

## КОРРОЗИЯ И ЩЕЛОЧНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

Ю.Е. Мамонтова, Ю.А. Стекольников

*Кафедра «Химия», ГОУ ВПО «Елецкий государственный университет  
им. И.А. Бунина»; chimic55@yandex.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** ингибиторы; коррозия; химические источники тока; цинковый анод; щелочной электролит.

**Аннотация:** Рассмотрены пути совершенствования химических источников тока, обеспечивающие их работоспособность и учитывающие при их производстве возможность уменьшения загрязнения окружающей среды и облегчающие их последующую утилизацию.

---

Саморазряд химических источников тока (ХИТ) обусловлен, в основном, процессами коррозии, которые весьма специфичны и определяются природой используемых материалов и электролитов, что, в конечном итоге, ограничивает их пригодность и осложняет создание и совершенствование источников энергии. Одним из путей минимизации процессов коррозии является использование ингибиторов, которые, заменяя соединения ртути, позволяют ослабить экологическую нагрузку на окружающую среду за счет снижения объема токсических загрязнений как в процессе производства ХИТ, так и при последующей утилизации.

Специфика использования ингибиторов в ХИТ состоит в том, что они должны не только уменьшать коррозию, но и не оказывать существенного влияния на их работоспособность. Конкретная технология сборки требует подавления ингибиторами процессов питтингообразования, дендритообразования в условиях длительного хранения и эксплуатации ХИТ. С помощью электрохимических и волюмометрических методов изучены процессы коррозии цинкового анода в щелочных средах цинковых ХИТ с введением легирующих компонентов, ингибиторов в зависимости от чистоты цинка, электролита (табл. 1, 2). Количественное содержание металлов контролировали методом пламенной атомно-адсорбционной спектрометрии на приборе «Спектр-5-4», который позволяет обнаружить следовые количества элементов, размером до  $0,001 \text{ мг/см}^3$  в коррозионной среде, а также по измерениям массы пастированного цинка, вытесненного из внутреннего объема стаканчика коррозиметра в результате водородной коррозии цинка.

Для практических целей изготовления ХИТ необходимы сведения о влиянии примесей в исследуемых материалах на сохранность, долгосрочность работы и электрофизические характеристики.

Цель работы состояла в определении допустимого предела загрязнений в материалах анода, катода, электролита, пригодности пассивных элементов конструкции (корпуса, кольца, крышки) в соответствии с технологиями изготовления.

Таблица 1

**Скорость коррозии пастовых цинковых анодов в зависимости от вида легирующей добавки (масс. %) и ингибитора в составе электролита**

Вид анода	Zn–In(0,3)	Zn–Pb(0,3)	Zn–Sn(0,3)	Zn–Cd(0,3)
$I \cdot 10^6 \text{A/cm}^2$	1 М КОН			
	356	462	576	691
	1 М КОН + аминоксатат			
	118	154	192	231
	1 М КОН + бензотриазол			
	52	64	82	99

Таблица 2

**Влияние катионов металлов в концентрации  $10^{-3}$  г-ион/л на скорость коррозии цинковых пастовых (безртутных) анодов в 1 М КОН**

Вид катиона	In <sup>3+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sn <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>
$I \cdot 10^6 \text{A/cm}^2$	643	735	754	850

Как видно из табл. 1, 2, скорость коррозии цинковых анодов наиболее эффективно уменьшается при введении в состав цинка легирующей добавки – индия, а в состав электролита – ионов индия и ингибитора коррозии бензотриазола.

Наиболее оптимальная концентрация индия в сплаве – 2,57 масс. %, так как скорость коррозии при этом снижается до 34,2 мкА/см<sup>2</sup>.

Данные составы цинкового анода, содержащие компоненты, уменьшающие его саморазрушение в процессе работы и длительного хранения, позволяют создать миниатюрные воздушно-цинковые, серебряно-цинковые и марганцево-цинковые ХИТ, которые по своим характеристикам превышают аналогичные прототипы и имеют емкость, соответствующую теоретически возможной.

Согласно теории полугазовых элементов, емкость щелочных химических источников тока лимитируется цинковым анодом. Несвершенство способов изготовления электродов, процессы коррозии с водородной деполаризацией, примеси и загрязнения в используемых материалах приводят к существенному недобору емкости, а в ряде случаев, – к разгерметизации элементов, вытеканию электролита и выдавливанию цинковой пасты. При этом вопрос увеличения разрядных характеристик, стабильности и долговечности работы элементов связаны с составом щелочного электролита. До последнего времени в составе анодов широко использовалась ртуть и ее соединения для подавления процессов коррозии, саморазрушения. Для обеспечения высоких удельных характеристик, стабильности напряжения при разряде интенсивными режимами, долговечности работы, хранения безртутных химических источников тока необходим подбор ингибитора в щелочном электролите, учет многих факторов (чистоты и дисперсности материалов, химической стойкости сепараторов, комплектации частей – корпуса, крышки) с целью сведения к минимуму процессов коррозии, саморазряда.

При этом вопрос увеличения разрядных характеристик и стабильности работы элементов связан с составом щелочного электролита. Несмотря на всестороннее исследование свойств электролита KOH + ZnO + H<sub>2</sub>O во взаимосвязи с электрофизическими характеристиками, нами рассмотрено влияние состава электролита на характеристики воздушно-цинкового элемента ВЦ-43 в связи с применением новых активных углей (табл. 3). Отметим, что электропроводность щелочного электролита максимальна для 30 масс. % KOH, что имеет важное значение для работы воздушно-цинкового элемента.

Как и ожидалось, оптимальные характеристики элемента связаны с определенным соотношением компонентов KOH, ZnO, H<sub>2</sub>O в электролите (см. табл. 3). Отметим, что теоретическая емкость элемента ВЦ-43 ( $d = 11,8$  и  $h = 4,2$  мм) составляет 220 мА·ч. Видно, что при концентрации KOH выше 33 масс. % обеспечивается емкость элемента порядка 90 %. При высокой электрической нагрузке обнаруживается вытекание электролита: незначительное у состава 16 и значительное у 17 через воздухопроводное отверстие, то есть наблюдается разгерметизация элемента. Герметичность (течь) проверялась на отсутствие и на наличие обезцвечивания креозолового красного. Таким образом, существует область состава тройного электролита, обеспечивающая оптимальное протекание процесса разряда элемента, которую можно связать с реакцией

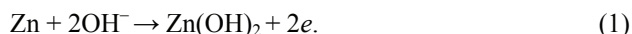


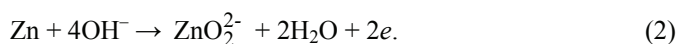
Таблица 3

**Влияние компонентов электролита (масс. %) на характеристики элемента ВЦ-43 с углем марки СИТ при нагрузке 510 Ом**

№ состава электролита	C <sub>KOH</sub>	C <sub>ZnO</sub>	C <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	Начальное напряжение, В	Емкость, мА·ч
1	27,25	1,0	71,25	1,40	185
2	26,81	2,5	70,69	1,41	192
3	24,50	3,5	70,00	1,40	192
4	29,90	0,2	69,90	1,41	187
5	31,35	3,5	65,15	1,40	192
6	31,70	2,5	65,80	1,40	192
7	30,80	5,0	64,20	1,39	192
8	33,20	0,2	66,60	1,41	205
9	37,00	1,0	62,00	1,41	212
10	36,00	3,5	60,50	1,42	210
11	36,60	2,5	60,90	1,40	210
12	39,90	0,2	59,90	1,42	210
13	39,00	2,5	58,50	1,41	213
14	38,00	3,5	60,50	1,41	208
15	38,00	5,0	57,00	1,39	208
16*	37,00	1,5	55,50	1,37	203
17*	42,00	1,0	57,00	1,37	209

Примечание: \*При высокой электрической нагрузке наблюдается разгерметизация элемента.

В области нарушения герметичности и ухудшения начального напряжения разрядных характеристик, по-видимому, протекает реакция



Следовательно, в области малых концентраций КОН разряд элемента происходит за счет потребления воды из электролита, что затрудняет разряд (1). В области высоких концентраций КОН процесс разряда идет до более высоких значений емкости, однако, при этом, наблюдается объемное расширение элемента за счет выделения воды (2), что и приводит к вытеканию электролита через воздуховод. Вторым продуктом реакции в обоих случаях является цинкат калия. Поэтому введение ZnO скажется на электропроводности электролита, характеристиках элемента ВЦ-43 и оптимизации обеих реакций. Известно, что в щелочных элементах ZnO применяется для подавления процесса выделения водорода на цинке в концентрации ~ 4 %. Влияние состава электролита на характеристики элемента ВЦ-43 на углях марки КАД и СИТ-1 № 4 показано в табл. 4 (для элементов ручной сборки) [1].

Видно, что состав электролита № 2 обеспечивает лучшие условия протекания электрохимических процессов на границе раздела катод-анод элементов ВЦ-43 ручной сборки, так как они показали самую высокую емкость как с углем марки КАД – 150 мА·ч, так и СИТ-1 № 4 – 170 мА·ч. Проведена проверка влияния величины сопротивления нагрузки на величину емкости элементов в электролите № 2 (табл. 5).

Таблица 4

**Влияние состава электролита на характеристики элемента ВЦ-43 в зависимости от марки угля при нагрузке 510 Ом**

Состав электролита	Напряжение разомкнутой цепи, В		Напряжение под нагрузкой, В		Емкость, мА·ч	
	КАД	СИТ-1 № 4	КАД	СИТ-1 № 4	КАД	СИТ-1 № 4
1. 30 % КОН	1,48	1,44	1,26	1,26	135	145
2. 36,25 % КОН + 3,6 % ZnO	1,43	1,43	1,27	1,25	150	170
3. 22,8 % КОН + 1,5 % ZnO	1,45	1,48	1,26	1,25	135	150
4. 36,19 % КОН + 3,5 % ZnO	1,43	1,44	1,25	1,25	140	150
5. 36,5 % КОН + 2,5 % ZnO	1,43	1,43	1,27	1,24	140	160

Таблица 5

**Емкость элементов ВЦ-43 в зависимости от величины нагрузочного сопротивления, мА·ч**

Нагрузка, Ом	510	1000	1500	7500	15000
Марка угля					
СИТ-1, СИТ-1 «7А»	170	170	170	180	180
СИТ-1 № 9	140	140	140	150	150
СИТ-1 «П»	125	125	130	130	135

Конструкция воздушного электрода является оптимальной, так как емкость элемента практически не зависит от сопротивления нагрузки (см. табл. 5). Однако на всех углях произошло увеличение напряжения под нагрузкой с 1,27 (510 Ом) до 1,49 В (15000 Ом), что говорит о большей степени оптимальности протекающих электрохимических реакций в элементе. Следовательно, ускоренные испытания на нагрузке 510 Ом не искажают истинную емкость элемента, то есть отражают реальную картину протекающих процессов в элементе.

Изучено влияние вариационного состава угля в активной массе (АМ) катода, ее объема, содержания гидробизированной сажи (ГФС) и содержания сепараторных пленок П100 (табл. 6). Влияние различного массового соотношения гидробизированной сажи и активной массы, применяемых при прессовании катода с разной высотой при одном и том же соотношении компонентов в активной массе, проведено на углях марки КАД.

Видно, что в химических источниках тока с катодной таблеткой, как выше, так и ниже 1,3 мм, емкость элементов уменьшается, оптимальной является высота 1,3 мм, что соответствует соотношению ГФС:АМ = 100:25.

Количество ртути, использованной в серийной технологии на заводах, выпускающих марганцево-цинковые или серебряно-цинковые источники, может достигать до 5 % [2]. Однако в связи с экологическими требованиями ее содержание постоянно уменьшают или вообще выводят из состава анода [3]. В составе анода, используемого в вышеприведенных источниках, ртуть марки Р1 содержится в количестве 0,5 %, а в щелочном электролите № 2 – 18 % (см. табл. 4). Сведения содержания ртути к минимуму не повлияло на емкость элементов ВЦ-43. Искусственное термостарение при 60 °С в течение 3 суток (эквивалент двухгодичного хранения) показало работоспособность такого анода. Потеря емкости составила 10 %, что соответствует рекомендуемому пределу. Элементы, в составе анода которых не было ртути, а содержался сплав Zn–In (0,3 %) и бензотриазол в электролите, выдержали термостарение, и с углем марки СИТ № 4 показали емкость 180...190 мА·ч в сравнении с контрольной свежеприготовленной партией ХИТ 210...220 мА·ч.

Данный состав анода и был рекомендован для серийного производства. Влияние ингибиторов коррозии, входящих в состав электрода и электролита на сохранность, долговечность работы воздушно-цинковых ХИТ иллюстрируется данными табл. 7 и 8.

Таблица 6

**Емкость элементов ВЦ-43 с углем КАД при нагрузке 510 Ом с сепараторной пленкой П100**

Массовое соотношение ГФС:АМ	Высота таблетки, мм	Емкость элементов с различным количеством пленок, мА·ч		
		1 шт.	2 шт.	3 шт.
50:25	0,6	60	60	50
80:25	1,0...1,1	125	135	80
100:25	1,2...1,3	130	140	100
100:35	1,4...1,5	120	135	
100:25	1,6...1,7	100	100	
125:25	1,5...1,6			
125:30	1,7	100	100	80
135:25				
135:30				

Таблица 7

**Влияние времени пребывания воздуховода ВЦ-43 с углем марки СИТ под герметиком на сохранность его емкости при нагрузке 510 Ом**

Герметик	Емкость, мА·ч, в зависимости от времени нахождения под герметиком с начала изготовления, сутки													
	0	4	7	10	12	15	18	20	25	30	40	50	60	
Лак ХВК-2	-	145	135	125	120	115	110	105	105	105	10	100	75	
Лейконат			145	145	125	130	115	115	115	110	90	75	60	
ВФ-4		135	130	130	140		125	125	125	120	115	100	100	
Сургуч		145	140	140	135	135	130	135		125	120	115	115	
Лак НЦ-62		135	125	125	120	120	125		120	110	115	110	110	
Контактол		145	145	145	140	140	140		135	130	125	115	115	
Лейко-пластырь		150		140	135	135	130	130	125	125	115	105	105	
Липкая лента ЛТ 19		-	160	155	150	145	145	145	135	135	135	120	115	
Изолента синтетичес.					155	155			140		125	115		
ВК-9			155	150	145	145	140	140	135	130	130	120	120	
АК-20				145	130	125	120	125	125	125	120			
Эластосил			160	155	155	155	155	155	155	145	145	140	130	
Циакрин									160			160	150	145
ШПК-23-12			155	155	160	155	155	160	160	155	150	150	135	130
Церезин			160	160		140		155	155	150	145	140		
Воздух			160			160	160	150		135	130	125	110	100

Таблица 8

**Влияние времени хранения на величину емкости элементов ВЦ-43 с углем марки СИТ-1 (пастовый анод Zn-In, нагрузка 510 Ом)**

Продолжительность хранения, сутки	Емкость элементов, мА·ч		
	Под липкой лентой	Под лаком НЦ-62	Контрольная партия
1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; 30	190	190	200
60; 90; 120; 150	185	185	
180	185	180	
365	180	175	

Автоматизация сборки ХИТ (роторная линия сборки изготовлена НПО «Механика», г. Москва) позволяет выпускать элементы, близкие по своим параметрам к теоретическим. Изучение сохранности и долгосрочности работы элементов ВЦ-43 показало, что их электрические характеристики в значительной мере зависят от культуры завальцовки герметизирующего узла при ручной или автоматизированной сборке. Дополнительная обработка уплотнительных колец из полиамида церезином приводит к увеличению ресурсов по емкости. При использовании колец, необработанных церезином, карбонизация завальцовочного узла наблюдается через месяц, обработанного – через год. Наиболее технологично использовать для герметизации воздуховода липкую ленту ЛТ 19, лак НЦ-62, контактол. При их использовании по истечении года хранения емкость уменьшается на 10 % (см. табл. 7 и 8). Исходя из изложенного, можно заключить, что емкость элементов ВЦ-43 зависит от культуры условий сборки, а также собственно от качества, применяемых комплектующих, их соответствия конструкторскому чертежу на изделие, так как в противном случае наблюдаются испарения по периметру кольца из анода ХИТ. Автоматизированная сборка обеспечивает качественную калибровку и завальцовку миниатюрных дисковых ХИТ, и как следствие, высокие разрядные характеристики.

Видно, что элементы, собранные на автоматизированной линии сборки имеют высокие емкостные характеристики, хорошую сохранность и долгосрочность работы, несмотря на отсутствие ртути в их составе.

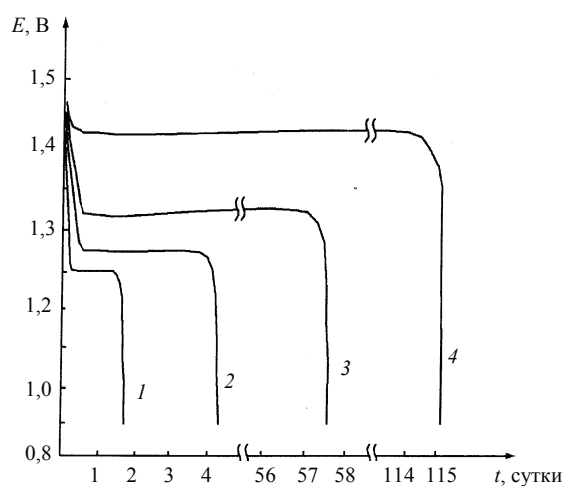
В НПО «Механика» на основе технического задания впервые сконструирована и изготовлена автоматизированная линия сборки воздушно-цинковых ХИТ карусельного типа, которая выполняет следующие операции:

- 1) постановка корпуса;
- 2) ориентированная укладка катода;
- 3) вырубка и укладка на катод двух пленок П100;
- 4) вырубка и укладка бумаги ФОС (электролит носителя);
- 5) постановка герметизирующего кольца;
- 6) дозировка электролита на катод;
- 7) дозировка и укладка цинковой анодной массы в крышку;
- 8) совмещения анода и катода с контролем;
- 9) предварительная калибровка элемента;
- 10) завальцовка элемента;
- 11) контроль и разбраковка по начальному напряжению;
- 12) герметизация отверстия воздуховода;
- 13) маркировка элемента и даты изготовления;
- 14) упаковка элементов в полиэтиленовую пленку методом таблетирования.

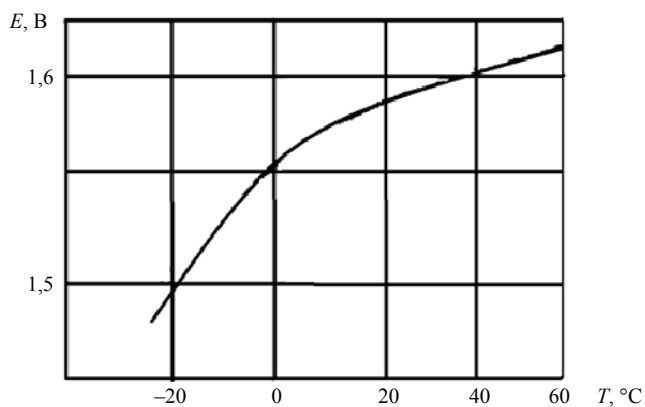
Данная линия для изготовления элементов ВЦ-43 внедрена на Воронежском заводе ОАО «НПО Корпорация “РИФ”» вместе с технологическим процессом подготовки корпуса, кольца, крышки. Вольтамперная характеристика выпускаемых элементов приведены на рис. 1.

Рассмотрены характеристики миниатюрных серебряно-цинковых (SR) ХИТ, не содержащих в своем составе ртути, с составом Zn-анода рекомендованного выше и электролитом 30 масс. % КОН + 3,6 масс. % ZnO с ингибитором бензотриазолом. Данный состав электролита позволяет надежно и эффективно работать при низких температурах. Однако вследствие уменьшения ионной подвижности, элементы имеют все же меньшее напряжение и меньшую емкость, чем при повышенных температурах (рис. 2, 3).

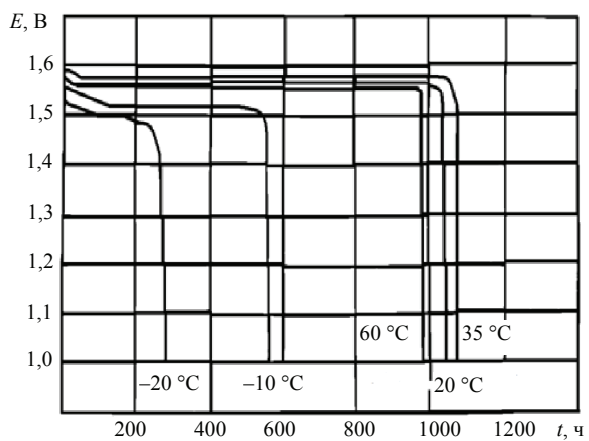
Отметим, что наиболее оптимален рабочий интервал сопротивлений и нагрузки 6...14 кОм (рис. 4), в котором отдача по емкости максимальна. Данная область нагрузки соответствует, как правило, применению миниатюрных серебряно-цинковых элементов для питания электронных часов, измерительных устройств, слуховых аппаратов с током нагрузки, не превышающим 1 мА.



**Рис. 1.** Разрядные характеристики элемента ВЦ-43 с углем марки СИТ-1 и цинковым пастовым анодом при сопротивлениях нагрузки: 1 – 220 Ом; 2 – 550 Ом; 3 – 7,5 кОм; 4 – 15 кОм; конечное напряжение разряда – 0,9 В (сборка на автоматизированной линии)



**Рис. 2.** Зависимость напряжения элемента SR43 от температуры в условиях непрерывного разряда на сопротивлении 13 кОм



**Рис. 3.** Разрядные характеристики элемента SR на сопротивлении 13 кОм в зависимости от температуры окружающей среды



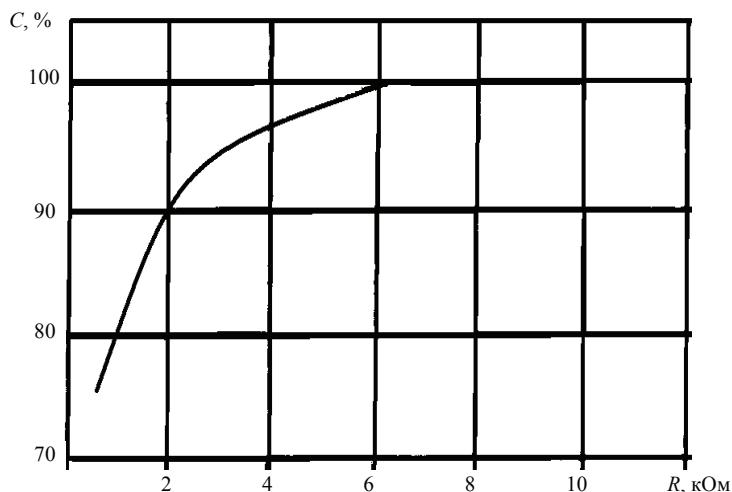


Рис. 4. Зависимость емкости элемента SR43 от нагрузки в условиях непрерывного разряда при 20 °С

Таблица 9

**Характеристики миниатюрных серебряно-цинковых элементов**

Типоразмер	Нормальное напряжение, В	Номинальная емкость, мА·ч	Размеры, мм		Вес, г
			диаметр	высота	
SR41	1,55	38	7,9	3,6	0,7
SR42		100	11,6	3,6	1,5
SR43		120	11,6	4,2	1,8
SR44		180	11,6	5,4	2,4

В составе анода содержался сплав цинка с индием 3 %, натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы, бензотриазол, щелочной электролит. В составе катодной массы – оксид серебра, графит, диоксид марганца. Характеристики элементов серебряно-цинковой системы приведены в табл. 9.

Таким образом, при соблюдении технологии изготовления анодной и катодной массы всего элемента в целом, можно добиться высоких стабильных характеристик Ag-Zn-элементов и при выводе ртути из состава за счет применения сплава цинка с индием, ингибитора бензотриазола. Ингибирование электролита позволяет обеспечить сохранность и долговечность работы элемента, минимизировать процессы саморастворения без потери работоспособности, а вывод ртути из состава элемента позволит уменьшить воздействие токсических веществ на среду производства и обитания человека, так как исключается ее циркуляция в цепочке почва–вода–человек при коррозии отработавших элементов, которые зачастую просто выбрасываются.

При описании механизма анодного растворения цинкового электрода химического источника тока необходимо учитывать изменение величины активно растворяемой поверхности металла из-за ее блокировки труднорастворяемыми соединениями цинка. Временные зависимости в области активного растворения цинкового анода подобны аналогичным для железного электрода [4], где степень блокировки поверхности  $\theta$  связана с количеством пропущенного электричества  $Q$  выражением

$$\theta = \frac{K_e Q}{1 + K_1 Q}, \quad (1)$$

а скорость процесса описывается уравнением

$$i = K(1 - \theta) a_{\text{OH}^-}^y e^{\frac{\alpha_a^* FE}{RT}}, \quad (2)$$

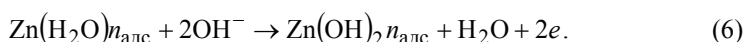
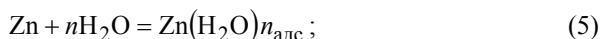
где  $\alpha_a^* = za$ ;  $y$  – порядок реакции по  $\text{OH}^-$ ;  $(1 - \theta)$  – для свободной поверхности. Объединяя (1) и (2), получим кинетические уравнения для гальваностатического и потенциостатического режимов электролиза. Для гальваностатического случая и для больших  $t$  уравнение примет вид

$$E = \frac{2,3RT}{\alpha_a^* F} (2 \lg i - y \lg a_{\text{OH}^-} + \lg t) + \text{const}, \quad (3)$$

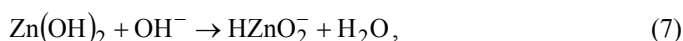
а для потенциостатической поляризации преобразуется в

$$Q = \frac{1}{K_1} + \frac{K}{K_1} a_{\text{OH}^-}^y e^{\frac{\alpha_a^* FE}{RT}} i^{-1}. \quad (4)$$

По анодному растворению цинка в растворах гидроксида калия 1...10 М при 20...50 °С, при разных плотностях тока следует, что необходимо смещать потенциал в электроположительную сторону для поддержания постоянной плотности тока [1]. С учетом изменения активности воды и при  $za=1$  и  $y \approx 2$ , механизм анодного растворения цинка можно представить схемой



Образующийся на поверхности адсорбированный гидроксид цинка приводит к блокировке поверхности и частичной пассивации, а также может растворяться с образованием  $\text{HZnO}_2^-$



освобождая поверхность. Адсорбция  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  на занятой и на свободной поверхности после насыщения электролита приводит к росту толщины блокирующего слоя. Протекание реакций растворения цинка (6), (7) может привести к вытеканию электролита из воздушно-цинковых химических источников тока и, тем самым, к выводу их из эксплуатации.

На коррозию воздушно-цинковых химических источников тока влияют микропримеси в составе щелочи, самой воды, цинкового порошка серебряно-цинковых (в составе  $\text{Ag}_2\text{O}$ ), марганцево-цинковых (в составе  $\text{MnO}_2$ ) ХИТ. Проведенные исследования на коррозию в течение трехлетнего срока хранения, в условиях летнего хранения при  $t_{\text{max}} = 30...40$  °С, зимнего при  $t_{\text{min}} = -30...-25$  °С, измерение энергетических характеристик (емкости элементов, номинального напряжения), ускоренные испытания на коррозию в течение 72 ч при 60 °С (эквивалент двухгодичного хранения) с потерей емкости 10...20 % от теоретической, позволили обосновать следующие требования к чистоте исходных материалов, используемых для изготовления элементов.

**Максимальное количество примесей в дистиллированной воде  
(рН = 5,4...6,6; удельная электропроводность –  $5 \cdot 10^{-4}$  Ом·см), мг/л**

Осадок после выпаривания .....	5
Осадок после прокаливания .....	1
Соли аммония и аммиак .....	0,02
Нитраты .....	0,2
Сульфаты .....	0,5
Хлориды .....	0,02
Алюминий .....	0,05
Железо .....	0,05
Кальций .....	0,8
Медь .....	0,02
Свинец .....	0,05
Цинк .....	0,2
КМnO <sub>4</sub> .....	0,08

**Требования к составу цинкового порошка по содержанию примесей, %**

Цинк .....	min 99,2
Кадмий .....	max 0,002
Свинец .....	max 0,1
Медь .....	max 0,001
Железо .....	max 0,002
Никель .....	max 0,002
Олово .....	max 0,001
Сурьма .....	max 0,002
Кислород .....	0,8...1,0

**Требования к составу гранулированного КОН для химических источников тока по содержанию примесей, %**

КОН .....	min 85
CaCO <sub>3</sub> .....	max 1,5
Хлориды .....	max 0,004
Сульфаты .....	max 0,002
SiO <sub>2</sub> .....	max 0,005
Фосфаты .....	max 0,001
Свинец .....	max 0,001
Железо .....	max 0,0005
Аллюминий .....	max 0,002
Кальций .....	max 0,001

**Требования к диоксиду марганца (электролитический порошок) для химических источников тока по содержанию примесей, %**

H <sub>2</sub> O .....	max 0,5
MnO <sub>2</sub> .....	min 89
Fe .....	max 0,05
Cu .....	max 0,005
Сульфаты .....	max 1,5

**Требования к Ag<sub>2</sub>O по содержанию примесей, %**

Ag <sub>2</sub> O .....	min 98
Fe .....	max 0,04
Медь .....	max 0,003
Карбонаты .....	max 0,9
Сульфаты .....	max 1,0

Отметим, что емкость зависит от качества применяемых комплектующих, их соответствия конструкторскому чертежу на изделие, так как в противном случае наблюдается некачественная калибровка и завальцовка по периметру изделий. Автоматизированная сборка позволяет провести качественную калибровку и завальцовку миниатюрных дисковых источников тока и обеспечивает высокие разрядные характеристики, долговечность, сохранность работы и точное выполнение технологических операций сборки. Пассивные элементы конструкции накопителя: корпус, крышка, изолирующая прокладка играют в нем свою роль. Поэтому материал конструктивных элементов, входящих в контакт с электролитом, должен быть устойчив к агрессивным средам. В качестве материала корпуса и крышки, в порядке приоритета, можно использовать сталь, никелированную изнутри.

### Выводы

Оптимизированы составы цинковых анодов. Долговечность работы элементов, их сохранность в значительной мере связана с наличием примесей в используемых материалах, что и сказывается на электрофизических характеристиках на непрерывных режимах разряда. Рекомендованы допустимые величины примесей в воде, цинковом порошке, диоксиде марганца, оксиде серебра (I), калийной щелочи. Ингибирование электролита, легирование цинка позволяет уменьшить коррозию в щелочных средах и существенно повысить работоспособность химических источников тока при выводе ртути из состава элементов.

#### *Список литературы*

1. Коровин, Н.В. Электрохимическая энергетика / Н.В. Коровин. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 212 с.
2. А.с. 691115 СССР, МКИ Н 01 М 4/42. Активная масса цинкового электрода щелочного аккумулятора / В.А. Никольский. – № 629565 ; заявл. 09.02.77 ; опубл. 27.06.78, Бюл. № 8. – 47 с.
3. Казакевич, Г.З. Серебряно-цинковые аккумуляторы / Г.З. Казакевич, И.К. Яблокова. – М. : Инферноэлектро, 1969. – 21 с.
4. Ротинян, А.Л. Поведение железа в щелочных средах / А.Л. Ротинян // – Журн. приклад. химии. – 1984. – Т. 57, № 5. – С. 1009–1012.

---

## Corrosion and Alkaline Chemical Sources of Current

Yu.E. Mamontova, Yu.A. Stekolnikov

*Department "Chemistry", Yelets State University named after I.A. Bunin;  
chimic55@yandex.ru*

**Key words and phrases:** alkaline electrolyte; corrosion; chemical sources of current; inhibitors; zinc anode.

**Abstract:** The paper studies the ways of perfection of chemical sources of current, providing their working capacity and the possibility for reducing the ecological pressure on the environment and facilitating their subsequent recycling.

## **Korrosion und alkalische chemische Stromquellen**

**Zusammenfassung:** Es werden die Wege der Vervollkommnung der chemischen Stromquellen, die ihre Arbeitsfähigkeit gewährleisten und bei ihrer Erzeugung die Möglichkeit die Schwächung der ökologischen Belastung auf die Umwelt zu berücksichtigen, und auch ihre weitere Verwertung erleichtern, betrachtet.

---

## **Corrosion et sources chimiques alcalines du courant**

**Résumé:** Sont envisagés les voies du perfectionnement des sources chimiques du courant assurant leur capacité de travail et tenant compte de la possibilité d'affaiblissement de la charge écologique sur l'environnement lors de la production et facilitant leur utilisation ultérieure.

---

**Авторы:** *Мамонтова Юлия Евгеньевна* – аспирант, инженер кафедры «Химия»; *Стекольников Юрий Александрович* – кандидат химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химия», ГОУ ВПО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина».

**Рецензент:** *Котов Владимир Васильевич* – доктор химических наук, профессор кафедры «Химия», ФГОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки».

---