купоросом  $\text{ZnSO}_4$ , а медного — в сосуд с медным купоросом  $\text{CuSO}_4$ , причем оба сосуда отделяются друг от друга пористой перегородкой, обеспечивающей беспрепятственный переход ионов из одного сосуда в другой (рис. 2).

Если при этом электроды из цинка (—) и меди (+) не соединены проводником, образующим внешнюю цепь, то у цинкового электрода происходит процесс перехода в раствор положительных ионов цинка, вызывающих на-

копление положительных зарядов в электролите  $ZnSO_4$ . Свободные валентные электроны цинка остаются на электроде, вследствие чего он приобретает отрицательный заряд.

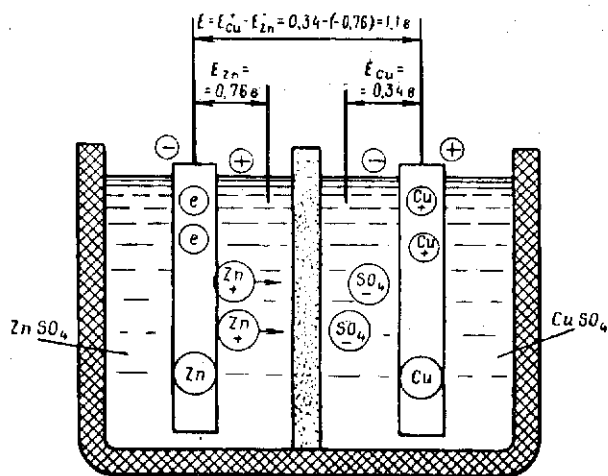


Рис. 2. Образование электродных потенциалов

Медный электрод в растворе медного купороса ведет себя иначе: ионов меди, оседающих на медном электроде, значительно больше, чем ионов, переходящих в раствор, поэтому медный электрод заряжается положительно. Кислотный остаток диссоциированного электролита медного купороса  $SO_4^{--}$  принимает отрицательный заряд. Таким образом, между электродом и электролитом вследствие различного знака их заряда возникает разность потенциалов, величина которой зависит от способности ионов данного металла переходить в раствор или, наоборот, осаждаться на поверхности металла.

Эта разность потенциалов, зависящая в конечном счете от природы металла, называется электродным потенциалом металла.

Величины электродных потенциалов различных металлов приведены в приложении.

Например, электродный потенциал цинка по таблице составляет  $-0,76$  в, а электродный потенциал меди по той же таблице  $+0,34$  в.

Суммарная электродвижущая сила электрохимической пары цинк — медь составит

$$E = E_{Cu}^+ - E_{Zn}^-$$

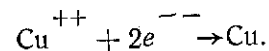
$$\text{или } E = 0,34 - (-0,76) = 1,1 \text{ в.}$$

Однако определение ЭДС по величине нормальных электродных потенциалов металлов, составляющих электрохимическую пару, является приближенным, так как нормальный электродный потенциал металла измеряется при его погружении в раствор, содержащий один грамм-ион металла в одном литре раствора соли данного металла. В случае применения электролита другой концентрации потенциал электрода будет иметь иную величину.

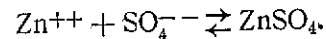
Например, при изменении концентрации металла в электролите в 1000 раз его электродный потенциал изменится в два раза.

Приведенный выше пример показывает, как возникает разность потенциалов у электрохимической пары цинк — медь при разомкнутой внешней цепи (рис. 2).

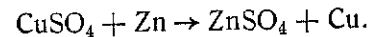
При замыкании электродов цинк — медь проводником (рис. 3) валентные электроны цинка, осевшие на цинковом электроде, направятся по проводнику к медному электроду и нейтрализуют положительный заряд ионов меди. При этом ионы меди  $Cu^{++}$  восстанавливаются до металлической меди, которая осаждается на положительном электроде:



Перешедшие в электролит положительные ионы цинка взаимодействуют с кислотным остатком  $SO_4^{--}$ :



Суммарная реакция в гальваническом элементе из электрохимической пары цинк — медь может быть представлена выражением



Необходимо иметь в виду, что направление движения тока по правилу электротехники противоположно направлению движения электронов в проводнике, образующем внешнюю цепь.

Таким образом, в описанном выше элементе идет непрерывное растворение цинка с переходом положитель-

ных ионов в электролит (окисление цинка) и осаждение меди на положительном электроде (восстановление меди), а во внешнюю цепь направляются валентные электроны цинка, образующие электрический ток.

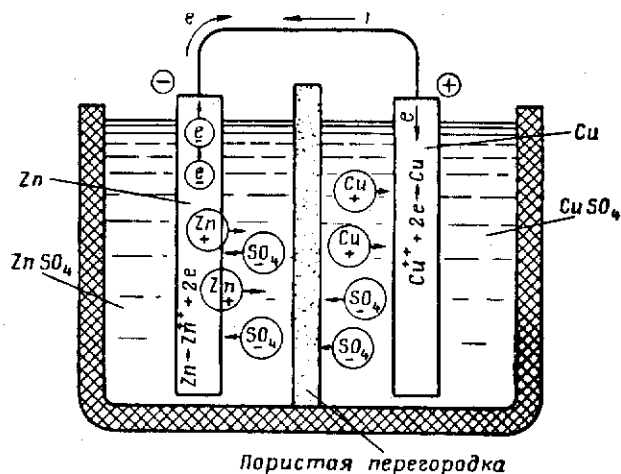


Рис. 3. Источник тока с замкнутой внешней цепью

Непрерывная работа такого элемента может быть обеспечена путем непрерывной подачи цинка к отрицательному электроду и непрерывного поддержания постоянной концентрации кислотного остатка  $SO_4$  в электролите.

Химические источники этого вида называются первичными, так как они генерируют энергию только за счет химических процессов окисления и восстановления без получения энергии извне в отличие от других химических источников тока, требующих для своей работы электрической энергии от внешнего источника и называемых поэтому вторичными.

Первичные источники тока составляют большую группу, включающую гальванические элементы, электроды которых состоят из различных металлов, а также топливные, газовые и биологические элементы.

К вторичным источникам тока относятся аккумуляторы.

Особое место среди источников тока занимают полупроводниковые источники, разработанные в последние

годы и получающие все большее и большее развитие и применение.

Процессы генерирования электрической энергии полупроводниковыми источниками тока отличаются от процессов в химических источниках тока.

Как известно, твердые тела по своим электрическим свойствам делятся на металлы, полупроводники и диэлектрики.

Физические свойства металлов, полупроводников и диэлектриков определяются состоянием их электронов: прочностью связей электронов в атоме, энергией электронов и их подвижностью.

В отличие от жидких электролитов, где молекулы растворенного в воде вещества способны распадаться на ионы, являющиеся носителями тока проводимости, носителями тока в металлах и полупроводниках являются электроны. Правда, существуют полупроводники с электролитической и смешанной электронной и электролитической проводимостью, но таких полупроводников немного, и они не имеют практического применения в качестве источников тока.

Поскольку электроны в атомах металлов слабо связаны с ядром, при объединении атомов металла в кристалл валентные электроны способны под действием сил сцепления между атомами отрываться и совершать беспорядочное движение по всему объему кристалла, образуя так называемый «электронный газ».

Перемещаясь по кристаллу, электроны, образующие «электронный газ», могут вступать в комбинации с положительно заряженными ионами и с нейтральными атомами. Однако при всех этих комбинациях количество свободных электронов в объеме кристалла металла остается строго постоянным и не зависит от температуры. Тепловое воздействие на электроны в металле проявляется в хаотическом движении по всему объему кристалла.

При помещении металла в электрическое поле электроны приобретают направленное движение от низшего потенциала к высшему и «электронный газ» перемещается в направлении, обратном электрическому полю, образуя электрический ток. Электроны, участвующие в образовании электрического тока, называются электронами проводимости.

При нагревании металла ионы приходят в колебательное движение, а число соударений электронов проводимости с ионами возрастает, т. е. электроны в своем хаотическом движении в твердом теле встречают сопротивление, снижающее их подвижность. Это сопротивление и является омическим сопротивлением проводника.

С повышением температуры омическое сопротивление металлов возрастает, а с понижением температуры уменьшается. При температуре, близкой к абсолютному нулю ( $-273^\circ$ ), наступает состояние сверхпроводимости, когда сопротивление проводника приближается к нулю.

В полупроводниках так же, как и в металлах, существуют электроны проводимости, способные образовывать электрический ток, но в отличие от металлов количество электронов проводимости в полупроводниках не является постоянной величиной и в значительной мере зависит от температуры. При температуре абсолютного нуля сопротивление полупроводника становится бесконечно большим, а при повышении температуры электрическое сопротивление полупроводника приближается к сопротивлению металлов.

Появление электронов проводимости в полупроводниках обуславливается не только действием тепла. Электромагнитные волны, электрическое поле, давление, световое излучение — вот основные факторы, вызывающие появление электронов проводимости.

Более глубокое объяснение процессов, происходящих в полупроводниках, можно сделать на основе современной квантовомеханической теории. Квантовомеханическая теория рассматривает каждый электрон, входящий в атом, с точки зрения его энергетического состояния, т. е. каким уровнем энергии обладает тот или иной электрон в атоме. Электроны в атомах полупроводника распределяются по уровням их энергии. Поэтому полупроводник содержит большое количество электронов, распределенных по уровню энергии, которой они обладают.

Электроны в атоме полупроводника в отличие от металлов жестко связаны со своим ядром и не подвержены рекомбинациям, а поэтому отрыв валентных электронов и их превращение в электроны проводимости может произойти только при сообщении им извне добавочной энергии ионизации: тепловой, световой и др.

Получая энергию, электрон переходит на более высо-

кий уровень, а теряя, излучает ее в виде тепла, света или других явлений.

Так как любое твердое тело состоит из атомов, их собственные электрические поля взаимодействуют друг с другом и образуют несколько энергетических уровней, близких по величине энергии, составляющей энергетическую зону, или, как ее называют, заполненную зону.

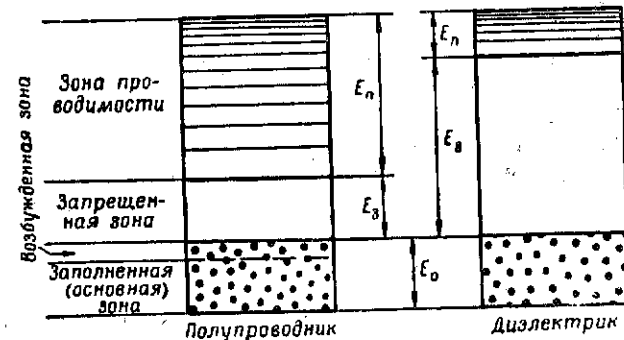


Рис. 4. Распределение энергетических зон в полупроводнике и диэлектрике

Между заполненными зонами в полупроводнике имеются не заполненные электронами области, называемые запрещенной зоной, и область, называемая зоной проводимости. При перемещении электронов из заполненной зоны в зону проводимости через запрещенную зону в полупроводнике возникает электрический ток.

На рис. 4 схематически изображено распределение энергетических зон в полупроводнике. Необходимо иметь в виду, что действительное распределение энергетических зон не имеет геометрического смысла, как это можно представить из рисунка, и является чисто физическим понятием, определяющим состояние электронов.

Заполненная зона может включать зону, в которой сгруппированы электроны с более высоким уровнем энергии, чем в основной зоне. Такая зона называется возбужденной зоной, так как из нее обеспечивается более легкий переход электронов в зону с высоким уровнем.

Однако переход из заполненной зоны в запрещенную зону и зону проводимости может иметь место только при сообщении электрону добавочной энергии.



При температуре  $-273^{\circ}$  все электроны находятся в основной зоне и перехода их в запрещенную зону не происходит даже при помещении полупроводника в электрическое поле, так как на пути электронов лежит потенциальный барьер, равный по величине ширине запрещенной зоны. До тех пор пока электрон не получит энергию в виде тепла, его переход из заполненной зоны в запрещенную невозможен.

Таким образом, полупроводник при температуре абсолютного нуля становится диэлектриком.

Чем же отличается изолятор от полупроводника?

По характеру распределения энергетических зон изоляторы ничем не отличаются от полупроводников, но ширина запрещенной зоны у диэлектриков значительно больше даже при обычной температуре, благодаря чему возникновение тока проводимости в диэлектрике связано с большим повышением температуры. Из техники высоких напряжений известно, что пробой изоляторов возникает при повышенной температуре, когда тепловая энергия, сообщенная электронам, имеющимся в заполненной зоне диэлектрика, способствует их переходу в зону проводимости.

Разобранный выше механизм возникновения проводимости в полупроводнике относится к чистым, т. е. беспримесным, полупроводникам. Введение примесей в полупроводник резко изменяет его электрические свойства. Дело в том, что электроны примеси размещаются не в заполненной зоне, а в запрещенной, вследствие чего для их перехода в зону проводимости требуется гораздо меньше энергии, чем для перехода в ту же зону основных электронов самого полупроводника.

Существуют два вида примесей в полупроводнике: донорные и акцепторные. Донорная примесь располагается в верхней части запрещенной зоны (рис. 5), акцепторная примесь — в нижней части запрещенной зоны.

Так как электроны примеси расположены вблизи зоны проводимости, для возникновения тока проводимости электронам примеси надо преодолеть потенциальный барьер  $E_1$ , величина которого будет значительно меньше, чем вся ширина запрещенной зоны  $E_3$  для электронов основного полупроводника (рис. 5).

Ток проводимости в полупроводнике с донорными

примесями возникает за счет движения электронов примеси и имеет электронный характер. Такой полупроводник называется *n*-полупроводником, а его проводимость — электронной проводимостью.

В полупроводнике с акцепторными примесями при нагревании происходит переход электронов полупровод-

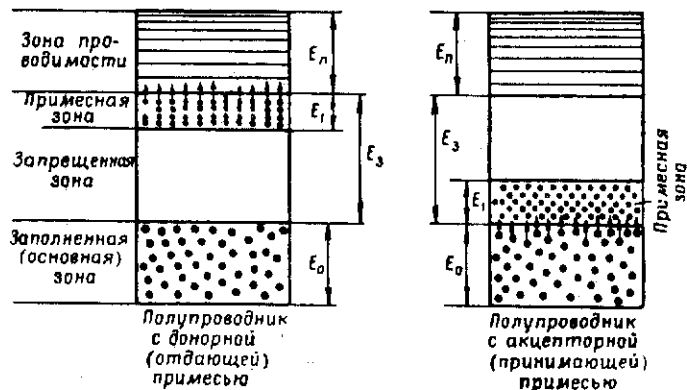


Рис. 5. Распределение энергетических зон в примесных полупроводниках

ника из заполненной зоны в запрещенную, но, так как для преодоления всей ширины запрещенной зоны необходимо сообщить электрону значительную энергию, подавляющее большинство электронов перейдет на энергетический уровень электронов акцепторной примеси, расположенных вблизи заполненной зоны.

Переход любого электрона из заполненной зоны в зону акцептора сопровождается появлением свободного незаполненного места в основной зоне, откуда ушел электрон (рис. 6).

Если электрон ушел с верхнего энергетического уровня заполненной зоны, то на освободившееся место перейдет электрон с ближайшего более низкого уровня, а на место этого электрона придет третий со следующего за вторым уровня и т. д.

Место, с которого ушел электрон, называется дыркой.

Таким образом, при перемещении электронов с низкого уровня на более высокий происходит одновременное движение незаполненного места — дырки — в направлении

Полякова

нии, противоположном движению электрона. Дырка имеет положительный знак, так как является местом, из которого ушел электрон.

Если ввести полупроводник в электрическое поле, то электроны его атомов будут двигаться в сторону более высокого уровня, т. е. к положительному заряду. Что же

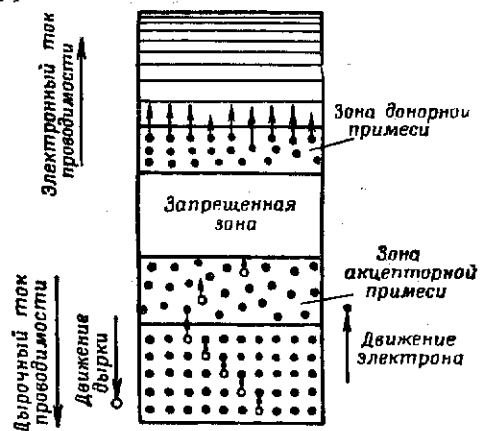


Рис. 6. Токи проводимости в примесных полупроводниках

касается дырок, то они, представляя собой по существу положительные ионы, будут двигаться в противоположном направлении, т. е. против поля.

Понятие о дырке как о положительном ионе вводится для упрощения понимания процессов, происходящих в полупроводнике. На самом деле движутся только электроны, а дырки представляют собой лишь места, из которых ушли электроны. Тем не менее термины «дырочная проводимость», «дырочный ток» являются принятыми понятиями с вполне определенным физическим смыслом.

Как это было показано выше, возникновение дырок происходит в полупроводнике с акцепторными примесями. Но, так как примесный энергетический уровень располагается в нижней части запрещенной зоны, движение электронов ограничивается их перемещением в зону, занятую примесными электронами, в то время как дырки перемещаются по всей глубине заполненной зоны, создавая тем самым ток проводимости, обратный по на-

правлению току электронной проводимости в полупроводнике с донорными примесями.

Что же касается чистого, беспримесного полупроводника, то он обладает двумя видами проводимости: электронной и дырочной, так как при перемещении электронов из заполненной зоны в зону проводимости образуются дырки, движущиеся в обратном направлении.

Однако электроны являются более подвижными, чем дырки, вследствие чего в чистом полупроводнике все же преобладает электронная проводимость. По принятой терминологии говорят, что чистый полупроводник обладает собственной проводимостью, и такие полупроводники называют собственными полупроводниками в отличие от полупроводников с донорными или акцепторными примесями, называемых примесными полупроводниками.

Существуют полупроводники, в которые вводятся в равных количествах как донорные, так и акцепторные примеси. В таких полупроводниках имеет место электронная и дырочная проводимость, называемая смешанной проводимостью.

В отличие от донорной  $n$ -проводимости акцепторная проводимость именуется  $p$ -проводимостью. Полупроводники с донорными примесями называются  $n$ -полупроводниками, а с акцепторными —  $p$ -полупроводниками.

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

Образование термоэлектричества в полупроводниках объясняется тем, что при нагревании стержня из полупроводника происходит перемещение электронов или дырок из горячей области в холодную.

Если нагреть донорный полупроводник, то электроны, перемещаясь в область с меньшей концентрацией электронов, вызовут накопление отрицательного заряда на холодном конце полупроводника и положительного — на горячем конце. Такое накопление разноименных зарядов на концах стержня вызовет появление разности потенциалов, а следовательно, возникновение термоэлектродвижущей силы, величина которой зависит от концентрации носителей тока — электронов и уровня их энергии.

Для полупроводника с дырочной проводимостью, т. е. акцепторного полупроводника, роль носителей тока выполняют дырки, которые также перемещаются в сторону холодного конца стержня. При этом у холодного конца накапливаются положительные заряды (дырки), а на горячем конце увеличивается отрицательный заряд.

Здесь так же, как и в полупроводнике с электронной проводимостью, возникает термоэлектродвижущая сила.

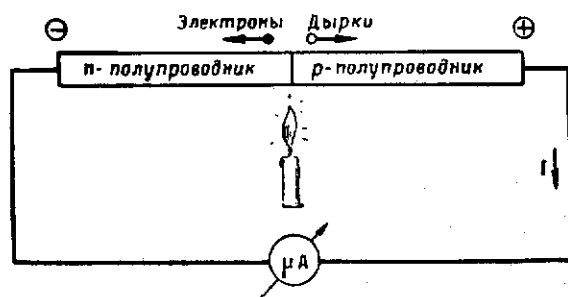


Рис. 7. Образование термоэлектродвижущей силы

Для полупроводника с собственной или смешанной проводимостью, где носителями тока являются как электроны, так и дырки, величина термоЭДС меньше, чем у примесных полупроводников. Поэтому при разработке термоэлементов применяются полупроводники с донорными и акцепторными примесями. Такой термоэлемент представляет собой как бы два последовательно соединенных термоэлемента, каждый из которых обладает вполне определенным значением термоЭДС (рис. 7).

При нагреве места стыка двух разнородных полупроводников происходит диффузия электронов и дырок в холодные области с образованием разности потенциалов на полупроводниковой паре.

Несколько иной механизм возникновения электродвижущей силы сопровождается физическими процессами в фотообразователях.

Как и другие типы полупроводниковых источников тока, фотопреобразователи состоят из двух полупроводников с *n*- и *p*-проводимостью.

В условиях обычной положительной температуры в месте контакта пары таких полупроводников идет диффузия электронов и дырок в те области, где имеется их

недостаток, до достижения равновесия, когда электроны и дырки скапливаются в месте стыка полупроводниковой пары, создавая разность потенциалов.

При отсутствии света в пограничном слое со стороны полупроводника с донорной примесью (*n*-полупроводника) сосредоточиваются положительные заряды, а со стороны полупроводника с акцепторной примесью (*p*-полупроводника) — электроны (рис. 8).

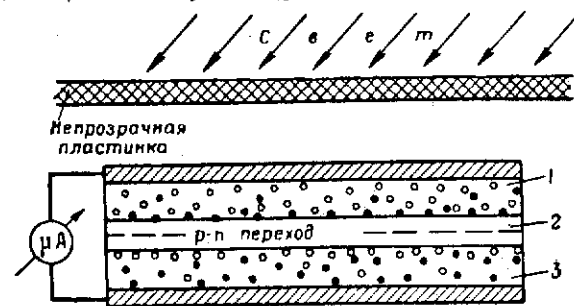


Рис. 8. Распределение зарядов при отсутствии света:

1 — зона *p*-полупроводника (с дырочной проводимостью);  
2 — зона *p-n* перехода; 3 — зона *n*-полупроводника (с электронной проводимостью)

При освещении полупроводника фотоны светового потока отдают часть своей энергии валентным электронам, увеличивая тем самым уровень их энергии до величины, необходимой для перехода в зону проводимости. При этом в месте, откуда ушел электрон из заполненной зоны, образуется дырка. Действие фотонов света вызывает появление большого числа пар электрон — дырка, вызывающих увеличение электропроводности за счет диффузии электронов из освещенных участков в неосвещенные, причем диффундируют в темные области электроны примеси.

Дырки по мере ухода электронов будут накапливаться в освещенном полупроводнике, создавая положительный заряд.

Таким образом, при освещении полупроводникового фотоэлемента возникает разность потенциалов, создающая фотоэлектродвижущую силу (рис. 9). Необходимо иметь в виду, что разность потенциалов, создаваемая диффузией малого числа электронов примеси в темноте,

образует так называемый *темновой ток*, являющийся по аналогии с химическими источниками тока ЭДС поляризации. Чем меньше величина темнового тока, тем большую величину фотоЭДС можно получить при освещении полупроводникового фотоэлемента.

Весьма большой интерес представляют сегнетоэлектрические и пьезоэлектрические источники тока, основанные на эффекте воздействия на полупроводник сил электрического поля.

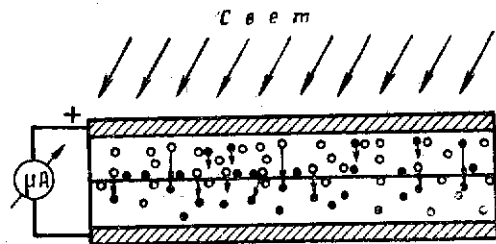


Рис. 9. Образование фотоэлектродвижущей силы в полупроводнике

Сегнетоэлектрики представляют собой довольно большую группу полупроводниковых соединений, отличающихся от остальных 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, называемой точкой Кюри.

При температуре, превышающей точку Кюри, происходит разрушение доменов и явления увеличения напряженности поля не наблюдается.

Так как сегнетоэлектрики обладают очень высокой величиной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , конденсатор с диэлектриком из сегнетоэлектрического вещества

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  $\epsilon$  уменьшится, что вызовет в свою очередь падение емкости конденсатора. При падении емкости конденсатора напряжение на нем увеличится и он окажется способным отдать во внешнюю цепь какое-то количество электрической энергии.

Известно, что емкость плоского конденсатора выражается формулой

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi d},$$

где  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость изолятора;

$S$  — площадь пластин;

$d$  — расстояние между пластинами.

При уменьшении диэлектрической проницаемости емкость  $C$ , как это было сказано выше, уменьшится.

Энергия конденсатора определяется формулой

$$W = \frac{CU^2}{2},$$

откуда следует, что при уменьшении емкости будет расти напряжение на обкладках конденсатора (считая энергию, запасенную конденсатором, неизменной).

При периодическом нагреве и охлаждении сегнетоэлектрического конденсатора можно получить переменный ток.

В начале главы мы упоминали об «электронном газе» в металлах, способном под действием сил электрического поля перемещаться вдоль силовых линий поля.

Электропроводность «электронного газа» весьма велика, так как он имеет значительную концентрацию свободных электронов.

Однако в обычных условиях «электронный газ» не может выйти из металла, так как вблизи поверхности металла существует силовое поле, энергию которого электроны, образующие «газ», преодолеть не могут.

Это силовое поле, называемое потенциальным барьером, существует и в полупроводниках.

Преодоление потенциального барьера электронами возможно при нагревании металла (термоэлектронная

эмиссия), облучении светом (фотоэлектронная эмиссия) и т. д.

Эмиссия электронов с поверхности некоторых металлов и соединений, называемых *катодами*, под действием тепла является основой для построения термоэлектронных плазменных преобразователей тепловой энергии в электрическую.

Для применения в плазменных преобразователях выбираются катоды, обладающие большой величиной термоэлектронной эмиссии.

Если взять обычную вакуумную двухэлектродную лампу с катодом и анодом из двух различных по эмиссии металлов, то при нагреве такой лампы вокруг ее электродов образуются облачка вылетевших электронов. Так как количество электронов, вылетевших с того и другого электрода, будет различным, между катодом и анодом установится некоторая разность потенциалов, называемая *контактной*.

При этом на электроде, катод которого сделан из металла с большей работой выхода (потенциальный барьер выше), будет отрицательный полюс, а на электроде с меньшей работой выхода — положительный полюс. Однако для работы таких элементов, катоды которых выполнены из металлов (вольфрам, молибден, тантал), требуется весьма высокая температура — порядка 2600—3000°, при которой эти металлы начинают интенсивно испускать электроны.

Для понижения работы выхода катоды из вольфрама покрывают тонкой пленкой из щелочноземельных металлов — бария, цезия и др., облегчающих переход электронов из металла в вакуум, подобно примесям в полупроводниках, где введение примесей способствует переходу электронов из заполненной зоны в запрещенную.

Применение пленок намного увеличивает термоэлектронную эмиссию вольфрама или молибдена и дает возможность понизить рабочую температуру термоэлемента. Но максимальный эффект повышения термоэлектронной эмиссии достигается введением в вакуумную систему термоэлемента паров щелочноземельного металла, например цезия.

Таким образом, в двухэлектродной лампе, имеющей один накаленный катод и коллектор (собиратель электронов), наполненной парами цезия при невысоком давлении,

возникает термоэлектронная эмиссия. При этом вылетевшие из катода электроны образуют пространственный отрицательный заряд, препятствующий дальнейшему вылету электронов. При повышении давления паров цезия образуется большое количество положительных ионов, нейтрализующих пространственный электронный заряд и способствующих вылету новых электронов.

Среда, в которой находятся и взаимодействуют друг с другом электроны и положительные ионы, имеющие одинаковую объемную концентрацию, называется *плазмой*. По своим физическим свойствам плазма является газообразным полупроводником с *n*-проводимостью.

При нагревании одного электрода (катода) плазменного преобразователя между катодом и другим холодным электродом возникает термоэлектродвижущая сила, подобно термоЭДС в полупроводниковом термоэлементе с положительным полюсом у горячего электрода. Причиной образования термоЭДС является повышенная диффузия частиц плазмы из более горячей области в более холодную.

Величина ЭДС плазменного преобразователя пропорциональна разности температур между горячей и холодной границами плазмы:

$$E_T = \gamma_e (T_2 - T_1),$$

где коэффициент  $\gamma_e$  является сложной функцией концентрации электронов  $n_e$  и температуры электронного газа в плазме, как в газообразном полупроводнике.

Например, при  $n_e = 10^{15} \text{ см}^{-3}$  и  $T = 3000^\circ \text{ К}^*$  величина  $\gamma = 1,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{в}}{\text{град}}$ . Это значит, что при  $T_2 - T_1 = 2500^\circ \text{ К}$  величина ЭДС плазменного преобразователя будет

$E_T = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 10^3 = 3,75 \text{ в}$ , т. е. близкой к практической величине термоЭДС современных плазменных источников тока.

\* По шкале Кельвина. За ноль принята температура  $-273^\circ$  по Цельсию.

**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 на единицу объема и веса. Вторые включают срок службы, срок сохранности, устойчивость к ударным и вибрационным нагрузкам, температурный диапазон работы.

Для полупроводниковых источников тока такие электрические характеристики, как, например, емкость, отдача, удельные характеристики по емкости и энергии, не имеют смысла. Одной из основных характеристик полупроводниковых источников является коэффициент полезного действия.

**ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА**

Электродвижущая сила является одной из важнейших характеристик источников тока. Измерение электродвижущей силы производится при разомкнутой внешней цепи, т. е. без нагрузки. Точное измерение ЭДС достигается применением компенсационного метода. Приближенное измерение с достаточной для практической работы точностью можно выполнить ламповым вольтметром или вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 1000 ом на вольт.

Для химических источников тока ЭДС определяется как разность потенциалов электродов — положительного и отрицательного:

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

где  $\varphi_a$  — потенциал анода;

$\varphi_k$  — потенциал катода.

Как указывалось в гл. I, величина ЭДС химического источника тока, определяемая разностью потенциалов электродов, будет справедлива только при условии, что в электролите содержится один грамм-ион металла. Более точное значение ЭДС того или иного химического источника тока можно вычислить по формуле Томсона, связывающей электрическую энергию с тепловыми реакциями, происходящими при окислении и восстановлении элементов, составляющих активные массы электродов.

Электродвижущая сила полупроводниковых источников тока зависит от происходящих в полупроводниках физических процессов: для термоэлементов она определяется параметрами полупроводникового вещества и разностью температур между холодным и горячим спаями термоэлемента, для фотоэлементов — параметрами вещества, уровнем освещенности и рабочей температурой, для атомных батарей — уровнем радиоактивности применяемого в батарее изотопа.

Электродвижущая сила батареи, составленной из последовательно соединенных источников тока, равна произведению ЭДС одного элемента на число этих элементов:

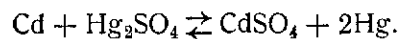
$$E_{\text{бат}} = E_э n.$$

При параллельном соединении однородных источников тока ЭДС остается неизменной.

Для лабораторной практики в качестве эталонов электродвижущей силы применяются международные нормальные элементы Вестона и Кларка, устройство которых показано на рис. 10.

Отрицательный электрод нормального элемента Вестона состоит из амальгамы кадмия, положительный — из пасты сернистой ртути  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$  на подушке из металлической ртути. Электролитом в элементе Вестона служит насыщенный раствор сернистой кадмия  $\text{CdSO}_4$ .

Химическая реакция в элементе Вестона происходит по уравнению



ЭДС нормального элемента Вестона в диапазоне температур от 0 до +40° С вычисляется по формуле

$$E_t = E_{20^\circ} - 0,0000406 (t - 20^\circ) - 0,00000095 (t - 20^\circ)^2, \text{ в},$$

где  $E_{20^\circ} = 1,0183 \text{ в}$  — ЭДС элемента Вестона при температуре +20°;

$t$  — окружающая температура.

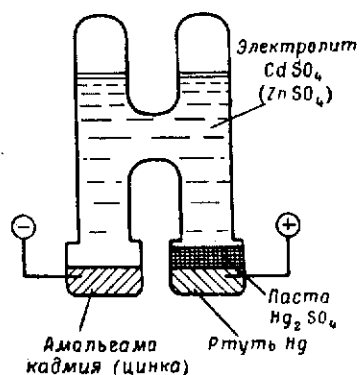
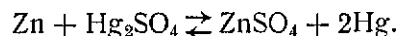


Рис. 10. Устройство нормального элемента Вестона (Кларка)

В нормальном элементе Кларка отрицательным электродом служит амальгама цинка, положительный электрод — тот же, что и в элементе Вестона. Электролитом элемента Кларка является насыщенный раствор сернокислого цинка.

Химический процесс в элементе Кларка выражается равенством



ЭДС нормального элемента Кларка в температурном интервале от 0 до +30° вычисляется по формуле

$$E_t = E_{15^\circ} - 0,00119 (t - 15^\circ) - 0,000007 (t - 15^\circ)^2, \text{ в},$$

где  $E_{15^\circ} = 1,4324 \text{ в}$  — ЭДС при температуре +15° С.

ЭДС нормальных элементов Вестона и Кларка при температуре от 0 до +25° можно определить из графиков на рис. 11 и 12.

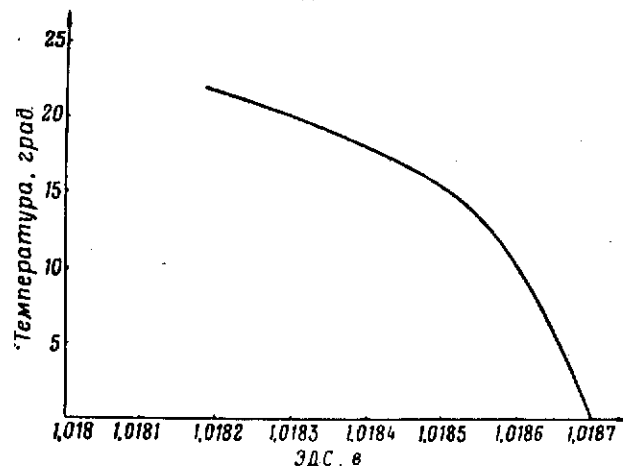


Рис. 11. Электродвижущая сила нормального элемента Вестона в диапазоне температур от 0 до +25°

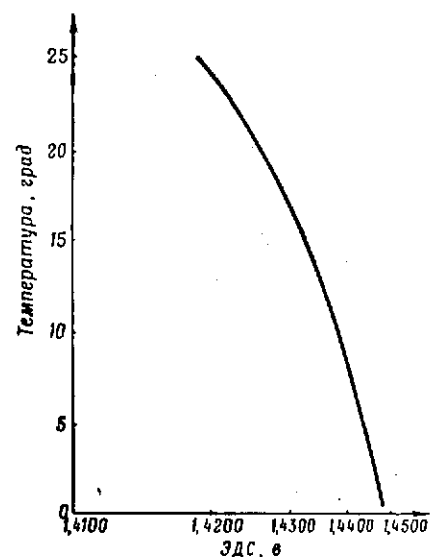


Рис. 12. Электродвижущая сила нормального элемента Кларка в диапазоне температур от 0 до +25°

## НАПРЯЖЕНИЕ

Напряжение источника тока измеряется при замкнутой внешней цепи, т. е. под нагрузкой. Величина напряжения источника тока всегда меньше величины его ЭДС.

Напряжение большинства источников тока не является постоянной величиной, особенно для химических источников тока, и с течением времени изменяется, достигая определенного для данного источника тока значения.

Полупроводниковые источники тока — термоэлементы, фотоэлементы, сегнетоэлектрики, атомные батареи — при постоянной нагрузке не изменяют величины напряжения и могут изменить первоначальную величину под воздействием внешних факторов: давления, света, температуры.

В общем виде напряжение источника тока определяется равенством

$$U = E - R_{\text{вн}}I,$$

где  $E$  — ЭДС источника тока;

$R_{\text{вн}}$  — внутреннее сопротивление самого источника;

$I$  — величина тока нагрузки.

Единицей напряжения источника тока является вольт.

Для химических источников тока, величина внутреннего сопротивления которых изменяется при разряде, а также в результате того, что в процессе разряда возникает электродвижущая сила поляризации, направление которой противоположно по знаку ЭДС самого источника тока, напряжение определяется формулой

$$U = E - E_{\text{п}} - R_{\text{вн}}I = IR_{\text{н}},$$

где  $E$  — ЭДС источника тока;

$E_{\text{п}}$  — ЭДС поляризации;

$R_{\text{вн}}$  — внутреннее сопротивление источника тока;

$I$  — ток разряда;

$R_{\text{н}}$  — сопротивление нагрузки во внешней цепи.

Возникновение ЭДС поляризации при разряде объясняется тем, что активные вещества электродов, израсходованные во время работы, не успевают подойти к другим электродам, вследствие чего их концентрация в электролите отличается от той концентрации, при которой

электродные потенциалы образуют ЭДС данного источника тока, а поэтому

$$E_{\text{п}} = \varphi_{\text{а}} - \varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{а}'} - \varphi_{\text{к}'},$$

где  $\varphi_{\text{а}'}$  и  $\varphi_{\text{к}'}$  — электродные потенциалы в электролите с изменившейся концентрацией.

Основными факторами, определяющими напряжение источника тока, являются внутреннее сопротивление и сила разрядного тока. Из выражения для напряжения следует, что чем меньше внутреннее сопротивление, тем больше напряжение. Такая же зависимость существует между напряжением и силой разрядного тока. При внутреннем сопротивлении, равном нулю, напряжение источника тока равно его электродвижущей силе.

При разряде химических источников тока различают три вида напряжения: начальное, среднее и конечное.

Начальное напряжение меньше ЭДС на величину  $IR_{\text{вн}}$ . В условиях низких температур начальное напряжение меньше, чем при положительной температуре, вследствие уменьшения подвижности ионов электролита.

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

Конечное напряжение разряда определяют исходя из свойств данной электрохимической пары и условий эксплуатации источника потребителем.

Например, конечное напряжение кислотных аккумуляторов, разряжаемых в длительном режиме, устанавливается 1,7 в, а разряжаемых в коротких стартерных режимах, 1,5 в. Конечное напряжение тех же аккумуляторов, разряжаемых в стартерном режиме при температуре  $-20^{\circ}$ , уже устанавливается равным 1 в.

Щелочные аккумуляторы разряжают до 1 в при нормальной температуре и до 0,7 в при температуре ниже нуля.

Конечное напряжение химических источников тока одноразового действия находится в пределах от 1 в до 0,3 в в зависимости от типа элемента.

При заряде химических источников тока их напряжение увеличивается по сравнению с начальным напряжением.



Если начальное напряжение при разряде кислотного аккумулятора составляет 2,3 в, то его конечное зарядное напряжение достигает 2,7 в.

Для щелочных кадмиево-никелевых и железо-никелевых аккумуляторов разница между напряжением в начале разряда и в конце заряда составляет 0,5 в, а для серебряно-цинковых аккумуляторов 0,3 в.

Поэтому при заряде аккумуляторов напряжение источника тока, от которого заряжается аккумулятор, должно выбираться исходя из величины конечного напряжения заряжаемого аккумулятора:

$$U_a = E + I_a R_{\text{вн}}$$

### ВНУТРЕННЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Внутреннее сопротивление химических источников тока складывается из омического сопротивления электродов, сопротивления электролита и сопротивления сепараторов (прокладок между электродами).

Как это было показано выше, внутреннее сопротивление источника тока является весьма важной величиной, определяющей режим работы источника тока: источник тока с большим внутренним сопротивлением не допускает разряда током большой силы из-за чрезмерного падения напряжения на внутреннем сопротивлении, и, наоборот, малое внутреннее сопротивление дает возможность разряда в стартерном режиме.

Если ввести условно ЭДС поляризации электродов в омическое сопротивление цепочки электроды — сепарация — электролит, то напряжение источника тока можно представить выражениями:

$$U_D = E - IR_{\text{вн}} \text{ для разряда и}$$

$$U_a = E + IR_{\text{вн}} \text{ для заряда.}$$

Отсюда можно найти  $R_{\text{вн}}$ , которое, хотя и будет иметь приближенное значение, является приемлемым для практических расчетов, тем более, что измерение внутреннего сопротивления в мостовых схемах не всегда доступно потребителю:

$$R_{\text{вн}} = \frac{E - U_D}{I_D} \text{ для разряда и}$$

$$R_{\text{вн}} = \frac{U_a - E}{I_a} \text{ для заряда.}$$

На практике для расчета  $R_{\text{вн}}$  источников тока применяют различные эмпирические формулы. Например, для приближенного расчета внутреннего сопротивления кадмиево-никелевых и железо-никелевых аккумуляторов пользуются формулой

$$R_{\text{вн}} = \frac{0,35}{Q},$$

где  $Q$  — емкость аккумулятора в ампер-часах при температуре  $+20^\circ$ .

Внутреннее сопротивление полупроводниковых источников тока, как правило, велико. Исключение составляют термоэлектрические генераторы, омическое сопротивление которых составляет тысячные доли ома.

Сопротивление применяемых на практике солнечных батарей находится в пределах от 500 ом до 1000 ом в зависимости от типа батарей.

Внутреннее сопротивление атомных батарей колеблется в широких пределах — от 100 ом до  $10^{12}$  ом.

### ЕМКОСТЬ

Понятие о емкости характерно для химических источников тока.

*Емкостью источника тока в общем виде называется то количество электрической энергии, которое может запасти или отдать тот или иной источник тока.*

Первичные источники тока — гальванические элементы — характеризуются только емкостью разряда, в то время как аккумуляторам присуща как зарядная, так и разрядная емкость.

Емкость по количеству электричества, или, как ее обычно называют, емкость по току, представляет собой произведение силы тока заряда или разряда на время заряда или разряда:

$$Q = Ita \cdot \tau,$$

где  $I$  — сила тока заряда или разряда в а;  
 $t$  — время заряда или разряда в час.

Приведенная выше формула справедлива при постоянной силе тока  $I = \text{const}$ .

В том случае, когда сила тока менялась в процессе разряда, т. е.  $I \neq \text{const}$  (разряд на постоянное сопротивление), пользуются значением средней силы тока:

$$Q_{\text{разр}} = I_{\text{ср}} t = \frac{I_{\text{н}} + I_{\text{к}}}{2} \cdot t,$$

где  $I_{\text{н}}$  и  $I_{\text{к}}$  — ток в начале и в конце разряда;  
 $t$  — время разряда;

или

$$Q = \frac{U_{\text{ср}} t}{R_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{н}} + U_{\text{к}}}{2R_{\text{н}}} \cdot t,$$

где  $U_{\text{н}}$  и  $U_{\text{к}}$  — напряжение в начале и в конце разряда;  
 $R_{\text{н}}$  — сопротивление нагрузки внешней цепи.

Емкость по энергии характеризует способность источника тока к электрической работе и измеряется в ватт-часах.

Так как электрическая мощность выражается равенством

$$W = IU,$$

емкость по энергии при постоянной силе тока  $I = \text{const}$  будет

$$Q = Wt = IU_{\text{ср}} t,$$

где  $U_{\text{ср}}$  — среднее напряжение при разряде.

В условиях разряда на постоянное сопротивление, когда  $R_{\text{н}} = \text{const}$  и  $I \neq \text{const}$ ,

$$Q = IU_{\text{ср}} t = \frac{U_{\text{ср}}^2}{R_{\text{н}}} \cdot t.$$

Характеристикой емкости источника тока по энергии пользуются в основном при расчетах экономического характера. В технических расчетах, когда речь идет о выборе того или иного источника тока, пользуются величиной емкости по току.

Разрядная емкость источника тока, т. е. то количество электричества, которое он способен отдать потребителю при разряде, зависит от ряда факторов: количества активных масс электродов и их рабочей поверхности, режима заряда и разряда, температуры, состава электролита.

Влияние количества активных масс на емкость не требует особых пояснений: чем больше активных масс в источнике тока, тем больше его емкость.

Однако если активные массы, заложенные в электроды, не будут распределены по поверхности электродов, то емкость источника тока не достигнет максимальной величины вследствие недостаточного доступа электролита ко всей массе электрода и затрудненного обмена ионами.

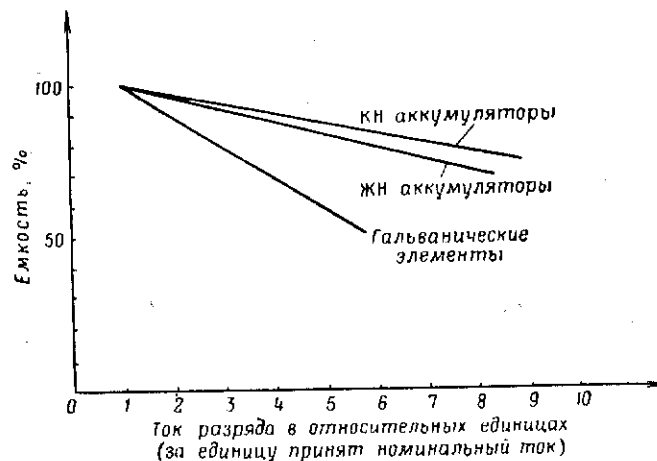


Рис. 13. Характеристики зависимости емкости от тока разряда

Поэтому для обеспечения максимальной емкости источника тока его электроды, содержащие активные массы, стремятся сделать наиболее тонкими и по возможности более пористыми.

Влияние режима заряда для вторичных источников тока выражается в том, что при ускоренном режиме аккумулятор не всегда набирает необходимую зарядную емкость, а это влечет за собой пониженную отдачу при разряде.

Влияние режима разряда, т. е. зависимость емкости от величины разрядного тока, показано на графиках рис. 13.

Из графиков, изображенных на рис. 13, следует, что при увеличении разрядного тока емкость уменьшается. Уменьшение емкости при разряде током, превышающим нормальный разрядный ток, объясняется недостатком времени для полного ионного обмена (так как разряд, как правило, протекает в короткий промежуток времени) и влиянием внутреннего сопротивления источника тока за счет роста противоэлектродвижущей силы поляризации.

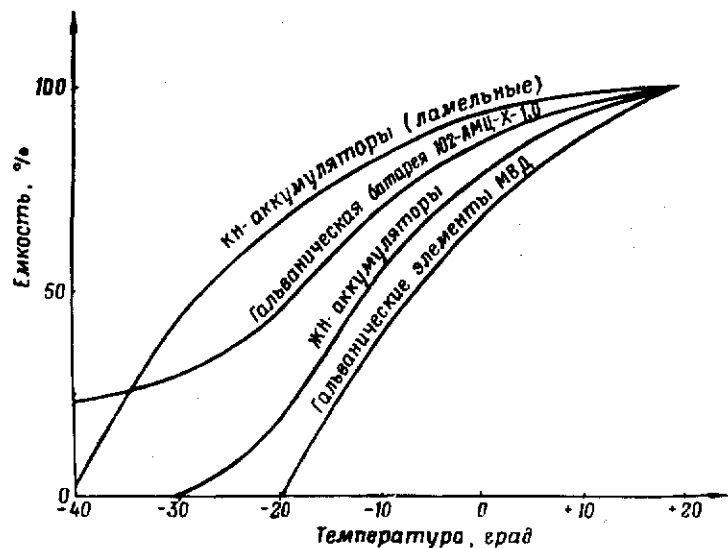


Рис. 14. Характеристики зависимости емкости источников тока от температуры

Особенно сильно на емкость источников тока влияет температура. Верхним пределом большинства источников тока считается температура  $+50^{\circ}$ . Повышение температуры приводит к увеличению саморазряда химических источников тока, хотя их емкость увеличивается за счет увеличения подвижности ионов.

При разряде или хранении источника тока при низких температурах потеря его емкости настолько велика, что у многих источников тока при температуре  $-40^{\circ}$  емкость практически равна нулю. Однако существуют

специальные источники тока, способные к работе и при температуре  $-50^{\circ}$ . К ним относятся специальные хладостойкие сухие батареи, работающие при низких температурах в длительных режимах разряда, хлорно-свинцовые элементы и безламельные аккумуляторы.

Как правило, с повышением разрядного тока емкость источников тока в условиях низких температур уменьшается. Однако в некоторых типах серебряно-цинковых

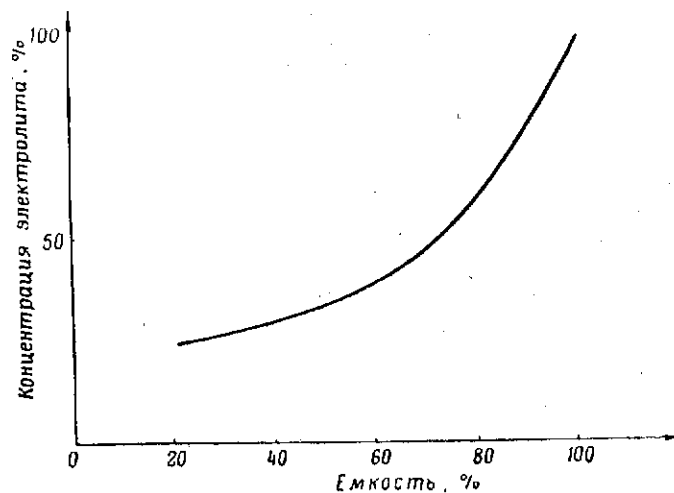


Рис. 15. Характеристики зависимости емкости от концентрации электролита в кадмиево-никелевых аккумуляторах

аккумуляторных батарей увеличение силы тока разряда приводит к внутреннему разогреву аккумуляторов, вследствие чего они отдают повышенную емкость по сравнению с длительными режимами разряда при той же температуре.

На рис. 14 приводятся кривые зависимости емкости некоторых источников тока от температуры.

Зависимость емкости от плотности электролита в кадмиево-никелевом аккумуляторе показана на графике рис. 15. Уменьшение емкости при пониженной концентрации щелочного электролита объясняется влиянием на кадмиевый электрод железа за счет растворения самих железных ламелей в слабом электролите.

## УДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Удельные характеристики химических источников тока по отношению емкости, мощности и энергии к их объему и весу являются наиболее показательными с точки зрения возможности сравнения разнородных по электрическим характеристикам источников тока. В самом деле, характеристики источников тока по емкости, являясь весьма важными, не дают по существу возможности оценить источник тока по его весу и габаритам. Поэтому при выборе источника тока необходимо прежде всего знать его характеристики по *удельной емкости*, *удельной мощности* и *удельной энергии*. Как это было сказано выше, удельные характеристики относятся к весу или к объему источника тока.

Удельная характеристика источника тока по весу определяется как отношение его емкости, мощности или энергии к единице веса:

$$Q_q = \frac{Q}{q} = \frac{I}{q} \cdot t, \frac{a \cdot \text{ч}}{\text{кг}};$$

$$P_q = \frac{P}{q} = \frac{UI}{q}, \frac{\text{вт}}{\text{кг}};$$

$$W_q = \frac{W}{q} = \frac{UI}{q} \cdot t, \frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}};$$

где  $Q$  — емкость;  
 $q$  — вес источника;  
 $P$  — мощность;  
 $W$  — энергия.

Удельная характеристика по объему — это отношение тех же величин, но только к объему:

$$Q_V = \frac{Q}{V} = \frac{I}{V} \cdot t, \frac{a \cdot \text{ч}}{\text{дм}^3};$$

$$P_V = \frac{P}{V} = \frac{IU}{V}, \frac{\text{вт}}{\text{дм}^3};$$

$$W_V = \frac{W}{V} = \frac{IU}{V} \cdot t, \frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{дм}^3}.$$

Полная мощность источника тока выражается равенством

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

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

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

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

Если формулу полной мощности переписать в виде

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

то максимальную мощность  $P = 2I^2R$  можно получить от источника тока при выполнении условия  $R = R_{\text{вн}}$ , т. е. когда сопротивление внешней цепи равно внутреннему сопротивлению источника тока.

Максимальный ток источника тока может быть получен при условии  $P_{\text{полн}} = 0$ , т. е. при коротком замыкании источника тока:

$$0 = IE - I^2R_{\text{вн}} \text{ или } IE = I^2R_{\text{вн}},$$

откуда

$$I = \frac{E}{R_{\text{вн}}}.$$

Как это видно из последнего выражения, величина тока при коротком замыкании источника будет определяться его внутренним сопротивлением. В табл. 1 представлены характеристики существующих источников тока по удельной энергии и удельной мощности.

Приведенная ниже таблица дает возможность произвести выбор источника тока в соответствии с предъявляемыми к нему требованиями по электрическим характеристикам, габаритам и весу.

Из таблицы следует, что наиболее высокими характеристиками из источников тока одноразового действия для использования в малогабаритной аппаратуре обладают марганцево-магниевый элемент для длительных режимов разряда слабыми токами и серебряно-цинковый элемент для кратковременных режимов разряда током большой силы.

Из вторичных источников тока — аккумуляторов — наиболее подходящими для работы в малогабаритной аппаратуре являются щелочные кадмиево-никелевые безламельные и серебряно-цинковые аккумуляторы.

Таблица 1

Наименование источника тока	Удельные характеристики					
	по объему			по весу		
	$\frac{Q}{V}$ , $\frac{а \cdot ч}{дм^3}$	$\frac{W}{V}$ , $\frac{вт \cdot ч}{дм^3}$	$\frac{Q}{q}$ , $\frac{а \cdot ч}{кг}$	$\frac{W}{q}$ , $\frac{вт \cdot ч}{кг}$		
<i>Первичные источники тока</i>						
Марганцево-цинковые батареи 3,7 ФМЦ-0,5 (батареи для карманного фонаря)	12,5	15	6,6	8		
Стаканчиковый элемент МЦ	63	76	38	46		
Галетные батареи ГБ (в длительном режиме) . . .	63	76	42	50		
Марганцево-магнийевый элемент (в длительном режиме разряда) . . . . .	130	200	64	97		
Медноокисный элемент (в длительном режиме) . . . . .	53	35	80	52		
Оксисуртутный элемент ОР	270	300	62	68		
Свинцово-цинковый элемент	46	81	15	27		
Свинцово-кадмиевый элемент . . . . .	20	44	9	20		
Хлорно-свинцовый элемент	70	127	27	46		
Серебряно-магнийевый элемент . . . . .	40	61	37	55		
Медно-магнийевый элемент	70	83	33	40		
Серебряно-цинковый элемент (в стартерном режиме разряда) . . . . .	130	200	48	70		
Воздушно-цинковый элемент (в длительном режиме разряда) . . . . .	67	73	55	60		
Марганцево-воздушно-цинковый (в длительном режиме разряда) . . . . .	91	105	46	55		
<i>Вторичные источники тока</i>						
Кислотные свинцовые (авиационного типа) . . . . .	39	58	16	26		
Щелочные кадмиево-никелевые ламельные . . . . .	36	43	13	16		
Щелочные железо-никелевые ламельные . . . . .	12	14	15	18		
Щелочные кадмиево-никелевые безламельные . . . . .	54	65	32	38		
Щелочные кадмиево-никелевые дисковые . . . . .	55	69	15	19		
Щелочные кадмиево-никелевые цилиндрические . . . . .	56	70	19	24		
Серебряно-цинковые . . . . .	160	260	80	120		
Серебряно-кадмиевые . . . . .	172	220	38	53		

## ОТДАЧА

Характеристика по отдаче является по существу коэффициентом полезного действия источника тока, так как выражается отношением израсходованной энергии к энергии, запасенной активными массами электродов, или для полупроводников — отношением израсходованной на полезную работу энергии к энергии, обеспечивающей действие полупроводникового источника тока, — тепловой, световой, атомной, давлению и т. д.

Для химических источников тока различают следующие виды отдачи: по емкости, по энергии и по напряжению.

Для аккумуляторов отдача по емкости

$$\eta_Q = \frac{Q_p}{Q_s} \cdot 100 = \frac{I_p t_p}{I_s t_s} \cdot 100\%$$

отдача по энергии

$$\eta_W = \frac{W_p}{W_s} \cdot 100 = \frac{I_p U_p t_p}{I_s U_s t_s} \cdot 100\%$$

отдача по напряжению

$$\eta_U = \eta_Q \eta_U$$

откуда

$$\eta_U = \frac{\eta_W}{\eta_Q} = \frac{I_p U_p t_p I_s t_s}{I_s U_s t_s I_p t_p} = \frac{U_p}{U_s} \cdot 100\%$$

В табл. 2 приведены данные по отдаче некоторых аккумуляторов.

Таблица 2

Тип аккумулятора	Отдача в процентах	
	по емкости	по энергии
Свинцовый (в стартерном режиме разряда) . . . . .	38—40	24—30
Свинцовый (в длительном режиме разряда) . . . . .	80—85	68—70
Кадмиево-никелевый ламельный . . . . .	67	50
Железо-никелевый ламельный . . . . .	67	47
Кадмиево-никелевый безламельный . . . . .	67	50
Кадмиево-никелевый дисковый . . . . .	50	42
Кадмиево-никелевый цилиндрический . . . . .	70	58
Серебряно-цинковый . . . . .	Около 100	Около 85

Для гальванических элементов одноразового действия существует характеристика, аналогичная понятию об от-  
даче, называемая *коэффициентом использования активных масс*, т. е. отношение полученной при разряде емкости к теоретической емкости, запасенной в активных массах электродов.

Коэффициент использования активных масс для ряда гальванических элементов, отрицательным электродом которых является цинк, находится в пределах от 8 до 98%.

Коэффициент полезного действия полупроводниковых источников тока невелик. Так, например, КПД атомных батарей составляет всего 0,01—2,5%, термоэлементов 8—10%, фотоэлектрических источников 0,1—11%.

Наибольший коэффициент полезного действия ожидается получить у весьма перспективных плазменных, гидродинамических и топливных источников тока, в которых, по расчетам и лабораторным опытам, можно достигнуть почти 100% использования энергии.

### САМОРАЗРЯД

Саморазряд химических источников тока при длительном их хранении в заряженном состоянии является крупным недостатком, так как с течением времени происходит безрезультатная потеря емкости и источник тока необходимо заменять новым или подзаряжать.

Саморазряд химических источников тока происходит из-за частичного саморастворения активных масс электродов в электролите, коррозии электродов, плохой изоляции внешних выводов, случайных замыканий при хранении.

Величина саморазряда за  $n$ -суток хранения в заряженном состоянии определяется отношением емкости свежезаряженного источника тока к его емкости после  $n$ -суток хранения и выражается в процентах потери емкости:

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

где  $Q_n$  — начальная емкость;

$Q_{xp}$  — емкость после хранения.

При выборе источника тока в соответствии с предъявляемыми к нему эксплуатационными требованиями по

режиму работы необходимо учитывать саморазряд. Данные по саморазряду некоторых источников тока приведены в табл. 3.

Таблица 3

Тип источника тока	Саморазряд от номинальной емкости		
	при температуре +40°	при температуре +20°	при температуре ниже нуля
Марганцево-цинковые элементы и батареи ФМЦ, галетные и стаканчиковые . . . . .	—	25—30% за 4—12 мес. хранения	—
Окиснортутные элементы . . . . .	—	Около 10% за год хранения	—
Свинцово-цинковые элементы . . . . .	—	Немедленный	—
Свинцово-кадмиевые элементы . . . . .	—	Немедленный	—
Кислотный свинцовый аккумулятор . . . . .	—	21% после 30 суток хранения	—
Железо-никелевый аккумулятор . . . . .	100% после 30 суток хранения	18—35% после 30 суток хранения	7% после 30 суток хранения
Кадмиево-никелевый аккумулятор ламельный . . . . .	23% после 30 суток хранения	11—18% после 30 суток хранения	Около 0%
Кадмиево-никелевый аккумулятор безламельный . . . . .	20—22% после 30 суток хранения	15% после 30 суток хранения	Около 0%
Серебряно-цинковый аккумулятор . . . . .	—	30% после 6 мес. хранения	—

## СРОК СЛУЖБЫ И СРОК СОХРАННОСТИ

При выборе того или иного источника тока решающая роль принадлежит таким эксплуатационным характеристикам, как срок службы и срок сохранности.

Первичные источники тока — гальванические элементы — характеризуются *сроком сохранности*, т. е. тем временем, в течение которого источник тока является работоспособным. Срок сохранности гальванических элементов, кроме наливных, определяется в основном их саморазрядом и составляет для различных типов элементов от 4 до 18 месяцев.

Срок сохранности наливных элементов в залитом состоянии примерно такой же, как и сухих элементов. В сухом состоянии наливные элементы могут храниться 3—4 года и более в зависимости от типа элемента.

Для вторичных источников тока — аккумуляторов — различают две характеристики: *срок службы* и *срок сохранности*. Срок службы аккумуляторов исчисляется количеством циклов заряд-разряд, которые может выдержать аккумулятор без заметного для его работы снижения разрядной емкости.

Сроком сохранности аккумулятора называется его способность быть годным по истечении определенного срока для работы у потребителя.

Поскольку аккумуляторы могут храниться как в сухом состоянии, так и залитыми электролитом, то и срок их сохранности указывается заводом-изготовителем для сухого и залитого состояния.

Полупроводниковые источники тока — солнечные батареи, термоэлементы, пьезоэлементы, плазменные батареи — имеют весьма большой срок службы, исчисляемый десятками тысяч часов. Срок сохранности этих источников в нерабочем состоянии также весьма велик.

Срок службы и срок сохранности атомных батарей определяется активностью заложенного в них радиоактивного вещества, а также стойкостью материала промежуточных слоев — поставщиков электронов проводимости.

Для батарей на радиоактивном изотопе стронция-90 срок службы и срок сохранности составляет 19 лет, для батарей на изотопе прометия-147 — не более 3 лет.

Срок службы и срок сохранности некоторых типов источников тока приводятся в табл. 4.

Таблица 4

Наименование источника тока	Начальные характеристики		Характеристики в конце срока службы		Срок службы в циклах заряд-разряд	Срок сохранности	
	напряжение, в	емкость, а·ч	напряжение, в	емкость, а·ч		в сухом состоянии	в залитом состоянии
<i>Первичные источники тока</i>							
Марганцево-цинковые элементы и батареи:							
102-АМЦ-у-1,0	102	1,0	60	0,7	—	15 мес.	—
49-САМЦ-0,25п	49	0,25	30	0,1	—	8 мес.	—
3,7 ФМЦ-0,5 . . .	3,7	0,5	3	0,35	—	8 мес.	—
Марганцево-магниевый элемент	1,8	100%	1,3	85%	—	2 года	—
Оксисуртутные элементы:							
ОР-1к . . . . .	1,28	0,2	—	—	—	9 мес.	—
ОР-1 . . . . .	1,28	0,6	—	—	—	18 мес.	—
Свинцово-цинковый элемент . . .	2,2	—	—	—	—	2 года	2—3 час
<i>Вторичные источники тока</i>							
Кислотные аккумуляторы . . . . .	—	—	—	—	75	5 лет	1 год
Кадмиево-никелевые (ламельные)	—	—	—	—	450—700	7 лет	2 года
Железо-никелевые (ламельные) . . .	—	—	—	—	450—700	7 лет	2 года
Кадмиево-никелевые (безламельные) . . . . .	—	—	—	—	150—200	4 года	2 года
Кадмиево-никелевые герметичные:							
дисковые . . . . .	—	—	—	—	50—150	6—12 мес.	—
цилиндрические	—	—	—	—	100	12 мес.	—
Серебряно-цинковые . . . . .	—	—	—	—	35—50	2 года	6—9 мес.

## УСТОЙЧИВОСТЬ К УДАРНЫМ И ВИБРАЦИОННЫМ НАГРУЗКАМ

Так как большинство источников питания применяется в передвижных устройствах, весьма важной является их стойкость к воздействию ударов, толчков и вибрации, связанных с транспортировкой, а также с работой в качестве бортовой аппаратуры.

Воздействию ударных нагрузок подвергается большинство источников тока, применяемых в переносной аппаратуре. Считается, что источник тока, применяемый в переносной аппаратуре, должен выдерживать толчки и удары с ускорением 7—8 g.

В условиях работы на транспортных средствах источник тока испытывает перегрузки в 20—25 g, что требует применения прочных корпусов сосудов источников тока и их амортизации. Источники тока, применяемые в специальной технике, испытывают перегрузки в сотни g.

Вибрационные нагрузки имеют место и на самолетах и вертолетах, где ускорения обычно не превышают величины ускорения на сухопутных транспортных средствах.

Вибрационная стойкость проверяется на специальных вибростендах, где источник тока подвергается воздействию вибрационных нагрузок с определенной частотой и амплитудой.

Стойкость к ударам и толчкам проверяется на ударных стендах типа «Аскапия» (на тряску) и станках коперного типа на удар.

Большинство сухих гальванических элементов выдерживает перегрузку с ускорением до 25 g, а герметичные элементы МЦ и ОР — до 100—200 g. Высока и вибрационная стойкость сухих элементов.

Наливные элементы также устойчивы к ударным нагрузкам, но только в специальном выполнении с применением герметизирующих устройств.

Механическая прочность щелочных кадмиево-никелевых и железо-никелевых аккумуляторов, не говоря уже о герметичных, также высока. Массовые образцы аккумуляторов выдерживают ускорения 20—25 g, а некоторые образцы в специальном выполнении — до 200 g.

Наименьшей механической прочностью обладают кис-

лотные и серебряно-цинковые аккумуляторы, выдерживающие механическую тряску с ускорением до 10 g.

Стойкость к ударным нагрузкам полупроводниковых источников тока в основном определяется их конструкцией и назначением. Как известно, применяемые для питания аппаратуры космических кораблей солнечные батареи выдерживают очень высокие перегрузки.

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ДИАПАЗОН РАБОТЫ

Температура на территории Советского Союза колеблется в весьма широких пределах: от  $-50^{\circ}$  до  $+50^{\circ}$ , что обуславливает весьма жесткие требования к источникам питания, применяемым вне жилых помещений.

Работоспособность всех без исключения источников тока в той или иной мере зависит от температуры.

Для химических источников тока в равной степени нежелательна как работа в условиях температуры выше  $+40^{\circ}$ , так и при низких температурах, когда емкость источников тока резко уменьшается.

Большинство гальванических сухих элементов, за исключением специальных, плохо работает в условиях низких температур, особенно при повышенном токе разряда. Из наливных элементов хорошую работоспособность на морозе до  $-60^{\circ}$  показывают свинцово-цинковые и хлорно-свинцовые элементы, а удовлетворительную при температуре до  $-30^{\circ}$ — $-40^{\circ}$  — магниевые элементы, разогрев которых во время работы обеспечивается за счет экзотермической реакции между магнием и водой при заливке.

Вторичные источники тока — аккумуляторы — также чувствительны к воздействию как положительных, так и отрицательных температур.

При температуре  $+40^{\circ}$  и выше большинство аккумуляторов способно отдавать повышенную емкость по сравнению с номинальной, однако это повышение емкости сопровождается безвозвратной ее потерей на последующих циклах. Железо-никелевые аккумуляторы, как указывалось выше, при температуре  $+50^{\circ}$  имеют почти 100%-ный саморазряд в течение незначительного срока хранения.

Предельной плюсовой температурой для кадмиево-никелевых, серебряно-цинковых и свинцовых аккумуляторов является температура  $+50^{\circ}$ .



На рис. 14 приведены кривые зависимости емкости различных аккумуляторов и гальванических элементов от температуры. Эти зависимости показывают, что основные промышленные типы источников тока обладают недостаточной работоспособностью в условиях низких температур.

Разработанные в последние годы безламельные кадмиево-никелевые аккумуляторы имеют улучшенные характеристики по отдаче емкости при температуре  $-40^{\circ}$ .

Отдача емкости при низких температурах серебряно-цинковыми аккумуляторами зависит от тока разряда. При длительных режимах разряда серебряно-цинковые аккумуляторы способны к работе при температуре не ниже  $-30^{\circ}$ , а при разряде током часового режима емкость аккумуляторов при температуре  $-40^{\circ}$  достигает 35—40% за счет авторазогрева.

Необходимо иметь в виду, что температурные характеристики источника тока могут быть значительно улучшены за счет вентиляции при работе в условиях повышенной температуры и введения теплоизоляции в батарейные коробки при работе на морозе.

Разряд батарей, помещенных в ящиках, утепленных пенопластом, увеличивает отдачу по емкости при температуре  $-30^{\circ}$  —  $-40^{\circ}$  на 15—20%.

Полупроводниковые источники тока при повышении температуры работают с большим КПД за счет увеличения подвижности носителей тока.

При низких температурах внутреннее сопротивление полупроводниковых источников тока увеличивается, вследствие чего ток, отдаваемый во внешнюю цепь, уменьшается.

Атомные источники тока практически не зависят от температуры и работоспособны в весьма широком интервале температур.

То же самое можно сказать и о топливных и плазменных источниках тока, отдача которых определяется температурой в рабочей камере.

### ОБОЗНАЧЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Обозначение первичных химических источников тока включает электрохимическую пару, конструкцию, назначение, температурную стойкость, электрические характеристики: напряжение и емкость.

В обозначении элемента или батареи первые цифры указывают напряжение: 102, 68, 1,46, 1,28 в и т. д.

Следующее за цифрами буквенное обозначение указывает область применения элемента или батареи, электрохимическую пару, а в некоторых случаях и 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
- ВД — воздушная деполяризация

После указанных выше буквенных обозначений в ряде случаев ставится через тире буква «у» — универсальный, т. е. работающий летом и зимой, или «х» — холодостойкий. Если таких букв нет, то батарея или элемент относится к летнему типу.

Следующие за буквами цифры обозначают емкость или, если за ними стоит буква «ч», — число часов работы.

Буква «п», стоящая после цифр, обозначает конструкцию — панельная. Некоторые батареи и элементы, появившиеся в последнее время, например батарея «Кро-

на», не имеют условного обозначения и идут по торговому наименованию.

Существует ряд источников тока, не имеющих наименования, принятого ГОСТ, как, например, малогабаритные элементы пуговичного типа с марганцево-цинковой электрохимической парой — МЦ-1К, МЦ-2К и т. д., окислортутные элементы — ОР-1, ОР-2 и т. д., кислородно-цинковые элементы — КЦЭ, марганцево-магниевые элементы — ММЭ, марганцево-цинковые кислородные элементы — МЦКЭ, свинцово-кадмиевые элементы — СвКЭ, свинцово-цинковые — СвЦЭ, хлорно-свинцовые — ХС, серебряно-цинковые — СЦЭ, серебряно-магниевые — СМЭ, медно-магниевые — МеМЭ. Цифры в последних элементах не обозначают электрических характеристик, а относятся лишь к типоразмерам.

Вторичные источники тока — аккумуляторы — имеют несколько иную систему обозначений: первые цифры указывают число аккумуляторов в батарее. Буквенные обозначения, следующие за цифрами, относятся к электрохимической паре: КН — кадмиево-никелевая, ЖН — железо-никелевая, СЦ — серебряно-цинковая, НЦ — никель-цинковая, или указывают конструкцию аккумулятора: Д — дисковый, ЦНК — цилиндрический кадмиево-никелевый. Добавление буквы Б после обозначения электрохимической пары, например КНБ, определяет безламельную конструкцию.

Последние цифры в обозначении аккумуляторов или аккумуляторных батарей указывают на емкость в ампер-часах: 0,06; 0,1; 0,45; 25 и т. д.

Из полупроводниковых источников тока в настоящее время условное обозначение имеют лишь термоэлектрические генераторы, в которых первые буквы ТЭГК обозначают термоэлектрогенератор керосиновый, а цифры, стоящие после букв, — мощность в ваттах: 2, 3, 10 *вт* и т. д.

## ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

### А. АККУМУЛЯТОРЫ

#### 1. КАДМИЕВО-НИКЕЛЕВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Из числа появившихся в последнее время новых типов кадмиево-никелевых аккумуляторов наибольшее внимание привлекли малогабаритные дисковые и цилиндрические герметичные и безламельные аккумуляторы.

Большой интерес, проявляемый к малогабаритным источникам тока, не требует объяснений: именно в таких источниках тока нуждается переносная аппаратура средств связи и в первую очередь средств, предназначенных для работы в полевых условиях.

Область применения малогабаритных кадмиево-никелевых аккумуляторов достаточно обширна. Малогабаритные карманные аккумуляторные фонари, освещение к оптическим прицелам, карманные радиоприемники, усилители для слуховых аппаратов — вот далеко не полный перечень областей применения герметичных аккумуляторов.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается несколько типов малогабаритных кадмиево-никелевых аккумуляторов в герметичном исполнении.

## Герметичные дисковые аккумуляторы

Наиболее широкое распространение получили дисковые аккумуляторы и аккумуляторные батареи Д-0,06, Д-0,1, Д-0,2 и 7Д-0,1.

Основные характеристики дисковых аккумуляторов и батарей приводятся в табл. 5.

Таблица 5  
Основные характеристики герметичных дисковых кадмиево-никелевых аккумуляторов и батарей

№ по пор.	Наименование характеристики	Единица измерения	Тип аккумулятора (батарей)			
			Д-0,06	Д-0,1	Д-0,2	7Д-0,1
1	Габариты (максимальные): диаметр . . .	мм	15,7 <sub>-0,2</sub>	20 <sup>+0,05</sup> <sub>-0,1</sub>	27±0,2	24-1
	высота . . .		6,4±0,2	6,9 <sub>-0,3</sub>	10±0,3	62 <sup>+0,2</sup> <sub>-0,6</sub>
2	Вес . . . . .	г	3,42	6,56	15,5	60
3	ЭДС свежезаряженного аккумулятора при температуре +20° . . . . .	в	1,35	1,35	1,35	9,6
4	Емкость . . . . .	а · ч	0,06	0,1	0,2	0,1
5	Ток разряда (номинальный) . . .	ма	6,0	12,0	20,0	12,0
6	Конечное напряжение при разряде . . . . .	в	1,1	1,0	1,0	7,0
7	Ток заряда . . . . .	ма	5	12	20	12
8	Температурный диапазон работы (по техническим условиям) . . .	град	+5÷+35	+5÷+35	+5÷+35	+5÷+35
9	Срок службы в циклах заряд-разряд . . . . .	цикл	100	50	100	50
10	Время заряда . . .	час	15	15	20	15
11	Гарантийный срок сохранности аккумуляторов, не бывших в эксплуатации . . . . .	мес.	12	12	12	6

Посадочные размеры дисковых аккумуляторов приводятся в табл. 6.

Таблица 6

## Посадочные размеры дисковых аккумуляторов

Тип аккумулятора	Диаметр, мм		Высота, мм	
	$d_1$	$d_2$	$h_1$	$h_2$
Д-0,06	13,6 <sub>-0,2</sub>	15,7 <sub>-0,2</sub>	6,4±0,2	3,5
Д-0,1	17,0±0,1	20 <sup>+0,05</sup> <sub>-0,1</sub>	6,9-0,3	4,2 <sub>-0,1</sub>
Д-0,2	22,9±0,2	27±0,2	10,0±0,3	6,5

Конструкция аккумуляторов показана на рис. 16. Дисковый аккумулятор состоит из корпуса 1, в котором помещены положительный 5 и отрицательный 6 электроды, разделенные сепаратором 4.

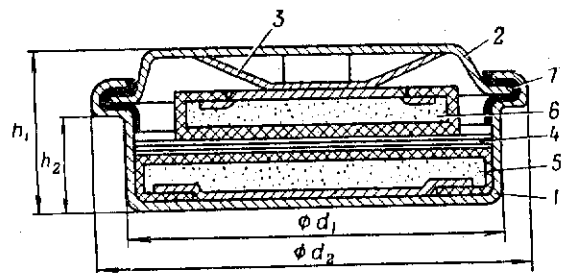


Рис. 16. Разрез дискового аккумулятора:  
1 — корпус; 2 — крышка корпуса; 3 — пружина; 4 — сепаратор; 5 — положительный электрод; 6 — отрицательный электрод; 7 — изолирующая прокладка

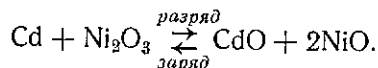
Отрицательный электрод 6 прижимается к сепаратору и положительному электроду пружиной 3. Крышка корпуса 2 завальцована с корпусом 1 через изолирующую прокладку 7.

Свободный объем внутри аккумулятора заполнен строго ограниченным количеством электролита КОН.

Дисковые аккумуляторы герметичны, а поэтому не требуют добавки или смены электролита или каких-либо подготовительных работ к зарядке в течение всего срока службы и хранения.

Так как положительный электрод (рис. 16) находится в электрическом контакте с корпусом, корпус всех дисковых аккумуляторов имеет знак «+».

Химические процессы, протекающие в дисковых аккумуляторах, аналогичны процессам в кадмиево-никелевых аккумуляторах обычной конструкции, а именно:



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

Известно, что при заряде аккумуляторов происходит выделение кислорода и водорода. Каким же образом удается избежать газовой выделению в герметичных аккумуляторах?

Дело в том, что герметичные аккумуляторы, как было указано выше, содержат весьма ограниченное количество электролита в свободном состоянии. Электролит в этих аккумуляторах содержится в основном в порах электродов и сепарации.

При заряде аккумулятора происходит выделение кислорода на положительном электроде из окиси никеля.

Так как количество электролита невелико, выделившийся кислород беспрепятственно достигает отрицательного электрода из кадмия, не выделяясь в газообразное состояние, причем активная масса отрицательного электрода берется с некоторым запасом по отношению к массе положительного электрода.

Выделение водорода в любом щелочном аккумуляторе начинается с момента, когда его напряжение достигает потенциала электролитического разложения воды, т. е. 1,47 в.

Так как активная масса отрицательного электрода превышает массу положительного, при заряде аккумулятора положительный электрод заряжается всегда раньше, чем отрицательный, а выделившийся на положительном электроде кислород полностью расходуется на восстановление кадмиевого электрода, препятствуя окончанию его заряда, а следовательно, и выделению на нем водорода.

Такой процесс, когда отрицательный электрод всегда остается недозаряженным, не приводит к образованию в аккумуляторе свободного водорода независимо от времени заряда аккумулятора, что в конечном счете обеспечивает герметичность аккумулятора.

Поэтому дисковые и цилиндрические аккумуляторы допускают перезаряд свыше 100% номинального заряда.

В соответствии с заводскими техническими условиями дисковые аккумуляторы и батареи по электрическим характеристикам должны удовлетворять требованиям ТУ только в пределах температур от +5 до +35° С. Допу-

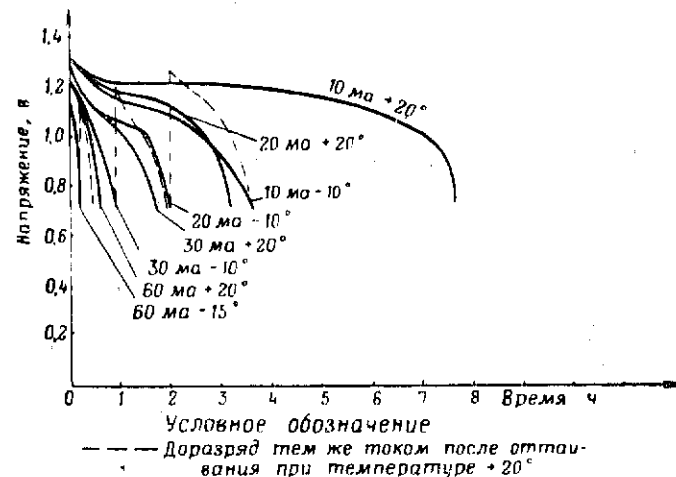


Рис. 17. Кривые разряда аккумуляторов Д-0,06

скается разряд при температуре от —5 до +50° С, однако при этом заводы-изготовители не гарантируют сохранения электрических номинальных характеристик и указывают на возможное уменьшение емкости и срока службы при эксплуатации аккумуляторов при температуре выше +35° и ниже +5° С.

Номинальная емкость дисковых аккумуляторов, указанная в табл. 5, обеспечивается при разряде аккумуляторов номинальным током.

При увеличении тока разряда емкость аккумулятора уменьшается.

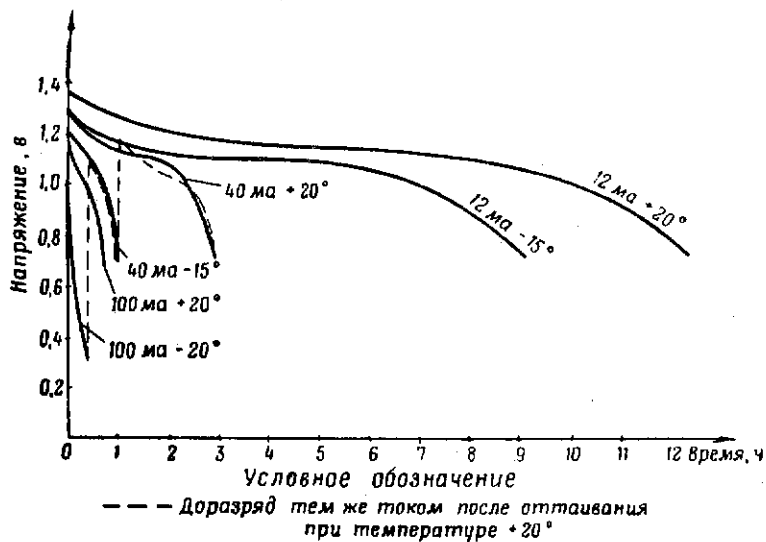


Рис. 18. Кривые разряда аккумуляторов Д-0,1

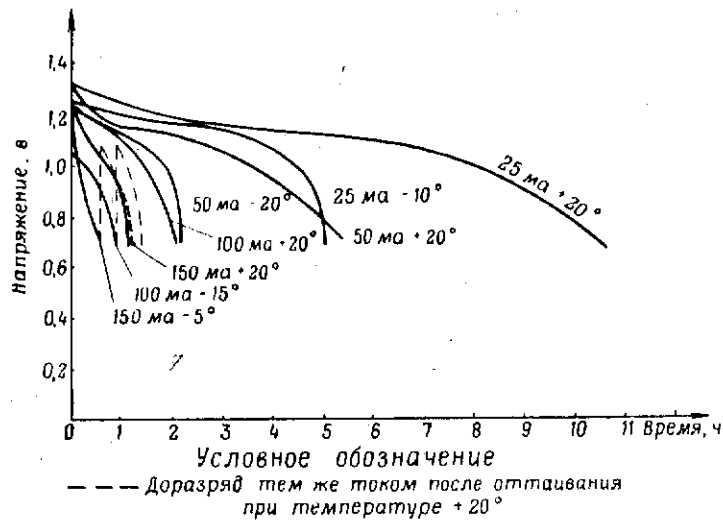


Рис. 19. Кривые разряда аккумуляторов Д-0,2

На рис. 17, 18, 19 и 20 приводятся характеристики разряда дисковых аккумуляторов Д-0,06, Д-0,1, Д-0,2 и батареи 7Д-0,1 при различных температурах и при различном токе разряда.

Как показывают характеристики, емкость дисковых аккумуляторов при номинальном токе разряда и нор-

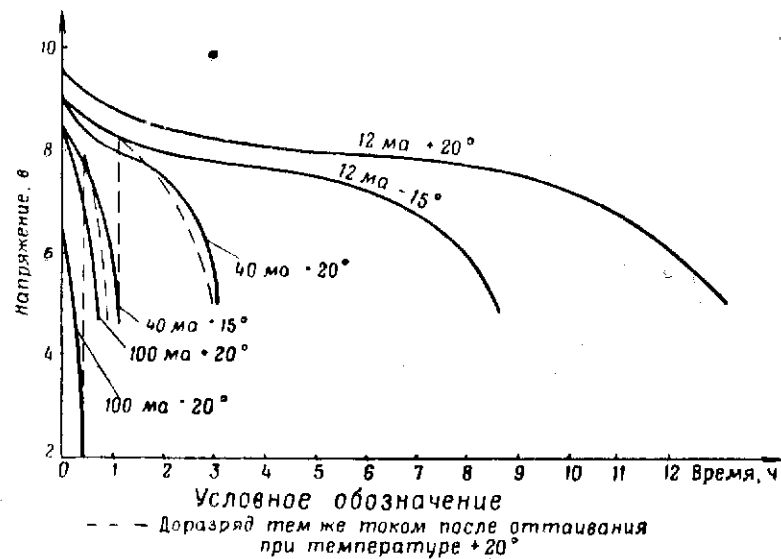


Рис. 20. Кривые разряда батареи 7Д-0,1

мальной температуре несколько превышает номинальную емкость, что свидетельствует о некотором запасе емкости дисковых аккумуляторов, выпускаемых нашей промышленностью.

Так как емкость аккумулятора зависит от конечного напряжения при разряде, указанные в табл. 5 величины емкости соответствуют определенному разрядному напряжению. При более глубоком разряде до напряжения, приведенного в табл. 5, емкость аккумулятора увеличивается. Величина конечного напряжения разряда определяется самим потребителем, исходя из допустимого колебания напряжения, обеспечивающего нормальный режим работы питаемой аппаратуры.

Разрядные характеристики дисковых аккумуляторов и батареи 7Д-0,1 сняты при разряде до 0,7 в на один аккумулятор.

Необходимо иметь в виду, что глубокий разряд до 0,7 в обеспечивает лишь получение 6%<sup>1</sup> дополнительной емкости по сравнению с номинальной, полученной при разряде до конечного напряжения 1,0 в.

На рис. 21 приведены кривые зависимости емкости от величины тока разряда. Как это видно из рисунка, емкость аккумулятора при увеличении тока разряда умень-

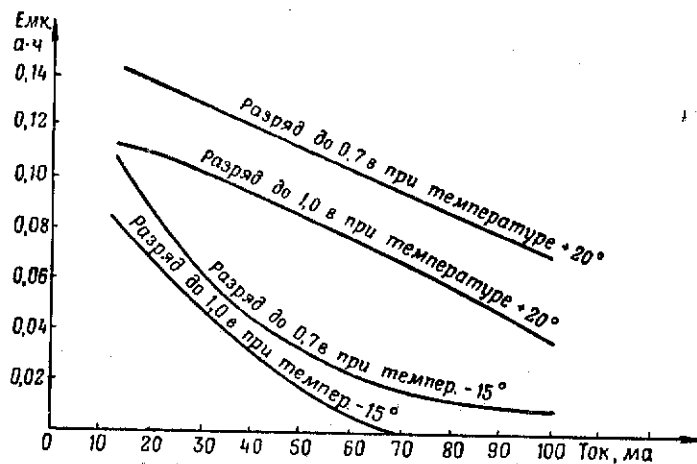


Рис. 21. Характеристики зависимости емкости аккумулятора Д-0,1 от величины разрядного тока

шается. Особенно заметно падение емкости при разряде повышенным током в условиях низких температур: разряд аккумулятора Д-0,1 током одночасового режима, т. е. 100 ма, при температуре  $-15^{\circ}$  протекает почти мгновенно, и емкость при разряде в этих условиях практически равна нулю.

Допустимым током разряда для дисковых аккумуляторов при нормальной температуре следует считать ток, величина которого равна приблизительно половине значения номинальной емкости, т. е. для аккумуляторов Д-0,06 — 30 ма, Д-0,1 — 50 ма и Д-0,2 — 100 ма.

При таких токах разряда аккумуляторы отдают от 60 до 90% своей номинальной емкости.

При разряде в условиях температур ниже нуля дисковые аккумуляторы отдают пониженную емкость, чем при нормальной температуре, однако практическим температурным пределом их работы следует считать не  $-5^{\circ}$ , как это допускается техническими условиями, а  $-15^{\circ}$  —  $-20^{\circ}$ , когда аккумуляторы, разряжаемые номинальным током, отдают от 40 до 60% своей номинальной емкости.

Аккумулятор, разряженный при температуре ниже нуля, способен отдать дополнительную емкость после оттаивания, как это показано на разрядных кривых рис. 17—20, где кривые доразряда после оттаивания изображены пунктиром. Способность к отдаче дополнительной емкости после оттаивания объясняется увеличением подвижности ионов при повышении температуры электролита.

В течение срока службы дисковых аккумуляторов их емкость уменьшается. Заводскими техническими условиями допускается снижение емкости после половины срока службы на 20% ниже номинальной.

Саморазряд дисковых аккумуляторов после хранения в заряженном состоянии в течение 30 суток составляет 18%.

Особенностью эксплуатации дисковых аккумуляторов является необходимость заряда их слабыми токами порядка 10% номинальной величины (по емкости), так как ускоренные режимы заряда током большой силы не дают возможности своевременно поглощать выделяющиеся газы электродами, что может привести к раздутию аккумуляторов и потере ими герметичности.

Дисковые аккумуляторы Д-0,06 применяются в слуховых аппаратах различных видов, где разряжаются током 5 или 10 ма.

Аккумуляторная батарея 7Д-0,1 (рис. 22) составлена из 7 последовательно соединенных аккумуляторов Д-0,1 и применяется в карманных радиоприемниках «Мир», «Гауя», «Нева», ток разряда в которых колеблется в пределах от 5 до 25 ма в зависимости от режима работы.

Аккумулятор Д-0,2 применяется в карманных осветительных фонарях с подзарядкой от сети переменного тока.

Батарея, составленная из трех последовательно соединенных аккумуляторов Д-0,2, разряжается в фонаре током 50 ма на лампу накаливания.

Необходимо иметь в виду, что аккумуляторы Д-0,06 не рекомендуется соединять в батареи более двух штук, как это предлагают авторы ряда схем карманных приемников на транзисторах, так как аккумуляторы Д-0,06, обладая небольшой емкостью и малыми габаритами, имеют производственный разброс по емкости и, будучи соединены в батарею из 5—6 аккумуляторов и более, разряжаются не до одинакового конечного напряжения.

Неодинаковое конечное разрядное напряжение вызывает получение при заряде неодинаковой емкости, в результате чего отдельные аккумуляторы могут получить зарядную емкость, значительно превышающую допустимый предел перезаряда. Поэтому при соединении аккумуляторов Д-0,06 в батареи необходимо производить тщательный подбор аккумуляторов по емкости и напряжению в конце разряда.

Так как дисковые аккумуляторы и батареи применяются в переносной аппаратуре с периодическим включением, большой интерес представляют характеристики разряда аккумуляторов в прерывистом режиме. На рис. 23 приведены характеристики разряда аккумулятора Д-0,06 в прерывистом режиме разряда током 30 ма

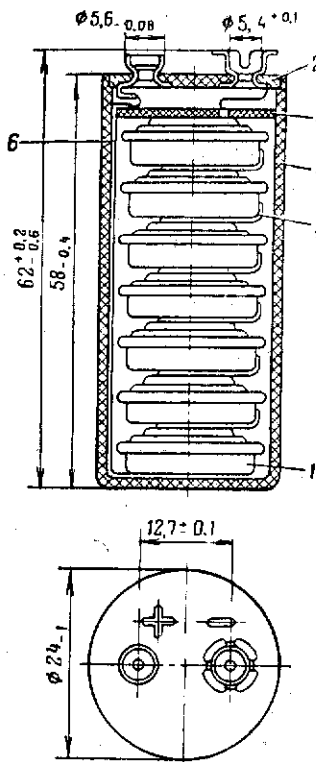


Рис. 22. Аккумуляторная батарея 7Д-0,1:

1 — аккумулятор Д-0,1; 2 — крышка; 3 — изолирующая прокладка; 4 — корпус; 5 — никелевый лепесток; 6 — никелевая лента

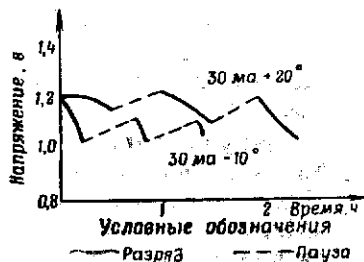


Рис. 23. Кривые разряда аккумулятора Д-0,06 в прерывистом режиме

при нормальной температуре и при температуре  $-10^{\circ}$ .

Как это видно из рисунка, емкость, полученная в прерывистом режиме разряда при температуре  $+20^{\circ}$ , почти равна номинальной емкости при разряде током 10 ма (рис. 17).

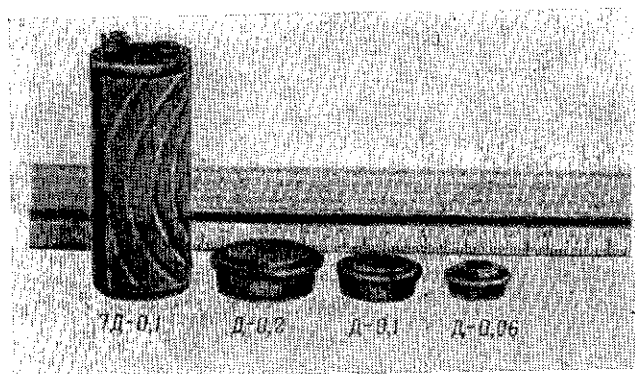


Рис. 24. Дисковые аккумуляторы 7Д-0,1; Д-0,2; Д-0,1; Д-0,06

На рис. 24 показаны образцы дисковых аккумуляторов и батарей, выпускаемых отечественной промышленностью.

### Герметичные цилиндрические аккумуляторы

Помимо дисковых аккумуляторов, наша промышленность выпускает также цилиндрические кадмиево-никелевые аккумуляторы в герметичном исполнении.

Устройство цилиндрического кадмиево-никелевого аккумулятора ЦНК-0,45 изображено на рис. 25.

В отличие от дискового аккумулятора в цилиндрическом аккумуляторе с корпусом контактирует отрицательный электрод, вследствие чего корпус цилиндрического аккумулятора имеет отрицательную полярность.

Крышка 7 цилиндрического аккумулятора (рис. 25) изготовлена из пластмассы, и в ней запрессован вывод положительного электрода. Корпус цилиндрического аккумулятора имеет гофры, за счет которых создаются га-

Основные характеристики герметичных цилиндрических кадмиево-никелевых аккумуляторов

№ по пор.	Наименование характеристики	Единица измерения	Тип аккумулятора								
			A5	A2	A4	НФ4	НФ6	Н7	ЦНК-0,2	ЦНК-0,45	ЦНК-0,85
1	Габариты: диаметр . . . длина . . .	мм	7,1 20	7,1 33	7,0 77	20,0 33	24,0 49	24,0 77	16,0 24,5	14,0 50	14,0 96
2	Вес . . . . .	г	3,3	5,9	15	40,6	89,3	130	15	23	41
3	ЭДС свежезаряженного аккумулятора при температуре +20°C . . . . .	в	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
4	Емкость . . . . .	а · ч	0,006	0,02	0,1	0,22	0,42	1,4	0,20	0,45	0,85
5	Ток разряда (номинальный) . . . . .	ма	70	200	200	3300	6300	1200	20	45	85
6	Конечное напряжение при разряде	в	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	Длительность разряда	мин	5	6	30	4	4	70	600	600	600

Цилиндрические кадмиево-никелевые аккумуляторы применяются в медицинской аппаратуре, полевых малогабаритных установках связи, геофизической аппаратуре, малогабаритной радиоаппаратуре для питания анодных и накальных цепей.

Относительно невысокая стоимость герметичных аккумуляторов, значительный срок службы и срок сохранности, высокая стойкость к ударным нагрузкам, а главное, исключительная простота эксплуатации делают их незаменимыми для различного рода аппаратуры на транзисторах.

Наиболее распространенным типом цилиндрического аккумулятора является аккумулятор ЦНК-0,45, характеристики которого при различных токах разряда приводятся на рис. 26, а на рис. 27 — кривая зависимости его емкости от тока разряда.

зовые мешки между отрицательным электродом и корпусом, предотвращающие повышение давления при заряде аккумулятора. Химические процессы, протекающие при заряде и разряде цилиндрических кадмиево-никелевых аккумуляторов, ничем не отличаются от процессов в дисковых аккумуляторах.

Для обеспечения поглощения кислорода активная масса отрицательного электрода так же, как и в дисковых аккумуляторах, берется с избытком.

Цилиндрические аккумуляторы допускают 100%-ный перезаряд по емкости и показывают хорошую работоспособность в кратковременных режимах разряда током большой силы.

Температурный диапазон работы цилиндрических аккумуляторов лежит в пределах от  $-10$  до  $+35^\circ\text{C}$ , однако отдельные типы цилиндрических аккумуляторов могут работать в импульсном режиме разряда при температуре до  $-50^\circ$ , отдавая в этих условиях около 10% номинальной емкости за счет авторазогрева.

Срок службы цилиндрических аккумуляторов составляет 100—300 циклов заряд-разряд в зависимости от типа аккумулятора и режима его работы: для аккумуляторов, работающих в длительном режиме разряда, срок службы увеличивается.

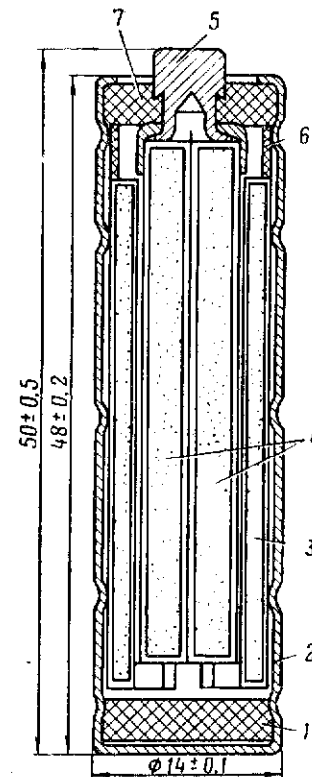


Рис. 25. Аккумулятор ЦНК-0,45:

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

В табл. 7 приведены основные характеристики цилиндрических аккумуляторов, выпускаемых нашей промышленностью.



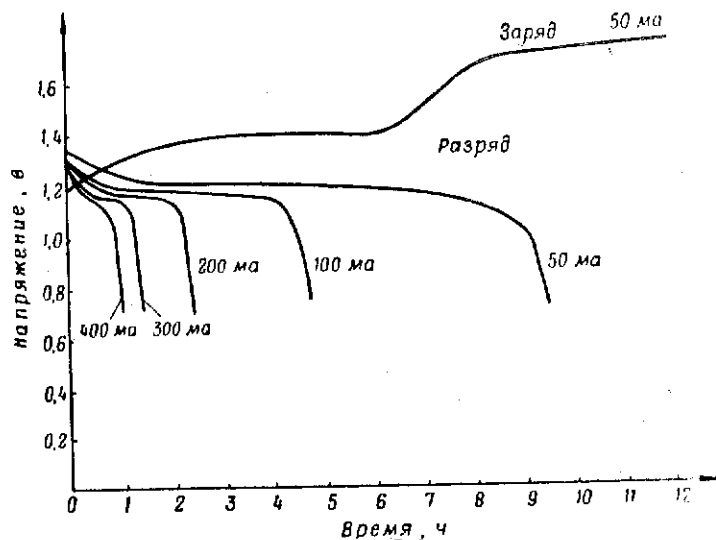


Рис. 26. Характеристики заряда и разряда аккумулятора ЦНК-0,45 при температуре +20°

Герметичные дисковые и цилиндрические аккумуляторы имеют широкое распространение и за рубежом.

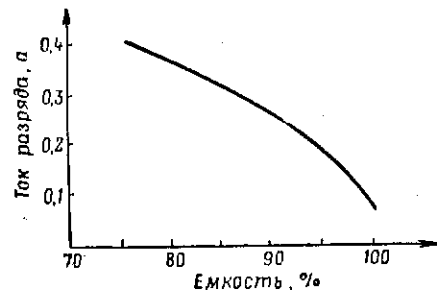


Рис. 27. Характеристики зависимости емкости аккумулятора ЦНК-0,45 от тока разряда

По сообщениям печати, разработанный в ГДР миниатюрный аккумулятор имеет диаметр всего лишь 6 мм и предназначен для питания медицинской аппаратуры кишечных зондов.

## Безламельные кадмиево-никелевые аккумуляторы

Выпускаемые до 1951 г. свинцовые, кадмиево-никелевые и железо-никелевые аккумуляторы не в полной мере удовлетворяли тем требованиям, которые предъявляются к источникам тока.

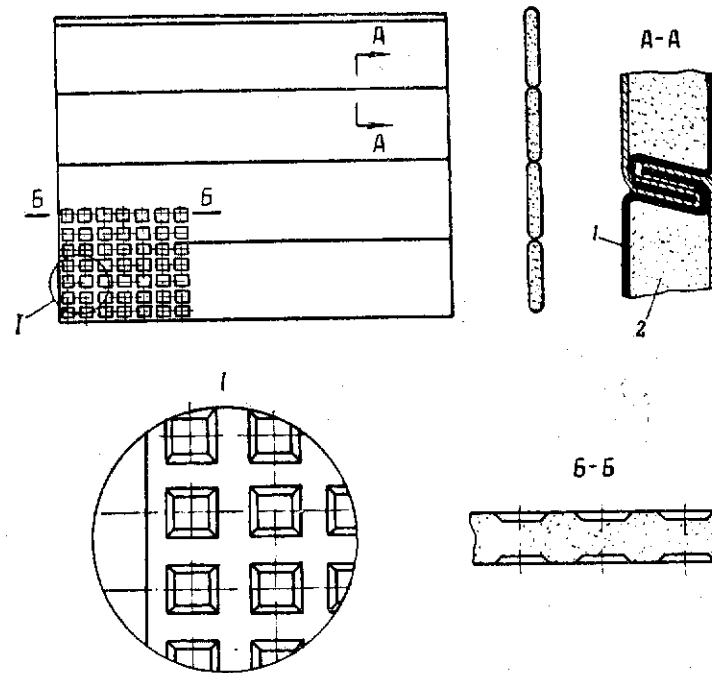


Рис. 28. Ламельная пластина:  
1 — ламельная лента; 2 — активная масса

Первые попытки улучшить удельные характеристики аккумуляторов были предприняты в конструкции аккумуляторов и технологии их производства.

Широко распространенные кадмиево-никелевые и железо-никелевые аккумуляторы КН-10, КН-45, ЖН-100 и др. носят название ламельных, так как их активные массы упакованы в перфорированные ленты-ламели, из которых составляются пластины (рис. 28).

Отверстия в ламелях (перфорация) делаются с таким расчетом, чтобы исключить возможность высыпания и

вымывания активной массы из ламелей и одновременно обеспечить максимальную поверхность для наиболее полного участия активных масс в электрохимических процессах.

Попытки увеличить активную поверхность за счет формы и размера отверстий в ламелях не привели к сколько-нибудь ощутимым результатам.

Поразительный успех в существенном увеличении удельных характеристик щелочных аккумуляторов был достигнут благодаря новой конструкции пластин и новой технологии их изготовления, названной безламельной.

Вместо ламельной пластины была предложена пластина, активные массы которой нанесены на тонкую металлическую рамку методом прессования.

В безламельном кадмиево-никелевом аккумуляторе в качестве активной

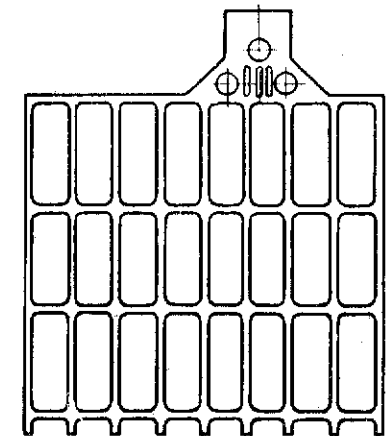


Рис. 29. Рамка безламельной пластины

массы как положительной, так и отрицательной пластины применяется напрессованный на рамку (рис. 29) порошок из смеси карбонильного никеля и углекислого аммония.

Пластины помещаются в водородную печь при температуре около  $900^{\circ}\text{C}$  для спекания никелевого порошка до состояния прочной металлокерамической основы. При этом углекислый аммоний улетучивается из пластины, создавая высокую пористость активной массы (до 80%). Затем производится пропитка пластин.

Общий вид пластины аккумулятора КНБ-25 приведен на рис. 30.

Для придания безламельным пластинам свойств положительного электрода они пропитываются в растворе азотнокислого никеля, а отрицательного — в растворе хлористого кадмия.

Таким образом, пластины безламельного аккумулятора изготавливаются по единой технологии, а разделение на положительные и отрицательные производится на следующей технологической операции — пропитке.

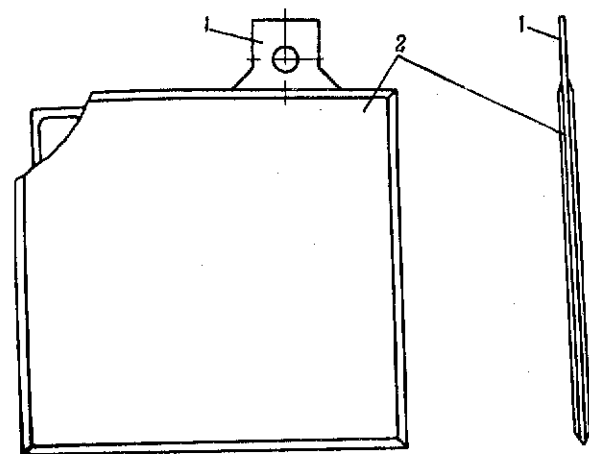


Рис. 30. Пластина безламельного аккумулятора:  
1 — рамка; 2 — активная масса

Безламельная металлокерамическая пористая пластина имеет большую активную поверхность и хорошо омывается электролитом, имеет хороший электрический контакт с токоотводом.

Безламельные пластины в отличие от ламельных не разбухают в процессе эксплуатации и не осыпаются при ударах и тряске.

Внутреннее сопротивление безламельных аккумуляторов значительно меньше, чем ламельных, вследствие чего безламельные аккумуляторы хорошо работают в стартерных режимах разряда.

Высокоразвитая активная поверхность пластин обеспечивает одно из замечательных свойств безламельных аккумуляторов — работоспособность в условиях низких температур.

Конструктивное оформление безламельных аккумуляторов выполнено несколько иначе, чем ламельных: корпуса сосудов безламельных аккумуляторов, вентиляци-

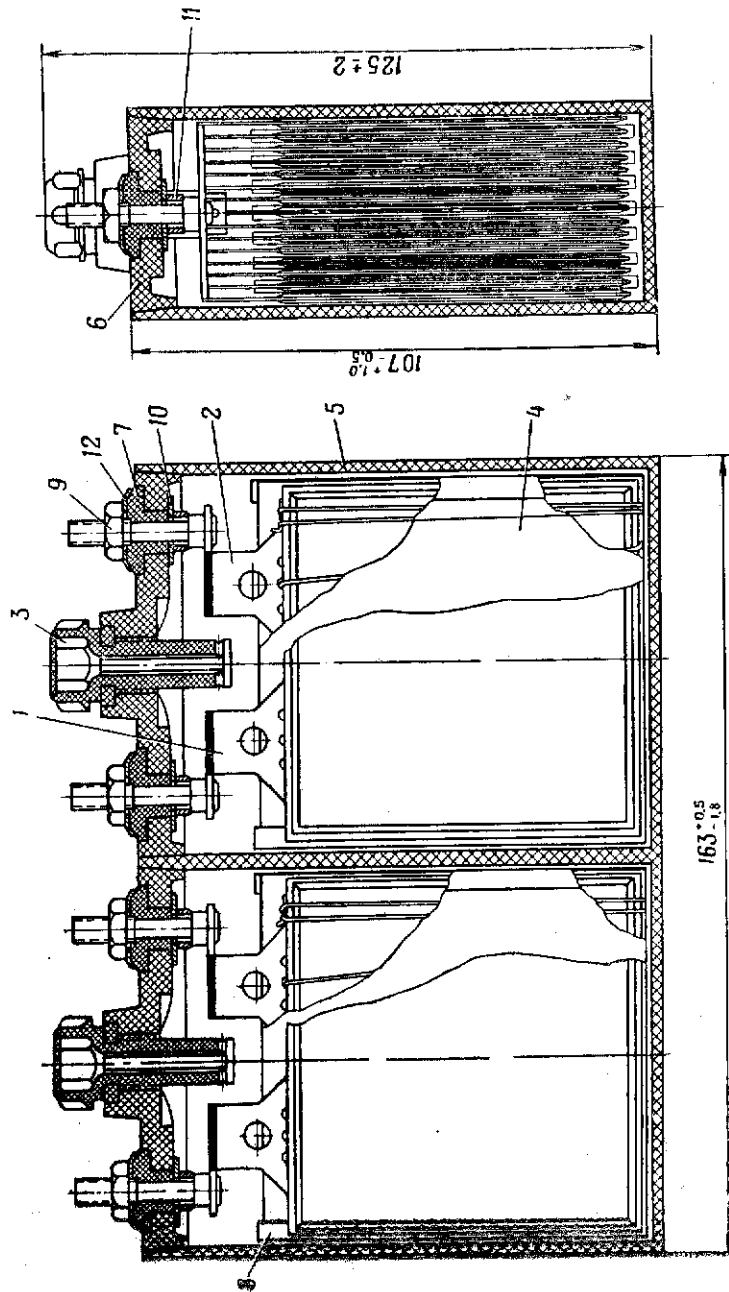
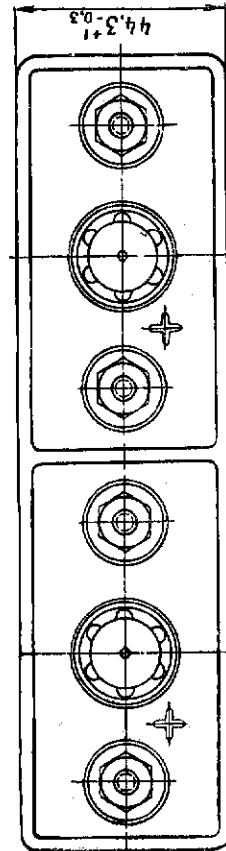


Рис. 31. Безламельная кадмиево-никелевая аккумуляторная батарея 2КНБ-20:

1 — блок положительный; 2 — блок отрицательный; 3 — вентиляционная пробка; 4 — сепаратор; 5 — моноблок пластмассовый; 6 — крышка пластмассовая; 7 — колышко уплотнительное; 8 — прокладка фасонная; 9 — гайка; 10 — шайба; 11 — шайба обжимная; 12 — шайба обжимная



онные пробки, сепарация изготавливаются из пластических масс.

На рис. 31 изображено устройство безламельной кадмиево-никелевой аккумуляторной батареи 2КНБ-20. Батарея 2КНБ-20 имеет пластмассовый моноблок 5 (рис. 31) с крышкой 6 из того же материала, на которой укреплены положительный 1 и отрицательный 2 блоки пластин.

Вентиляционная пробка 3 также изготовлена из пластмассы и обеспечивает хороший выход газов при непроливаемости электролита.

В качестве сепаратора 4 в аккумуляторах КНБ-20 применена капроновая ткань в сочетании с жилкой из полиамидной смолы.

Применение в большинстве безламельных аккумуляторов сосудов, крышек и пробок из пластмасс позволило значительно повысить коррозионную стойкость аккумулятора, уменьшить до минимума паразитные утечки и замыкания через крышку, как это имеет место в аккумуляторах типа ЖН и КН.

На примере батареи 2КНБ-20 легко показать преимущества безламельных батарей по сравнению с ламельными батареями 2ФКН-8-П, применяемыми в переносных фонарях и при освещении прицелов артиллерийских орудий.

Сравнительные характеристики батарей 2КНБ-20 и 2ФКН-8-П приведены в табл. 8.

Анализ данных, приведенных в таблице, убедительно показывает бесспорное преимущество безламельных аккумуляторов.

Таблица 8

## Сравнительные характеристики аккумуляторных батарей 2ФКН-8-П и 2КНБ-20

№ по пор.	Наименование характеристики	Единица измерения	2ФКН-8-П	2КНБ-20	
1	Габариты:	мм			
	длина . . . . .		160	163	
	ширина . . . . .		32	44	
	высота (с борнами) . . . . .	120	125		
2	Объем . . . . .	дм <sup>3</sup>	0,614	0,895	
3	Вес . . . . .	кг	1,45	1,60	
4	Емкость:	а · ч			
			при температуре +20°С	8	20
	при температуре -40°С	1,6	6,5		
5	Напряжение . . . . .	в	1,26	1,26	
6	Удельная емкость:	а · ч			
			по объему . . . . .	13	22,3
			по весу . . . . .	5,5	12,5
7	Удельная энергия:	вт · ч			
			по объему . . . . .	32,5	55,8
			по весу . . . . .	13,75	31,3

Батарея 2КНБ-20, имеющая объем и вес соответственно на 45 и 10% больше, чем батарея 2ФКН-8-П, отдает емкость, в 2,5 раза большую, чем ламельная батарея. Батарея 2КНБ-20 довольно хорошо работает при температуре -40°, а по величине удельных характеристик значительно превосходит батарею 2ФКН-8-П.

На рис. 32, 33 и 34 показан внешний вид батарей 2КНБ-2, 4КНБ-20 и 8КНБ-25.

Основные характеристики кадмиево-никелевых аккумуляторных безламельных батарей приводятся в табл. 9.

Гарантийный срок службы кадмиево-никелевых безламельных аккумуляторов составляет 150—200 циклов, однако их практический срок службы приближается к сроку службы ламельных аккумуляторов.

Таблица 9

## Основные характеристики кадмиево-никелевых безламельных аккумуляторных батарей

Наименование характеристики	Единица измерения	2КНБ-2	4КНБ-15	2КНБ-20	4КНБ-20	4КНБ-25	8КНБ-25	10КНБ-60	
Габариты:	мм								
		длина . . . . .	36	112	163	180	180	190	450
		ширина . . . . .	36	83	44	93	151	180	178
	высота (с борнами) . . . . .	92	125	125	127	132	135	225	
Вес с электролитом	кг	0,22	2,1	1,6	3,2	5,8	7,5	30	
Номинальное напряжение . . . . .	в	2,52	5,0	2,52	5,0	5,0	10,0	12,5	
Емкость:	а · ч								
		при температуре +20°С . . . . .	2	15	20	20	25	25	60
		при температуре -40°С . . . . .	1,2	5,5	7,0	7,0	12	16	30
Ток разряда . . . . .	а	0,4	5	0,5	6,5	5	7,5	15	
Напряжение в конце разряда . . . . .	в	1,8	4,0	2,0	4,0	4,0	8,0	10,0	
Ток заряда . . . . .	а	0,4	5,0	7,0	7,0	8,0	8,0	20,0	
Время заряда . . . . .	час	8	5	5	5	5	5	4,5	
Число аккумуляторов в батарее . . . . .	шт.	2	4	2	4	4	8	10	

Срок сохранности аккумуляторов КНБ в залитом состоянии такой же, как и у ламельных аккумуляторов. В сухом состоянии безламельные аккумуляторные батареи хранятся весьма продолжительный срок при условии хорошей консервации их металлических частей: перемычек, гаек и борнов.

Саморазряд безламельных аккумуляторов за 30 суток хранения в заряженном состоянии лежит в пределах 18—19%, т. е.

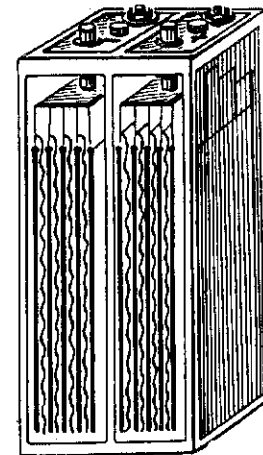


Рис. 32. Безламельная аккумуляторная батарея 2КНБ-2

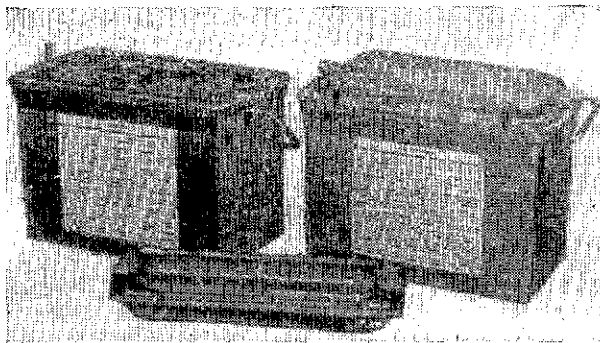


Рис. 33. Безламельная аккумуляторная батарея 4КНБ-20

почти такой же, как и ламельных кадмиево-никелевых аккумуляторов.

На рис. 35 приводятся кривые разряда батарей 4КНБ-20 током 6,5 а в температурном интервале от +20 до -40°С, а на рис. 36 — кривые разряда батарей 8КНБ-25 током 8,5 а в том же температурном интервале. Рассмотрение кривых разряда показывает, что безламельные аккумуляторы выдерживают 3-часовой режим

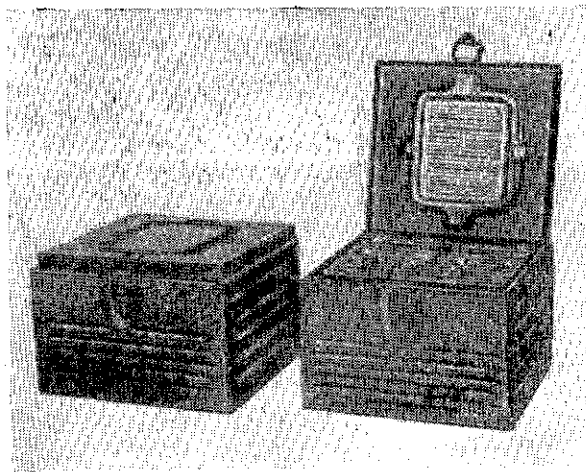


Рис. 34. Безламельная аккумуляторная батарея 8КНБ-25

разряда до напряжения 1,0 в на аккумулятор без каких-либо потерь емкости, в то время как ламельные аккумуляторы отдадут номинальную емкость только при 8-часовом режиме разряда.

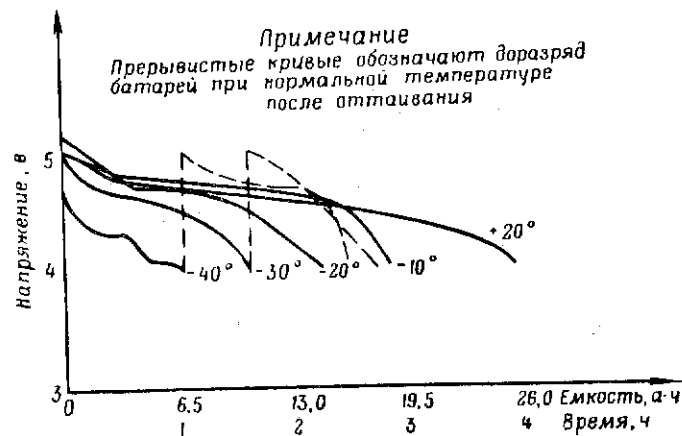


Рис. 35. Кривые разряда батарей 4КНБ-20 током 6,5 а при различных температурах

Как видно из рисунка, безламельные аккумуляторы имеют хорошую работоспособность при низких температурах: емкость безламельных батарей при температуре

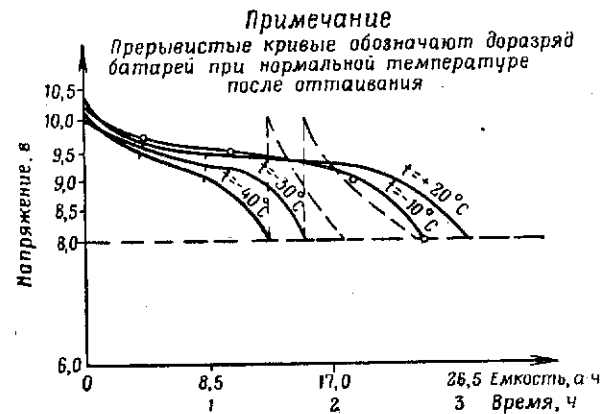
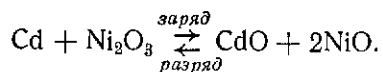


Рис. 36. Кривые разряда батарей 8КНБ-25 током 8,5 а при различных температурах

—40° лежит в пределах от 30 до 50% номинальной емкости при температуре +20°, в то время как ламельные аккумуляторы в тех же режимах разряда отдают меньше 10%.

Химические процессы, протекающие при заряде и разряде безламельных кадмиево-никелевых аккумуляторов, протекают по известному циклу:



Высокие удельные характеристики безламельных аккумуляторов, хорошая отдача ими емкости в условиях низких температур делают их незаменимыми для применения в радиоэлектронной и геологической аппаратуре, осветительных установках, аппаратуре связи и автомобильной технике.

Первые образцы безламельных аккумуляторов заряжались путем применения специальных зарядных трубок, в которые уходил излишек электролита при кипении. Современные образцы безламельных батарей, перечисленные в табл. 8, не требуют применения зарядных трубок, но перед постановкой их в заряд необходимо отобрать резиновой грушей лишний электролит до уровня верхнего края пластин, а при подъеме электролита в процессе заряда время от времени отбирать излишки электролита.

После заряда аккумуляторам необходимо дать возможность отстояться для удаления газов из электролита.

Процесс обезгаживания продолжается от 8 до 24 час в зависимости от типа батареи и режима разряда.

Для батарей, разряжаемых слабым током, время отстоя может быть сокращено наполовину.

Особое внимание при отстое должно быть уделено батареям 2КНБ-2 и 4КНБ-15, имеющим глухие пробки. Эти батареи должны быть полностью обезгажены во избежание нарушения целостности сосудов от чрезмерного давления газов при разряде. Правда, при необходимости срочного разряда эти батареи могут быть включены на нагрузку, но в этом случае через 3—4 час работы необходимо отвинчивать пробки для выпуска газов.

Все без исключения безламельные аккумуляторы после отстоя и снижения уровня электролита должны быть долиты тем же электролитом до уровня на 10 мм выше

верхнего края пластин, так как в противном случае эти аккумуляторы отдадут пониженную емкость.

В качестве электролита кадмиево-никелевых безламельных аккумуляторов применяется обычный щелочной электролит (ГОСТ 9285—59): твердый марки А или жидкий марки В. Для работы в интервале температур от +40 до —10° С применяется составной электролит КОН плотностью 1,19—1,21 с добавкой едкого лития в количестве 20 г на литр раствора КОН.

При температуре ниже —10° С аккумуляторы необходимо переводить на зимний электролит из того же КОН, но плотностью 1,27—1,29 и без LiOH.

Необходимо иметь в виду, что применение составного электролита значительно увеличивает срок службы безламельных аккумуляторов при температуре выше 0° С.

Применение в качестве электролита раствора едкого натрия запрещается даже при температурах выше нуля.

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

## 2. НИКЕЛЬ-ЦИНКОВЫЙ АККУМУЛЯТОР

Первые попытки создания никель-цинкового аккумулятора относятся к 1867 г., когда был предложен аккумулятор с отрицательным электродом из металлического цинка и положительным из окиси никеля Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Применение в качестве отрицательного электрода металлического цинка сулило большие перспективы в создании аккумулятора с высокими характеристиками по удельной энергии, так как электродвижущая сила электрохимической пары цинк — никель составляет 1,83 в, в то время как ЭДС пары никель — кадмий равна 1,4 в, а пары серебро — цинк 1,56 в.

Долгое время работа над созданием никель-цинкового аккумулятора ограничивалась лабораторными экспериментами из-за больших трудностей в разработке отрицательного электрода с равномерно осаждаемым при заряде цинком.

В результате работ, проведенных В. Н. Флеровым и его сотрудниками, удалось создать никель-цинковый

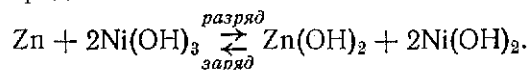
аккумулятор с приемлемыми эксплуатационными характеристиками.

Никель-цинковый аккумулятор по конструкции пластин является безламельным аккумулятором. В нем в качестве положительного электрода использован металло-керамический никелевый спеченный электрод, пропитанный гидратом закиси никеля, как и в безламельном кадмиево-никелевом аккумуляторе. Сепаратором положительного электрода служит капроновое полотно.

Отрицательный электрод никель-цинкового аккумулятора выполнен в виде брикета из смеси цинкового порошка и окиси цинка с крахмалом. Отрицательный электрод покрывается несколькими слоями целлофановой пленки.

Никель-цинковый аккумулятор работает на составном электролите KOH с примесью 15 г едкого лития на литр раствора.

При разряде аккумулятора цинк, соединяясь с гидроксильным остатком, образует  $Zn(OH)_2$ , а при заряде происходит электролиз и осаждение цинка на отрицательном электроде:



Этот процесс не является полностью обратимым, так как после 30—40 циклов никель-цинковый аккумулятор выходит из строя вследствие роста игольчатых кристаллов (дендритов) на цинковом электроде, образующих точечные короткие замыкания на никелевый электрод.

Напряжение никель-цинкового аккумулятора при комнатной температуре составляет 1,6—1,7 в. Напряжение никель-цинкового аккумулятора при заряде не должно превышать 2,1 в.

Никель-цинковый аккумулятор НЦ-15 емкостью 15 а·ч заряжается током 5 а в течение 6 час, но допускается также ускоренный заряд током 15 а в течение 1 час.

Аккумулятор НЦ-15 при температуре окружающей среды —30°, разряжаемый током 5 а до конечного напряжения 1 в, дает возможность получить около 30% емкости от номинальной, а при разряде до напряжения 1,3 в — 20% емкости.

По своей удельной энергии ( $56,7 \frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$ ) никель-

цинковый аккумулятор превосходит лучшие образцы кадмиево-никелевых аккумуляторов, хотя и уступает серебряно-цинковым аккумуляторам.

Достоинством никель-цинкового аккумулятора является его относительная дешевизна: он дешевле равноценных ему по емкости безламельных кадмиево-никелевых аккумуляторов в два раза и серебряно-цинковых — в четыре раза.

К недостаткам никель-цинкового аккумулятора относятся небольшой срок службы и значительная величина саморазряда, достигающая за месяц хранения в заряженном состоянии 25—30%, а также небольшой срок сохранности в залитом состоянии (6 месяцев).

Устройство никель-цинкового аккумулятора показано на рис. 37, а его разрядная характеристика представлена на рис. 38.

Никель-цинковые аккумуляторы пригодны для использования в

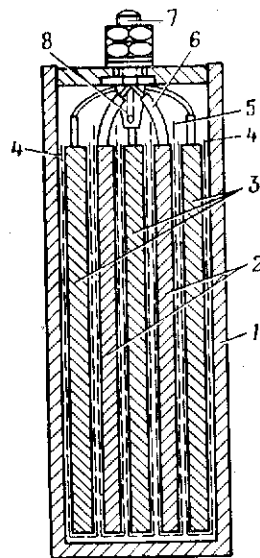


Рис. 37. Никель-цинковый аккумулятор:

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

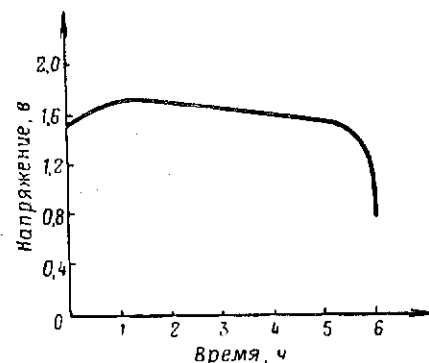


Рис. 38. Кривая разряда никель-цинкового аккумулятора НЦ-15 при температуре +20° током 3 а

установках с кратковременным режимом разряда: для питания прожекторов, мощных накальных цепей, в переносной аппаратуре, работающей в условиях умеренного климата, и других устройствах, где требуется обеспечить малые веса и габариты.

### 3. СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Несмотря на то что серебряно-цинковая электрохимическая пара как аккумулятор была запатентована еще в 1898 г., неоднократные попытки создать промышленный образец аккумулятора не дали положительных результатов по той же причине, что и в разработке никель-цинкового аккумулятора, — невозможности устранения необратимого процесса растворения металлического цинка в щелочном электролите, а также из-за прорастания дендритов серебра, восстанавливаемого из окиси серебра избытком водорода.

Нерастворимый цинковый электрод был создан французским ученым Андре лишь в 1943 г.

Разработанный Андре цинковый электрод представляет собой спрессованную на токоотводе из серебряной проволоки пластину из массы, состоящую из окиси цинка (70—75%) и цинковой пыли (25—30%).

Такой электрод не растворяется в электролите, так как при его окислении поры пластины заполняются гидроокисью и окисью цинка, не растворимыми в малом количестве электролита, которым заливаются серебряно-цинковый аккумулятор.

Огромную роль в разработке промышленных образцов серебряно-цинковых аккумуляторов сыграли работы по изысканию новых материалов для сепараторов, так как сепарация в серебряно-цинковом аккумуляторе призвана решать несколько задач, каждая из которых является достаточно сложной. Эти задачи состоят из требования хорошей проницаемости ионного обмена, достаточной прочности к прорастанию дендритов серебра, нерастворимости в электролите большой плотности и хорошей механической упругости.

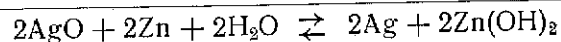
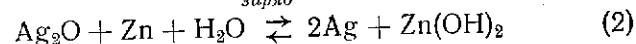
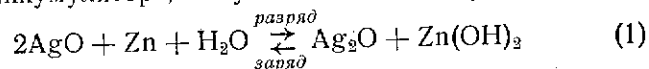
Такой сепарацией оказалась пленка из гидрата целлюлозы (целлофан), которая, разбухая в электролите, сохраняет необходимую плотность сборки отрицательных цинковых электродов и препятствует оплыванию электродов и их разрушению при механических ударах и тряске при транспортировке.

Кроме того, целлофановая пленка сохраняет свои свойства в широком температурном интервале: от  $-50$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ .

Положительный электрод серебряно-цинкового аккумулятора также прессованный и состоит из серебряного порошка.

Положительная пластина спекается в печи при температуре около  $400^{\circ}$ , в результате чего она приобретает необходимую пористость и необходимые механические свойства.

Химические процессы, протекающие в серебряно-цинковом аккумуляторе, могут быть описаны уравнениями:



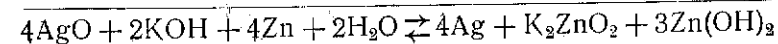
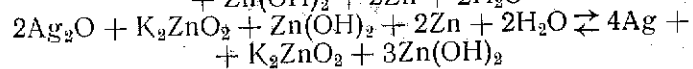
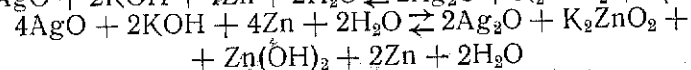
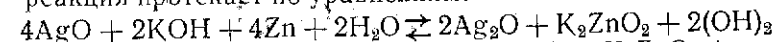
Приведенная суммарная реакция относится к стартерному режиму разряда, когда цинк не успевает раствориться в электролите KOH и образовать калиевую соль цинковой кислоты — цинкат калия.

Уравнения (1) и (2) иллюстрируют характерную кривую разряда серебряно-цинкового аккумулятора (рис. 39), в котором процесс разряда распадается на две части: одну напряжением от 1,88 в до 1,50 в и вторую — на уровне 1,5 в до резкого падения вниз.

Уравнение (1) соответствует участку разряда от 1,88 до 1,50 в, где химический процесс заключается в окислении цинкового электрода и образовании гидрата окиси цинка. Одновременно положительный электрод из окиси серебра AgO восстанавливается до  $\text{Ag}_2\text{O}$ .

Второе уравнение относится к разряду на уровне 1,5 в, когда остаток цинка на отрицательном электроде переходит в гидрат окиси цинка, а окисел серебра  $\text{Ag}_2\text{O}$  восстанавливается до металлического серебра.

В длительном режиме разряда химические процессы осложняются образованием цинката калия  $\text{K}_2\text{ZnO}_2$ , когда реакция протекает по уравнениям:





Первое из приведенных выше уравнений показывает процесс растворения цинка в электролите КОН с образованием цинката  $K_2ZnO_2$ , окисления цинка в гидрат окиси  $Zn(OH)_2$  и восстановления окиси серебра  $Ag_2O$  в окись серебра  $Ag_2O$ .

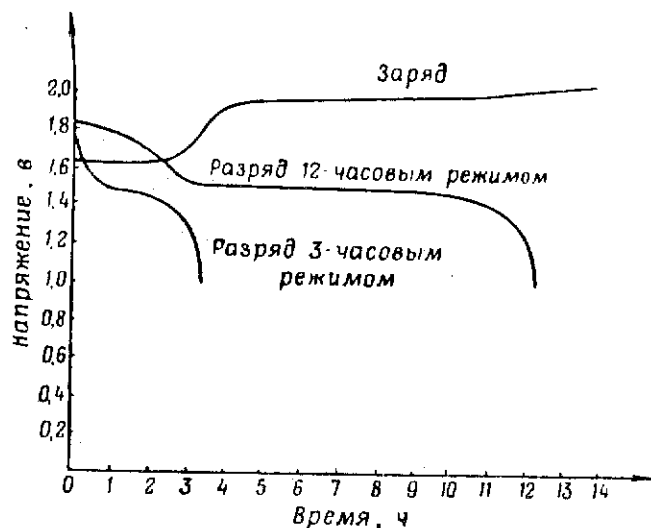


Рис. 39. Кривые заряда и разряда серебряно-цинкового аккумулятора

Второе уравнение описывает дальнейший процесс окисления цинка и восстановления серебра из окиси в металлическое серебро.

Первое уравнение относится к разряду от 1,88 до 1,5 в, второе — к разряду при 1,5 в.

Приведенные выше формулы хорошо иллюстрируют химические процессы в серебряно-цинковом аккумуляторе, разряд которого сопровождается убылью воды и выделением ее при заряде.

Устройство серебряно-цинкового аккумулятора показано на рис. 40. Все без исключения серебряно-цинковые аккумуляторы оформлены в прозрачных или полупрозрачных пластмассовых сосудах с целью контроля уровня электролита.

Крышка сосуда аккумулятора несет полюсные борны с впаянными в них пучками серебряных токоотводов от положительных и отрицательных пластин.

Из рис. 40 видно, что цинковые электроды в сепарации имеют U-образную форму, так как при сборке цинковые пластины покрываются попарно целлофановой лентой, затем складываются и между ними помещается положительная пластина в своем сепараторе из капронового полотна. Пробки к заливочному отверстию крышки сосуда обычно делают вентиляционного типа, так как при разряде аккумулятора выделяется значительное количество газов.

Две горизонтальные черты на сосуде указывают допустимый уровень электролита в аккумуляторе при заряде (верхняя черта) и при разряде (нижняя черта).

В некоторых типах аккумуляторов, сосуды которых недостаточно прозрачны, уровень электролита почти не просматривается, поэтому для его определения необходимо слегка наклонить аккумулятор и наблюдать изменение уровня между пластинами.

В настоящее время нашей промышленностью выпускается большое количество различных типов серебряно-цинковых аккумуляторов и батарей емкостью от 0,5 до 120 а·ч, данные которых приводятся в табл. 10.

Срок службы серебряно-цинковых аккумуляторов колеблется в пределах от 30 до 100 циклов заряд-разряд в зависимости от назначения батареи и режима ее разряда. Для батарей, работающих в коротких режимах разряда, срок службы сокращается, так как эти батареи

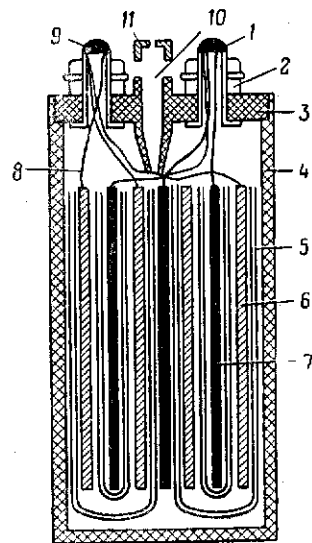


Рис. 40. Серебряно-цинковый аккумулятор:

1 — борн положительный; 2 — гайка борна; 3 — крышка; 4 — сосуд; 5 — сепарация отрицательного электрода; 6 — отрицательный электрод; 7 — положительный электрод; 8 — токоотвод; 9 — борн отрицательный; 10 — заливочное отверстие; 11 — пробка

Таблица 10

## Основные характеристики серебряно-цинковых аккумуляторов и батарей

Тип аккумулятора (батарей)	Габариты (длина, ширина, высота), мм	Вес с электролитом, г	Номинальная емкость при 10-часовом разряде, а · ч	Удельная емкость при 10-часовом разряде, а · ч / кг	Ток 5-минутного разряда, а	Напряжение, в	Нормальный зарядный ток, а
СЦ-0,5	24×12×47	24	0,85	65	2	1,5	0,025
СЦ-1,5	28×14×50	35	1,8	65	3,5	1,5	0,08
СЦ-3	43×18×73	95	4,5	80	35	1,5	0,15
СЦ-5	45×32×77	160	7,5	70	60	1,5	0,5
СЦ-11	21×41×100	190	11	60	120	1,5	1,0
СЦ-12	48×22×115	195	14	95	80	1,5	1,0
СЦ-15	48×28×115	245	16,5	95	100	1,5	1,0
СЦ-18	48×33×115	300	20	100	120	1,5	1,5
СЦ-25	48×48×136	330	25	100	150	1,5	1,5
СЦ-40	53×50×160	720	45	60	180	1,5	4,0
СЦ-45	58×50×165	760	50	60	200	1,5	4,0
СЦ-50	64×49×165	840	55	60	250	1,5	5,0
СЦ-70	91×50×166	1350	80	60	400	1,5	7,0
СЦ-95	71×55×212	1820	95	50	1200	1,5	10,0
СЦ-100	106×50×153	1600	100	60	600	1,5	10,0
СЦ-120	71×55×237	1900	130	70	650	1,5	12,0
3СЦ-5	96×45×77	590	7,5	70	60	4,5	0,5
5СЦ-5	160×45×77	1020	7,5	70	60	7,5	0,5
8СЦ-45	200×110×160	6480	50	60	200	12,0	4,5
15СЦ-45	432×126×170	16000	45	60	200	22,5	4,5

имеют, как правило, небольшой слой сепарации на цинковом электроде. Срок сохранности сухих батарей, не залитых электролитом, велик и исчисляется годами. Срок сохранности батарей и отдельных аккумуляторов, залитых электролитом, невелик и составляет 6—9 месяцев. Причиной небольшого срока службы и срока сохранности серебряно-цинковых аккумуляторов является прораствание дендритов серебра и цинка в процессе работы аккумулятора и прокалывание ими сепарации, что приводит в конечном счете к выходу аккумулятора из строя.

Одной из причин ускоренного роста дендритов является перезаряд аккумуляторов, вызывающий сильное окисление целлофана и его разрушение, а также хранение аккумуляторов с открытыми горловинами.

Саморазряд серебряно-цинковых аккумуляторов за 30 суток хранения в заряженном состоянии достигает 20%. Хранение при температуре свыше +40° вызывает невозвратимую потерю емкости.

Электродвижущая сила серебряно-цинкового аккумулятора равна 1,88 в.

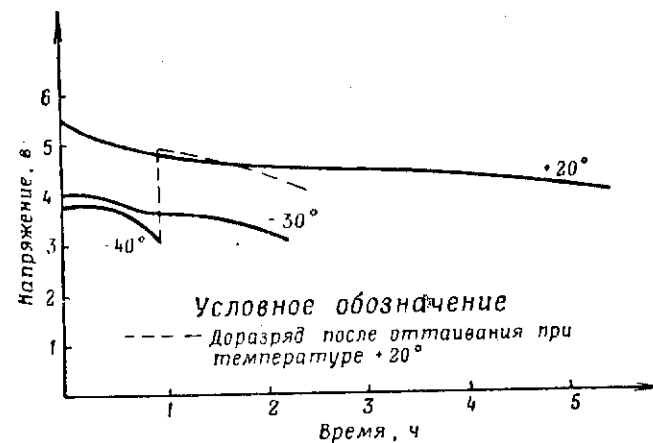


Рис. 41. Кривые разряда батареи 3СЦ-25 при различной температуре током 5 а

Несмотря на некоторые отрицательные качества, серебряно-цинковые аккумуляторы по своим удельным характеристикам превышают все известные вторичные химические источники тока. Небольшие габариты, малый вес, способность к работе в стартерных режимах разряда делают их незаменимыми в переносной аппаратуре.

Отдача емкости аккумуляторами СЦ при низких температурах выше, чем ламельными кадмиево-никелевыми и железо-никелевыми: при температуре —30°, как это видно из разрядных кривых рис. 41, серебряно-цинковые аккумуляторы способны отдавать 40—50% своей номинальной емкости, а при температуре —40° — около 20% (при разряде до 1 в на аккумулятор).

На рис. 42 приведены разрядные характеристики аккумулятора СЦ-45, из которых следует, что для серебря-

но-цинковых аккумуляторов режим разряда не оказывает влияния на отдачу емкости.

К особенностям эксплуатации серебряно-цинковых аккумуляторов относится их чрезвычайная чувствительность к перезаряду и чистоте электролита. Перезаряд аккумуляторов, как было указано выше, приводит к раз-

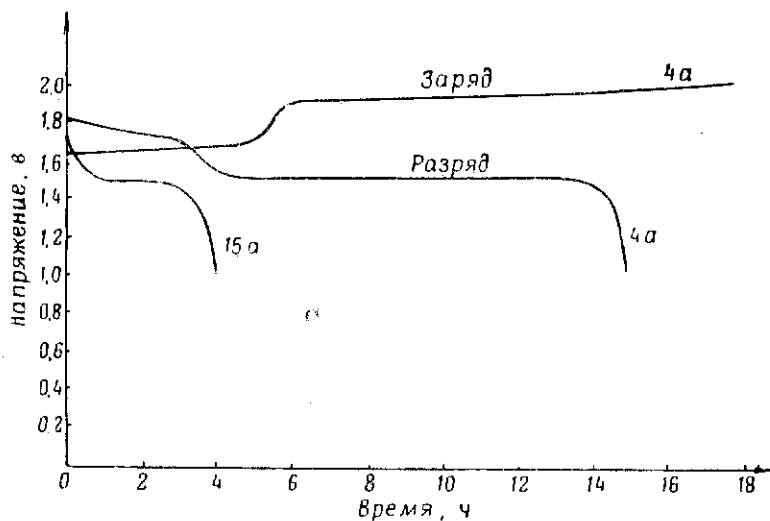


Рис. 42. Характеристики заряда и разряда аккумулятора СЦ-45 при температуре  $+20^{\circ}$

рушению сепарации отрицательного электрода. Кроме того, при повышении напряжения на отдельных аккумуляторах, заряжаемых в последовательной цепи, может произойти переполюсовка перезаряженных аккумуляторов. Поэтому при заряде серебряно-цинковых аккумуляторов недостаточно проводить замер напряжения на всей цепи заряжаемых аккумуляторов. К концу заряда необходимо вести наблюдение за напряжением на каждом аккумуляторе, особенно на тех аккумуляторах, напряжение на которых в процессе заряда было выше, чем на остальных.

Недопустим также и глубокий разряд отдельных аккумуляторов в батарее, так как аккумулятор, имеющий чрезмерно пониженное напряжение, начинает заряжать-

ся другими аккумуляторами, что может вывести его из строя из-за разрушения сепарации.

Особенно опасна для серебряно-цинковых аккумуляторов работа при параллельном включении аккумуляторов в батарее. Неоднородность аккумуляторов по емкости и напряжению также играет здесь весьма большую роль. Поэтому серебряно-цинковые аккумуляторы заряжать и разряжать в параллельном соединении запрещается.

Электролитом серебряно-цинковых аккумуляторов является химически чистый едкий калий плотностью 1,40. Поэтому применение каких-либо других электролитов, кроме электролитов марки ЧДА или ХЧДА, категорически запрещается.

При убыли электролита в серебряно-цинковом аккумуляторе необходимо произвести добавку, причем добавление электролита должно производиться в заряженном аккумуляторе, когда уровень электролита достигает максимума. Добавлять можно только химически чистый электролит, придаваемый в комплект к аккумуляторам, или электролит, приготовленный из химически чистой едкой щелочи, как это описано в гл. V.

При отсутствии электролита можно произвести доливку дистиллированной водой. Доливка недистиллированной водой запрещается.

Требования к чистоте электролита обусловлены тем, что все компоненты, входящие в состав активных масс серебряно-цинковых аккумуляторов, имеют высокую степень химической чистоты, а поэтому их загрязнение солями других кислот вызывает усиленный процесс окисления, приводящий к разрушению сепарации.

Достаточно сказать, что в щелочном электролите для серебряно-цинковых аккумуляторов допускается железо в количестве не более 1,5 мг на литр раствора.

Область применения серебряно-цинковых аккумуляторов весьма обширна: переносная радиоэлектронная аппаратура, искусственные спутники Земли, самолетная аппаратура, морская техника, хирургическая аппаратура, геофизическая и геологическая аппаратура, портативные радиоприемники, киносьемочная аппаратура.

Первый в мире советский летчик-космонавт Ю. А. Гагарин производил съемку земной поверхности ручной кинокамерой «Конвас», лентопротяжный механизм которой

приводится в действие от серебряно-цинковой аккумуляторной батареи 5СЦ-25.

Широкое распространение серебряно-цинковых батарей не является случайным, так как ни один тип аккумуляторов не в состоянии конкурировать с серебряно-цинковыми аккумуляторами по их характеристикам.

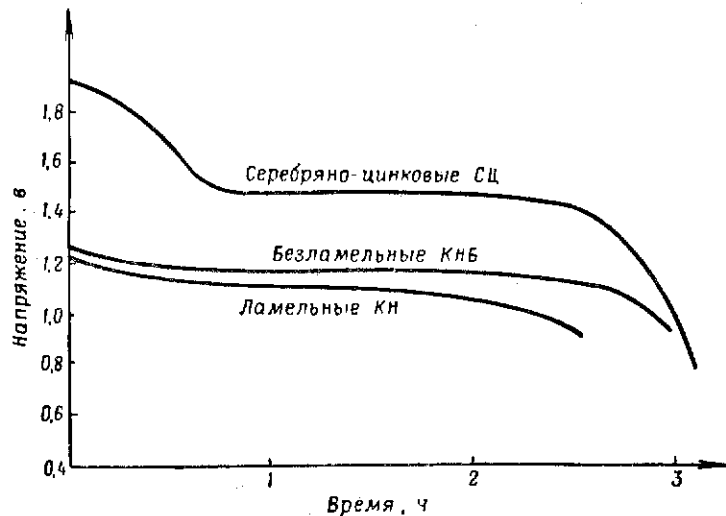


Рис. 43. Сравнительные характеристики 3-часового разряда серебряно-цинковых и кадмиево-никелевых ламельных и безламельных аккумуляторов при нормальной температуре

На рис. 43 приводятся сравнительные характеристики 3-часового режима разряда трех типов щелочных аккумуляторов: серебряно-цинковых, ламельных кадмиево-никелевых и безламельных кадмиево-никелевых, из которых видны преимущества серебряно-цинковых аккумуляторов как по напряжению при разряде, так и по емкости.

На рис. 44 показана зависимость емкости тех же типов щелочных аккумуляторов от температуры. Кривая температурной зависимости для серебряно-цинковых аккумуляторов показывает их несомненное преимущество перед ламельными кадмиево-никелевыми аккумуляторами.

При выборе источника тока, помимо электрических и эксплуатационных характеристик, потребитель обычно руководствуется и эко-

номическими соображениями, в силу которых применение серебряно-цинковых аккумуляторов, по общераспространенному мнению, считается весьма дорогостоящим. Однако это не совсем верно.

Самым дешевым является, конечно, свинцовый аккумулятор.

Но серебряно-цинковые аккумуляторы не являются самыми дорогими, хотя в их активные массы входит драгоценный металл — серебро.

Дело в том, что серебро является металлом валютного фонда, но его стоимость как металла значительно ниже, чем кадмия, входящего в активную массу кадмиево-никелевых аккумуляторов. Что же касается активной массы отрицательного электрода — цинка, то его стоимость в несколько раз меньше, чем стоимость никеля.

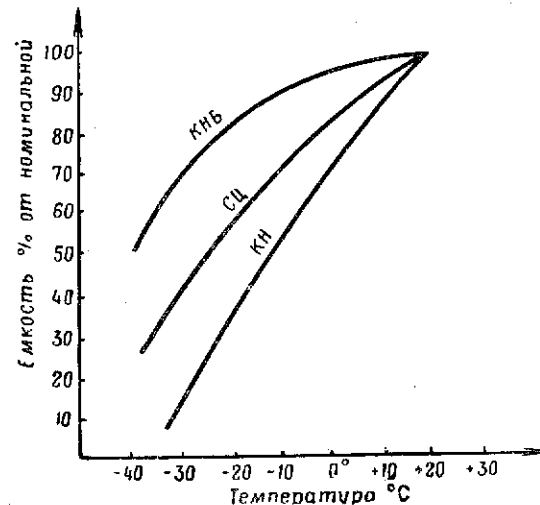


Рис. 44. Характеристики зависимости емкости от температуры щелочных аккумуляторов при 3-часовом режиме разряда

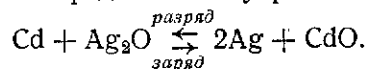
#### 4. СЕРЕБЯНО-КАДМИЕВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Серебряно-кадмиевые аккумуляторы являются новинкой среди вторичных источников тока. Серебряно-кадмиевая электрохимическая система привлекает своими высокими удельными характеристиками и удобством эксплуатации, так как в отличие от серебряно-цинковых аккумуляторов серебряно-кадмиевые аккумуляторы допускают герметизацию.

В качестве положительного электрода серебряно-кадмиевого аккумулятора служит одновалентная окись се-

ребра. Отрицательный электрод изготовлен из металлического кадмия, а электролитом является 35—40%-ный раствор едкого калия.

Электрохимическая реакция во время цикла разряд-заряд может быть представлена упрощенным уравнением



В качестве сепарации в серебряно-кадмиевом аккумуляторе использована многослойная целлофановая пленка в сочетании с волокнистым материалом.

Так как растворимость окиси кадмия в щелочи очень мала, образование дендритов кадмия и связанные с ними короткие замыкания через сепарацию здесь не имеют места, вследствие чего срок службы серебряно-кадмиевых аккумуляторов значительно больше серебряно-цинковых и приближается к сроку службы кадмиево-никелевых.

По данным фирмы «Галтон», выпускающей серебряно-кадмиевые аккумуляторы, срок их службы может быть доведен до 1500 циклов. Испытания на срок службы, проведенные фирмой «Ярдни», показали, что серебряно-кадмиевые аккумуляторы при разряде глубиной 65% номинальной емкости выходят из строя на 1820-м цикле, а аккумуляторы, циклируемые до 25, 35 и 50% емкости, выдерживают 3000 заряд-разрядных циклов.

Серебряно-кадмиевые аккумуляторы показывают хорошие результаты по сроку сохранности как в сухом, так и в залитом состоянии.

Разработанные указанными выше фирмами герметичные серебряно-кадмиевые аккумуляторы ввиду их хороших удельных характеристик и немагнитности нашли применение в космической аппаратуре, где они работают в буфере с солнечными кремниевыми фотобатареями.

В герметичных серебряно-кадмиевых аккумуляторах так же, как и в герметичных кадмиево-никелевых, отрицательный электрод берется с избытком по массе, что обеспечивает поглощение кислорода, выделяющегося на положительном серебряном электроде.

Удельная энергия серебряно-кадмиевых аккумуляторов достигает  $70 \frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$  и  $130 \frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{дм}^3}$ . Среднее напряжение при разряде составляет 1,10—1,05 в, но в начале

разряда характеристика имеет площадку на уровне около 1,3 в, отдача емкости при которой равна 40% номинальной емкости (рис. 45). По своим температурным характери-

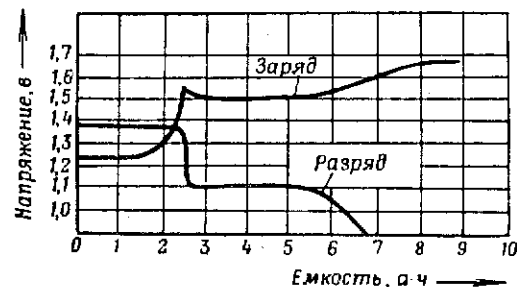


Рис. 45. Характеристики заряда и разряда серебряно-кадмиевого аккумулятора

стикам серебряно-кадмиевые аккумуляторы превосходят серебряно-цинковые. Из представленной на рис. 46 кривой зависимости среднего разрядного напряжения от тем-

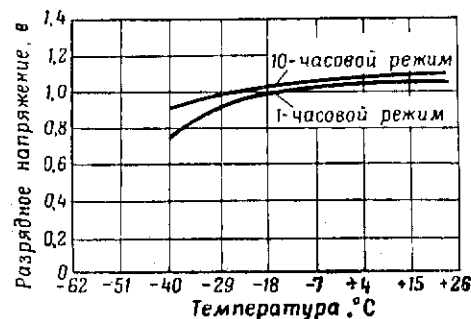


Рис. 46. Характеристики зависимости разрядного напряжения от температуры серебряно-кадмиевых аккумуляторов

пературы следует, что в диапазоне температур от +30 до —30°С величина напряжения серебряно-кадмиевого аккумулятора меняется незначительно.

По данным зарубежной печати, серебряно-кадмиевые аккумуляторы выпускаются как в герметичном, так и негерметичном исполнении в диапазоне емкостей от 0,1 до 300 а · ч.

На рис. 47 изображены выпускаемые фирмой «Ярдни» герметичный аккумулятор емкостью 1,1 а·ч, весом 35 г



Рис. 47. Общий вид герметичного серебряно-кадмиевого аккумулятора и аккумуляторной батареи

и батарея из 7 герметичных аккумуляторов емкостью 1 а·ч. На рис. 48 приведены характеристики разряда одного аккумулятора этой батареи в различных режимах.

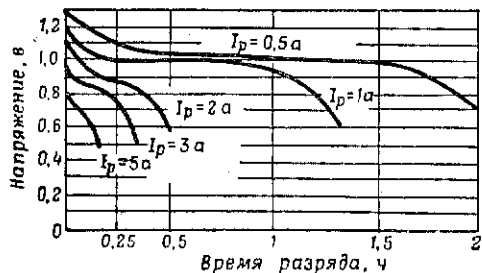


Рис. 48. Характеристики разряда дискового серебряно-кадмиевого аккумулятора емкостью 1 а·ч

## 5. ГАЗОВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

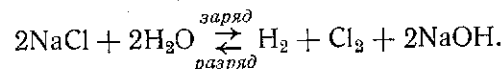
В 1955 г. изобретателем А. Г. Пресняковым был описан так называемый «газовый» аккумулятор, принцип работы которого заключается в следующем: при пропускании электрического тока через электролит, состоящий из водного раствора соли NaCl, происходит разложение

электролита на водород и хлор, причем выделяющиеся газы собираются в порах электродов из активированного угля, обладающего весьма высокой поглощающей способностью.

При разряде такого аккумулятора происходит обратная реакция перехода хлора в раствор с образованием NaCl и воды.

Устройство газового аккумулятора показано на рис. 49.

Химическая реакция в таком аккумуляторе может быть описана уравнением



Выделение водорода происходит на отрицательном электроде аккумулятора, а хлора — на положительном.

Электролитом газовых аккумуляторов могут служить различные соли, содержащие хлор, сернистый газ, углекислый газ и т. п. Напряжение газового аккумулятора определяется электродными потенциалами газов, участвующих в образовании электрического тока (потенциал водорода принят за нуль), и колеблется для различных электрохимических пар газов в пределах от 1 в до 2,5 в.

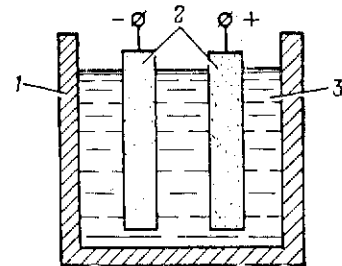


Рис. 49. Устройство газового аккумулятора:

1 — сосуд; 2 — пористые электроды из активированного угля; 3 — электролит из поваренной соли

А. Г. Пресняковым разработано несколько конструктивных модификаций газовых аккумуляторов, однако принцип их действия основан на одном и том же явлении — поглощении газов адсорбентом электродов. Будучи чрезвычайно простыми по устройству, газовые аккумуляторы доступны для изготовления практически в любых условиях и не требуют применения какого-либо специального инструмента и дефицитных реактивов.

Недостатки газовых аккумуляторов — высокий процент саморазряда даже при комнатной температуре и на

свету, нестабильность напряжения в процессе разряда и при хранении, зависимость емкости от чистоты адсорбента (активированного угля), выделение газов — затрудняют промышленное производство и применение газовых аккумуляторов.

Учитывая простоту изготовления и сравнительную эксплуатационную неприхотливость газовых аккумуляторов, изобретателям и рационализаторам следует поработать над усовершенствованием этих источников тока с тем, чтобы довести их характеристики и конструкцию до приемлемых для практического применения.

## Б. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ И ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

### 1. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Одноразовые источники тока — гальванические элементы — относятся к первичным источникам тока, т. е. обладают способностью отдавать во внешнюю цепь электрическую энергию, запасенную в активных массах их электродов.

Гальванические элементы представляют собой весьма обширную группу химических источников тока с большой номенклатурой и занимают первое место среди других источников тока по промышленному выпуску и области применения.

Гальванические элементы по способу их приведения в действие делятся на сухие и наливные (резервные).

Сухие гальванические элементы и батареи являются непроливаемыми с точки зрения состояния их электролита, в пределах срока сохранности всегда готовы к употреблению и не требуют каких-либо подготовительных операций при включении.

Наливные (резервные) элементы для приведения в действие требуют заливки электролитом или водой в зависимости от состояния электролита.

#### Сухие элементы

Наибольшее распространение получили сухие элементы, производство которых было начато еще в прошлом веке и продолжает развиваться, несмотря на появление новых элементов с более высокими удельными характеристиками. Дело в том, что гальванические элементы этой

группы, объединяющей шесть типов элементов, весьма просты в эксплуатации, сравнительно дешевы по сравнению с другими источниками питания, производство их механизировано, что в конечном счете и определяет масштабы их применения.

К группе сухих элементов относятся:

- марганцево-цинковые;
- марганцево-воздушно-цинковые;
- марганцево-магниевые;
- железо-угольные;
- окиснортутные.

### Марганцево-цинковые элементы и батареи

Первые и самые распространенные представители сухих элементов — марганцево-цинковые элементы — выпускаются в трех модификациях: стаканчиковые, галетные и чашечные.

Положительным электродом марганцево-цинковых элементов служит двуокись марганца — пиролюзит, отрицательным — металлический цинк. Электролит марганцево-цинковых элементов состоит из раствора хлористого аммония с добавкой различных наполнителей для создания густой массы. Токоотводом положительного электрода служит угольный стержень.

Устройство марганцево-цинкового стаканчикового элемента показано на рис. 50.

Стаканчиковые элементы выпускаются на различную емкость — от 0,25 а·ч до 30 а·ч и более.

Некоторыми улучшенными характеристиками обладают стаканчиковые элементы наливного типа со стальным корпусом и элементами, где отрицательный электрод выполнен из прессованного цинкового порошка.

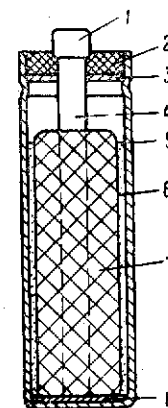


Рис. 50. Устройство марганцево-цинкового стаканчикового элемента:

1 — колышчок; 2 — смолка; 3 — картонная шайба; 4 — угольный стержень; 5 — отрицательный электрод (стакан); 6 — паста из хлористого аммония; 7 — положительный электрод; 8 — прокладка

Другой тип марганцево-цинковых элементов — элементы галетного типа — напоминают по конструкции Вольтов столб (рис. 51).

Стаканчиковые элементы обычного и набивного типа выпускаются как в виде отдельных элементов, так и соединенными в батареи.

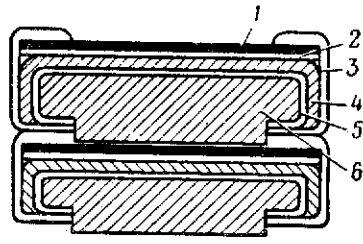
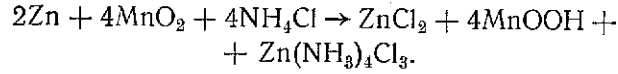


Рис. 51. Устройство галетной батареи:

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

Химические процессы, протекающие в марганцево-цинковых элементах, выражаются формулой



Описанный выше процесс не является обратимым, однако для снятия дополнительной емкости можно провести вторичный перезаряд элементов по способам, описанным в гл. V.

В табл. 11 представлены основные характеристики марганцево-цинковых элементов и батарей стаканчиковой конструкции, выпускаемых нашей промышленностью.

На рис. 52 приведены характеристики разряда анодной батареи стаканчиковой конструкции различным током, из которых следует, что емкость батарей имеет резко выраженную зависимость от величины разрядного тока: при разряде током 100 и 50 ма батареи отдают от 6 до 9% своей номинальной емкости при непрерывно падающем напряжении.

Поэтому разряд этих батарей током свыше 15—20 ма при условии стабильности напряжения практически невозможен.

Таблица 11

Основные характеристики марганцево-цинковых элементов и батарей стаканчиковой конструкции

Наименование элемента (батарей)	Начальные характеристики			Характеристики срока хранения		Условия разряда			Габариты, мм			Вес, кг			
	при температуре +20°	при температуре <0°		емкость, а · ч	длительность работы, час	емкость, а · ч	длительность работы, час	напряжение в конце разряда, в	внешняя цепь, ом (ток в ампер)	напряжение в конце разряда, в	длина		ширина (диаметр)	высота	
		емкость, а · ч	длительность работы, час												емкость, а · ч
1,3-ФМЦ-0,25	1,3	0,25	—	—	—	4	0,17	—	—	0,6	—	—	—	37,5	0,022
1,5-СТМЦ-60ч	1,5	—	—	—	—	6	—	—	—	1,0	—	—	—	50	0,025
1,54-ПМЦ-у-48ч	1,54	—	—	—	—	24	—	—	—	—	—	—	—	22	0,045
1,6-ПМЦ-х-1	1,6	1,05	—	—	—	8	2,6	—	—	1,0	—	—	—	21	0,045
1,6-ПМЦ-у-3,2	1,6	3,2	—	—	—	12	—	—	—	0,7	—	—	—	34	0,15
1,6-ПМЦ-у-8	1,6	8	1,0 (-40°)	10 (-40°)	—	12	—	—	—	0,7	—	—	—	42	0,3
1,48-ПМЦ-9	1,48	9	2,4 (-17°)	—	—	12	6	—	—	0,7	—	—	—	42	0,3
1,6-ФМЦ-у-3,2	1,6	3,2	0,3 (-10°)	3 (-10°)	—	12	2,6	—	—	0,7	—	—	—	42	0,3
1,58-СНМЦ-2,5-П	1,58	2,5	—	—	—	10	2,0	—	—	1,0	—	—	—	36	0,16
1,5-СНМЦ-0,6	1,5	0,6	—	—	—	6	0,04	—	—	1,0	—	—	—	20	0,04
1,46-ТМЦ-7,5	1,46	7,5	—	—	—	12	—	—	—	0,7	—	—	—	40,5	0,3
1,6-ТМЦ-у-8	1,6	8	—	—	—	12	—	—	—	0,7	—	—	—	40,5	0,3
1,6-ТМЦ-у-28	1,66	28	—	—	—	18	23	—	—	0,7	—	—	—	57	0,7
1,5-ТМЦ-29,5	1,5	29,5	5,5 (-20°)	60 (-20°)	—	18	—	—	—	0,7	—	—	—	57	0,7
1,46-НМЦ-60ч	1,46	—	—	—	—	12	—	—	—	0,91	—	—	—	180	1,3

а. Элементы



Наименование элемента (батареи)	Начальные характеристики				Габаритный срок хранения, мес.	Характеристики в конце срока хранения		Условия разряда		Габариты, мм			Вес, кг
	при температуре +20°		при температуре <0°			емкость, а.ч.	длительность работы, час	внешняя цепь, Ом (ток в мА)	напряжение в конце разряда, в	длина	ширина (диаметр)	высота	
	напряжение, в	емкость, а.ч.	длительность работы, час	длительность работы, час									

6. Батареи

3-РЗН-МЦ-2ч	3	1,5	2	—	—	—	—	30	1,5	39	39	36	0,055
2-9-НМЦ-1,5ч	2,9	0,5	2	—	—	—	—	40	2,3	48	26	70	0,11
3,7-ФМЦ-0,5	3,7	0,7	3	0,2 (-10°)	—	—	—	10	2	63	22	67	0,16
4,1-ФМЦ-0,7	4,1	1,0	3	0,2 (-10°)	—	—	—	10	2	63	22	67	0,16
4,2-САМЦ-1,0	4,2	1,0	2	—	—	—	—	10	2	102	37	81	0,4
21-РЗА-МЦ-2ч	21	—	—	—	—	—	—	9000	15	61	39	34	0,1
6,1-ПМЦ-у-48ч	6,1	—	48	—	—	—	—	10000	5,53	40	49	72	0,25
63-АНМЦ-1,3-П:													
анод	65	1,3	120	—	—	—	—	4680	40	125	120	190	3,5
накал	2,5	29,5	280	—	—	—	—	20	1,4	—	—	—	—
68-АМЦ-х-0,6	68	0,6	—	—	—	—	—	4680	40	174	112	50	1,3
102-АМЦ-у-1,0	102	1,0	95	0,2 (-20°)	18 (-20°)	—	—	7000	60	218	138	73	3
102-АМЦ-х-1,0	102	1,0	—	0,2 (-20°)	0,2 (-20°)	—	—	7000	60	218	138	73	3
117-АНСМЦ-18с:													
анод	117	—	27	—	—	—	—	17300	71	116	52	140	1,2
накал	2,95	—	18	—	—	—	—	17,3	2,24	—	—	—	—
29-ГРМЦ-13	14,5	13	28	—	—	—	—	30	7	342	287	200	20

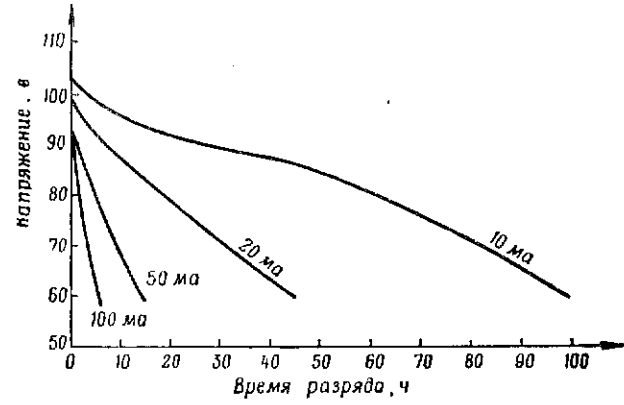


Рис. 52. Характеристики разряда батарей 102-АМЦ-х-1,0 при температуре +18° током различной силы

Характеристики температурной зависимости емкости батарей (рис. 53) показывают, что наиболее приемлемым типом элементов и батарей для питания полевой аппаратуры являются батареи марки «у» — универсальные, хорошо сохраняющие емкость в широком интервале температур от -50 до +60° С.

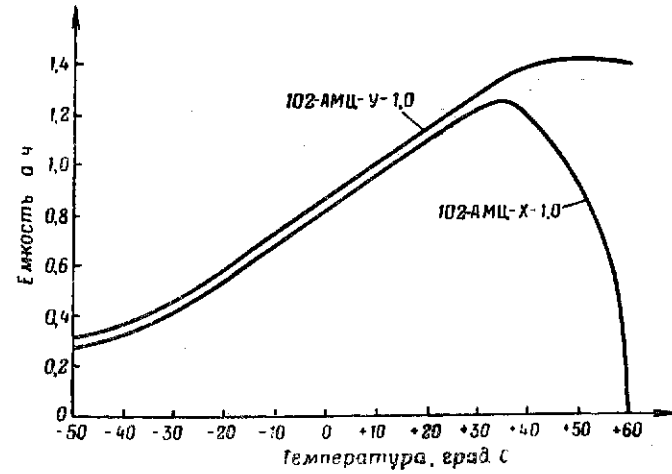


Рис. 53. Характеристики зависимости емкости батарей 102-АМЦ-у-1,0 и 102-АМЦ-х-1,0 от температуры

Основные характеристики марганцево-цинковых галетных батарей, выпускаемых нашей промышленностью, представлены в табл. 12.

На рис. 54 приведены разрядные кривые галетной батареи 70-АМЦГ-1,3, из которых следует, что галетные

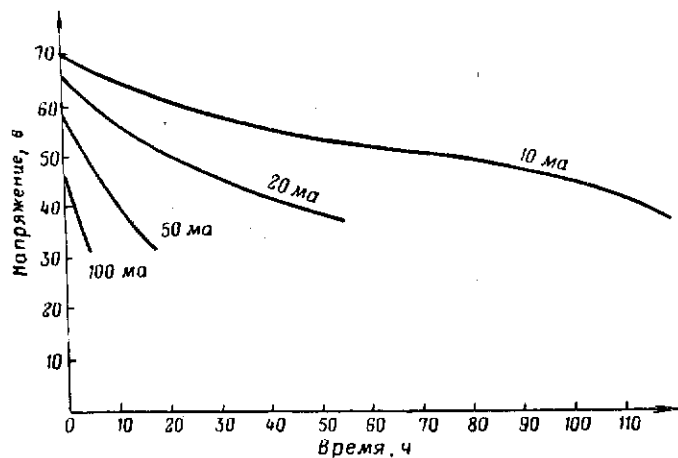


Рис. 54. Характеристики разряда галетной батареи 70-АМЦГ-1,3 при температуре +18°С током различной силы

батареи рассчитаны на разряд током небольшой силы и увеличение тока разряда приводит к значительным потерям емкости.

Из разработанных в последнее время марганцево-цинковых элементов большой интерес представляют герметичные пуговичные элементы МЦ-1к, МЦ-2к, МЦ-3к, МЦ-4к и часовой элемент ЧМЦ-п, имеющие высокую удельную энергию и хорошо работающие в устройствах с небольшим потреблением тока — транзисторных схемах.

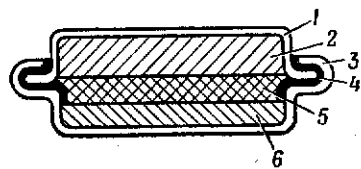


Рис. 55. Схематическое устройство пуговичного герметичного марганцево-цинкового элемента:

1 — крышка; 2 — положительный электрод из двуокиси марганца; 3 — корпус; 4 — герметизирующая прокладка; 5 — сепаратор со щелочным электролитом; 6 — цинковый электрод

Основные характеристики этих элементов приводятся в табл. 13, а их устройство показано на рис. 55.

Таблица 12

Основные характеристики марганцево-цинковых галетных батарей

Наименование	Начальные характеристики				Характеристики срока хранения		Условия разряда		Габариты, мм			Вес, кг
	при температуре +20°		при температуре <math>\le 0^\circ</math>		в %	в конце разряда, в	в (мА) в цепи, Ом (ток) сопротивление	длина	ширина	высота		
	емкость, а · ч	длительность работы, час	емкость, а · ч	длительность работы, час								
5,6-НМЦГ-22ч	22	100	—	8	16	75	3,8	80	50	57	0,34	
13-АМЦГ-У-0,5	500	—	—	18	—	10000	8	65	51	41	0,25	
13-АМЦГ-0,5	0,5	—	—	12	0,35	1 ма	8	70	52	42	0,25	
15-РММЦГ-20ч	20	—	—	12	—	80 ма	9	142	56	87	1,3	
19-ПМЦГ-0	—	—	—	4	—	14000	—	69	29	19	0,05	
21,5-ПМЦГ-0,05	0,05	—	—	4	0,03	14000	14	70	26	15	0,032	
22,5-ПМЦГ-0,15	0,15	—	—	6	0,1	9000	15	77	35	23	0,12	
31-САМЦГ-0,02	40	—	—	6	0,007	50000	20	34	20	46	0,04	
49-САМЦГ-0,25-П	100	—	—	8	0,15	25000	30	80	25	100	0,25	
54-АССМЦГ-5П:												
анод	120	—	—	15	3,5	800	27	225	85	235	7,0	
сетка	5	—	—	6	—	60	2	—	—	—	—	
67,5-ПМЦГ-У-0,06	10	—	—	6	—	10330	48	62	38	67	0,25	
70-АМЦГ-1,3	120	28	0,3	15	1,05	4680	40	174	112	50	1,6	

Наименование	Начальные характеристики						Гарантийный срок хранения, мес.	Характеристики срока хранения		Условия разряда		Габариты, мм			Вес, кг
	при температуре +20°		при температуре -40°		емкость, а.ч.	длительность работы, час		емкость, а.ч.	длительность работы, час	сопротивление цепи, ом (ток в ма)	напряжение в конце разряда, в	длина	ширина	высота	
	напряжение, в	емкость, а.ч.	длительность работы, час	емкость, а.ч.											
					при температуре +20°	при температуре -40°									
70-АМЦГ-у-1,3	70	1,3	20	0,16 (-40°)	15 (-40°)	15	1,05	92	4680	40	174	112	50	1,6	
70-АМЦГ-5	70	5	20	—	—	15	3,5	80	1000	35	155	155	215	8,5	
66-ПМЦГ-0,1	66	0,1	—	—	—	4	0,07	—	21000	40	70	40	80	0,35	
74-ПМЦГ-0,05	74	0,05	—	—	—	6	0,02	—	48000	48	94	35	38	0,16	
75-АМЦГ-22ч	75	—	22	—	—	8	—	16	8000	45	95	40	70	0,36	
75-ПМЦГ-80ч	75	—	80	—	—	6	—	60	28000	50	52	42	142	0,38	
80-АМЦГ-0,15	80	0,15	—	—	—	6	—	—	30000	50	77	53	80	0,4	
87-ПМЦГ-0,15	87	0,15	70	0,02 (-40°)	9 (-40°)	12	—	—	28000	50	74	26	150	0,45	
87-ПМЦГ-у-0,15	87	0,15	50	0,006 (-40°)	6 (-40°)	12	—	—	28000	50	73	25	150	0,45	
100-ПМЦГ-у-0,05	100	0,05	66	—	—	15	0,57	54	7000	60	174	117	53	1,7	
100-АМЦГ-0,7	100	0,7	—	—	—	15	1,6	149	7000	60	218	138	73	3,35	
100-АМЦГ-2,0	100	2	180	0,45 (-20°)	43 (-20°)	15	1,6	149	7000	60	218	138	73	3,35	
100-АМЦГ-у-2,0	100	2	180	0,22 (-40°)	21 (-40°)	15	0,85	—	7000	60	185	145	59	2,5	
102-АМЦГ-1,2	102	1,2	—	—	—	12	0,02	—	70000	70	77	28	77	0,18	
105-ПМЦГ-0,05	105	0,05	—	—	—	6	—	—	85000	—	—	—	—	—	
109-ПМЦГ-0	109	—	—	—	—	6	0,1	—	49000	75	174	26	84	0,47	
120-ПМЦГ-0,15	120	0,15	—	—	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	
120-АМЦГ-0,27	120	0,27	—	—	—	6	0,2	—	8750	56	240	94	40	1,3	

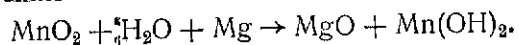
Наименование	Начальные характеристики						Гарантийный срок хранения, мес.	Характеристики срока хранения		Условия разряда		Габариты, мм			Вес, кг
	при температуре +20°		при температуре <0°		емкость, а.ч.	длительность работы, час		сопротивление цепи, ом (ток в ма)	напряжение в конце разряда, в	длина	ширина	высота			
	напряжение, в	емкость, а.ч.	при температуре +20°	длительность работы, час											
					при температуре +20°	при температуре <0°									
123-АСМЦГ-60ч:	123	—	60	—	—	12	45	—	9000	65	280	53	85	1,65	
анод	12,8	—	—	—	—	12	—	—	940	7	—	—	—	—	
сетка	160	0,35	—	—	—	6	0,24	—	11700	100	109	77	144	1,8	
160-АМЦГ-0,35	200	0,01	—	—	—	6	0,005	4	0,04 ма	125	65	37	47	0,135	
200-ПМЦГ-0,01	200	0,01	350	0,006 (-10°)	2 (-10°)	6	—	—	6 Ма	168	117	32	41	0,2	
200-ПМЦГ-0,01-П	225	—	80	—	—	6	—	60	85000	150	86	63	147	1,0	
225-ПМЦГ-80ч	315	—	80	—	—	6	—	60	120000	210	80	80	155	1,3	
315-ПМЦГ-80ч	330	—	1000	—	—	6	—	—	—	240	120	62	132	1,4	
330-ЭВМЦГ-1000	400	0,01	—	—	—	6	0,005	—	1 ма	250	87	63	35	0,25	
400-ПМЦГ-0,01	9	—	15	—	—	12	—	—	11 ма	5,6	26	16	49	—	
«Крона»															

Наименование	Начальные характеристики						Гарантийный срок хранения, мес.	Характеристики срока хранения		Условия разряда		Габариты, мм			Вес, кг
	при температуре +20°		при температуре -0°		емкость, а.ч.	длительность работы, час		емкость, а.ч.	длительность работы, час	сопротивление цепи, ом (ток в ма)	напряжение в конце разряда, в	длина	ширина	высота	
	напряжение, в	емкость, а.ч.	длительность работы, час	длительность работы, час											
					при температуре +20°	при температуре -0°									
70-АМЦГ-у-1,3	70	1,3	20	0,16 (-40°)	15 (-40°)	15	1,05	92	4680	40	174	112	50	1,6	
70-АМЦГ-5	70	5	20	—	—	15	3,5	80	1000	35	155	155	215	8,5	
66-ПМЦГ-0,1	66	0,1	—	—	—	4	0,07	—	21000	40	70	40	80	0,35	
74-ПМЦГ-0,05	74	0,05	—	—	—	6	0,02	—	48000	48	94	35	38	0,16	
75-АМЦГ-22ч	75	—	22	—	—	8	—	16	8000	45	95	40	70	0,36	
75-ПМЦГ-80ч	75	—	80	—	—	6	—	60	28000	50	52	42	142	0,38	
80-АМЦГ-0,15	80	0,15	—	—	—	6	—	—	30000	50	77	53	80	0,4	
87-ПМЦГ-0,15	87	0,15	70	0,02 (-40°)	9 (-40°)	12	—	—	28000	50	74	26	150	0,45	
87-ПМЦГ-у-0,15	87	0,15	50	0,006 (-40°)	6 (-40°)	12	—	—	28000	50	73	25	150	0,45	
100-ПМЦГ-у-0,05	100	0,05	66	—	—	15	0,57	54	7000	60	174	117	53	1,7	
100-АМЦГ-0,7	100	0,7	—	—	—	15	1,6	149	7000	60	218	138	73	3,35	
100-АМЦГ-2,0	100	2	180	0,45 (-20°)	43 (-20°)	15	1,6	149	7000	60	218	138	73	3,35	
100-АМЦГ-у-2,0	100	2	180	0,22 (-40°)	21 (-40°)	15	0,85	—	7000	60	185	145	59	2,5	
102-АМЦГ-1,2	102	1,2	—	—	—	12	0,02	—	70000	70	77	28	77	0,18	
105-ПМЦГ-0,05	105	0,05	—	—	—	6	—	—	85000	—	—	—	—	—	
109-ПМЦГ-0	109	—	—	—	—	6	0,1	—	49000	75	174	26	84	0,47	
120-ПМЦГ-0,15	120	0,15	—	—	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	
120-АМЦГ-0,27	120	0,27	—	—	—	6	0,2	—	8750	56	240	94	40	1,3	

Наименование	Начальные характеристики						Гарантийный срок хранения, мес.	Характеристики срока хранения		Условия разряда		Габариты, мм			Вес, кг
	при температуре +20°		при температуре <0°		емкость, а.ч.	длительность работы, час		сопротивление цепи, ом (ток в ма)	напряжение в конце разряда, в	длина	ширина	высота			
	напряжение, в	емкость, а.ч.	при температуре +20°	длительность работы, час											
					при температуре +20°	при температуре <0°									
123-АСМЦГ-60ч:	123	—	60	—	—	12	45	—	9000	65	280	53	85	1,65	
анод	12,8	—	—	—	—	12	—	—	940	7	—	—	—	—	
сетка	160	0,35	—	—	—	6	0,24	—	11700	100	109	77	144	1,8	
160-АМЦГ-0,35	200	0,01	—	—	—	6	0,005	4	0,04 ма	125	65	37	47	0,135	
200-ПМЦГ-0,01	200	0,01	350	0,006 (-10°)	2 (-10°)	6	—	—	6 Ма	168	117	32	41	0,2	
200-ПМЦГ-0,01-П	225	—	80	—	—	6	—	60	85000	150	86	63	147	1,0	
225-ПМЦГ-80ч	315	—	80	—	—	6	—	60	120000	210	80	80	155	1,3	
315-ПМЦГ-80ч	330	—	1000	—	—	6	—	—	—	240	120	62	132	1,4	
330-ЭВМЦГ-1000	400	0,01	—	—	—	6	0,005	—	1 ма	250	87	63	35	0,25	
400-ПМЦГ-0,01	9	—	15	—	—	12	—	—	11 ма	5,6	26	16	49	—	
„Крона“															

Положительный электрод марганцево-магниевых элементов состоит из смеси пиролюзита, ацетиленовой сажи и хромата бария. Отрицательный электрод марганцево-магниевых элементов выполнен из магниевого сплава и имеет форму стакана. Электролитом в этих элементах является бромистый магний.

Реакция в марганцево-магниевом элементе протекает по уравнению



### Железо-угольные элементы

Стремление к удешевлению источников тока, связанное с заменой цветных металлов менее дефицитными и более технологичными в серийном производстве, вызвало появление такого источника тока, как железо-угольный элемент с воздушной деполяризацией ВДЖ.

В элементе ВДЖ в результате химической реакции между положительным электродом (смесь активированной угольной пыли с каучуком и парафином) и отрицательным электродом из губчатого железа происходит окисление железа кислородом воздуха, запасенном в активированном угле, с выделением электрической энергии.

Электролитом в железо-угольном элементе служит раствор щелочи большой плотности.

Простота конструкции железо-угольных элементов и их эксплуатационная неприхотливость делает их незаменимыми для питания сигнальных огней речных бакенов, телефонной связи, радиоустановок в сельских местностях, аварийного освещения на транспорте, в автоблокировке.

Железо-угольные элементы, выпускаемые нашей промышленностью, имеют сравнительно большую емкость, отвечающую их назначению. В табл. 15 приводятся основные характеристики двух типов железо-угольных элементов ВДЖ-50 и ВДЖ-400.

Как следует из приведенной выше таблицы, железо-угольные элементы ВДЖ по своим удельным характеристикам значительно превосходят марганцево-цинковые элементы стаканчиковой и галетной конструкций и приближаются к серебряно-цинковым аккумуляторам. Недостатком железо-угольных элементов является их нерабо-

Таблица 15

### Основные характеристики элементов ВДЖ

Тип элемента	Напряжение, в		Ток разряда, а	Емкость, а·ч.	Габариты, мм		Вес, кг	Удельная энергия	
	в начале разряда	в конце разряда			диаметр	высота		вт·ч/кг	вт·ч/дм <sup>3</sup>
ВДЖ-50	0,75	0,5	0,25	50	110	30	0,52	63	113
ВДЖ-400	0,75	0,5	0,5	400	221	75	5	60	90

тоспособность при температуре ниже нуля и невысокое напряжение. На рис. 56 показан внешний вид элемента ВДЖ-50.

### Окиснортутные элементы

Появлению новых окиснортутных гальванических элементов в значительной степени способствовало развитие портативной радиоприемной и звукозаписывающей аппаратуры, где вес источника тока и постоянство напряжения во время разряда играют решающую роль.

Окиснортутные элементы по внешнему виду напоминают дисковые кадмиево-никелевые аккумуляторы, однако их удельные характеристики весьма высоки: удельная энергия по весу составляет  $90-110 \frac{\text{вт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}}$  и по объему  $300-450 \frac{\text{вт}\cdot\text{ч}}{\text{дм}^3}$ . Устройство окиснортутного элемента показано на рис. 57.

Активная масса положительного электрода элемента состоит из окиси ртути с добавкой графита. Отрицательный электрод изготовлен из порошка цинка с небольшим количеством ртути. Электролит в окиснортутном элементе щелочной — КОН, им пропитана фильтровальная бумага, которая проложена между положительным и отрицательным электродами.

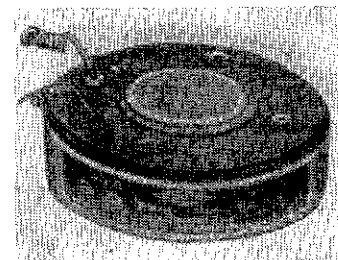


Рис. 56. Железо-угольный элемент ВДЖ-50

Активная масса положительного электрода запрессована в стальном корпусе элемента дисковой формы, а масса отрицательного электрода — в стальной крышке.

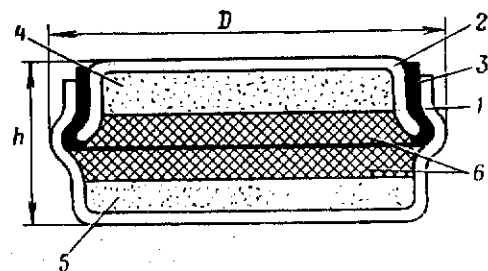
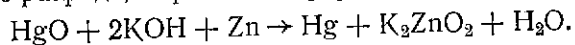


Рис. 57. Окиснортутный элемент:

1 — корпус; 2 — крышка; 3 — герметизирующая прокладка; 4 — масса отрицательного электрода; 5 — масса положительного электрода; 6 — прокладка с электролитом

Благодаря отсутствию токоотводов в окиснортутном элементе потери напряжения внутри элемента сведены к минимуму, что обеспечивает его разряд током повышенной силы без заметного понижения напряжения. Химический процесс, происходящий в окиснортутном элементе при его разряде, выражается формулой



Характеристика разряда окиснортутного элемента представлена на рис. 58. Из характеристики следует, что окиснортутные элементы могут применяться в качестве опорных источников тока взамен нормальных элементов Вестона и Кларка, так как в течение разряда окиснортутного элемента малым током напряжение изменяется всего лишь на 10%, в то время как напряжение других источников тока меняется на 30—45%.

Прекрасно работая при повышенной температуре (до +50°), окиснортутные элементы практически неработоспособны уже при температуре —10°, что является их весьма существенным недостатком. На рис. 59 изображена кривая зависимости тока разряда окиснортутных элементов от температуры, иллюстрирующая сказанное выше. При необходимости применения окиснортутных элементов при температуре ниже нуля должны быть при-

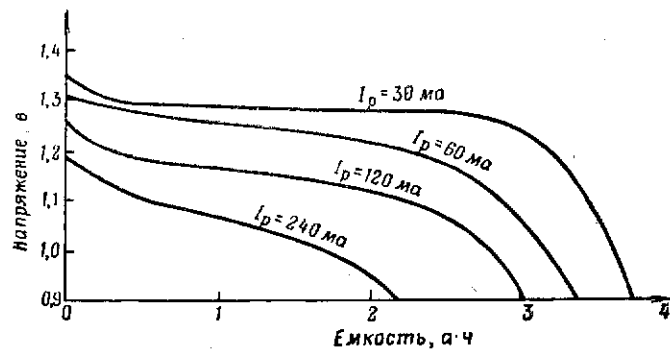


Рис. 58. Разрядные кривые окиснортутного элемента

няты меры по их утеплению в виде теплоизолирующих чехлов и т. п. В ряде случаев окиснортутные элементы ввиду их малых размеров могут храниться в карманах одежды потребителя и включаться в цепь непосредственно перед употреблением. В табл. 16 приводятся основ-

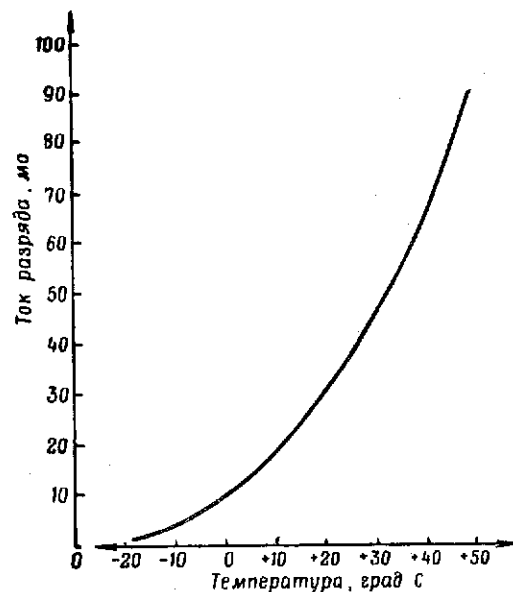


Рис. 59. Кривая зависимости тока разряда элементов ОР от температуры

ные характеристики нескольких типов окиснортутных элементов, выпускаемых нашей промышленностью.

Таблица 16

Основные характеристики окиснортутных элементов ОР

Тип элемента	Емкость, а·ч	Номинальный ток, ма	Сохранность, мес.	Габариты, мм		Вес, г
				высота	диаметр	
ОР-1к	0,2	10	9	6,6	15,6	4,7
ОР-2к	0,5	20	12	7,4	21,0	10,0
ОР-3к	1,0	35	12	8,4	25,5	17,2
ОР-4к	1,6	50	12	9,4	30,1	27,6
ОР-1	0,6	10	18	12,5	15,6	9,5
ОР-2	1,1	20	18	13,0	21,0	17,0
ОР-3	1,8	35	18	13,5	25,5	27,0
ОР-4	2,8	50	18	14,0	30,1	38,2

Наливные элементы

Весьма большую группу гальванических элементов составляют наливные, или, как их еще называют, резервные элементы. Наливные элементы отличаются от сухих тем, что электролит в них заливается непосредственно перед употреблением, вследствие чего срок службы наливных элементов, не залитых электролитом, весьма велик и достигает нескольких лет. Зато срок службы залитых электролитом наливных элементов колеблется в зависимости от типа элемента от нескольких минут до 6—9 месяцев.

К числу наливных (резервных) элементов относятся:

- медноокисные элементы;
- серебряно-цинковые элементы одноразового действия;
- серебряно-магниевые элементы;
- свинцово-цинковые элементы;
- свинцово-кадмиевые элементы;
- свинцовые элементы с хлорной кислотой;
- медно-магниевые элементы с хлористой медью.

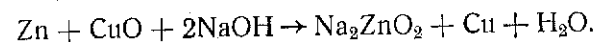
Медноокисные элементы

Медноокисные элементы являются одними из старейших по разработке и применению. Простота конструкции медноокисных элементов в сочетании с эксплуатационной

неприхотливостью позволила применить их в устройствах, требующих особую надежность работы, — в системах автоблокировки и сигнализации на транспорте и средствах связи. Поскольку применение медноокисных элементов в этих средствах является длительным, то выпускаемые промышленностью элементы имеют сравнительно большую емкость — от 250 до 1000 а·ч.

Положительным электродом медноокисного элемента служат пластины из окиси меди с добавкой сахара и растворимого стекла. Отрицательный электрод состоит из цинка с некоторым количеством ртути. Электролитом в медноокисном элементе служит раствор щелочи (едкого натрия) плотностью 1,19—1,21.

Химическая реакция в медноокисном элементе протекает по уравнению



Медноокисные элементы выпускаются заводом-изготовителем в виде блоков пластин. Сосуды к элементам изготавливаются и поставляются отдельно. Сосуды изготавливаются из стекла с целью контроля за степенью разряда элементов, для чего на отрицательных пластинах, обращенных наружу, имеются специальные индикаторные панели, по разложению которых можно судить об истощении элемента (рис. 60).

Электродвижущая сила медноокисного элемента составляет 1,1 в. Напряжение элемента в процессе разряда изменяется от 0,8

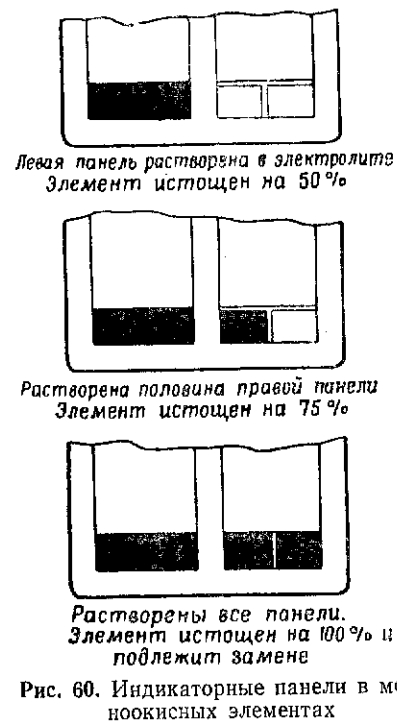


Рис. 60. Индикаторные панели в медноокисных элементах

до 0,5 в. Однако среднее напряжение при разряде является достаточно стабильным и держится в пределах 0,65 в, что обеспечивает питание потребляющей аппаратуры без перемены стабилизаторов напряжения. Незначительное внутреннее сопротивление медноокисных элементов обеспечивает возможность их разряда током повышенной силы. В условиях работы при температуре —10° медноокисные элементы теряют до 10% своей номинальной емкости.

Замечательным свойством медноокисных элементов является возможность восстановления отработанных положительных пластин путем их нагревания до температуры 150°, в результате чего происходит окисление металлической меди.

В табл. 17 приводятся характеристики некоторых типов медноокисных элементов, выпускаемых нашей промышленностью.

Таблица 17

Основные характеристики медноокисных элементов

Тип элемента	ЭДС, в	Рабочее напряжение, в	Номинальный разрядный ток, а	Емкость, а · ч		Сохранность	Габариты, мм			Вес, кг	
				при температуре +20°	при температуре —10°		длина	ширина	высота		
МОЭ-250	0,9	0,65	0,5	250	225	0,5	1,5 года (сух.)	108	170	350	3,8
МОЭ-500	0,9	0,65	1,0	500	450	0,5	"	168	193	350	7,1
МОЭ-1000	0,9	0,65	2,0	1000	900	0,5	"	225	180	460	12,5
МОЭМ-300	0,84	0,65	1,0	300	—	0,55	3 года (сух.)	133	133	212	4,5
МОЭМ-800	0,84	0,65	1,5	800	—	0,55	1 мес. (зал.)	200	200	237	8,5
МОЭМ-1000	0,84	0,65	2,2	1000	—	0,55	"	225	180	460	11,0

Недостатком медноокисных элементов является низкое напряжение и возможность работы только в стационарных условиях из-за неустойчивости характеристик от тряски при транспортировке.

## Серебряно-цинковые элементы

Появление серебряно-цинковых аккумуляторов привело к разработке серебряно-цинковых элементов одноразового действия, рассчитанных на работу в стартерном режиме и допускающих при необходимости 1—3 перезарядки. Поэтому серебряно-цинковые наливные элементы имеют весьма слабую сепарацию при высоко развитой активной поверхности пластин.

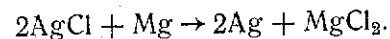
По устройству серебряно-цинковые элементы почти не отличаются от СЦ аккумуляторов, однако заливка электролита в них производится непосредственно перед включением в работу из специальных баллонов с электролитом, действующих от сжатого воздуха. Удельные характеристики серебряно-цинковых элементов в минутных режимах разряда весьма высоки и в 3—4 раза превосходят удельные характеристики кислотных аккумуляторов.

## Серебряно-магниевые элементы

Серебряно-магниевые элементы появились позже серебряно-цинковых, их разработка была вызвана стремлением получить весьма высокие удельные характеристики, что и было достигнуто практически в двух конструктивных модификациях — спиральной и пластинчатой, название которых происходит от формы пластин.

Положительным электродом в серебряно-магниевоом элементе служит тонкая сетка или фольга, покрытые слоем хлористого серебра. Отрицательный электрод из магния либо сворачивается в ленту (спиральная конструкция), либо представляет собой набор пластин (пластинчатая конструкция). Электролитом серебряно-магниевого элемента является вода, заливаемая непосредственно перед употреблением и образующая раствор хлористого магния.

Реакция в элементе протекает по уравнению



Напряжение серебряно-магниевого элемента лежит в пределах 1,8 в, что является положительным качеством этой системы. Работоспособность серебряно-магниевоых элементов в условиях низких температур достаточно высокая. Хорошо развитая активная поверхность этих элементов обеспечивает возможность их применения в



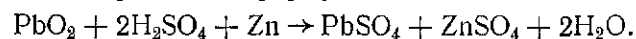
весьма коротких режимах разряда с большой отдачей по току. Серебряно-магниево-цинковые элементы применяются в качестве резервных источников тока в аппаратуре, питаемой от серебряно-цинковых аккумуляторов и одно-разовых элементов.

#### Свинцово-цинковые элементы

Свинцово-цинковые элементы рассчитаны на питание установок большой мощности и обеспечивают разряд током большой силы порядка 100 а и более. В качестве электролита свинцово-цинковых элементов применяется серная кислота различной концентрации в зависимости от назначения элемента. Удельные характеристики свинцово-цинковых элементов приближаются к серебряно-цинковым, однако их работоспособность при низких температурах невысока.

Электродвижущая сила этих элементов равна 2,2 в, а напряжение 1,9 в.

Химическая реакция при разряде свинцово-цинкового элемента выражается формулой



Свинцово-цинковые элементы должны включаться в работу сразу же после заливки электролитом, так как их саморазряд весьма велик: потеря емкости в этих элементах происходит в течение 3—4 ч.

Несмотря на эти недостатки, свинцово-цинковые элементы находят применение в тех случаях, когда от источника тока необходимо получить импульс тока большой силы. Стоимость таких элементов невысока вследствие применения в них дешевых металлов.

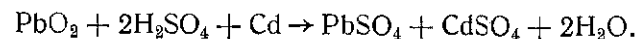
#### Свинцово-кадмиевые элементы

Свинцово-кадмиевые элементы, разработанные почти одновременно со свинцово-цинковыми, также являются элементами ограниченного применения вследствие сильного саморазряда, исключающего возможность хранения элементов в залитом состоянии.

В отличие от свинцово-цинковых свинцово-кадмиевые элементы хорошо работают в условиях низких температур, хотя в нормальных условиях уступают свинцово-цинковым по удельной энергии. При температуре —30° свинцово-кадмиевые элементы отдают до 50% своей но-

минальной емкости. Положительный электрод свинцово-кадмиевого элемента состоит из окиси свинца, отрицательный — из губчатого или листового металлического кадмия. Электролитом так же, как и в свинцово-цинковых элементах, служит серная кислота.

Химические процессы в свинцово-кадмиевом элементе определяются уравнением



При разряде 5-минутным режимом удельная энергия свинцово-кадмиевых элементов по весу составляет  $20 \frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$ , а по объему —  $43 \frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{дм}^3}$ .

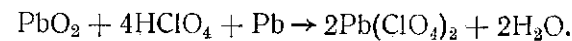
Так как в этих элементах применяется кадмий, их стоимость значительно превышает свинцово-цинковые.

#### Свинцовые элементы с хлорной кислотой

Свинцовые элементы с хлорной кислотой в настоящее время являются единственными источниками тока, способными к работе при температуре —60°. Высокая активность хлорной кислоты не позволяет получить элементы длительного действия, так как электроды в этих элементах полностью растворяются в процессе работы.

Напряжение элемента составляет 2 в и в течение разряда падает до 1,5 в. Элемент позволяет производить разряд током большой силы, значительно превышающим разрядный ток свинцовых аккумуляторов.

Положительным электродом свинцового элемента с хлорной кислотой служит окись свинца  $\text{PbO}_2$ , отрицательным — металлический свинец. Электролит элемента состоит из 50% раствора хлорной кислоты. Реакция в элементе протекает по уравнению



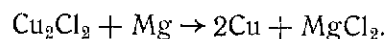
#### Медно-магниево-цинковые элементы с хлористой медью

Медно-магниево-цинковые элементы с хлористой медью относятся к наливным элементам лишь потому, что для приведения их в действие необходимо смочить электроды

водой. При этом при взаимодействии магния с водой происходит экзотермическая реакция с выделением тепла, вследствие чего эти элементы хорошо работают при низких температурах. По удельной энергии медно-магниевые элементы уступают окиснортутным и серебряно-кадмиевым элементам и приближаются к марганцево-цинковым элементам пуговичного типа.

Положительным электродом в медно-магниевом элементе служит хлористая медь. Отрицательный электрод изготовлен из металлического магния. Электролит в элементе является сухим и обеспечивает ионную проводимость при погружении в воду.

Электродвижущая сила элемента составляет 1,6 в, напряжение 1 в. Химическая реакция в медно-магниевом элементе аналогична реакции серебряно-магниевых элементов



В Советском Союзе выпускаются медно-магниевые батареи для питания высотных радиозондов и геофизической аппаратуры.

Характеристики этих батарей приведены в табл. 18.

Таблица 18

Основные характеристики медно-магниевых батарей

Тип батарей	Напряжение, в	Сопротивление нагрузки (разрядный ток)	Длительность работы, час	Температурный интервал, град	Габариты, мм			Вес, г
					длина	ширина	высота	
12ПМХС-0,5	10	31 ом	0,5	+50÷-60	35	45	45	67
80ПМХС-2	80	5000 ом	2	"	58	85	96	275
200ПМХМ-2	200	25 ма	2	"	76	121	141	650
7ПМХС-3,5	6,5	1,55 а	2,5	+50÷-40	112	48	114	750
7ПМХС-12	6,5	4 ом	3	"	106	104	202	2300

Одной из разновидностей медно-магниевых батарей является малогабаритная батарея «Маячок-1» для питания лампочки сигнального устройства для подачи сигнала о помощи терпящими бедствие в море. Эта батарея вводится в работу при попадании в морскую воду.

В качестве нагрузки батареи служит лампочка от карманного фонаря напряжением 2,5 в с разрядным током 0,16 а. Длительность разряда батареи 16—17 час. Вес сухой батареи 83 г. Габариты — 18×45×90 мм.

К числу подобных батарей принадлежат батареи, выпускаемые в США, для питания усилителей в подводных кабелях. Эти батареи оформлены таким образом, что позволяют вести намотку вместе с кабелем на катушки. Один элемент батареи напряжением 1 в обеспечивает питание транзисторного усилителя током 5 ма в течение года (емкость около 44 а·ч). При этом длина элемента составляет 750 мм при диаметре 15 мм.

Особое место среди химических источников тока занимают потенциальные батареи, разработка которых началась сравнительно недавно. Эти батареи предназначены для питания аппаратуры с весьма малым потреблением тока при условии сохранения постоянства напряжения.

Потенциальные батареи применяются в различных электронных приборах, например электронно-оптических преобразователях (потребляемый ими ток составляет несколько мка). Потенциальные батареи служат несколько лет.

Из электрохимических пар, применяемых в потенциальных батареях, можно назвать пару, составленную из пятиоксида ванадия и кадмия, ЭДС которой 1,05 в. Срок службы такого элемента 10 лет (при токе разряда 1 мка).

Другая батарея, составленная из 127 последовательно соединенных элементов общим напряжением 95 в, имеет вес всего 4,2 г и изготовлена из серебра и бромистой меди с электролитом из бромистого серебра. Эта батарея способна отдавать ток 0,1—1 мка. При этом благодаря применению твердого электролита срок службы батареи составляет десятки лет.

## 2. ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Топливные элементы являются, пожалуй, единственным источником тока, разработка их ведется в течение 150 лет и до настоящего времени еще далеко не завершена. Дэви, Беккерель, Грове, Яблочков и ряд других ученых создали несколько типов топливных элемен-

тов, но практически эти элементы еще не вышли из стадии лабораторных исследований.

В настоящее время разработкой проблемы топливного элемента занимаются не только лаборатории, но и промышленные фирмы, поскольку за последние 5—7 лет

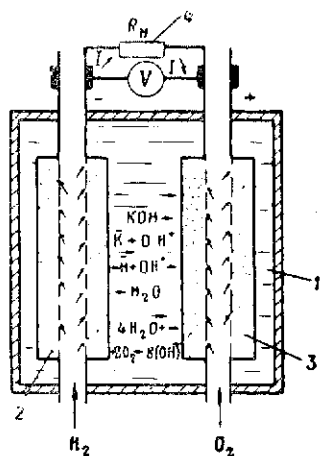


Рис. 61. Принцип действия топливного элемента:

1 — электролит KOH; 2 — водородный отрицательный электрод; 3 — кислородный положительный электрод; 4 — нагрузка

достигнуты значительные успехи в деле создания промышленных образцов элементов, обладающих достаточно высокими характеристиками для применения на практике.

Интерес, проявляемый к разработке топливных элементов, не является случайным: расчеты, проведенные учеными более чем 100 лет назад, показали, что реакция окисления топлива, например водорода или углерода, способна обеспечить почти 100% отдачу электрической энергии по отношению к химической энергии горения топлива, что не может быть достигнуто ни в одном из известных источников тока.

Принцип действия топливного элемента состоит в том, что при пропускании через пористые трубки, находящиеся в щелочном электролите KOH, водорода и кислорода (рис. 61) происходит соединение атомов водорода с гидроксильным остатком OH, полученным в результате распада электролита на ионы калия и остаток OH. При этом образуется вода:

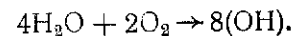


и высвобождается один электрон.

Электроны, собранные на трубке 2, являющейся отрицательным электродом, направляются через внешнюю цепь на кислородный положительный электрод 3, где захватываются кислородом, в результате чего по внешней цепи начинает протекать электрический ток.

Кислород в пористом электроде 3 в свою очередь

вступает в реакцию с водой электролита, образуя гидроксильный остаток OH:



Таким образом, кислород непрерывно пополняет в электролите расход гидроксила OH, а водород поддерживает необходимое количество воды в электролите.

Химический процесс, протекающий в топливном элементе, противоположен процессу электролитического разложения воды, где при пропускании тока через подкисленную воду образуется кислород и водород.

В топливном же элементе при пропускании водорода и кислорода образуется вода, а по замкнутой внешней цепи через сопротивление  $R_n$  протекает электрический ток.

В настоящее время разработано несколько типов топливных элементов, отличающихся друг от друга конструкцией, видом топлива и температурой горения.

Поскольку классификация топливных элементов является пока еще предметом обсуждения, примем упрощенное разделение элементов на три группы:

- высокотемпературные топливные элементы с расплавленным электролитом;
- низкотемпературные топливные с жидким электролитом;
- редокс-элементы, где окислительные и восстановительные процессы, происходящие при токообразовании, разделены специальной ионообменной мембраной.

### Высокотемпературные топливные элементы

Высокотемпературные топливные элементы с расплавленным электролитом являются одними из первых, предложенными еще в прошлом веке. Элементы этого типа имеют рабочую температуру порядка 500°—800°. В качестве топлива высокотемпературных элементов применяется твердое топливо (углерод: кокс, древесный уголь, ламповая сажа) или газообразное топливо (водород, генераторный газ, окись углерода, водяной газ).

Рассмотрим работу элемента этого типа на элементе Бишофа, Юсти и Шпенглера, разработанного в 1955 г.

В элементе Бишофа и др. (рис. 62) в качестве горючего применяется активированный уголь (анод). Токоот-

водом этого электрода служит угольный стержень, помещенный в горючее.

Катодом элемента является окислитель — кислород, вдуваемый в активную массу катода, состоящую из зерен окиси меди.

Электролитом элемента является тонкостенный газонепроницаемый цилиндр из углекислого натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

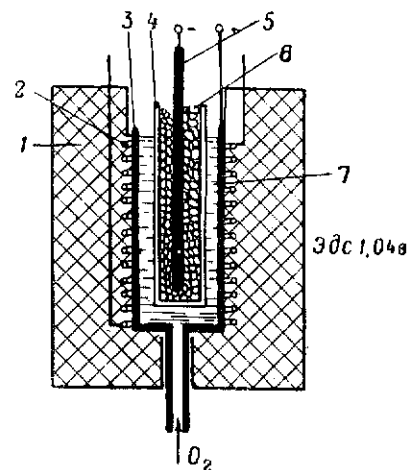


Рис. 62. Угольный элемент Бишофа, Юсти и Шпенглера:

1 — теплоизоляция; 2 — нагревательная спираль; 3 — катод; 4 — стакан; 5 — угольный стержень; 6 — горючее (уголь) — анод; 7 — электролит

ЭДС, полученная в элементе Бишофа, равна 1,04 в. Необходимо отметить, что такой элемент работал несколько месяцев, но без внешней нагрузки. Другой элемент подобного типа (угольный элемент Бауэра и Эренберга) обеспечивал ЭДС 1,02 в, однако под нагрузкой его напряжение составило 0,7 в.

Создание топливного элемента на твердом топливе привлекает внимание ученых из-за дешевизны твердого топлива и больших его запасов на Земле.

Однако созданию промышленных образцов высокотемпературных элементов на твердом топливе препятствует коррозия любых металлов, в том числе и благородных (при высокой температуре), необходимость при-

менения химически чистого угля, поляризация электродов, необходимость затраты большого количества энергии на поддержание высокой температуры, что зачастую снижает общий КПД элемента почти до нуля.

Из высокотемпературных элементов с газообразным топливом известен элемент, созданный в США, работающий при несколько пониженной по сравнению с элементами на твердом топливе температуре (500°).

Этот элемент имеет в качестве топлива горючие газы: бутан, светильный газ или испаренное жидкое топливо. Окислителем в этом элементе служит кислород воздуха, а электролитом — расплавленная смесь углекислого натрия и углекислого лития.

Напряжение элемента — 1 в. Элемент этого типа свободен от недостатков, присущих элементам на твердом топливе вследствие пониженной температуры, обеспечивающей применение электродов из металлического серебра в смеси с окисью цинка.

#### Низкотемпературные топливные элементы с жидким электролитом

Низкотемпературные элементы с жидким электролитом являются наиболее реальным типом для промышленного использования, поскольку нет необходимости поддерживать высокую температуру, что снимает ряд ограничений на материалы электродов и сосудов элементов.

На основе работ, проведенных как за рубежом, так и в Советском Союзе (О. К. Давтян), английскому исследователю Бэкону удалось создать элемент, пригодный для промышленной реализации.

В элементе Бэкона топливом является водород, а окислителем — кислород. Электролитом в этом элементе служит КОН. Рабочая температура лежит в пределах 200—300°. На рис. 63 изображена схема устройства элемента Бэкона. ЭДС этого элемента составляет 1,1 в. При подключении нагрузки напряжение падает до 0,79 в. КПД элемента Бэкона лежит в пределах 50—70%.

По данным, опубликованным в печати, срок службы элемента Бэкона равен 1000 час, что не является большим достижением, учитывая необходимость применять

топливо и окислитель высокой степени чистоты. Экспериментальная установка на базе элементов Бэкона, действующая в Англии, состоит из 40 элементов, давая мощность 5 кВт.

Более удачным является элемент Юсти, разработанный в ФРГ.

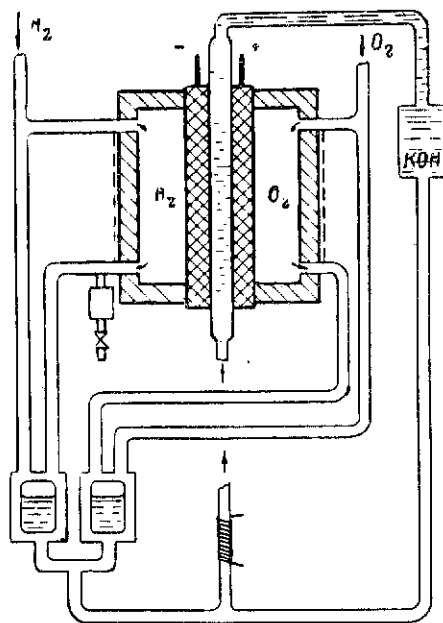


Рис. 63. Топливный элемент «Гидрокс» (элемент Бэкона)

Этот элемент работает при температуре около 80° и невысоком давлении, чем достигается необходимый срок службы и экономичность.

Элемент Юсти выполнен конструктивно в виде цилиндра с коаксиально расположенными водородным и кислородным электродами, изготовленными из угля. Характеристики элемента Юсти почти совпадают с данными элемента Бэкона. Элемент Юсти изготавливается промышленными фирмами США для применения в военной технике.

## Редокс-элементы

Третья группа топливных элементов — редокс-элементы благодаря разделению химических и токообразующих процессов позволяют более широко варьировать сортами горючего и окислителей, чем значительно облегчается конструирование элемента.

В редокс-элементе, схема устройства которого изображена на рис. 64, протекают реакции, не связанные с химическим изменением вещества, а только изменяющие валентность инертных электродов, например олова или брома.

В отрицательном электроде элемента, изображенного на рис. 64, 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 катодитом, а бром в положительном тоже угольном электроде — анолитом.

Оба электрода разделены ионообменной мембраной, не допускающей смешивания одного электролита с другим, но не препятствующей обмену ионами.

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

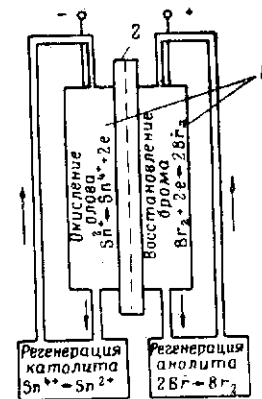
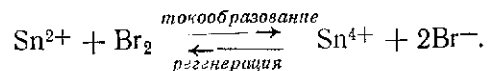


Рис. 64. Редокс-элемент: 1 — угольные пористые электроды; 2 — ионообменная мембрана

Поскольку расходуемыми в процессе работы редокс-элемента веществами является горючее (уголь или углеводороды) и окислитель (кислород воздуха), то для поддержания непрерывной работы элемента требуется регенерация веществ католита и анолита, которая и происходит, как это было указано выше, путем восстановления горючим олова католита и окисления кислородом брома анолита.

Суммарную реакцию в редокс-элементе можно изобразить равенством



Так как горение угля, т. е. его превращение в углекислый газ  $\text{CO}_2$ , приводит к возникновению ЭДС 1,02 в, то и вещества, применяемые в католите и анолите, также должны совпадать по своим электродным потенциалам с ЭДС. В системе олово и бром изменение валентности олова в католите  $\text{Sn}^{4+} - \text{Sn}^{2+}$  дает 0,15 в, а брома  $\text{Br}_2 - 2\text{Br}^-$  — 1,07 в. Суммарная ЭДС  $E = E^+ - E^- = 1,07 - (-0,15) = 1,22$  в, т. е. примерно совпадает.

Редокс-элемент работает при нормальной температуре, что является его положительным качеством. Кроме того, выделяемое им 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.

В целом топливные элементы можно рассматривать как весьма перспективные источники тока, которые в будущем получат широкое распространение. Рассмотрение описанных выше топливных элементов показывает, что наиболее реальными для промышленного изготовления являются газовые элементы, обладающие рядом положительных качеств: простотой устройства и обслуживания, дешевизной топлива и окислителя, высоким КПД и сравнительно большой величиной удельной энергии. Например, удельная энергия опытного образца топливного элемента достигает  $150 \frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$ , в то время как удельная энергия кислотного стартерного аккумулятора составляет всего лишь  $20-25 \frac{\text{вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$ .

Топливные элементы по сравнению с другими источниками тока имеют ряд весьма существенных преимуществ, заключающихся в дешевизне, простоте обслуживания, высоком КПД, работоспособности в условиях отсутствия атмосферы, что делает их весьма перспективными для использования в космической аппаратуре.

К числу недостатков топливных элементов относятся ограниченный срок службы, особенно в высокотемпературных элементах, небезопасность работы, учитывая применение взрывоопасных смесей, большие габариты и вес контейнеров для хранения горючего и окислителя (в газовых водородно-кислородных элементах).

Однако все эти недостатки могут быть устранены в ближайшем будущем и топливные элементы получат самое широкое распространение. В настоящее время в США построено несколько типов установок на топливных элементах для питания военной аппаратуры, в том числе и переносные установки для питания полевых радиостанций.

Большой интерес представляет силовая установка, построенная фирмой «Аллис-Чалмерс» для трактора. Эта установка состоит из батареи топливных элементов, работающих на смеси водорода с пропаном. 1008 элементов этой батареи, питающей электродвигатель постоянного тока, развивают мощность до 15 кВт при КПД 32%. Другие фирмы США разрабатывают элементы на жидком топливе, способные по рекламным сообщениям через несколько лет вытеснить стартерные аккумуляторы.

### 3. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Биологические источники тока относятся к химическим источникам тока, поскольку образование тока в них является следствием окислительно-восстановительных процессов, аналогичных химическим процессам в топливных элементах.

Как это было показано выше, для получения электрического тока необходимо, чтобы элемент имел топливо (водород) и окислитель (кислород). В биологических элементах топливо и окислитель могут быть получены из различных органических веществ при введении в них соответствующей бактериальной фло-

ры, вызывающей процессы брожения с целью получения водорода и кислорода.

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 принимают участие в токообразующем процессе.

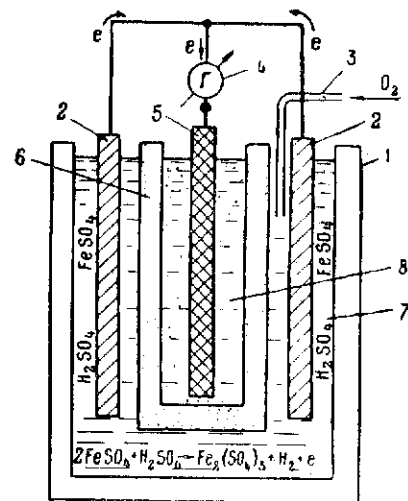
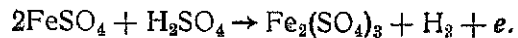


Рис. 65. Биологический элемент:

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

ноксилого железа опущен пассивный электрод из платины или угля. В этом же сосуде размещен другой сосуд из пористого вещества, в котором также имеется пассивный электрод. В сосуде имеется водный раствор, содержащий особый вид бактерий. В этот раствор подается воздух или кислород.

При взаимодействии слабой серной кислоты с серно-кислым железом 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 поглощать электроны с образованием молекул воды за счет присоединения кислорода, также поступающего в раствор.

В результате уничтожения поступающих электронов бактериями в цепи протекает ток, величина которого определяется поглощательной способностью бактерий. Разработкой источников тока, использующих биологические процессы, занимаются многие исследовательские лаборатории США и других стран, поскольку преимущества таких источников тока очевидны.

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

### ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Как и многие другие источники тока, термоэлектрические генераторы получили практическое применение совсем недавно, хотя со времени открытия термоэлектрического эффекта прошло более 140 лет.

Еще в прошлом веке до разработки полупроводниковых термоэлементов делались неоднократные попытки построения термоэлектродгенераторов на известных термопарных материалах, однако чрезвычайно низкий КПД (сотые доли процента) таких элементов не позволил получить сколько-нибудь приемлемых для практического применения образцов. И только с развитием новой отрасли физики — физики полупроводников, основателем которой является замечательный советский физик А. Ф. Иоффе, удалось создать полупроводниковые материалы для термоэлементов с достаточным для использования на практике КПД.

В результате работ многочисленных учеников А. Ф. Иоффе в области теории полупроводников созданы полупроводниковые вещества с хорошим коэффициентом добротности и разработаны конструкции термоэлементов и термобатарей для заводского производства.

Принцип действия термоэлемента основан на известном явлении возникновения ЭДС при нагревании места стыка двух проводников из различных сплавов, открытом немецким ученым Зеебеком в 1822 г., однако сам Зеебек не дал правильного объяснения этому явлению и не обратил внимания на то, что им, по существу, был открыт новый источник тока. Лишь только с появлением работ Томсона в 1853 г. было дано правильное объяснение явлению термоЭДС и разработаны теоретические предпосылки термоэлектричества.

При нагревании спая разнородных проводников на холодных концах спая возникает разность потенциалов.

Современный термоэлектрический генератор имеет полупроводниковые термоэлементы, одна из ветвей которых составлена из полупроводника с дырочной проводимостью, а другая — из полупроводника с электронной проводимостью. Термоэлемент, составленный из полупроводниковых сплавов висмут — сурьма и теллур — сурьма, имеет термоЭДС 130 мВ при температуре горячего спая  $+200^\circ$  и холодного  $+20^\circ$ , в то время как металлические термопары из благородных металлов развивают ЭДС порядка 10—20 мВ.

В годы Великой Отечественной войны партизанские отряды, действовавшие в Ленинградской области, имели на вооружении так называемые «партизанские котелки», разработанные А. Ф. Иоффе и его сотрудниками, представляющие собой термоэлектрические генераторы для питания походных радиостанций. «Партизанские котелки» нагревались пламенем костра, причем температура горячего спая термоэлементов батареи определялась нагревом дна котелка, а холодных — температурой воды, налитой в котелок. Эти первые термоэлектрические генераторы сослужили хорошую службу в те трудные годы и явились первыми в мире практически применяемыми термогенераторами.

В послевоенные годы работниками Института полупроводников Академии наук СССР были разработаны и получили широкое применение термоэлектрические генераторы ТГК-3, ТЭГК-2-2 и ТГК-10.

Эти термоэлектродгенераторы предназначены для питания батарейных радиоприемников и малых колхозных радиоузлов типа КРУ-2. По своему конструктив-



ному оформлению термоэлектрогенераторы (рис. 66, 67) почти не отличаются друг от друга.

Термоэлектрогенератор (рис. 67) состоит из теплопередачика 1, на боковых гранях которого укреплены

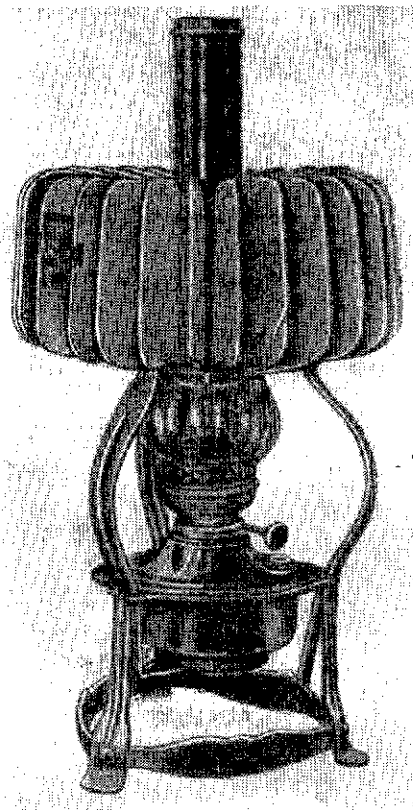


Рис. 66. Термоэлектрогенератор ТЭГК-2-2

секции термобатарей 2. Холодные спаи 3 термобатарей соединены с алюминиевыми ребрами — радиаторами 4 для лучшего рассеивания тепла. Каждая секция батареи состоит из ряда последовательно соединенных термоэлементов.

Термоэлектрогенератор ТГК-3 мощностью 3 *вт* имеет две термобатареи, одна из которых напряжением 2 *в* при токе 2 *а* предназначена для питания вибропреобразователя цепи анодного питания радиоприемника, а другая — напряжением 2 *в* при токе 0,5 *а* питает накальную цепь электронных ламп.

Термоэлектрогенератор ТЭГК-2-2 мощностью 4 *вт* также имеет две термобатареи: одну для питания накальной цепи напряжением 1,4—0,6 *в* при токе 180—650 *ма* и другую напряжением 150—60 *в* при токе 5—13,5 *ма* для питания анодной цепи. Нагревателем термобатарей служит керосиновая 20-линейная лампа «Молния». Расход керосина в лампе составляет 60—70 *г* на один час работы. Термоэлектрогенераторы ТГК-3 и ТЭГК-2-2 весят по 8 *кг*. Общий коэффициент преобразования тепловой энергии в электрическую — 0,75%. Нагрузочные характеристики термоэлектрогенератора ТЭГК-2-2 приводятся на рис. 68.

Большим шагом вперед является новый термоэлектрогенератор

ТГК-10 мощностью 10—12 *вт*. Каждый термоэлемент батареи термоэлектрогенератора ТГК-10 дает напряжение около 55 *мв* при разности температур между холодным и горячим спаями 300°.

КПД ТГК-10 — 3,5%.

Как и другие термоэлектрогенераторы, ТГК-10 имеет две термобатареи: одну для питания накальной цепи на-

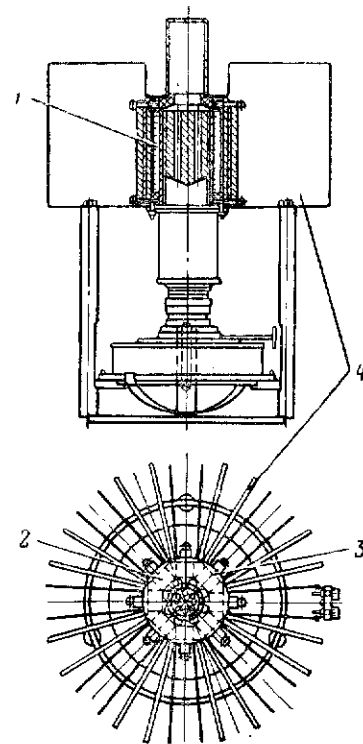


Рис. 67. Термоэлектрогенератор ТГК-10:

1 — теплопередачик; 2 — секции термобатарей; 3 — холодные спаи термобатарей; 4 — радиаторы

пряжением 1,2 в и током 0,7 а и другую напряжением 10 в, током 1 а для питания анодных цепей узла КРУ-2 через вибропреобразователь, имеющийся в радиоузле. Нагрев термобатареи осуществляется от керогазовой горелки с расходом керосина 100—105 г на один час ра-

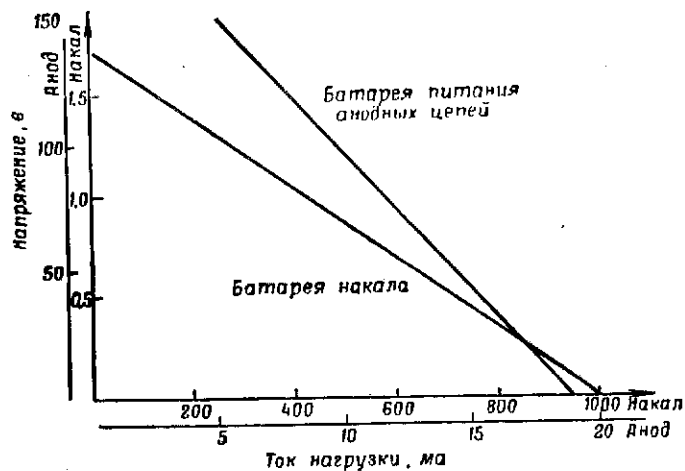


Рис. 68. Нагрузочные характеристики ТЭГК-2-2

боты. Нагрузочные характеристики термоэлектрогенератора ТГК-10 приведены на рис. 69.

Необходимо отметить, что применение в термоэлектрогенераторах ТГК-3 и ТГК-10 вибропреобразователей для питания анодных цепей батарейных радиоприемников и радиоузлов вряд ли оправдано. Разработанные в последнее время транзисторные преобразователи напряжения могут с успехом заменить несовершенные вибропреобразователи, создающие помехи в приемниках и требующие применения специальных фильтров.

Дальнейшее совершенствование термоэлектрических генераторов проводится в направлении создания более эффективных термоэлементов. Дело в том, что КПД термоэлемента определяется формулой

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

где  $\alpha$  — коэффициент термоэлектродвижущей силы  $\frac{\text{мкв}}{\text{град}}$ ;  
 $\sigma$  — удельная электропроводность;  
 $\chi$  — коэффициент теплопроводности;  
 $\Delta T$  — разность температур холодного и горячего спаев.

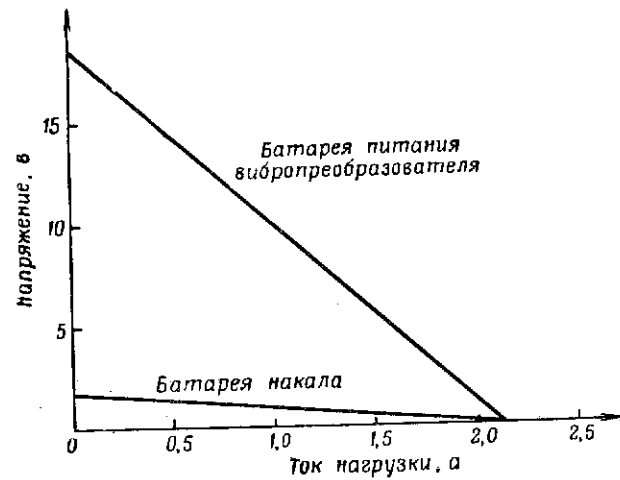


Рис. 69. Нагрузочные характеристики ТГК-10

Для металлов и металлических сплавов коэффициент термоЭДС  $\alpha$  лежит в пределах 30—40  $\frac{\text{мкв}}{\text{град}}$  и лишь для термонар золото—константан  $\alpha$  может достигать 100  $\frac{\text{мкв}}{\text{град}}$ , зато коэффициент теплопроводности  $\chi$  металлов велик, поэтому КПД металлических термоэлементов (см. формулу для  $\eta$ ) не может быть поднят до приемлемой для практики величины вследствие присущих металлам физических свойств. Для полупроводников коэффициент термоЭДС  $\alpha$  обратно пропорционален концентрации носителей тока в полупроводнике (см. гл. I), т. е. электронов и дырок, а удельная электропроводность, наоборот, прямо пропорциональна концентрации

носителей, и коэффициент добротности  $Z$ , определяемый из формулы КПД

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\chi},$$

достигает для полупроводников величины до 5000, в то время как для металлов  $Z$  лежит в пределах 5—50.

Лучшие образцы термоэлементов, разработанные в настоящее время, имеют КПД около 10%. Теоретически возможным пределом КПД термоэлементов считают 20%, однако этот предел трудно достижим вследствие противоречивых требований к термоэлементам по теплопроводности и электропроводности. Поэтому сейчас наряду с поисками термоэлементов с большим коэффициентом добротности  $Z$  идут поиски других термоэлементов, в частности жидких полупроводников, заключенных в металлическую оболочку.

В настоящее время разработаны как у нас, так и за рубежом различные типы термоэлектродгенераторов, нагреваемых от твердых и жидких топлив, газовой струи, солнца и радиоактивных изотопов типа стронция-90, полония-210 и других.

Построенный в США термоэлектродгенератор для питания космической аппаратуры при разности температур холодного и горячего спаев  $389^\circ$  нагревается радиоактивным изотопом полония-210 с периодом полураспада 138 дней. Мощность, развиваемая батареями из 27 пар термоэлементов, составляет 5 вт при напряжении 3 в. КПД этого термоэлектродгенератора 5%. Вес батарей 2,3 кг.

Другой тип термоэлектродгенератора, работающий на пропане, весит 5 кг. Дальнейшее развитие термоэлектродгенераторов, по данным иностранной печати, заключается в их использовании с другими видами преобразователей — магнитогидродинамическими генераторами, плазменными источниками тока и топливными элементами, т. е. там, где можно использовать тепло, выбрасываемое в воздух.

### ПЛАЗМЕННЫЕ (ТЕРМОЭЛЕКТРОННЫЕ) ИСТОЧНИКИ ТОКА

В 1949 г. А. Ф. Иоффе предложил использовать явление термоэлектронной эмиссии для создания вакуум-

ных термоэлементов. Работы, проводимые с 1949 г. как у нас, так и за рубежом, показали возможность и целесообразность создания плазменных преобразователей тепловой энергии в электрическую.

В главе I мы уже рассматривали процесс образования ЭДС в плазменном преобразователе. В простейшем виде плазменный преобразователь представляет собой вакуумный прибор (рис. 70) с катодом и анодом, которые, будучи соединены во внешней цепи некоторым сопротивлением  $R$ , в обычных условиях вследствие начальных тепловых скоростей термоэлектронов, излучаемых катодом, могут образовать разность потенциалов, а следовательно, и небольшой ток, протекающий по нагрузочному сопротивлению  $R$ .

Если выходное напряжение преобразователя обозначить  $V_R$ , то на сопротивлении будет выделяться полезная мощность

$$W_R = I^2 R = IV_R,$$

где  $V_R = IR$ .

Выделение полезной мощности  $W_R$  происходит за счет тепла катода, т. е. расхода мощности на его накал  $W_H$ . Эта мощность затрачивается не только на полезное испускание электронов катодом, но и на тепловое излучение, представляющее потери энергии.

Таким образом, КПД преобразования тепловой энергии в электрическую можно выразить отношением

$$\eta = \frac{W_R}{W_H}.$$

При нагреве катода образовавшийся электронный газ направляется к аноду, поскольку последний имеет более низкую температуру. Для получения максималь-

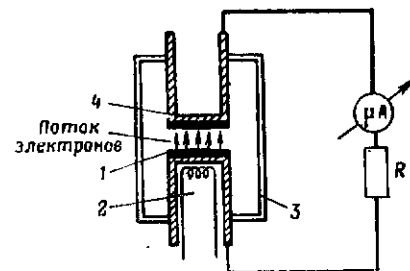


Рис. 70. Принцип действия плазменного преобразователя:

1 — катод; 2 — нагреватель; 3 — вакуумный цилиндр; 4 — анод

ного тока расстояние между катодом и анодом выбирается наименьшим.

Плазменные преобразователи могут быть как вакуумными, так и газовыми. Накал катода в плазменных преобразователях может производиться от источника тепла с температурой излучения 1500—2000°, в том числе гамма-лучами или нейтронным потоком. В некоторых случаях радиоактивное вещество может быть введено непосредственно в материал катода. Существуют проекты, предусматривающие нагрев катода солнечным излучением.

Плазменные преобразователи можно разбить на три группы:

— низкотемпературные с температурой катода 1200—1600° К;

— среднетемпературные с температурой катода 1900—2000° К;

— высокотемпературные с температурой катода 2500—3000° К.

Низкотемпературные преобразователи имеют катод из металла или полупроводника, покрытый пленкой из щелочного или щелочноземельного металла с небольшой рабочей выхода, который и является поставщиком термоэлектронов. Плазменный преобразователь с катодом из вольфрама, покрытого пленкой бария, работает при температуре 1570° К. Выходное напряжение составляет 0,7 в, а КПД лежит в пределах 5%. Другой вид преобразователя с катодом из вольфрама с цезиевой пленкой, работающий при температуре катода 1900°, имеет выходное напряжение 0,8 в и КПД 9%. Тот же преобразователь при температуре 1350° К дает напряжение 0,7 в при КПД 5%. Путем специальной обработки вольфрамовой основы удалось при той же температуре получить КПД 14% при напряжении 0,7 в.

Среднетемпературные преобразователи имеют вольфрамовую основу с нанесенным катодом из бикарбида тория. При температуре 2200° К такой источник работает с КПД 10—15% при напряжении 1,1 в. Катод из монокарбидов урана и тория при температуре 2600° К позволяет обеспечить КПД до 15%. Такой катод интересен еще и тем, что в случае его применения отпадает необходимость подогрева катода, так как выделение тепла происходит при ядерном делении урана.

Катодная основа высокотемпературных плазменных преобразователей изготавливается из тантала или вольфрама. Анод выполняется из металла с покрытием пленкой цезия. Свободное пространство в преобразователе заполнено парами цезия. При температуре 2900° К и выходном напряжении 2,5 в был достигнут КПД около 10%. Перечисленные выше преобразователи являются вакуумными и отличаются от газонаполненных величинной междуэлектродного промежутка, который в большинстве конструкций не превышает 10 мк.

Газонаполненные преобразователи в качестве газа используют ксенон. Катодная основа таких преобразователей выполнена из тантала, а металлический анод покрыт пленкой бария. В первый момент запуска преобразователя к нему прикладывается напряжение, которое после зажигания дуги выключается, и дуговой разряд поддерживается за счет разности потенциалов между катодом и анодом. Выходное напряжение преобразователя составляет 0,7 в при КПД около 0,3%.

Применение в вакуумных преобразователях паров цезия вызывается необходимостью нейтрализации пространственного заряда, возникающего при термоэлектронной эмиссии. Эта задача может быть также решена сближением электродов до минимального расстояния.

Перспективы применения плазменных преобразователей лежат, очевидно, в ядерной энергетике, поскольку необходимые для их работы температурные пределы находятся в режимах работы ядерного топлива. Существуют проекты комбинированных установок с использованием первичного тепла ядерного топлива для подогрева катода термоэлектронного преобразователя и отхода тепла для питания паросиловой установки. КПД преобразователя по расчетам составит 50%, в то время как КПД турбогенераторов лежит в пределах 30—40%. Принципиальная схема такой установки приводится на рис. 71. Здесь в качестве источника тепла для подогрева катодов использована окись урана UO<sub>2</sub>. Охлаждение преобразователя осуществляется непрерывной прокачкой охлаждающей жидкости, являющейся в свою очередь теплоносителем для подогрева воды в паросиловой установке.

Мощность, которую предполагается получить в опытном образце такой комбинированной установки, будет

составлять 27 кВт при КПД 10%. Общий вес термоэлектронной батареи 640 кг.

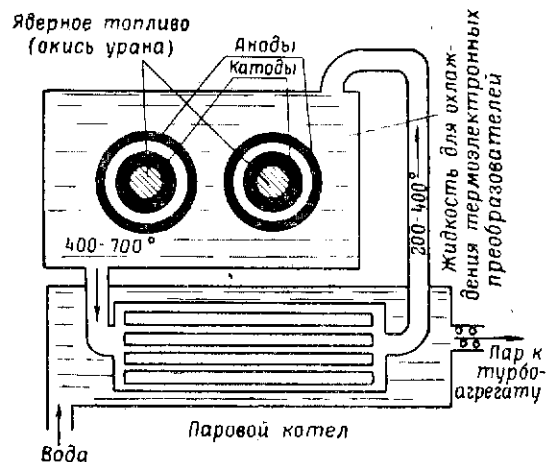


Рис. 71. Комбинированная термоэлектронная и паросиловая установка на ядерном топливе

Большой интерес представляет комбинация из термоэлектронного и термоэлектрического преобразователей, где отходы тепла от термоядерной реакции исполь-

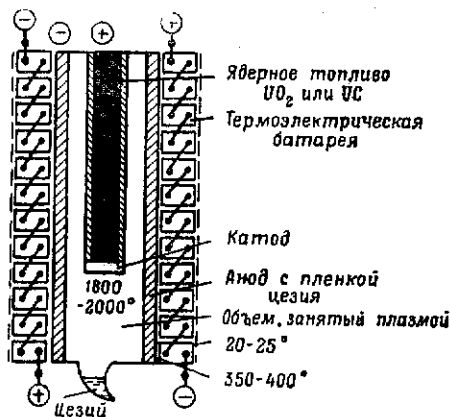


Рис. 72. Комбинированный термоэлектронный (плазменный) и термоэлектрический преобразователи

зуются в качестве подогрева горячих спаев термоэлектрической батареи. Такая установка может быть составлена из двух каскадов: первого каскада на термоэлектронном преобразователе с рабочей температурой катода 1800—2200° К и второго каскада на термоэлектрической батарее с температурой горячих спаев около 600° К, равной температуре анода плазменного преобразователя.

На рис. 72 приведена схема устройства установки с термоэлектронным и термоэлектрическим преобразователями, где в качестве топлива предполагается использовать окись урана  $UO_2$  или карбид урана  $UC$ . Предположительный КПД такой установки 35—40%.

## ВЕНТИЛЬНЫЕ ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

Работа вентильных фотоэлементов, или, как их еще называют, фотоэлементов с запирающим слоем, основана на возникновении фотоЭДС при освещении полупроводника с  $p-n$  переходом (гл. I). Вентильный фотоэлемент (рис. 73) состоит из металлической подложки 1, нанесенного на нее слоя полупроводника 2, обработанного так, что он имеет  $p-n$  переход, и металлического полупрозрачного верхнего электрода 3.

Созданием  $p-n$  перехода полупроводник как бы разделяется на два слоя: один с дырочной, а другой с электронной проводимостью.

При этом один из полупроводников является проводящим, а другой — запирающим, т. е. препятствующим обратному переходу электронов или дырок, благодаря чему фотоэлементы такого типа и получили название вентильных.

В отличие от фотоэлементов с внешним фотоэффектом вентильные фотоэлементы являются источниками тока, генерирующими ЭДС под воздействием светового излучения. В зависимости от материала полупроводника вентильные фотоэлементы обладают резко выра-

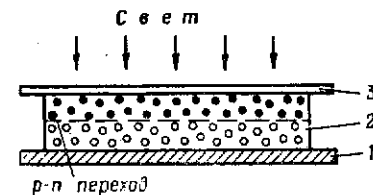


Рис. 73. Устройство вентильного фотоэлемента:

1 — металлическая подложка; 2 — полупроводниковый слой с электронной (●) и дырочной (○) проводимостью; 3 — полупрозрачный электрод

женной спектральной чувствительностью: каждый вид фотоэлемента имеет максимальную чувствительность в той или иной области спектра, т. е. чувствительность к источнику излучения с определенной длиной волны, как это показано на рис. 74. Спектральные характеристики являются весьма важными, так как они определяют возможность применения фотоэлемента в зависимости от длины волны источника освещения.

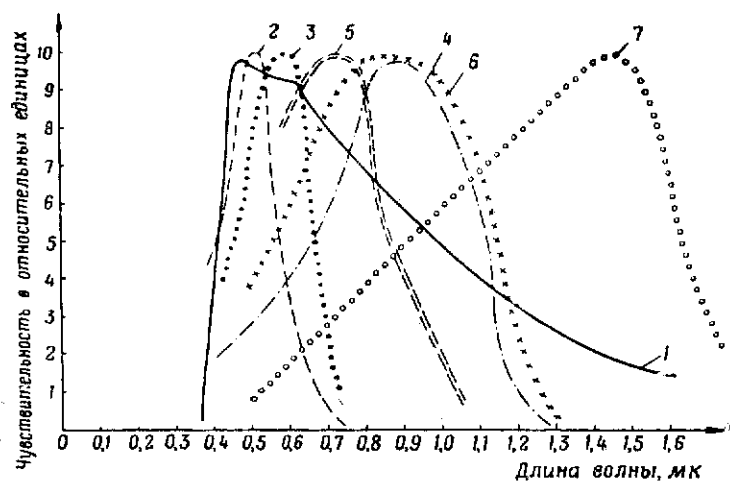


Рис. 74. Спектральные характеристики различных вентильных фотоэлементов и спектральная характеристика излучения Солнца

Так, например, применение германиевого фотоэлемента, использующего энергию Солнца, в качестве солнечного источника тока ограничено из-за расхождения его спектральной характеристики с кривой излучения Солнца. Помимо спектральной чувствительности, фотоэлементы характеризуются интегральной чувствительностью, показывающей зависимость фототока фотоэлемента от падающего на него светового потока.

Интегральная чувствительность измеряется в микроамперах на люмен и определяется при короткозамкнутой внешней цепи по источнику света, имеющему температуру  $2840^\circ$  (по абсолютной шкале). Интегральная чувствительность вентильных фотоэлементов в значительной степени зависит от температуры, что является пре-

пятствием к широкому применению многих вентильных фотоэлементов в качестве источников тока.

Электродвижущая сила фотоэлемента зависит прежде всего от характера выбранного полупроводникового вещества и его внутреннего сопротивления. Поскольку здесь рассматриваются только полупроводниковые фотоэлементы с точки зрения возможности их использования в качестве источников тока, то такие характеристики вентильных фотоэлементов, как фотоЭДС, температурный диапазон работы и срок службы, будут нас интересовать в первую очередь.

Меднозакисные фотоэлементы, разработанные в 30-х годах нашего века, не получили широкого распространения из-за нестабильности характеристик во времени по величине ЭДС и низкого срока службы. Они вскоре были вытеснены селеновыми фотоэлементами, фотоЭДС которых при световом потоке в  $1 \text{ лм}$  достигает  $0,38 \text{ в}$ .

Селеновые фотоэлементы применяются в качестве источника тока в фотометрах и фотоэкспонетрах, но как силовой источник для питания какой-либо аппаратуры не нашли применения ввиду их большого внутреннего сопротивления и значительных колебаний характеристик при изменении температуры.

Более высокие характеристики по чувствительности имеют серноталлиевые и сернистосеребряные фотоэлементы, но и их применение в качестве источника питания аппаратуры малой мощности ограничено незначительной величиной ЭДС (около  $0,2 \text{ в}$ ) и большими колебаниями характеристик вследствие старения. Коэффициент полезного действия указанных выше фотоэлементов невелик и достигает для лучших образцов сернистосеребряных фотоэлементов  $1,1\%$ .

Теоретически вентильные фотоэлементы могут иметь  $100\%$  КПД при условии их облучения светом, длина волны которого соответствует максимуму спектральной чувствительности данного фотоэлемента (рис. 74). При этом вся падающая на фотоэлемент лучистая энергия должна поглощаться  $p-n$  переходом с тем условием, чтобы ток в фотоэлементе соответствовал числу электронов и дырок, возникающих в один и тот же промежуток времени, а его внутреннее сопротивление от бесконечно большого в темноте становилось бы бесконечно малым при освещении.

Однако до сих пор не удалось создать фотоэлемент с КПД выше 14%, так как любой фотоэлемент представляет собой интегральный приемник света и не дает должного эффекта при облучении светом со строго фиксированной длиной волны.

В настоящее время основным источником тока, использующим вентильный фотоэффект, являются кремниевые солнечные фотоэлементы.

Солнечные батареи, составленные из кремниевых фотоэлементов, являются одним из основных источников

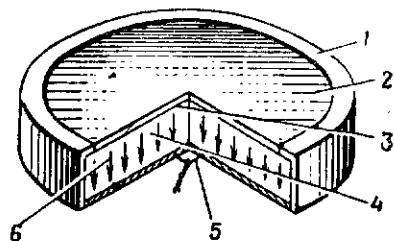


Рис. 75. Кремниевый фотоэлемент дисковой формы:

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

элементов практически не изменяются.

Устройство кремниевого фотоэлемента показано на рис. 75. Кремниевый фотоэлемент изготавливается из чистого кремния путем выдержки его при высокой температуре в присутствии газообразного бора.

В результате такой обработки поверхностный слой кремниевой пластины превращается в кремний с *p*-проводимостью, в то время как внутренняя часть остается в первоначальном состоянии с *n*-проводимостью.

К слою из *p*-кремния подводится токоотвод. Такой же токоотвод подводится и к слою из *n*-кремния, который обнажается путем снятия верхнего слоя *p*-кремния. Готовый элемент упаковывается в пластмассовую оболочку, предохраняющую токоотводы и чувствительный слой от загрязнения, механических повреждений и влаги.

Кремниевый фотоэлемент приведенной выше конструкции имеет следующие характеристики:

- электродвижущая сила 0,5—0,55 в;
- напряжение 0,4 в;
- ток короткого замыкания 20 ма на 1 см<sup>2</sup> площади;
- коэффициент полезного действия 8—10%.

Выпускаемые отечественной промышленностью кремниевые солнечные фотоэлементы имеют следующие характеристики, приведенные в табл. 19.

Таблица 19

Основные характеристики некоторых типов кремниевых фотоэлементов

Тип фотоэлемента	Размеры, мм	Рабочая поверхность, см <sup>2</sup>	Средний КПД, %	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 следует из табл. 19, напряжение кремниевых фотоэлементов не зависит от его рабочей площади и является постоянной величиной в отличие от выходного тока и мощности, величина которых пропорциональна рабочей поверхности фотоэлемента. Срок службы кремниевых фотоэлементов, по данным зарубежной печати, составляет 100000 лет.

Из отдельных элементов путем их последовательного соединения собираются солнечные батареи.

Соединение элементов в батарее производится либо специальными шинами, либо внахлестку, причем в последнем случае рабочая поверхность батареи уменьшается вследствие некоторого перекрытия элементами этой поверхности.

Образцы солнечных батарей, экспонированные на Выставке достижений народного хозяйства СССР, состояли из 12 и 19 фотоэлементов, соединенных последовательно внахлестку.

Первая батарея отдает ток 20 *ма* при напряжении 5 *в*, вторая — 40 *ма* при напряжении 7 *в*. Также демонстрировавшаяся на ВДНХ батарея для геологических партий изготовлена в виде набора листов с фотобатареями общей мощностью до 100 *вт*.

Температурный диапазон работы кремниевых фотобатарей лежит в пределах от  $-65$  до  $+175^{\circ}\text{C}$ .

Из разработок ВВС США можно указать солнечную батарею, установленную в космической аппаратуре «Рейнджер-IV». Эта батарея состоит из 8680 кремниевых фотоэлементов, развивающих на выходе мощность 175—205 *вт*.

Характеристики кремниевых батарей в значительной мере зависят от степени солнечной освещенности. В пасмурную погоду, когда эффективность светового потока резко падает, ток, отдаваемый батареей, уменьшается, вследствие чего наибольший эффект использования солнечных батарей может быть получен при их эксплуатации в южных районах страны, где количество солнечных дней в течение года достигает 80%, в то время как в центральных районах количество солнечных дней составляет 25—45%. По данным академика А. Ф. Иоффе, на 1  $\text{м}^2$  земной поверхности приходится около киловатта солнечной энергии. Если принять коэффициент полезного действия солнечных батарей равным 8%, то для освещения небольшого жилого дома достаточно поставить на крыше солнечную батарею с рабочей площадью 3—4  $\text{м}^2$ . Такая батарея в дневное время будет развивать мощность 250—300 *вт*, что достаточно для питания бытовых электроприборов небольшой мощности и зарядки аккумуляторов для освещения помещений в ночное время.

Величина суточного изменения мощности излучения Солнца, падающего на один квадратный метр поверхности, расположенной перпендикулярно к Солнцу, приводится на рис. 76. Как видно из графика, уровень солнечной энергии в пасмурный день составляет около  $\frac{1}{4}$  потока в ясную погоду.

На графиках рис. 77 изображены кривые солнечной освещенности в течение года для северных, центральных и южных районов СССР. Совершенно очевидно, что использование сконцентрированного потока солнечной энергии в значительной мере повысит отдачу мощности фотобатареями, в связи с чем применение вогнутых зер-

кал или собирающих линз обеспечит получение расчетной мощности и в пасмурную погоду. При использовании батарей с зеркалами или линзами необходимо иметь в виду, что в солнечную погоду может быть превышен температурный предел работы фотобатарей  $+175^{\circ}$ , что может привести к выходу их из строя.

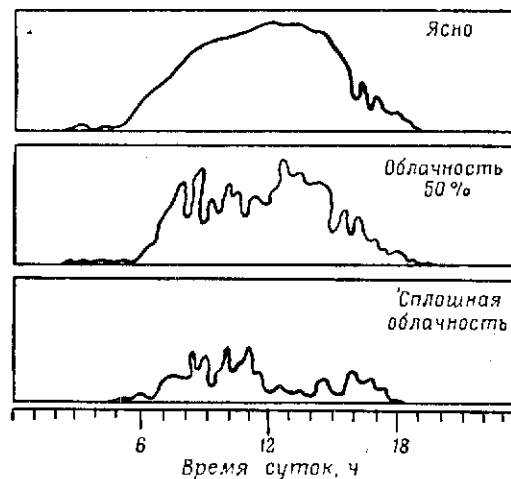


Рис. 76. Суточный ход изменения мощности излучения Солнца

Как было указано выше, для обеспечения непрерывной работы аппаратуры, питаемой солнечными батареями, необходимо подключать к ним в параллель аккумуляторные батареи, чтобы в пасмурную погоду или ночью питание аппаратуры производилось бы от аккумуляторов. В качестве примера приведем ориентировочный расчет фотобатареи для питания транзисторного радиоприемника типа «Нева», имеющего питание от аккумуляторной батареи 7Д-0,1 напряжением 9 *в*.

В режиме приема такой приемник потребляет мощность около 90 *мвт* при токе 10 *ма*. Для питания приемника в солнечную погоду потребуется солнечная батарея напряжением 9 *в*, составленная из кремниевых элементов в количестве  $9 : 0,4 = 22$  шт. Так как, помимо работы приемника, в солнечную погоду нужен дополнительный ток для зарядки буферной батареи 7Д-0,1 (для



пасмурной погоды) силой 12 ма, то наиболее подходящим являются элементы ФКД-3, которые с учетом перекрытия рабочей поверхности дадут необходимый ток 22 ма. Однако для заряда аккумуляторной батареи

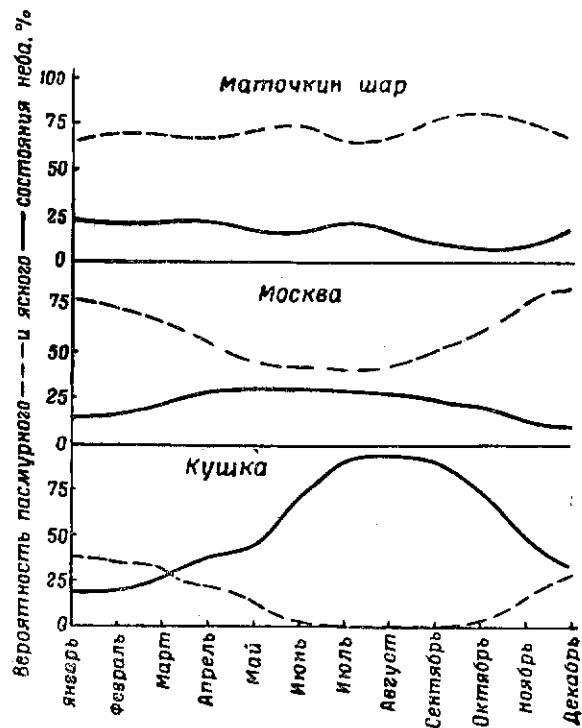


Рис. 77. Кривые солнечной активности на разных широтах в течение года

7Д-0,1 необходимо напряжение в 1,2 раза большее ЭДС (9,45 в), в этом случае солнечных элементов придется взять не 22, а  $9,45 \times 1,2 : 0,4 = 28$  шт.

Такая батарея будет иметь площадь около 40 см<sup>2</sup>, т. е. размер 40×100 мм, что обеспечит ее установку на корпус приемника «Нева».

Преимущества такого способа питания для условий, в которых может находиться турист, очевидны.

Разработанные в США батареи для питания транзисторных приемников состоят из 32 кремниевых фо-

тоэлементов с рабочей поверхностью 60 см<sup>2</sup>. Такая батарея напряжением 9 в отдает ток 15 ма. Имеются сведения о размещении солнечных батарей в оправе очков, в которых смонтирован аппарат для плохо слышащих, на солдатской каске для питания портативной радиостанции и т. п. Значение солнечных батарей трудно переоценить, так как они являются по существу источником даровой энергии, использование которой в народном хозяйстве дает значительный экономический эффект.

Следует ожидать, что в ближайшее время будут спроектированы и построены весьма эффективные в южных районах солнечные электростанции значительной мощности.

Особую ценность имеют солнечные батареи в деле освоения космических пространств, где солнце является неиссякаемым источником энергии.

В проектах космических межпланетных станций предусматривается использование солнечных батарей не только для питания энергетических установок и бортовой аппаратуры, но и для приведения во вращение двигателей, создающих искусственное тяготение за счет вращения самой межпланетной станции.

В статье американского ученого Вильсона, опубликованной в журнале «Electric Energy» за 1960 г., солнечные батареи указываются в числе перспективных источников питания для космической аппаратуры наряду с термоэлектрическими и плазменными преобразователями.

По мнению автора этой статьи, фотоэлектрические батареи мощностью 1 кВт будут иметь вес 45 кг. Указывается и стоимость такой батареи — 400000 долларов.

Однако, учитывая непрерывный прогресс в деле совершенствования технологии чистых веществ, следует ожидать снижения стоимости кремниевых батарей, как это имело место в прошлом, например с алюминием, стоимость которого еще в конце прошлого века превышала стоимость драгоценных металлов. Поиски в области более эффективных веществ для солнечных батарей привели к новому полупроводнику — арсениду галлия, электродвижущая сила которого почти в два раза выше ЭДС кремниевых фотоэлементов и составляет 0,8—0,9 в. Коэффициент полезного действия фотоэлементов

из арсенида галлия выше кремниевых и приближается к 14%. Следует ожидать, что в дальнейшем батареи из арсенида галлия получат такое же распространение, как и кремниевые.

Последними работами в области органических полупроводников доказана принципиальная возможность возникновения фотоЭДС у пар, составленных из ароматических углеводородов бензольной группы в контакте со щелочными металлами. Например, у пары перилен — литий и перилен — натрий ЭДС достигает 1 в, однако мощность, которую может использовать потребитель, ничтожно мала —  $10^{-8}$ — $10^{-17}$  вт, что объясняется высоким внутренним сопротивлением пары.

Приведенные примеры показывают, что работы в области изыскания новых веществ для фотоэлектрических источников тока ведутся широким фронтом и что в недалеком будущем следует ожидать больших успехов в деле получения высокоэффективных источников тока, использующих неисчерпаемый источник энергии — Солнце.

## СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ

Как это было показано в главе I, сегнетоэлектрики принципиально могут быть использованы в качестве источников тока за счет явления возбуждения ЭДС при изменении температуры сегнетоэлектрического конденсатора, но до настоящего времени в литературе пока еще нет сведений о практических работах в этой области. Зато пьезоэлектрический эффект сегнетоэлектриков нашел практическое применение еще в 40-х годах нашего века в виде различного рода электромеханических преобразователей и датчиков.

Пьезоэлектриком называется сегнетоэлектрик, действующий при температуре ниже точки Кюри. Пьезоэлектрический эффект сегнетоэлектриков, применяемых в качестве электромеханических преобразователей для превращения механического давления на кристалл в электрические импульсы, состоит в возбуждении разности потенциалов в пьезоэлектрике под воздействием механической нагрузки. В случае знакопеременной нагрузки форма выходного напряжения будет повторять форму нагрузки, что и используется, например, в пьезоэлектрических звукоснимателях.

До последнего времени в качестве пьезоэлектрических элементов применялись в основном сегнетова соль, турмалин, кварц, но с разработкой теории сегнетоэлектриков и получением новых полупроводниковых веществ они уступили место новым веществам на основе титана, в частности титанату бария, обладающему высоким значением пьезоэлектрической постоянной и хорошими механическими качествами.

В качестве примера использования пьезоэффекта для возбуждения ЭДС можно привести принципиальную схему датчика, применяемого во многих областях техники (рис. 78).

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, образуемого обкладками и пьезоэлектрической пластиной (в фарадах);

$C_0$  — емкость измерительной схемы датчика (в фарадах).

Такие датчики используются для исследования быстроспротекающих процессов и могут быть применены для возбуждения кратковременных импульсов электрического тока в устройствах, срабатывающих при ударе о какое-либо препятствие.

Для работы в статическом режиме такой элемент непригоден вследствие утечки зарядов по поверхности датчика и потерь в проводах.

Измерение напряжения пьезоэлектрического датчика можно производить только ламповым вольтметром, так как сила тока такого источника чрезвычайно мала.

Величина пьезомодуля  $\delta_e$  для кварца составляет  $2,1 \cdot 10^{-11}$ , для титаната бария —  $107 \cdot 10^{-11}$  и для сегне-

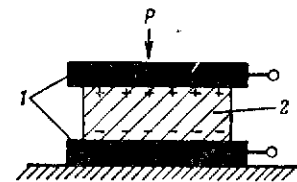


Рис. 78. Пьезоэлектрический датчик:

1 — токопроводящие обкладки;  
2 — пьезоэлектрик

товой соли —  $300 \cdot 10^{-11}$ , однако применение сегнетовой соли ограничивается ее невысокими механическими качествами и большой гигроскопичностью.

## ЭЛЕКТРЕТЫ

Электретом называется тело, длительно сохраняющее поляризацию после удаления внешнего электрического поля и создающее в окружающем его пространстве электрическое поле. Такое определение дано электретам Комитетом технической терминологии Академии наук СССР.

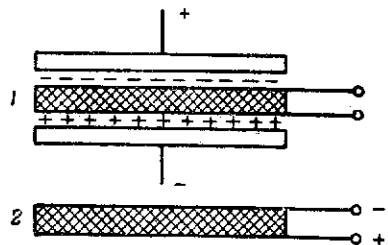


Рис. 79. Электретный эффект:

1 — расплавленный диэлектрик, охлажденный до затвердевания в сильном электрическом поле; 2 — тот же диэлектрик при нормальной температуре после снятия сил электрического поля

После такой операции диэлектрик становится источником электрического поля и обладает способностью сохранять заряд в течение длительного промежутка времени.

Как известно из курса физики, при воздействии на диэлектрик сильного электрического поля в массе диэлектрического вещества образуются заряды противоположных знаков (рис. 79), причем на стороне диэлектрика, обращенной к положительному электроду, возникает заряд отрицательного знака, а на стороне, обращенной к отрицательному электроду, — заряд положительного знака.

Принцип возникновения электретного эффекта после снятия внешнего электрического поля трактуется по-разному и до настоящего времени не имеется полностью разработанной теории этого явления.

Возникновение заряда в диэлектрике некоторыми учеными объясняется пьезоэлектрическим эффектом, вызванным деформацией диэлектрика под действием сил электрического поля.

Роль охлаждения, по мнению ряда физиков, состоит в стабилизации или, как говорят, «вмерзании» диполей, образующих диэлектрик, что способствует сохранению заряда в диэлектрике даже и при положительной температуре. В качестве материала для электретов применяются такие изоляторы, 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.

Хотя в настоящее время электретных источников тока не создано, имеется ряд приборов, созданных на электретах, где электреты в той или иной степени играют роль источников тока. К таким приборам относится в первую очередь электретный микрофон, устройство которого показано на рис. 80.

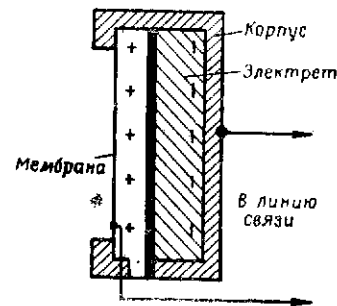


Рис. 80. Электретный микрофон

Гибкая мембрана микрофона под действием звука колеблется, вызывая изменение емкости микрофона, образованной токоотводами и электретом, что в свою очередь вызывает появление переменного напряжения на зажимах микрофона. Так как микрофон соединен линией связи с приемником, то в последнем происходит колебание мембраны, излучающей звук.

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, использование электретов в качестве источников тока для смещения в электронных лампах, а также в качестве выпрямителей.

В настоящее время нет сведений, свидетельствующих о ближайшей возможности применения электретов в качестве источников тока для питания хотя бы мало-мощной аппаратуры, но, учитывая простоту их изготовления и дешевизну исходных материалов, следует ожидать, что работы по созданию электретных источников тока будут продолжаться.

### АТОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Выше (в гл. III и IV) уже указывалось, что тепло, выделяющееся в результате радиоактивного распада, используется в термоионных (плазменных) и термоэлектрических преобразователях, но существует еще ряд других источников тока, в которых энергия радиоактивного распада принимает непосредственное участие в процессе образования электрического тока. Такие батареи получили название атомных.

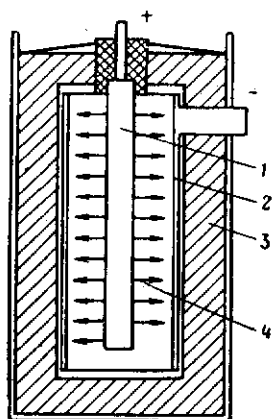


Рис. 81. Высоковольтная атомная батарея:

1 — радиоактивное вещество; 2 — коллектор; 3 — биологическая защита (свинец); 4 — направление движения электронов

приведено на рис. 81. Здесь пластина из радиоактивного вещества 1 помещена на некотором расстоянии от коллекторной пластины 2. Вылетающие при радиоактивном распаде электроны попадают на коллектор, сообщая ему отрицательный заряд. Само же радиоактивное вещество, теряя электроны, приобретает положительный заряд, в результате чего между пластиной из радиоактивного вещества и коллектором возникает разность потенциалов.

Атомные батареи являются по существу источником тока одноразового действия, хотя и работают в течение длительного времени. Срок действия атомной батареи определяется периодом полураспада заложенного в ней радиоактивного вещества. Например, период полураспада радиоактивного изотопа стронция составляет 19 лет, изотопа прометия — около 3 лет, изотопа фосфора — 14 дней. Устройство высоковольтной атомной батареи

приведено на рис. 81. Здесь пластина из радиоактивного вещества 1 помещена на некотором расстоянии от коллекторной пластины 2. Вылетающие при радиоактивном распаде электроны попадают на коллектор, сообщая ему отрицательный заряд. Само же радиоактивное вещество, теряя электроны, приобретает положительный заряд, в результате чего между пластиной из радиоактивного вещества и коллектором возникает разность потенциалов.

Такая батарея имеет напряжение порядка 10 кВ, однако ток батареи ничтожно мал и составляет  $10^{-12}$  а. Конструктивно батарея выполнена в виде цилиндра.

Величина тока, отдаваемого батареями, так же, как и срок действия, зависит от периода полураспада заложенного в ней радиоактивного вещества, т. е. от его активности. Для активных, быстро распадающихся изотопов, как, например, изотоп фосфора, можно получить ток до  $10^{-7}$  а.

Другой тип атомной батареи использует между пластиной из радиоактивного вещества и коллектором полупроводниковый слой (рис. 82), в результате чего элек-

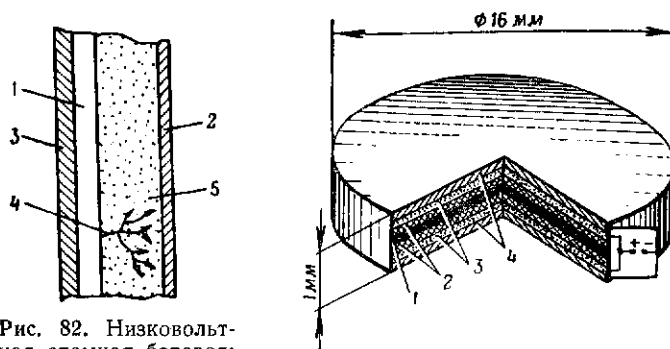


Рис. 82. Низковольтная атомная батарея:

1 — радиоактивное вещество; 2 — коллектор; 3 — биологическая защита; 4 — движение электронов; 5 — полупроводниковый слой

Рис. 83. Микробатарея:

1 — изотоп прометия-147; 2 — лантан; 3 — положительный слой кремниевого фотоэлемента; 4 — отрицательный слой кремниевого фотоэлемента

троны, вылетающие при распаде, будут выбивать электроны из полупроводника. Так как число выбитых из полупроводника электронов в такой батарее будет значительно больше числа электронов в высоковольтной батарее без полупроводникового слоя, а их скорость благодаря тормозящему действию слоя значительно меньше скорости свободных электронов, то и электродвижущая сила такой батареи невелика — 0,2—0,3 в, но зато ток —  $5 \cdot 10^{-6}$  а.

Габариты атомных батарей как высоковольтных, так и низковольтных невелики, однако, учитывая необходимость применять защиту от продуктов распада, что вле-

чет к увеличению габаритов и веса, область применения атомных источников тока пока еще незначительна.

Другая разновидность низковольтной атомной батареи несет в себе элементы как атомных, так и солнечных источников тока.

Микробатарея для ручных часов и слуховых аппаратов, разработанная одной из фирм США (рис. 83), помимо источника радиоактивного излучения — прометия-147, имеет слой фосфора и слой кремниевого фотоэлемента. При радиоактивном распаде прометия фосфор светится, вызывая возбуждение ЭДС в кремниевом фотоэлементе.

Такая батарея имеет напряжение около 1 в при силе тока  $2 \cdot 10^{-6}$  а. Срок службы батареи около 3 лет.

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

### ПОМЕЩЕНИЕ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ С ИСТОЧНИКАМИ ТОКА

Помещение и оборудование для работы с источниками тока выбирается исходя из количества источников тока, с которыми предстоит работать, и их габаритов.

Одними из основных требований, предъявляемых к помещению, являются требования к вентиляции, отоплению и освещению. Вентиляция помещения является необходимым условием обеспечения безопасности работающих в нем людей, так как выделяющиеся при заряде и отстое аккумуляторов газы являются взрывоопасными в смеси с воздухом.

Требования к отоплению сводятся к необходимости поддержания в помещении температуры в пределах  $18-20^\circ$ , так как именно при этой температуре обеспечиваются наиболее благоприятные условия для заряда аккумуляторов и их хранения. При этом в целях обеспечения противопожарной безопасности в случае применения печного отопления топка печи должна производиться только вне рабочего помещения.

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. Стены помещения должны быть окрашены в светлый, но неяркий цвет нитроокраской, так как масляная краска легко разрушается парами щелочи. Пол должен быть покрыт пластиком или покрашен нитроокраской. При этом независимо от материала настла рабочие места заряда аккумуляторов должны иметь резиновые коврики. 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, установленное в специальный шкафчик с отверстием в крышке.

Помещение должно иметь:

- лабораторные столы для работы с источниками тока (заливка, пропитка, ремонт);
- столы для заряда аккумуляторов;
- стеллажи для хранения аккумуляторов, подлежащих заряду, и заряженных аккумуляторов;
- шкаф для хранения химикатов и химической посуды;
- шкаф для хранения электроизмерительной аппаратуры и приборов;
- вешалки для хранения соединительных и монтажных проводов и проводов электроизмерительных приборов;
- аптечку.

Крышки столов для работы с аккумуляторами должны быть покрыты винилпластом или окрашены нитроокраской. Столы для заряда аккумуляторов и стеллажи могут и не быть окрашенными. Полки стеллажей в целях обеспечения лучшего доступа к аккумуляторам должны быть установлены в виде пирамиды. Шкаф для химикатов и посуды должен быть разделен на две части: нижнюю, где удобнее всего хранить химикаты, и верхнюю, где хранятся стаканы, воронки и прочая посуда.

Шкаф для электроизмерительных инструментов должен быть оборудован таким образом, чтобы к любому прибору был свободный доступ.

Помимо аптечки, в которой должно быть все необходимое для оказания первой помощи при порезах, ожогах и травмах, в помещении должен быть установлен сосуд с раствором борной кислоты, снабженный трубкой с зажимом Мора.

К числу необходимых инструментов относятся:

- небольшие слесарные тиски;
- ручные тисочки;
- набор торцовых гаечных ключей с деревянными или пластмассовыми рукоятками;
- набор отверток под шлиц 2, 4, 6, 8, 10, 12 и 14 мм тоже с рукоятками из изоляционного материала;
- разводной гаечный ключ;
- плоскогубцы;
- кусачки;
- ножницы;
- монтерский нож;
- напильники личные (плоский и трехгранный);
- молоток слесарный;
- молоток деревянный;
- зубило;
- ножовка слесарная;
- паяльник 36 в, 40 вт.

Из специального оборудования и инструмента необходимы:

- ареометр;
- груши резиновые разных размеров для отбора электролита;
- шприц медицинский на 20 мл;
- воронки стеклянные или фарфоровые 3—4 шт.;
- фарфоровые или стеклянные сосуды емкостью от 0,25 до 2 л;
- банки с притертыми пробками для химикатов;
- резиновые перчатки медицинские и резиновые рукавицы.

Необходимые измерительные инструменты и приборы должны включать:

- нагрузочную вилку;
- амперметр постоянного тока с пределами измерений 30 мА; 0,3; 3; 10 и 30 А;
- вольтметр постоянного тока класса 0,5 с пределами измерений 3, 10, 30, 100 и 300 в (лучше всего подходит прибор М-16);

— авометр АВО-5 или тестер ТТ-1.

Из расходных материалов и химикатов для работы с источниками тока необходимы:

- ветошь хлопчатобумажная;
- вата гигроскопическая;
- 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;
- борная кислота.

### **ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ХИМИЧЕСКИМИ ИСТОЧНИКАМИ ТОКА**

Работы по приведению в рабочее состояние источников тока и их ремонту связаны с силовыми сетями, химическими реактивами и механическими операциями.

При работе с силовыми сетями необходимо помнить, что напряжение свыше 36 в является опасным для жизни, поэтому работы с устройствами, находящимися под напряжением 127 в и выше, должны выполняться при условии, что в помещении находится не менее двух человек. Все включения, выключения и измерения должны выполняться одной рукой, чтобы при поражении током не были задеты жизненно важные органы.

Корпуса и экраны, каркасы и металлические панели выпрямителей, находящихся под напряжением, должны быть заземлены. Выключатели и приборы, предназначенные для включения и выключения тока, должны быть легко доступными, а рукоятки их хорошо изолированными. Присоединение к выпрямительной схеме источ-

ников питания должно выполняться проводами с изоляцией, рассчитанной на рабочее напряжение. Концы проводов для подключения к клеммам должны иметь накопечники.

Реостаты и сопротивления, входящие в схему, не должны нагреваться во время работы. Рукоятки реостатов должны иметь надежную изоляцию, а корпуса хорошо заземлены. Схемы параллельного и последовательного соединений источников тока для заряда не должны выполняться излишне длинными проводами.

Касание оголенных проводов или контактов щупами измерительных приборов без изоляции категорически запрещается. Присоединение и отсоединение выпрямителей, амперметров и других приборов, требующих разрыва первичной цепи, должны производиться при полном снятии напряжения с тех элементов цепи, к которым подключаются приборы.

Смена деталей в выпрямителях и преобразователях, пайка и доделки должны производиться на полностью выключенных устройствах. 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 (в том числе и ЛАТР). Электрические паяльники на напряжение 36 в должны питаться от специальной низковольтной сети или от понижающих трансформаторов. Помещение, где производится работа с включенными приборами, оставлять 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 спе-

циальной посуде, снабженной плотными пробками. Банки должны быть снабжены несмываемыми этикетками с четкими названиями реактивов и степени их ядовитости. Ядовитые вещества должны храниться в отдельном шкафчике, снабженном замком, или в специальном отделении шкафа с реактивами.

Категорически запрещается определение неизвестных химических веществ 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 натрий, полиэтиленполиамин, требуют особой осторожности при работе с ними. Работы по приготовлению электролита из твердой щелочи, а также по приготовлению 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 кусков твердой щелочи на незащищенные покровы кожи вызывает ожоги, а попадание полиэтиленполиамин — экзему. В случае попадания щелочи на кожу рук или другие части тела они должны быть промыты борной кислотой (10%). В случае попадания щелочи в глаза необходимо промыть глаза большим количеством воды и раствором борной кислоты (3%), а затем немедленно обратиться к врачу. Необходимо помнить, что щелочь плотностью 1,26—1,4 весьма активна и может вызвать тяжелые ожоги.

При попадании на кожу полиэтиленполиамин надо хорошо промыть пострадавшее место обильной струей воды, а затем хорошо обмыть теплой водой с мылом. В случае покраснения кожи или образования сыпи необходимо обратиться к врачу.

Необходимо помнить, что при выполнении элементарных правил техники безопасности работа с источниками тока или операции по их ремонту с применением эпоксидной смолы не представляют опасности для лиц, вы-

полняющих эти работы. К несчастным случаям приводит, как правило, небрежная, неаккуратная работа.

Правила техники безопасности при обращении с обычным инструментом, применяемым для ремонта аккумуляторов, не требуют особых пояснений, так как не выходят за рамки общепринятых на любом производстве правил.

## ЗАРЯДНЫЕ УСТРОЙСТВА

К зарядным устройствам, применяемым для заряда источников тока, относятся выпрямители, электромеханические преобразователи и зарядные агрегаты.

Существует обширная номенклатура самых различных выпрямителей, преобразователей и зарядных агрегатов, но поскольку в данной книге описываются источники тока малой и средней мощности, то и зарядные устройства рассматриваются применительно к этим источникам тока. Так как энергия большинства аккумуляторов, применяемых в технике, не превышает 2500 *вт·ч*, то выпрямители и преобразователи, применяемые для заряда батарей, должны быть рассчитаны на выходную мощность 1—1,5 *квт*.

Наиболее удобными для использования как в лабораторных, так и лагерных условиях являются выпрямители на твердых вентилях и газотронах. Принципиальные схемы выпрямителей на селеновых шайбах и газотронах, выпускаемых нашей промышленностью, приводятся на рис. 84 и 85.

Другие типы выпрямителей по принципу работы не отличаются от приведенных схем. Характеристики некоторых типов промышленных выпрямителей приведены в табл. 20.

Небольшие габариты, вес и относительно невысокая стоимость таких выпрямителей, а также высокая эксплуатационная надежность и простота обслуживания определили их широкое распространение.

Однако существуют более простые выпрямители, пригодные для заряда маломощных источников тока — радионакальных и фонарных аккумуляторных батарей ламельной конструкции и безламельных кадмиево-никелевых и серебряно-цинковых батарей.



Таблица 20

## Основные характеристики некоторых типов выпрямителей

Наименование характеристики	Единица измерения	Тип выпрямителя				
		ВАК-10	ВСА-10	ВСА-111	ВСА-5	щит ШЭ-58
Напряжение переменного тока на входе . . .	<i>в</i>	110	127/220	127/220	127/220	127/220
Потребляемая мощность при максимальной нагрузке . . .	<i>квa</i>	0,05	0,2	1,6	1,8	2
Максимальное напряжение постоянного тока . . .	<i>в</i>	12	12	80	64	70
Максимальный зарядный ток	<i>a</i>	2,4	12 (при 6 в)	8	12	8
Тип выпрямительного элемента . .		ВК-119	АВС-23	ВС-59		Газотрон ВГ-176
Количество столбиков (ламп) . . .	<i>шт.</i>	2	2	2	2	4
Габариты:	<i>мм</i>					
длина . . .		—	366	340	350	260
ширина . . .		—	460	440	560	480
высота . . .		—	170	470	500	590
Вес . . . . .	<i>кг</i>	—	10	55	53	49

В недавно изданной брошюре С. П. Фурсова «Полупроводниковые выпрямители для зарядки аккумуляторов» приводится интересная схема бестрансформаторного выпрямителя для заряда аккумуляторов, достоинством которой является отсутствие трансформатора, что значительно упрощает конструкцию и позволяет создать малогабаритный выпрямитель, доступный для изготовления в домашних условиях. Схема этого выпрямителя приводится на рис. 86.

Емкость конденсаторов в схеме определяется по формуле

$$C = 3520 \frac{I_a}{U_c} \text{ мкф.}$$

где  $I_a$  — зарядный ток;  
 $U_c$  — напряжение сети.

Для получения выпрямленного тока 2 а при напряжении сети 220 в емкость батарей конденсаторов составит

$$C = 3520 \frac{2}{220} = 32 \text{ мкф.}$$

Для этой схемы можно применять бумажные конденсаторы любых типов, рассчитанных на рабочее напряжение не менее 250 в. Применение в схеме электролитических конденсаторов из-за разложения электролита и выделения газов при прохождении тока большой силы категорически запрещается.

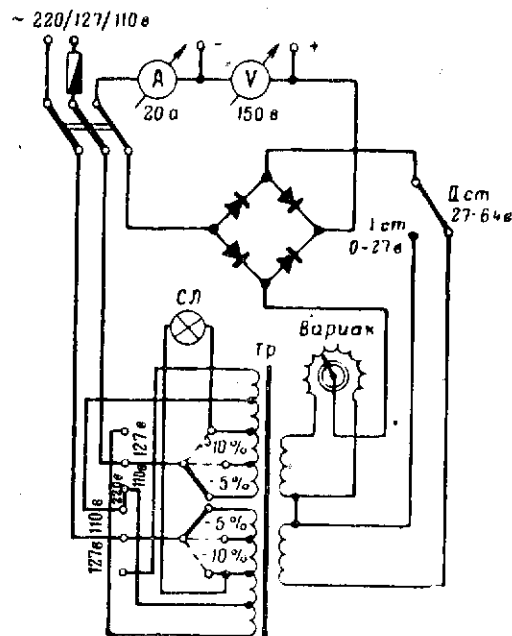


Рис. 84. Схема выпрямителя ВСА-5

В зависимости от мощности нагрузки можно взять в качестве выпрямителей вентили любых типов: меднозакисные, селеновые, германиевые и кремниевые, удовлетворяющие требованиям по величине обратного напряжения и выпрямленному току. В данной схеме применены селеновые шайбы диаметром 100 мм. Приведенная выше эмпирическая формула справедлива для зарядных напряжений в пределах 12—15 в.

Широкое распространение в радиолюбительской практике нашли бестрансформаторные выпрямители для заряда малогабаритных дисковых и цилиндрических аккумуля-

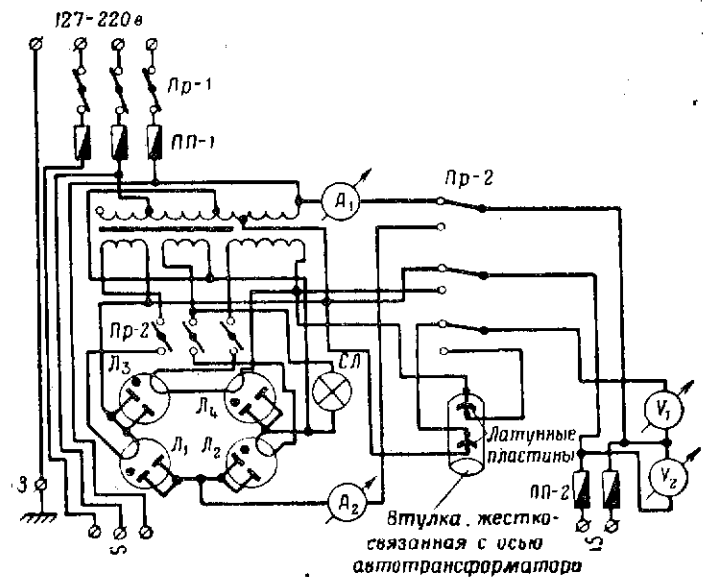


Рис. 85. Школьный электрораспределительный щит ШЭ-58

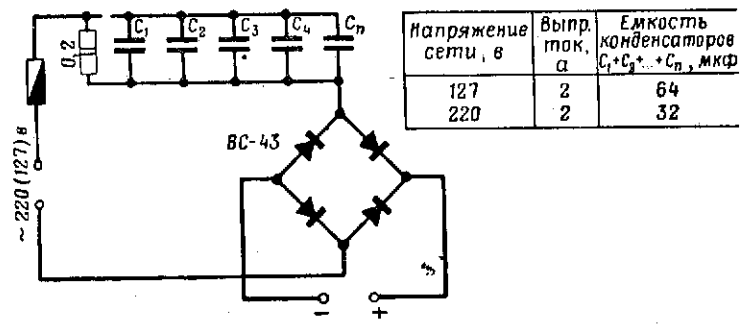


Рис. 86. Принципиальная схема бестрансформаторного двухполупериодного выпрямителя, собранного по мостовой схеме, для заряда аккумуляторных батарей

муляторов и батарей. Такие выпрямители обеспечивают заряд герметичных аккумуляторов типа Д и ЦНК током нужной величины непосредственно от сети переменного тока напряжением 220 или 127 в.

На рис. 87 приводятся схемы для заряда малогабаритных аккумуляторов, доступные для изготовления лю-

бителями в домашних условиях. Вентили в этих схемах лучше брать германиевые или маломощные кремниевые, рассчитанные по величине обратного напряжения на сетевое напряжение.

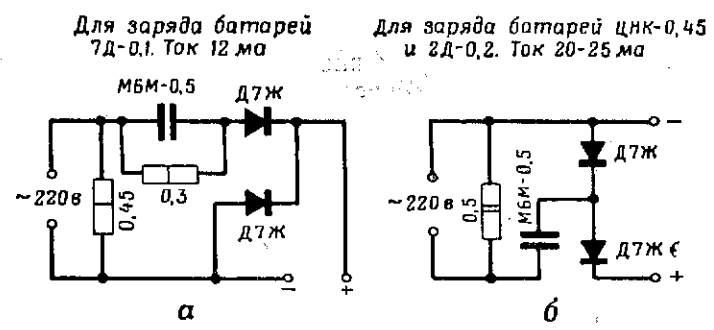


Рис. 87. Принципиальные схемы зарядных устройств для малогабаритных дисковых и цилиндрических герметичных аккумуляторов

Простейшие трансформаторные двухполупериодные выпрямители, собранные по схеме со средней точкой или

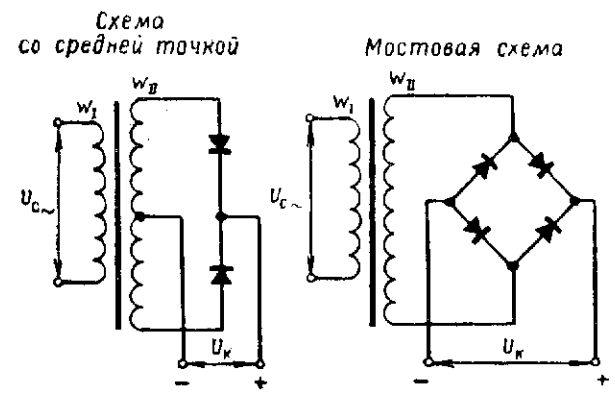


Рис. 88. Схемы двухполупериодных трансформаторных выпрямителей

по мостовой схеме (рис. 88), рассчитываются исходя из заданных параметров величины конечного напряжения заряжаемых аккумуляторов или батарей и величины зарядного тока. При заданной величине конечного за-

рядного напряжения  $U_K$  и величине тока заряда  $I_3$  число последовательно включенных вентиля рассчитывается по формуле

$$n = 3 \frac{U_K}{U_B},$$

где  $U_K$  — конечное напряжение при заряде;  
 $U_B$  — максимально допустимое обратное напряжение вентиля.

Число селеновых вентиля в параллельном включении определяется из формулы

$$k = \frac{I_3}{2I_B},$$

где  $I_3$  — выпрямленный зарядный ток;  
 $I_B$  — выпрямленный ток одного вентиля.

В случае применения германиевых или кремниевых вентиля их число в параллельном включении

$$k = 1,5 \frac{I_3}{I_B}.$$

Приведенные выше формулы относятся к схеме со средней точкой. Для мостовой схемы число последовательно включенных селеновых и германиевых вентиля определяется по формуле

$$n = 1,5 \frac{U_K}{U_B},$$

а кремниевых по формуле

$$n = 3 \frac{U_K}{U_B}.$$

Расчет силового трансформатора ведется обычным способом.

1. Определяется напряжение на вторичной обмотке:

$$E_{II} = 1,1 (U_K + nU_{\text{пв}}),$$

где  $n$  — число вентиля;  
 $U_{\text{пв}}$  — падение напряжения вентиля в проводящем направлении (берется из таблицы, Приложение 2).

2. Мощность выпрямленного тока

$$P_{\text{в}} = U_K I_3.$$

3. Расчетная мощность трансформатора

$$P_{\text{тр}} = 3,1 P_{\text{в}}.$$

4. Сечение сердечника трансформатора

$$S_{\text{тр}} = 1,25 \sqrt{P_{\text{тр}}}.$$

5. Число витков первичной обмотки

$$W_I = \frac{10^8 U_{\text{с}\sim}}{222 S_{\text{тр}} B},$$

где  $U_{\text{с}\sim}$  — напряжение сети;  
 $B$  — величина магнитной индукции в гс.

Величина магнитной индукции  $B$  лежит для трансформаторной стали Э44 в пределах от 7500 до 12000 гс и для пермаллоя — от 20000 до 75000 гс.

6. Число витков вторичной обмотки

$$W_{II} = \frac{W_I}{W_{\text{с}\sim}} E_{II}.$$

7. Сечение обмоточного провода

$$S_{\text{ж}} = \frac{I_0}{\Delta},$$

где  $I_0$  — ток в обмотке;  
 $\Delta$  — плотность тока.

Ток в обмотках определяется из формул:

$$I_I = \frac{2,7 P_{\text{в}}}{U_{\text{с}\sim} \eta} \text{ — для первичной обмотки;}$$

$$I_{II} = \frac{3,5 P_{\text{в}}}{E_{\text{в}}} \text{ — для вторичной обмотки.}$$

Величины  $\Delta$  и  $\eta$  для трансформаторов различной мощности находятся из таблицы:

$P_{\text{тр}}, \text{ вт}$	15—50	50—150	150—300	300—1000
$\Delta$	5,5—3,8	3,8—1,9	1,9—1,3	1,3—1,1
$\eta$	0,6—0,7	0,7—0,8	0,8—0,85	0,9

8. Диаметр провода

$$d_{\text{пр}} = 1,13 \sqrt{S_{\text{ж}}}$$

9. Число витков в одном слое обмотки

$$W_{\text{о}} = \frac{h}{K_{\text{у}} d_{\text{из}}}$$

где  $h$  — осевая длина каркаса с учетом толщины щечек;  
 $K_{\text{у}}$  — коэффициент укладки;  
 $d_{\text{из}}$  — диаметр провода с изоляцией.  
 Коэффициент укладки определяется из таблицы

$d_{\text{из}}, \text{мм}$	0,07—0,12	0,13—0,19	0,2—0,3	0,31—0,8	0,81 и более
$K_{\text{у}}$	1,15	1,10	1,07	1,05	1,04

10. Число слоев обмотки

$$N = \frac{W}{W_{\text{о}}}$$

11. Высота (радиус) обмотки

$$a = K_{\text{у}} N d_{\text{из}} + (N - 1) \Delta_{\text{из}}$$

где  $\Delta_{\text{из}}$  — толщина межслоевой изоляции.

Для лакоткани  $\Delta_{\text{из}}$  берется 0,2 мм, а для кабельной бумаги — 0,12 мм.

### ПРИМЕРНЫЙ РАСЧЕТ ВЫПРЯМИТЕЛЯ

В качестве примера произведем расчет выпрямителя по схеме моста для заряда серебряно-цинковой батареи ЗСЦ-25 с конечным напряжением 7,5 в и зарядным током 1,25 а ( $U_{\text{к}} = 7,5 \text{ в}$ ,  $I_{\text{з}} = 1,25 \text{ а}$ ).

1. Выбираем германиевый вентиль Д7Ж, для которого  $U_{\text{в}} = 400 \text{ в}$  и  $I_{\text{в}} = 0,1 \text{ а}$ .

Число вентилях в последовательном включении

$$n = 1,5 \frac{U_{\text{ж}}}{U_{\text{в}}} = 1,5 \frac{7,5}{400} = 0,028 \text{ (берем 1 вентиль).}$$

Число параллельно включенных вентилях в одном плече

$$k = 1,5 \frac{I_{\text{в}}}{I_{\text{з}}} = 1,5 \frac{1,25}{0,1} \approx 19 \text{ вентилях.}$$

Всего для четырех плеч моста потребуется  $4 \times 19 = 76$  вентилях. Такое большое количество вентилях применять нецелесообразно, так как имеются вентилях, рассчитанные на нужный нам ток. Выбираем вентиль Д-303, для которого  $U_{\text{в}} = 150 \text{ в}$  и  $I_{\text{в}} = 3 \text{ а}$ .

Тогда

$$n = 1,5 \frac{7,5}{150} = 0,075 \text{ (берем 1 вентиль)} \text{ и } k = 1,5 \frac{1,25}{3} = 0,62 \text{ (берем 1 вентиль).}$$

Всего для четырех плеч потребуется четыре вентиля Д-303.

2. Напряжение на вторичной обмотке трансформатора

$$E_{\text{II}} = 1,1 (U_{\text{ж}} + n U_{\text{пр}}) = 1,1 (7,5 + 4 \cdot 0,3) \approx 9,6 \text{ в.}$$

3. Мощность выпрямленного тока

$$P_{\text{в}} = U_{\text{к}} I_{\text{з}} = 7,5 \cdot 1,25 \approx 9,4 \text{ вт.}$$

4. Мощность трансформатора

$$P_{\text{тр}} = 3,1 P_{\text{в}} = 3,1 \cdot 9,4 \approx 29 \text{ вт.}$$

5. Сечение обмотки трансформатора

$$S_{\text{тр}} = 1,25 \sqrt{P_{\text{тр}}} = 1,25 \cdot \sqrt{29} = 6,75 \text{ см}^2.$$

6. Число витков первичной обмотки

$$W_{\text{I}} = \frac{10^8 U_{\text{о}}}{4,44 \cdot 50 \cdot S_{\text{тр}} B} = \frac{10^8 \cdot 220}{4,44 \cdot 50 \cdot 6,75 \cdot 10^4} = 1470 \text{ витков.}$$

7. Число витков вторичной обмотки

$$W_{\text{II}} = \frac{W_{\text{I}}}{U_{\text{о}}} E_{\text{II}} = \frac{1470}{220} 9,6 = 64 \text{ витка.}$$

8. Ток в первичной обмотке

$$I_{\text{I}} = \frac{2,7 P_{\text{в}}}{U_{\text{о}} \eta} = \frac{2,7 \cdot 9,4}{220 \cdot 0,65} = 0,18 \text{ а.}$$

Ток во вторичной обмотке

$$I_{\text{II}} = \frac{3,5 P_{\text{в}}}{E_{\text{II}}} = \frac{3,5 \cdot 9,4}{9,6} = 3,43 \text{ а.}$$

Тогда сечение провода для первичной обмотки будет

$$S_{\text{мI}} = \frac{0,18}{4} = 0,05 \text{ мм}^2$$

и для вторичной

$$S_{\text{нп}} = \frac{3,43}{4} = 0,86 \text{ мм}^2.$$

9. Диаметр провода

$$d_{\text{пр}} = 1,13 \sqrt{S_{\text{нп}}}.$$

Для первичной обмотки

$$d_{\text{пр1}} = 1,13 \sqrt{0,05} = 0,25 \text{ мм}$$

и для вторичной

$$d_{\text{пр2}} = 1,13 \sqrt{0,86} = 1,2 \text{ мм}.$$

10. В качестве сердечника выбираем Ш-образные пластины Ш-30 набор 23 мм.

11. Исходя из размера каркаса для выбранного набора пластин  $h_1 = 53 \text{ мм}$ ,  $K_y = 1,07$  и  $d_{\text{ш}} = 0,28 \text{ мм}$  получим число витков в одном слое первичной обмотки

$$W_{\text{с1}} = \frac{h}{K_y d_{\text{ш}}} = \frac{50}{1,07 \cdot 0,28} = 166 \text{ витков},$$

где  $h = h_1 - 3 = 53 - 3 = 50 \text{ мм}$ , и число витков в одном слое вторичной обмотки

$$W_{\text{с2}} = \frac{50}{1,07 \cdot 1,3} = 37 \text{ витков}.$$

12. Число слоев

$$N = \frac{W}{W_{\text{с}}},$$

первичной обмотки

$$N_1 = \frac{1470}{166} = 9 \text{ слоев}$$

и вторичной обмотки

$$N_2 = \frac{64}{37} = 2 \text{ слоя}.$$

13. Высота (радиус) обмотки

$$\alpha = K_y \cdot N \cdot d_{\text{ш}} + (N - 1) \Delta_{\text{ш}},$$

первичной обмотки

$$\alpha_1 = 1,07 \cdot 9 \cdot 0,28 + (9 - 1) 0,12 = 3,66 \text{ мм}$$

и вторичной обмотки

$$\alpha_2 = 1,04 \cdot 2 \cdot 1,3 + 2 \cdot 0,12 = 3 \text{ мм}.$$

Общая высота обмотки

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 3,66 + 3 = 7 \text{ мм}.$$

Так как ширина окна составляет 19 мм, то все обмотки безусловно укладываются.

## ЭЛЕКТРОЛИТЫ ДЛЯ БЕЗЛАМЕЛЬНЫХ И СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

### ЭЛЕКТРОЛИТ ДЛЯ БЕЗЛАМЕЛЬНЫХ КАДМИЕВО-НИКЕЛЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

В кадмиево-никелевых безламельных аккумуляторах применяются обычные щелочные электролиты из едкого калия:

— зимний электролит из раствора едкого калия плотностью 1,26;

— летний электролит из раствора едкого калия плотностью 1,19—1,21 с добавкой моногидрата лития LiOH из расчета 20 г LiOH на литр раствора.

Зимний электролит в безламельных аккумуляторах применяется при температуре ниже минус 20° С. Летний электролит — в интервале температур от —20 до +40° С.

Натриевый электролит в кадмиево-никелевых безламельных аккумуляторах не применяется.

Электролит для безламельных аккумуляторов типа КНБ можно приготовить из твердого едкого калия марки А. Для этого куски едкого калия, отбитого железным зубилом, растворяют в дистиллированной или дождевой воде, а также в воде, признанной санитарным надзором годной для питья (ни в коем случае не пользоваться минеральной водой или водой из соленых озер или морской водой), из расчета 30 г твердого едкого калия на 70 г воды. Такой раствор будет соответствовать плотности 1,29.

Для получения электролита плотностью 1,19 берется 20 г твердого едкого калия на 80 г воды.

В табл. 21 приводится химический состав едкого калия, применяемого для приготовления электролита.

В качестве электролита для безламельных аккумуляторов КНБ может применяться и жидкий электролит, состав которого приведен в табл. 21. Такой электро-

Таблица 21

Технические условия на едкий калий  
(ГОСТ 9285—59)

Сорт	KOH, не менее, %	Примесей, не более, %				
		K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	хлориды (Cl <sup>-</sup> )	сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	железо	едкий натрий
Твердый марки А	96	2,5	0,75	0,2	0,03	2
Жидкий марки В	50	1,5	0,75	0,2	0,01	2

лит имеет плотность 1,514, значительно превышающую практически применяемую в аккумуляторах.

Для получения электролита нужной плотности жидкий электролит, приготовленный из твердой щелочи, или готовый жидкий электролит, ГОСТ 9285—59, разбавляется водой в количестве, указанном в табл. 22.

Таблица 22

Удельный вес концентрированного раствора KOH при температуре +25°	Количество воды, добавляемой к 1 л концентрированного раствора KOH для получения электролита удельного веса, см <sup>3</sup>					
	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	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	1006	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	1463	1365	1282
1,597	2463	2284	2136	1653	1544	1455
1,615	2594	2409	2255	1750	1642	1549
1,634	2753	2559	2399	1873	1763	1664

Основные характеристики растворов едкого калия приводятся в табл. 23.

Таблица 23

Весовой процент	Удельный вес при температуре +18°	Температура замерзания, °С
1	1,008	— 1
5	1,045	— 3
10	1,092	— 8
15	1,140	—15
20	1,188	—24
25	1,239	—38
30	1,290	—59
35	1,344	—50
40	1,399	—35
45	1,456	—18
50	1,514	— 8

ЭЛЕКТРОЛИТ ДЛЯ СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫХ  
АККУМУЛЯТОРОВ

Электролит для серебряно-цинковых аккумуляторов приготавливается из твердого химически чистого едкого калия, ГОСТ 4203—48. Существует два вида электролитов: без окиси цинка и с окисью цинка. Первый является раствором щелочи в дистиллированной воде плотностью 1,40, второй — той же плотности, содержит в растворе окись цинка.

Электролит, содержащий окись цинка, называется цинкатым электролитом. Поскольку в процессе работы аккумулятора в электролит вводится окись цинка, то электролит для серебряно-цинковых аккумуляторов лучше применять без окиси цинка, что упрощает его приготовление.

Для получения электролита плотностью 1,40 берется 485 г химически чистого едкого калия и растворяется при нагревании в 500—600 г дистиллированной воды при постоянном перемешивании до полного растворения щелочи. В качестве сосуда для приготовления электролита применяется фарфоровая посуда или стеклянная посуда из стекла № 23 или № 32, так как другие сорта

стекло при воздействии на них крепкой щелочи могут выделить в электролит нежелательные примеси.

Полученный раствор профильтровывается через стеклянную или полиэтиленовую воронку с ватой в посуду из фарфора, стекла указанных сортов, предназначенную для хранения, либо во флаги из полиэтилена.

Посуда должна быть хорошо закрыта пробкой, так как при воздействии воздуха на электролит в нем образуются соли угольной кислоты.

Такой электролит является основным, и им заливаются аккумуляторы, вводимые в эксплуатацию. Для доливки уже работающих аккумуляторов, уровень электролита в которых ниже нормы, 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. Вода, применяемая для приготовления электролита, должна быть проверена на примеси, так как присутствие посторонних примесей может крайне отрицательно сказаться на работоспособности аккумуляторов.

Проверка на присутствие в воде хлоридов производится путем добавки в пробирку с испытуемой водой двух—трех капель азотнокислого серебра. Если при этом не происходит помутнения, то вода является годной.

Наличие в воде аммиачных солей проверяется путем добавки в воду двух—трех капель 2%-ного раствора сулемы (хлорная ртуть). Вода, годная для приготовления электролита, при этом не окрашивается. Присутствие солей тяжелых металлов проверяется путем добавления к 20 г воды нескольких капель сернистого натрия, что не должно вызывать помутнения воды.

Наличие органических примесей проверяется на нагревом до 100° 1%-ном растворе серной кислоты в испытуемой воде путем добавления марганцевокислого калия до тех пор, пока раствор не примет розовый цвет. Если в течение трех минут розовая окраска не исчезнет, то вода считается годной.

Присутствие солей кальция проверяется добавлением в воду щавелевокислого аммония. Образование осадка нерастворимого щавелевокислого кальция указывает на

присутствие солей кальция, что требует очистки воды. Так как соли кальция сопутствуют почти всем грунтовым водам, то операция по удалению кальция весьма желательна для любой воды. Воду, подлежащую очистке, паливают в чистый стеклянный или фарфоровый сосуд и на каждые 5 л воды добавляют по одной столовой ложке отработанного щелочного электролита. После перемешивания раствора стеклянной палочкой ему дают отстояться и после выпадения осадка кальциевой соли осторожно сливают воду при помощи сифона в другой сосуд.

Необходимо иметь в виду, что плотность электролита в аккумуляторе и его химический состав не меняются в процессе заряда и разряда аккумулятора, однако в процессе соприкосновения с воздухом плотность электролита может измениться, что в свою очередь может вызвать уменьшение емкости аккумулятора за счет изменения удельного сопротивления электролита. Поэтому в процессе работы и при хранении плотность электролита должна периодически проверяться.

Для безламельных кадмиево-никелевых аккумуляторов замена электролита должна, как правило, производиться через каждые 50 отработанных циклов заряд-разряд.

### СПОСОБЫ ЗАРЯДА БЕЗЛАМЕЛЬНЫХ КАДМИЕВО-НИКЕЛЕВЫХ И СЕРЕБРЯНО- ЦИНКОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Заряд аккумуляторов обычно производится при постоянной величине зарядного тока. При этом поддержание постоянства тока осуществляется путем постепенного увеличения зарядного напряжения за счет уменьшения сопротивления реостата, включенного в цепь.

Начальная величина сопротивления реостата определяется выражением

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{в}} - nU_{\text{н}}}{I_{\text{з}}},$$

где  $U_{\text{в}}$  — напряжение выпрямителя;

$U_{\text{н}}$  — напряжение заряжаемого аккумулятора в начале заряда;

$n$  — число аккумуляторов в батарее.

Конечная величина сопротивления реостата находится по аналогичной формуле

$$R_{\text{р}} = \frac{U_{\text{в}} - nU_{\text{к}}}{I_{\text{з}}},$$

где  $U_{\text{к}}$  — напряжение заряжаемого аккумулятора в конце заряда.

Напряжение выпрямителя должно быть больше конечного напряжения всей батареи

$$U_{\text{в}} > nU_{\text{к}}.$$

Заряд безламельных кадмиево-никелевых аккумуляторов при постоянной силе зарядного тока проводится, как правило, несколькими ступенями. Первая ступень заряда предусматривает величину зарядного тока, равную указанной в табл. 9, до набора зарядной емкости примерно 60% номинальной емкости аккумулятора. Вторая ступень должна быть проведена током, вдвое меньшим тока первой ступени заряда, однако зарядная емкость при этом должна составлять 100% номинальной емкости заряжаемой батареи.

Ступенчатый режим заряда, когда ток заряда последующей ступени меньше тока предыдущей, в значительной степени уменьшает газовыделение, что сокращает время отстоя после заряда тех аккумуляторов, которые имеют глухие пробки (2КНБ-2).

Многоступенчатый заряд должен применяться во всех случаях, когда от аккумулятора необходимо снять полную емкость, а также в тех случаях, когда вдруг происходит падение емкости аккумулятора от цикла к циклу.

В том случае, когда зарядная цепь составляется без реостата, заряд проводится при постоянном напряжении. Напряжение выпрямителя в этом случае должно быть равным напряжению заряжаемой батареи:

$$U_{\text{в}} = U_{\text{к}}n.$$

Так как при заряде постоянным напряжением величина зарядного тока в начальный период может быть недопустимо большой, необходимо включить в зарядную цепь последовательно небольшое сопротивление. В практике эксплуатации аккумуляторов могут иметь место случаи, когда потери емкости становятся весьма ощутимыми и аккумулятор не отдает необходимую емкость. Для восстановления емкости, помимо исполь-

зования многоступенчатого заряда, можно применить уравнильный заряд, сущность которого заключается в том, что аккумулятор заряжается небольшим током, равным примерно 3—5% величины номинальной емкости. Продолжительность заряда должна быть такова, чтобы обеспечить величину зарядной емкости аккумулятора, равной 200% его номинальной емкости. Такой способ заряда способствует полному восстановлению активных масс аккумулятора.

В тех случаях, когда аккумулятор находится в буфере с другим источником питания: генератором, выпрямителем и т. д., происходит непрерывный подзаряд аккумулятора, компенсирующий потери его емкости. Такой способ заряда требует, чтобы напряжение основного подзаряжающего источника было не меньше напряжения аккумулятора (батареи) и чтобы величина тока, протекающего через аккумулятор (батарею), была не ниже величины тока, расходуемого всей системой генератор-батарея. В некоторых случаях, когда требуется произвести заряд в течение короткого промежутка времени, применяется форсированный заряд током большой силы, превышающим номинальный зарядный ток в 2—3 раза. При этом величина зарядной емкости должна составлять 200% номинальной емкости батареи.

В обычных условиях эксплуатации безламельных аккумуляторных батарей типа КНБ их заряд производится номинальным зарядным током, указанным в табл. 9, до набора зарядной емкости, равной 150—160% номинальной емкости. В процессе заряда безламельных аккумуляторов температура электролита в сосудах должна быть в пределах от +27 до -10°.

Заряд и разряд безламельных аккумуляторов при температуре окружающей среды выше +50° уменьшает срок службы.

Заряд серебряно-цинковых аккумуляторов по сравнению с другими аккумуляторами является более сложным и требует для приведения их в действие точного выполнения инструкций заводов-изготовителей.

Так как выпускаемые заводами серебряно-цинковые 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 баро-



камере рекомендуется для ускоренного ввода аккумуляторов и позволяет уже на первых циклах получить требуемую емкость. Для пропитки в барокамере аккумуляторы при помощи воронки или специального шприца заливаются электролитом, после чего производится проверка вольтметром на наличие напряжения и аккумуляторы при нормальном давлении выдерживаются в течение 10—12 час. По окончании этого срока производится доливка электролита до уровня красной черты и аккумуляторы с открытыми горловинами помещаются в барокамеру с уменьшенным на 20—35 мм ртутного столба давлением, где выдерживаются 2—3 мин. Затем давление поднимается до нормального. Такая операция повторяется 5—6 раз, после чего производится доливка электролита до уровня красной черты и аккумуляторы выдерживаются при нормальном давлении в течение 8—10 час.

Пропитка аккумуляторов при нормальном атмосферном давлении производится в течение двух суток с постепенной добавкой впитавшегося электролита до уровня красной черты.

Следующей операцией по вводу серебряно-цинковых аккумуляторов в работу является формовка, представляющая заряд аккумулятора током, величина которого указана в табл. 10. Продолжительность заряда 15—18 час.

Во время заряда необходимо тщательно следить за напряжением на отдельных аккумуляторах, особенно к концу заряда, чтобы не допустить превышение напряжения 2,1 в. Если во время заряда отдельные аккумуляторы будут иметь напряжение свыше 2,05 в ранее указанного времени, то заряд надо прекратить на 2—3 час, а затем продолжать до конечного напряжения 2,1 в.

Зарядная емкость при формировочном цикле должна составлять 150—160% номинальной емкости аккумулятора.

После первого формировочного заряда аккумуляторы помещаются в барокамеру, где выдерживаются в течение 2—3 мин для лучшей пропитки пластин. Такая операция также повторяется 5—6 раз и в случае понижения уровня электролита вновь производится его доливка до верхней красной черты.

При нормальном давлении выдержка аккумулятора после первого формировочного заряда должна составлять 12—15 час. Разряд аккумуляторов после первого формировочного заряда производится током той же величины, что и заряд до конечного напряжения 1 в на аккумулятор.

Второй формировочный заряд проводится в том же режиме, что и первый, но разрядный ток здесь должен быть рабочим, т. е. таким, как это необходимо в условиях эксплуатации данного аккумулятора. Нормальный рабочий заряд отформированных аккумуляторов или бывших в эксплуатации производится током формировочного заряда до набора зарядной емкости 150—160% номинальной. Контроль за напряжением, особенно в конце заряда, является необходимым условием обеспечения длительного срока службы аккумулятора: аккумуляторы, величина зарядного напряжения которых превысила 2,1 в, как правило, выходят из строя.

В процессе заряда необходимо контролировать температуру поверхности сосудов аккумуляторов. Аккумуляторы, имеющие повышенную температуру по сравнению с остальными, как правило, имеют короткое замыкание положительных и отрицательных электродов и подлежат удалению из зарядной цепи, так как дальнейший заряд таких аккумуляторов может привести к деформации сосудов и фонтанированию электролита.

## СПОСОБЫ ЗАРЯДА МАРГАНЦЕВО-ЦИНКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И БАТАРЕЙ

Марганцево-цинковые элементы и батареи одноразового действия обладают способностью к отдаче емкости после заряда особым режимом.

Такой режим, рекомендованный рядом авторов (В. Романов и др.), состоит в приложении к заряжаемым элементам не постоянного тока, а асимметричного переменного тока. Асимметричный переменный ток получается из постоянного тока путем наложения переменного тока определенной силы. Заряжать можно любые элементы и батареи как с хлоридным, так и щелочным электролитом стаканчиковой или пуговичной конструкции, но не слишком разряженные и не имеющие повреждений цинковых электродов. В пределах срока со-

хранности, установленного для данного типа элемента или батареи, можно производить многократное (6—8 раз) восстановление работоспособности источника тока.

Заряд сухих батарей марганцево-цинковой системы производится от специальной схемы, позволяющей получить зарядное напряжение нужной формы. Такая схема состоит из понижающего трансформатора, во вторичную обмотку которого включается германиевый вентиль, зашунтированный небольшим сопротивлением с

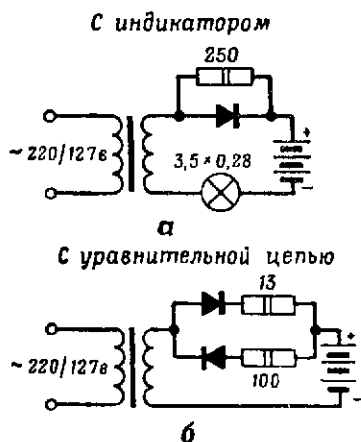


Рис. 89. Схемы для заряда МЦ-элементов и батарей асимметричным током:

а — с индикатором; б — с уравнивательной цепью

приведена на рис. 89, б. Здесь асимметричный ток получается благодаря включенным навстречу диодам через зарядные сопротивления.

Если в схеме рис. 89, а окончание заряда сопровождается уменьшением накала лампочки или ее гашением, то во второй схеме окончание заряда фиксируется прекращением роста напряжения на батарее, так как по достижении батарей напряжения 6 в токи в обеих параллельных ветвях уравниваются и через батарею протекает только переменная составляющая, не вызывающая увеличения напряжения на батарее.

Время заряда в указанных схемах должно быть достаточно большим (12—16 час), чтобы зарядная емкость составляла около 150% номинальной емкости.

целью наложения переменной составляющей, и лампочки в качестве стабилизатора тока. Число витков вторичной обмотки трансформатора выбирается исходя из требования получения выходного напряжения, превышающего номинальное напряжение заряжаемой батареи на 150—160%. На схеме рис. 89, а приводится устройство, рассчитанное на заряд батарей типа 3,7-ФМЦ-0,5 и 4,1-ФМЦ-0,7. Другая схема, также рассчитанная на заряд батарей ФМЦ,

Другой способ восстановления отработанных галетных батарей предложен Е. Шестаковым и заключается в кипячении блоков галет в растворе, состоящем из 150 г хлористого аммония на 500 г воды.

Кипячение блоков производится до начала разбухания галет, после чего они помещаются в холодную воду, затем насухо вытираются и заново перевязываются. После тщательной упаковки блоков батарея пропитывается парафином или церезином.

После указанных выше операций производится формовка батарей, для чего они подзаряжаются от любого источника постоянного тока, превышающего по напряжению заряжаемую батарею на 20—30%. Время подзарядки 5—6 мин. Срок сохранности восстановленных таким образом галетных батарей — около месяца.

## ОСНОВНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ КАДМИЕВО-НИКЕЛЕВЫХ, СЕРЕБРЯНО-ЦИНКОВЫХ И ГЕРМЕТИЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

В процессе службы 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. 24, которая не претендует на полноту охвата всех неисправностей, встречающихся при эксплуатации, но в ряде типичных случаев может оказать известную пользу.

Таблица 24

Характер неисправности и тип аккумулятора	Причина неисправности	Способ устранения
Нет напряжения на батарее. КН, КНВ, СЦ	Отсутствие контакта в соединениях между аккумуляторами	Найти место слабого прижима перемычки гайкой и затянуть гайку

Характер неисправности и тип аккумулятора	Причина неисправности	Способ устранения
	Отсутствие электролита в элементе Поломка полюсного борна или обрыв блока пластин от борна Короткое замыкание между пластинами или блоками пластин	Долить элемент электролитом Заменить элемент новым. Неисправный передать в ремонт Передать в ремонт
Повышенный саморазряд. КН, КНБ, СЦ	Короткие замыкания по поверхности крышек. Утечка тока Примеси в электролите	Осмотреть и очистить крышки, привести в порядок изоляторы Сменить электролит
Потери емкости. КН, КНБ, СЦ	Недостаточный уровень электролита Систематический недозаряд Короткие замыкания и утечка тока  Вредные примеси в электролите	Исправить пробки и уплотнительные кольца Довести уровень до нормы, усилить заряд Очистить крышки, восстановить изоляцию банок и стяжных шин в КНБ-60 Сменить электролит
Быстрое образование ползущих солей. КН, КНБ, СЦ, Д и ЦНК	Плохая смазка вазелином, высокий уровень электролита, плохая затяжка гаек, повышенная плотность электролита Плохая герметизация крышки	Обновить смазку, отобрать лишний электролит, затянуть гайки, добавить дистиллированной воды Очистить крышку ацетоном и промазать эпоксидным клеем или БФ-2
Плохая работоспособность при низкой температуре. КН, КНБ, СЦ	Недостаточная плотность электролита Избыток углекислого калия в электролите Систематический недозаряд	Заменить электролит на зимний, сменить электролит Провести два формовочных цикла

Характер неисправности и тип аккумулятора	Причина неисправности	Способ устранения
Пониженная емкость при повышенной температуре. КН, КНБ, СЦ	Заряд проводился при повышенной температуре. Зимний электролит  Заряд при повышенной температуре	Зарядить при температуре ниже +18°, сменить электролит на летний Проводить заряд ночью
Выделение пены. КН, КНБ, СЦ	Примеси органических веществ в электролите	Сменить электролит
Чрезмерный нагрев полюсных борнов и перемычек. КН, КНБ, СЦ	Плохой контакт борнов и перемычек, большой ток, недостаточный уровень электролита, короткие замыкания между пластинами	Зачистить контакты и подтянуть гайки. Снизить ток. Довести уровень электролита до нормы. Отдать в ремонт
Вспучивание сосудов. СЦ, КН, КНБ, Д	Заряд при глухих пробках или забитых вентиляционных отверстиях Чрезмерный зарядный ток	Отвинтить пробки, прочистить отверстия в пробках  Зажать аккумуляторы в тисках с деревянными прокладками и провести два цикла заряд-разряд нормальным режимом

### РЕМОНТ БЕЗЛАМЕЛЬНЫХ КАДМИЕВО-НИКЕЛЕВЫХ И СЕРЕБРЯНО- ЦИНКОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

В случае выхода аккумулятора из строя по причине отрыва пластин от полюсных борнов, внутреннего короткого замыкания из-за разрушения сепарации, попадания внутрь аккумулятора металлических предметов или образования осадка (шлама), который нельзя уда-

лить промывкой, аккумулятор необходимо разобрать, для чего крышку надо отделить от корпуса.

Способ отделения крышки от корпуса зависит от материала сосуда.

Для металлических сосудов возможность ремонта аккумулятора с устранением внутренних дефектов определяется наличием в мастерской сварочного аппарата. Крышки аккумуляторов, подлежащих разборке, опиливаются по сварочному шву до появления стыка между крышкой и корпусом, после чего крышка с блоком пластин отделяется от корпуса.

Отделение крышек пластмассовых сосудов производится либо тонкой фрезой, либо остро отточенным резакром, изготовленным из тонкого ножовочного полотна.

После устранения неисправности крышка металлического сосуда осторожно устанавливается на посадочное место и соединяется с сосудом с помощью клея. Для сосудов из органического стекла и полистирола применяется клей, состоящий из 1% раствора органического стекла или полистирола в дихлорэтане. Для других пластмасс, кроме фторопласта, применяется эпоксидный клей (см. приложение).

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.

Соединение металлических крышек с сосудами производится сваркой по шву крышки. При этом необходимо не допускать перегрева остальных частей аккумулятора, особенно нижней его части, где расположены пластины. В безламельных 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 влиянием коррозии.

После тщательного осмотра блоков пластин находят места с поврежденной сепарацией и заменяют ее новой, а разрушенную полиамидную жилку также заменяют новой того же сечения (можно брать рыболовную лесу). Если на дне сосудов есть нерастворимый шлам, его удаляют металлической щеткой, а сосуды хорошо промывают и высушивают. Блоки пластин после устране-

ния повреждений также хорошо промываются в проточной воде и высушиваются.

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 том случае, когда пластины не разрушены, а повреждена лишь сепарация, необходимо произвести замену сепарации, для чего пара пластин оборачивается новой сепарацией из целлофана или ацетатной пленки тем количеством слоев, которое принято для данного аккумулятора.

Если нет рулонного целлофана или ацетатной пленки нужной толщины, обертку пластин малогабаритных СЦ-аккумуляторов можно произвести целлофаном, идущим на различные упаковки.

В случае когда разрушена одна пластина или несколько пластин, а остальные находятся в хорошем состоянии, необходимо удалить вышедшие из строя пластины, для чего производится выпайвание пучка токоотводов из борна. Перед выпайванием токоотводов борн снимается с аккумуляторной крышки, чтобы при нагревании не повредить крышку. Взамен неисправных пластин в блок вводятся новые или заведомо исправные пластины из другого разобранного аккумулятора. Пластины из ранее работавшего аккумулятора должны быть тщательно промыты в дистиллированной воде.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалы, приведенные в книге, показывают, насколько обширна номенклатура химических и полупроводниковых источников тока и какое значение имеют работы в области создания новых, более совершенных источников тока.

Широкие изыскания новых источников тока, которые охватили многие отрасли науки и техники, далекие, как казалось бы на первый взгляд, от решения этой проблемы, дают все основания считать, что в самом недалеком будущем будут разработаны источники тока с высоким коэффициентом полезного действия, использующие энергию Солнца, воды и биологической среды, т. е. такие источники, которые не требуют расхода материальных ресурсов, заложенных в земной коре.

Проблема источников тока так же, как и проблема ядерной энергии, является основой сохранения энергетических ресурсов для жизни будущих поколений и основной грядущего освоения далеких космических миров.

ТАБЛИЦА ПОТЕНЦИАЛОВ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ

В кислых растворах		В щелочных растворах	
электрохимическая система	потенциал, в	электрохимическая система	потенциал, в
Li — Li <sup>+</sup> + e	—3,045	Ca + 2OH <sup>—</sup> → Ca(OH) <sub>2</sub> + 2e	—3,03
Ba → Ba <sup>2+</sup> + 2e	—2,90	Mg + 2OH <sup>—</sup> → Mg(OH) <sub>2</sub> + 2e	—2,69
Ca → Ca <sup>2+</sup> + 2e	—2,87	Al + 4OH <sup>—</sup> → H <sub>2</sub> AlO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O + 3e	—2,35
Na → Na <sup>+</sup> + e	—2,71	Si + 6OH <sup>—</sup> → SiO <sub>3</sub> <sup>2—</sup> + 3H <sub>2</sub> O + 4e	—1,70
Mg → Mg <sup>2+</sup> + 2e	—2,37	Zn + 4OH <sup>—</sup> → ZnO <sub>2</sub> <sup>2—</sup> + 2H <sub>2</sub> O + 2e	—1,216
Al → Al <sup>3+</sup> + 3e	—1,66	Fe + 2OH <sup>—</sup> → Fe(OH) <sub>2</sub> + 2e	—0,877
Mn → Mn <sup>2+</sup> + 2e	—1,18	H <sub>2</sub> + 2OH <sup>—</sup> → 2H <sub>2</sub> O + 2e	—0,828
Si + 2H <sub>2</sub> O → SiO <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + 4e	—0,86	Cd + 2OH <sup>—</sup> → Cd(OH) <sub>2</sub> + 2e	—0,81
Zn → Zn <sup>2+</sup> + 2e	—0,763	Mn(OH) <sub>2</sub> + 2OH <sup>—</sup> → MnO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O + 2e	—0,05
Fe → Fe <sup>2+</sup> + 2e	—0,440	2Ag + 2OH <sup>—</sup> → Ag <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> O + 2e	+0,344
Cd → Cd <sup>2+</sup> + 2e	—0,402	Cu → Cu <sup>2+</sup> + 2e	+0,337
Pb + SO <sub>4</sub> <sup>2—</sup> → PbSO <sub>4</sub> + 2e	—0,356	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> → O <sub>2</sub> + 2H <sup>+</sup> + 2e	+0,682
Pb → Pb <sup>2+</sup> + 2e	—0,126		
H <sub>2</sub> → 2H <sup>+</sup> + 2e	—0,000		
Ag + Cl <sup>—</sup> → AgCl + e	+0,222		
Cu → Cu <sup>2+</sup> + 2e	+0,337		
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> → O <sub>2</sub> + 2H <sup>+</sup> + 2e	+0,682	4OH <sup>—</sup> → O <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O + 4e	+0,401

В кислых растворах		В щелочных растворах	
электрохимическая система	потенциал, в	электрохимическая система	потенциал, в
$Ag \rightarrow Ag^+ + e$	+0,799	$Ni(OH)_2 + 2OH^- \rightarrow$	+0,49
$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e$	+1,229	$NiO_2 + H_2O + 2e$	
$Mn^{2+} + 2H_2O \rightarrow MnO_2 + 4H^+ + 2e$	+1,23	$Ag_2O + 2OH^- \rightarrow 2AgO + H_2O + 2e$	+0,57
$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e$	+1,36		
$PbSO_4 + 2H_2O \rightarrow PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e$	+1,685		
$2H_2O \rightarrow H_2O_2 + 2H^+ + 2e$	+1,77		
$Ag^+ \rightarrow Ag^{2+} + e$	+1,98		
$2F^- \rightarrow F_2 + 2e$	+2,87		

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**  
**ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ВПРЯМИТЕЛЕЙ**

Тип вентили	Выходная мощность, в	Допустимое напряжение, в	Прямое падение напряжения, в	Обратный ток, в	Вес, г	Габаритные размеры, мм	Условия охлаждения
Селеновые ВС, АВС, ТВС	0,0012	25—42	0,5—1,2			Φ5	Естественное воздушное
	0,006	25—42	0,5—1,2			Φ7,2	
	0,04	25—42	0,5—1,2			Φ18	
	0,075	25—42	0,5—1,2			Φ25	
	0,15	25—42	0,5—1,2			Φ35	
	0,3	25—42	0,5—1,2			Φ45	
	1,5	25—42	0,5—1,2			Φ100	
	0,8	25—42	0,5—1,2			40×40	
	0,6	25—42	0,5—1,2			60×60	
	1,2	25—42	0,5—1,2			75×75	
	2,5	25—42	0,5—1,2			90×90	
	2,0	25—42	0,5—1,2			100×100	
Малошумные плоскостные германевые ДГ-Ц21, Д7А ДГ-Ц22, Д7Б ДГ-Ц23, Д7В ДГ-Ц24, Д7Г ДГ-Ц25, Д7Д ДГ-Ц26, Д7Е ДГ-Ц27, Д7Ж	0,3	50	0,5	0,5	2,1	Для ДГ-Ц	Естественное воздушное
	0,3	100	0,5	0,5	2,1	1=72 (с выводными выводами), I <sub>1</sub> =21	
	0,3	150	0,5	0,5	2,1	(без выводов), Φ7,3	
	0,3	200	0,5	0,5	2,1	Для ДГ	
	0,1	300	0,3	0,3	2,1	1=72,5, I <sub>1</sub> =17,5,	
	0,1	350	0,3	0,3	2,1	Φ11,2	
	0,1	400	0,3	0,3	2,1		

Тип вентиля	Видящая ток, а	Допустимое на- пряжение, в	Прямое падение напряже- ния, в	Обратная ток, а	Вс	Габаритные размеры, мм	Условия охлаждения
Мощные германиевые Д-302 Д-303 Д-304 Д-305 ВГ-10-15 ВГ-10-30 ВГ-10-50 ВГ-10-80 ВГ-10-100 ВГ-10-150 ВГ-50-15 ВГ-50-30 ВГ-50-50 ВГ-50-80 ВГ-50-100 ВГ-50-150	1	200	0,25	1	25	46×22×19	Естественное воздушное
	3	150	0,3	1	100	46×54×54	
	5	100	0,3	3	170	46×72×72	Воздушный обдув со ско- ростью 2,5 м/сек
	10	50	0,35	3	500	46×134×134	
	10	15	0,45	10	200	77×43	77×43
	10	30	0,45	10	200	77×43	
	10	50	0,45	10	200	77×43	77×43
	10	80	0,45	10	200	77×43	
	10	100	0,45	10	200	77×43	77×43
	10	150	0,45	10	200	77×43	
	50	15	0,50	50	700	300×70×70	300×70×70
	50	30	0,50	50	700	300×70×70	
	50	50	0,50	50	700	300×70×70	300×70×70
	50	80	0,50	50	700	300×70×70	
	50	100	0,50	50	700	300×70×70	300×70×70
	50	150	0,50	50	700	300×70×70	
Маломощные кремниевые Д-202 Д-203 Д-204 Д-205	0,4	100	1,0	0,5	7,2	1 = 36, Ø 18	Естественное воздушное
	0,4	200	1,0	0,5			
	0,4	300	1,5	0,5			
	0,4	400	1,5	0,5			

Тип вентиля	Видящая ток, а	Допустимое на- пряжение, в	Прямое падение напряже- ния, в	Обратная ток, а	Вс	Габаритные размеры, мм	Условия охлаждения
Д-206 Д-207 Д-208 Д-209 Д-210 Д-211	0,1	100	1,0	0,1			Естественное без радиатора Естественное с радиатором Обдув со скоростью 15 м/сек Обдув 5 м/сек:
	0,1	200	1,0	0,1			
	0,1	300	1,0	0,1			
	0,1	400	1,0	0,1			
	0,1	500	1,0	0,1			
	0,1	600	1,0	0,1			
Мощные кремниевые ВК-10	5	50—600	0,6—1,2	—	50	106×70	Естественное без радиатора Естественное с радиатором Обдув со скоростью 15 м/сек Обдув 5 м/сек:
	10	50—600	0,6—1,2	—	50	106×70	
	20	50—600	0,6—1,2	—	50	106×70	
	50	50—600	0,6—1,2	—	1500	280×75×60	
ВК-50	100	50—600	1,0—1,6	—	—	—	—

Примечание. Для мощных кремниевых вентилях обратное напряжение зависит от класса вентиля: кл. 0,5—50 в, кл. 1—100 в, кл. 1,5—150 в и т. д. до кл. 6—600 в.

**КЛЕИ И СМОЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ РЕМОНТА  
АККУМУЛЯТОРОВ**

Клей БФ-2 — для склеивания стекла, фарфора, резины с пластмассой (кроме полиэтилена), резины с металлом.

Клей для органического стекла — раствор оргстекла в дихлорэтане (0,5—1%).

Клей для полистирола — раствор полистироловой стружки в дихлорэтане (2—3%).

Эпоксидная смола (эпоксидный клей) — для склеивания пластмасс, резины с пластмассой и металлом, металлов с пластмассой (кроме фторопласта).

Смола, полимеризующаяся при комнатной температуре, приготавливается следующим образом:

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 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 час.

Другой вид эпоксидной смолы полимеризуется при температуре 90—120°, вследствие чего эта смола может применяться только для склеивания пластмасс, имеющих достаточную температурную стойкость:

смолы ЭД-5 или ЭД-6 — 100 весовых частей,

малеинового ангидрида — 35—40 весовых частей.

Способ приготовления заключается в разогреве смолы при температуре 80° и введении малеинового ангидрида, после чего масса размешивается до получения однородного цвета.

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

	Стр.
Введение . . . . .	8
Глава первая. Краткие сведения о химическом и физическом действии источников тока . . . . .	8
Глава вторая. Основные характеристики источников тока . . . . .	26
Электродвижущая сила . . . . .	—
Напряжение . . . . .	30
Внутреннее сопротивление . . . . .	32
Емкость . . . . .	33
Удельные характеристики . . . . .	38
Отдача . . . . .	41
Саморазряд . . . . .	42
Срок службы и срок сохранности . . . . .	44
Устойчивость к ударным и вибрационным нагрузкам . . . . .	46
Температурный диапазон работы . . . . .	47
Обозначение источников тока . . . . .	48
Глава третья. Химические источники тока . . . . .	51
А. Аккумуляторы . . . . .	—
1. Кадмиево-никелевые аккумуляторы . . . . .	—
Герметичные дисковые аккумуляторы . . . . .	52
Герметичные цилиндрические аккумуляторы . . . . .	61
Безламельные кадмиево-никелевые аккумуляторы . . . . .	65
2. Никель-цинковый аккумулятор . . . . .	75
3. Серебряно-цинковые аккумуляторы . . . . .	78
4. Серебряно-кадмиевые аккумуляторы . . . . .	87
5. Газовые аккумуляторы . . . . .	90
Б. Гальванические и топливные элементы . . . . .	92
1. Гальванические элементы . . . . .	—
Сухие элементы . . . . .	—
Марганцево-цинковые элементы и батареи . . . . .	93
Марганцево-магниевоы элементы . . . . .	102



	Стр.
Железо-угольные элементы . . . . .	104
Оксисуртутные элементы . . . . .	105
Наливные элементы . . . . .	108
Медноокисные элементы . . . . .	—
Серебряно-цинковые элементы . . . . .	111
Серебряно-магниеиые элементы . . . . .	—
Свинцово-цинковые элементы . . . . .	112
Свинцово-кадмиевые элементы . . . . .	—
Свинцовые элементы с хлорной кислотой . . . . .	113
Медно-магниеиые элементы с хлористой медью . . . . .	—
2. Топливные элементы . . . . .	115
Высокотемпературные топливные элементы . . . . .	117
Низкотемпературные топливные элементы с жидким электролитом . . . . .	119
Редокс-элементы . . . . .	121
3. Биологические элементы . . . . .	123
<b>Глава четвертая. Полупроводниковые источники тока</b>	126
Термоэлектрические источники тока . . . . .	—
Плазменные (термоэлектронные) источники тока . . . . .	132
Вентильные фотоэлементы . . . . .	137
Сегнетоэлектрики . . . . .	146
Электреты . . . . .	148
Атомные источники тока . . . . .	150
<b>Глава пятая. Эксплуатация источников тока</b>	153
Помещение и оборудование для работы с источниками тока . . . . .	—
Основные правила техники безопасности при работе с химическими источниками тока . . . . .	156
Зарядные устройства . . . . .	159
Электролиты для безламельных и серебряно-цинковых аккумуляторов . . . . .	169
Электролит для безламельных кадмиево-никелевых аккумуляторов . . . . .	—
Электролит для серебряно-цинковых аккумуляторов . . . . .	171
Способы заряда безламельных кадмиево-никелевых и серебряно-цинковых аккумуляторов . . . . .	173
Способы заряда марганцево-цинковых элементов и батарей . . . . .	177
Основные неисправности кадмиево-никелевых, серебряно-цинковых и герметичных аккумуляторов . . . . .	179
Ремонт безламельных кадмиево-никелевых и серебряно-цинковых аккумуляторов . . . . .	181
Заклучение . . . . .	184
<b>Приложения:</b>	
1. Таблица потенциалов окислительно-восстановительных электрохимических систем и электрохимических потенциалов . . . . .	185
2. Основные характеристики вентиляей, применяемых для выпрямителей . . . . .	187
3. Клеи и смолы, применяемые для ремонта аккумуляторов . . . . .	190