

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Ивановский государственный химико-технологический университет

**Р.Ф. Шеханов, Т.В. Ершова**

## **ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА**

**Лабораторный практикум**

Иваново 2008

УДК [621.352:621.355](07)

Шеханов, Р.Ф., Ершова, Т.В. Химические источники тока: лабораторный практикум/ Иван. гос. хим. - технол. ун-т.- Иваново, 2008.- 36 с.  
ISBN 978-5-9616-0253-1

Лабораторный практикум содержит основные теоретические представления о способах превращения химической энергии в электрическую, термины и понятия, наиболее часто используемые при описании химических источников тока и необходимые для выполнения лабораторных работ по курсу «Основы электрохимической технологии».

С целью получения практических навыков использования химических источников тока студентам предложено пять лабораторных задач, рассматривающих основные принципы и особенности работы элементов и аккумуляторов.

Лабораторный практикум предназначен для студентов, обучающихся по специальности «Технология электрохимических производств».

**Ил . 11 Библиогр.: 7 назв.**

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

кафедра общей химии Ивановского государственного архитектурно-строительного университета; доктор химических наук М.И. Базанов (Ивановский государственный химико-технологический университет)

ISBN 978-5-9616-0253-1

© Ивановский государственный  
химико-технологический  
университет , 2008

## **ВВЕДЕНИЕ**

Химический источник тока - это устройство, в котором химическая энергия активных веществ при протекании окислительно-восстановительных процессов превращается непосредственно в электрическую энергию. Химические источники тока подразделяются на первичные источники, или элементы, и вторичные, или электрические аккумуляторы.

Элементы могут использоваться до тех пор, пока в них имеется запас активных веществ, обеспечивающих образование электрической энергии. При полном израсходовании этих веществ элементы становятся непригодными для дальнейшего использования.

Аккумуляторы могут служить неопределенно долгое время. При использовании активных веществ при разряде, эти вещества могут вновь образоваться при пропускании через аккумулятор в обратном направлении постоянного электрического тока от другого источника. Такой процесс регенерации израсходованных активных веществ называется процессом заряда аккумулятора.

Области применения химических источников тока постоянно расширяются вместе с развитием новой техники и новых технологий. Они применяются в различных областях народного хозяйства, военной промышленности, авиации, железнодорожном и автомобильном транспорте, многочисленных электронных устройствах, в ракетной технике и в быту.

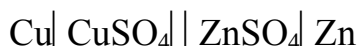
### **ПЕРВИЧНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА (ХИТ). ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХИТ**

Превращение химической энергии в электрическую сопровождается в элементе протеканием окислительно-восстановительных электродных реакций. Для получения во внешней цепи направленного движения электронов от окисляемого вещества к восстанавливаемому необходимо, чтобы процессы окисления и восстановления были пространственно разделены друг от друга и электроды контактировали между собой через электролит. Поэтому все химические источники тока построены по одной схеме: они состоят из электролита, т.е. проводника второго рода, и соприкасающихся с ним двух электродов - проводников первого рода. При этом электролит и электроды образуют внутреннюю цепь, а проводники, соединяющие электроды снаружи, - внешнюю цепь.

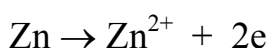
Химические источники тока бывают одноразового использования и многократного действия. ХИТ одноразового действия называются первичными элементами или просто «элементами», а многократного действия – вторичными элементами или аккумуляторами. В аккумуляторах основные

процессы протекают обратимо. Запас химической энергии, истраченный на получение электрической энергии при разряде, восстанавливается при заряде.

Примером подобного устройства может служить медно-цинковый источник электрической энергии, предложенный Даниелем и Якоби в 1836 г. Медь, погруженная в раствор медного купороса, отделена диафрагмой от цинка, погруженного в раствор цинкового купороса.



При работе элемента цинк переходит в раствор, отдавая электроны:

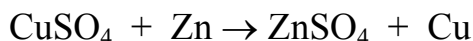


Электроны по внешней цепи проходят к меди, на медном электроде из раствора выделяется медь:



Поток электронов, т.е. электрический ток во внешней цепи, может быть использован для работы, что и **является целью применения ХИТ**.

На цинковом электроде происходит реакция окисления, а на медном – реакция восстановления. Цинковый электрод несет отрицательный заряд, а медный – положительный. Химическая реакция, протекающая в медно-цинковом элементе, может быть записана следующим образом:



В электротехнике условно принято считать направление электрического тока обратным направлению движения электронов во внешней цепи (рис.1а). Анодом служит электрод, на котором идет окислительный процесс, катодом – электрод, на котором идет восстановление.

Для регенерации веществ можно после работы медно-цинкового элемента подвести к нему ток от внешнего источника электрической энергии. Направления движения ионов и электронов станут обратными (рис.1б). Хотя окислительный и восстановительный процессы при этом меняются местами, знак заряда электродов сохранится (медь – плюс; цинк – минус)

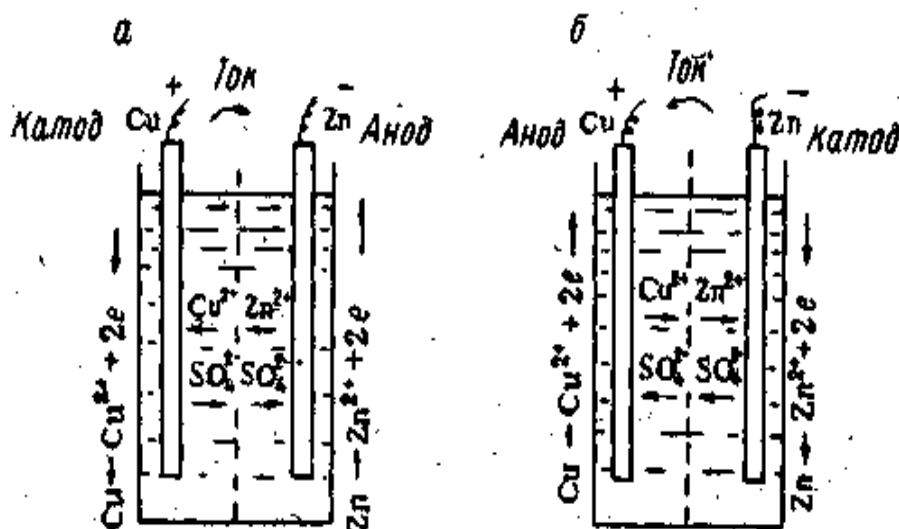


Рис. 1. Схема движения ионов и электронов при работе медно-цинкового элемента

Если бы процессы на электродах не были разделены пространственно, как например при погружении цинковой пластинки в раствор медного купороса, то реакции все равно бы прошла, но химическая энергия процесса превратилась бы не в электрическую, а в тепловую и была бы истрачена на нагрев раствора. Количество тепла, которое выделяется при реакции, и количество электрической энергии, которое может быть от нее получено при пространственном разделении окислительного и восстановительного процессов, связаны между собой уравнением Гиббса–Гельмгольца.

$$E = -\frac{\Delta H}{0,239 \cdot z \cdot F} + T \cdot \left( \frac{dE}{dT} \right)_p$$

В случае, когда коэффициент  $\frac{dE}{dT} = 0$ , количества химической и электрической энергии эквивалентны.

Разработано большое число химических источников тока, но практическое применение находят только те из них, которые по техническим характеристикам удовлетворяют потребителя.

ХИТ должны отвечать следующим требованиям:

- иметь возможно большую э.д.с.;
- отдавать большие токи без резкого падения э.д.с., т.е. не сильно поляризоваться в процессе работы;
- активные вещества должны иметь возможно малый эквивалентный вес и высокую степень использования;

- обладать малым саморазрядом, хорошей сохранностью;
- производство ХИТ должно быть технологичным и доступным по цене.

Аккумуляторы, кроме того, должны иметь высокую отдачу по энергии и большой срок службы.

При оценке качества химических источников тока большое значение имеют их электрические характеристики.

Разность потенциалов между выводами химического источника тока при разомкнутой цепи называется **электродвижущей силой (э.д.с.) элемента**.

Э.д.с. элемента выражается как алгебраическая разность обратных значений потенциалов отдельных электродов. Чем выше э.д.с. элемента, тем больше его практическая ценность. С известной степенью точности э.д.с. может быть измерена вольтметром с большим внутренним сопротивлением (Щ-300).

Разность потенциалов между выводами химического источника тока, находящегося под нагрузкой, называется **напряжением  $U$** .

Напряжение элемента меньше его э.д.с. ( **$E$** ) на величину поляризации  $\eta$  и напряжения, которое идет на преодоление омического сопротивления источника тока  $r$ , т.е.

$$U = E - \eta - I r$$

Приняв, что поляризация увеличивается пропорционально силе тока, получаем

$$\eta = \kappa I$$

Поляризационное сопротивление электродов  $\kappa$  в определенном интервале силы тока можно считать постоянным, тогда

$$U = E - I (\kappa + r)$$

Сумма  $(\kappa + r) = \rho$  представляет собой внутреннее сопротивление элемента.

$$\rho = \frac{R}{U}(E - U)$$

Внутреннее сопротивление элемента меняется в зависимости от режима разряда. Значение  $\rho$  стремятся сделать небольшим. Это достигается уменьшением межэлектродного расстояния, увеличением поверхности

электродов, применением электродов с высокой электропроводностью, подбором электродных реакций, протекающих с высокой скоростью и т.п.

**Емкость элемента** - это количество электричества, которое химический источник тока отдает при разряде.

Если элемент разряжается током  $I(A)$  в течение  $\tau$  (ч), то его емкость равна (в  $A \cdot ч$ )

$$C = I \cdot \tau$$

При разряде на постоянное внешнее сопротивление  $R$  сила тока с течением времени меняется. В этом случае емкость рассчитывают по формуле:

$$C_R = \frac{1}{R} \int_0^{\tau} U \cdot d\tau = \frac{U_{cp} \cdot \tau}{R}$$

При разряде напряжение элемента падает, так как поляризация, а часто и его омическое сопротивление с течением времени увеличиваются.

Изменение напряжения в зависимости от времени представляет собой кривую. При установленном конечном, разрядном напряжении площадь, ограниченная кривой (рис. 2), определяет значение интеграла из вышеприведенного уравнения.

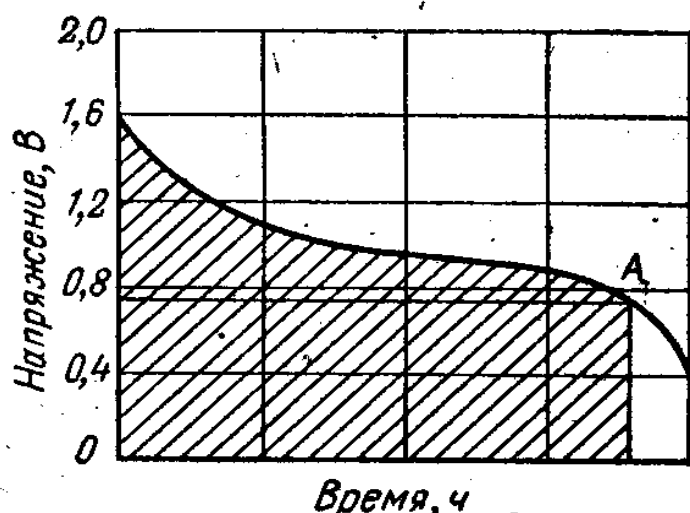


Рис. 2. Кривая разряда химического источника тока.  
(точка А – конечное напряжение)

**Энергия источника тока** - количество энергии, которое при разряде он отдает во внешнюю цепь. Эта энергия равна произведению разрядной емкости на среднее напряжение. При разряде элемента с постоянной силой тока энергия выражается уравнением

$$A_I = I \int_0^{\tau} U \cdot d\tau = I \cdot U_{cp} \cdot \tau$$

При разряде на постоянное внешнее сопротивление энергию источника тока рассчитывают по уравнению

$$A_R = \frac{1}{R} \int_0^{\tau} U^2 \cdot d\tau = \frac{U_{cp}^2 \cdot \tau}{R}$$

На практике элемент разряжают не полностью (до  $U = 0$ ), а до тех пор, пока его напряжение остается достаточным для обеспечения нормальной работы прибора, потребляющего электрическую энергию от этого источника тока. Потому емкость зависит от условий эксплуатации источника тока. При интенсивном разряде в течение короткого времени сказывается отрицательное влияние поляризации, но в то же время уменьшаются потери емкости вследствие саморазряда. При длительном режиме малым током, наоборот, относительная потеря емкости за счет саморазряда возрастает. Максимальную емкость элемент будет иметь при определенном режиме разряда, характерном для каждого типа элемента.

**Удельная энергия** - энергия источника тока, отнесенная к единице массы или объема активного вещества. Удельная энергия зависит от условий разряда.

**Саморазряд** - постепенная потеря емкости при хранении элементов. Саморазряд характеризуется остаточной емкостью после определенной срока хранения или соответствующим процентом снижения емкости.



## **Работа 1. Марганцево-цинковые элементы** **с солевым и щелочным электролитом**

По объему промышленного производства марганцево-цинковые (МЦ) элементы многократно перекрывают выпуск элементов других систем. Их отличает удачное сочетание электрических характеристик с низкой стоимостью, доступностью сырья и материалов, а также высокая степень механизации и автоматизации технологического процесса. Такие элементы удобны и просты в эксплуатации. Они широко используются в установках связи, сигнальных и осветительных устройствах, для питания радиоаппаратуры и для других целей.

Сухие марганцево-цинковые элементы производятся стаканчиковой и галетной конструкции.

Среди стаканчиковых элементов различают элементы мешкового и набивного типа.

В мешковом элементе (рис.3) анодом служит цинковый стаканчик 7. В центре стаканчика расположен положительный электрод 5 в виде агломерата, состоящего из угольного стержня с напрессованной вокруг него массой, содержащей в качестве активного вещества двуокись марганца. Агломерат обернут миткалем и обвязан ниткой. От цинкового электрода агломерат изолирован шайбой 8 из парафинированного картона.

Пространство между анодом и катодом заполнено непроливающимся, пастообразным электролитом, загущенным мукой или крахмалом. Провод 1 служит токоотводом анода. Аналогичную роль по отношению к катоду выполняет латунный колпачок, надетый на угольный стержень.

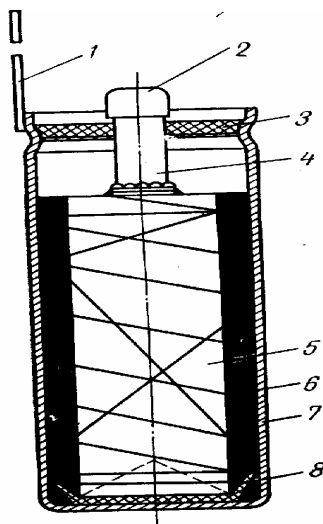


Рис. 3. «Мешковый» сухой элемент:

- 1- проволочный токоотвод; 2- латунный колпачок;  
3- центрирующая шайба; 4- угольный стержень; 5 – обвязанный агломерат; 6- электролит; 7- цинковый стаканчик; 8- изоляционная шайба

Набивной элемент, в отличие от мешкового, снабжен диафрагмой из бумаги или картона, которая расположена между электродами. Электролит удерживается в порах диафрагмы. Набивные элементы обладают более высокой удельной емкостью, чем мешковые.

В основе конструкции галетных батарей лежит принцип Вольтова столба, имеющего биполярные электроды. Батарею собирают из элементов (рис.4). Элемент состоит из цинковой пластины 1, брикета 2, спрессованного из активной массы, и картонной диафрагмы 3, пропитанной электролитом. Под брикет подложена бумага с отвернутыми вверх краями 4. С боков элемент стянут кольцом 5 из поливинилхлорида.

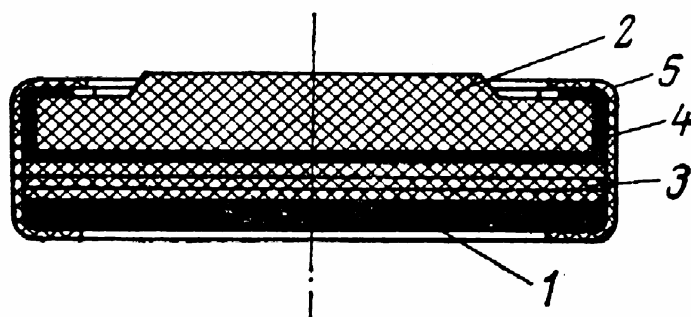


Рис.4. Элемент галетной батареи: 1 – цинковая пластинка с электропроводным слоем; 2- брикет активной массы; 3 – картонная диафрагма с нанесенной пастой; 4 – тонкая бумага; 5 – стяжное кольцо из хлорвинилового пластика

Элементы, собранные в батарею, стягивают шнуром или бумагой. Полученный блок изолируют, обертывают парафинированной бумагой и помещают в футляр.

Наибольшее распространение получили МЦ-элементы цилиндрической конструкции. В зависимости от состава электролита элементы подразделяются на солевые и щелочные. Те и другие имеют свои конструктивные особенности. В солевом элементе корпус выполнен из металлического цинка методом экструзии. В щелочном элементе корпусом служит стальной никелированный цилиндр, изготовленный методом постепенной вытяжки из стальной ленты.

В основе солевого элемента лежит электрохимическая система



Токообразующий процесс принято описывать общим суммарным уравнением