

УДК 543.552

ДИАГНОСТИКА САМОРАЗРЯДА ЛИТИЙ-ТИОНИЛХЛОРИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Д. Б. Федотов¹, Н. И. Ялюшев², А. Н. Мафтей¹, Д. В. Маковецкий¹✉

¹Акционерное общество, инженерная фирма «Орион-ХИТ»
346410, Россия, Новочеркасск, Комитетская, 64 Е

²ЮРГПУ(НПИ) им. М. И. Платова
346428, Россия, Ростовская обл., Новочеркасск, Просвещения, 132

✉E-mail: orion-hit@mail.ru

Поступила в редакцию 26.01.17 г.

Рассмотрена проблема диагностики состояния литий-тионилхлоридных ХИТ и возможность прогнозирования их работоспособности после хранения. Диагностика величины саморазряда является одной из центральных проблем производства и эксплуатации источников тока. Рассмотрены основные методы для оценки остаточной ёмкости источника тока, применяемые в настоящее время. Предложен метод диагностики величины саморазряда ХИТ системы Li/SOCl₂ по оценке начального участка зависимости напряжения от протекающего тока.

Определена зависимость между сохранностью ёмкости литий-тионилхлоридных элементов и величиной тока на начальном участке вольт-амперной зависимости.

Ключевые слова: литий-тионилхлоридный ХИТ, ёмкость, диагностика, саморазряд, токи утечки.

DIAGNOSTIC OF LITHIUM-THIONYL CHLORIDE CELLS SELF-DISCHARGE

Dmitrii B. Fedotov¹, ORCID: 0000-0001-9577-8314, orion-hit@mail.ru
Nikolai I. Yalyushev², ORCID: 0000-0003-3804-7149, orion-hit@mail.ru
Aleksandr N. Maftey¹, ORCID: 0000-0002-3051-4534, orion-hit@mail.ru
Dmitrii V. Makovetsky¹✉, ORCID: 0000-0001-8671-8176, orion-hit@mail.ru

¹Orion-HIT, Joint Stock Engineering Company
64 E, Komitetskaya str., NovoCherkassk, Rostov Region, 346410, Russia

²Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)
132, Prosveschenia str., NovoCherkassk, Rostov Region, 346428, Russia

Received 26.01.17

The problem of lithium-thionyl chloride electrochemical cell state diagnostics is described. Their after-storage performance predictability is presented. Self-discharge value diagnostics is a key issue in electrochemical cells manufacturing and utilization. The article presents major modern methods of electrochemical cell residual capacity estimation. A new method of Li/SOCl₂ system self-discharge diagnostics is proposed; it is based on the measurement of initial section voltage – current strength ratio.

The voltage-ampere dependence of lithium-thionyl chloride cell residual capacity and the current values at the initial element section is determined.

Key words: lithium-thionyl chloride cell, capacity, diagnostics, self-discharge, leakage current.

DOI: 10.18500/1608-4039-2017-17-1-9-18

ВВЕДЕНИЕ

Химические источники тока (ХИТ) электрохимической системы литий-тионилхлорид вследствие своей высокой энергоёмкости всё более широко используются в современных областях техники – средства

выведения космических аппаратов, газовое и нефтяное оборудование, аварийные радиостанции, буи, подводные средства движения, приборы ночного видения, фото-, видеоаппаратура, взрывотехника, миниатюрные устройства для выполнения спецзадач, системы навигации, различные системы для

пожарной охраны объектов и т. д. Наряду с применением в областях, где допустима сохраняемость до пяти лет, элементы и батареи на их основе всё больше востребованы в аппаратуре, требующей сохранности ХИТ десять и более лет, при этом в конце срока энергия и мощность должны сохранять относительно высокие значения. Резервные источники тока зачастую не в полной мере отвечают требованиям потребителей, когда необходимо наличие напряжения на выходных клеммах источника тока на протяжении всего времени хранения изделия для обеспечения электропитанием служебных систем, например часов реального времени. Соответственно перед разработчиками химических источников тока постоянной готовности всё более остро стоит проблема обеспечения сохраняемости ХИТ не менее 10 лет. Длительное хранение ХИТ неизбежно приводит к снижению мощности и энергии ХИТ за счёт пассивации и саморазряда соответственно. Там, где есть возможность установки крупногабаритных ХИТ, проблема потери энергии решена путём увеличения размеров источников тока, что позволяет изначально закладывать в десятки раз больше электродных активных материалов, а значит, ёмкости, чем требуется потребителю при штатной работе. Для разработки же аппаратуры, у которой выделяемое пространство (площадь) под источники тока ограничено, требуются ХИТ с малым объёмом и низким саморазрядом. В связи с этим необходима эффективная диагностика, обеспечивающая отбор ХИТ, отвечающих этим условиям.

Проблема диагностики состояния ХИТ и возможности прогнозирования их работоспособности после хранения, т. е. диагностики саморазряда, является одной из центральных проблем производства и эксплуатации источников тока. В мире известно, опробовано и применяется большое количество методик диагностики саморазряда. Известные способы диагностики саморазряда ХИТ включают, в первую очередь, опреде-

ление электрической ёмкости, оставшейся в источнике тока после хранения и частичного разряда в процессе хранения. По литературным данным можно выделить несколько групп методов определения остаточной ёмкости или степени заряженности (разряженности) источников тока.

К *первой группе* относятся методы, основанные на измерениях величины напряжения разомкнутой цепи (НРЦ) после хранения и в процессе эксплуатации. Полученные значения сопоставляют с эталонными данными для тестируемого типа ХИТ и оценивают значение его остаточной ёмкости. Достаточно строгое соответствие значения НРЦ величине остаточной ёмкости характерно для немногих видов ХИТ, например, для свинцового аккумулятора [1], поэтому этот метод широкого распространения не имеет.

Ко *второй группе* относятся методы, основанные на измерениях значений разрядного напряжения. Так, в способе контроля разряженности стартерного серебряно-цинкового аккумулятора [2] предлагается разряжать аккумулятор на эталонную нагрузку током 0.3–0.5-часового разряда в течение времени установления диффузионного процесса, снимать нагрузку и измерять скорость возрастания напряжения на контактах аккумулятора. Контролировать аккумуляторы с различной степенью заряда методом подключения эталонной нагрузки и измерения соответствующего разрядного напряжения, а также динамики изменения напряжения аккумулятора при снятии нагрузки предлагают и в патенте № 6037778 США [3]. В большом количестве работ предлагают проводить анализ начального участка разрядной кривой [4, 5] или изменения напряжения при кратковременном разряде [6–9]. Анализ проводят, сопоставляя данные измерений с предварительно определёнными зависимостями разрядного напряжения от отданной ёмкости и пропускаемого тока в основных режимах разряда.

Подобные методы могут быть дополнены применением импульсного тока, что

повышает их точность. Так, в работе [10] с целью определения остаточной ёмкости предлагают нагружать ХИТ группами периодически повторяющихся импульсов разрядного тока с длительностью 200–1000 мс, скважностью 2–15, в количестве 2–10 импульсов. Амплитуду тока импульсов в течение времени их действия на источник тока изменяют по закону, зависящему от напряжения этого источника, увеличивая амплитуду при уменьшении напряжения. С момента окончания последнего импульса определяют длительность возрастания напряжения на источнике до 1.0–1.5 В. По длительности нарастания с помощью предварительно полученных экспериментальных зависимостей длительности нарастания от остаточной ёмкости определяют остаточную ёмкость тестируемого ХИТ.

К *третьей группе* методов определения остаточной ёмкости или степени заряженности ХИТ относятся методы, основанные на определении внутреннего сопротивления источника тока. В работе [11] предлагают исследовать спектр значений внутреннего сопротивления литиевого источника тока при различных плотностях тока, протекающего через него. Спектр получают при последовательном осуществлении гальваностатических импульсов разряда с возрастающими от импульса к импульсу плотностями тока. В паузе между импульсами тока происходит восстановление значений НРЦ. Авторы считают, что такие спектры полезны при диагностике дефектов изготовления ХИТ и контроля степени их разряженности. В ряде работ также предлагается для определения состояния ХИТ по ёмкости измерять их внутреннее сопротивление или импеданс [12–15]. В некоторых случаях предлагается в анодную массу ХИТ вводить резистор [16, 17]. По мере потребления анодного вещества меняется и сопротивление цепи, включающей анодную массу и резистор.

К *четвёртой группе* можно отнести методы определения остаточной ёмкости по значениям некоторых физико-химических параметров ХИТ. К таким параметрам

относятся: плотность, оптический коэффициент преломления, диэлектрическая проницаемость электролита [18, 19]; значения токов Фуко, возникающих на аккумуляторных электродах под действием возбуждения, исходящего от обмотки катушки, расположенной рядом с ХИТ [20]; интенсивность ИК-излучения, испускаемого наружной поверхностью ХИТ [21–22].

Большинство представленных методов направлено на оценку остаточной ёмкости источника тока на момент проведения диагностики и не позволяют прогнозировать работоспособность ХИТ в будущем. Для литиевых источников тока с жидким окислителем, в том числе и для литий-тионилхлоридных ХИТ, количество в той или иной степени успешно апробированных методов ограничено в связи с особенностями таких источников тока. К этим методам относятся: импедансометрия, флуктуация разрядного напряжения, оценка разрядного тока при постоянном и импульсном токе, микрокалориметрия.

Метод импедансометрии при оценке внутреннего сопротивления ХИТ и прогнозирования на основании полученных данных остаточной ёмкости учитывает значительные изменения внутреннего сопротивления не за счёт разряда источников тока, а за счёт степени пассивации литиевого электрода в зависимости от условий и длительности хранения ХИТ. Это приводит к сомнительным результатам.

Определение степени разряженности ХИТ по флуктуациям напряжения требует большего набора статистических данных для источников тока различной конструкции после различных условий хранения.

Метод оценки разрядного напряжения для литий-тионилхлоридных источников тока также не может быть достоверен при диагностике, так как, во-первых, разрядная кривая этих ХИТ имеет пологую форму вплоть до 80–90% отданной ёмкости, и, во-вторых, в зависимости от условий хранения ХИТ, предшествующего диагностике, форма разрядной кривой и уровень разрядного напря-

жения будут различны. Этот метод с большой достоверностью позволяет по уровню разрядного напряжения при заданном токе проводить отбраковку ХИТ с явным технологическим браком.

Наиболее достоверным методом диагностики ХИТ следует считать метод микрокалориметрии, так как он учитывает все реакции, протекающие внутри источника тока: как тепло, выделяющееся при химическом взаимодействии активных компонентов ХИТ, так и тепло, выделяющееся за счёт токообразующих реакций. Однако этот метод сложен и длителен. Он применим при разработке ХИТ, а не для оценки состояния и прогнозирования сохраняемости серийно выпускаемых элементов.

Из рассмотренных методов определения остаточной ёмкости ХИТ наиболее простым и достаточно информативным можно считать анализ начального участка разрядных кривых, полученных при разных плотностях разрядного тока [4, 5]. В частности, одной из модификаций этого метода может быть анализ начального участка вольт-амперной характеристики ХИТ. Существенным достоинством таких методов может являться возможность оценки скорости саморазряда и прогнозирования сохраняемости ХИТ.

Применительно к литий-тионилхлоридным элементам метод прогнозирования саморазряда по начальному участку вольт-амперной кривой ХИТ может иметь следующие преимущества:

- малые токи разряда (вплоть до микроампер) исключают искажение информации о внутреннем состоянии элементов диффузионными и пассивационными процессами, протекающими на электродах при разряде элементов;

- простое аппаратное оснащение;

- отсутствие необходимости в неприменяемом для литий-тионилхлоридных ХИТ предварительном получении эталонных зависимостей ёмкости разряда от напряжения элемента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведено экспериментальное изучение возможности использования для диагностики саморазряда литий-тионилхлоридных элементов результатов анализа начального участка вольт-амперной кривой, снятой в области малых токов разряда, для чего получены вольтамперные зависимости в диапазоне токов разряда от 20 до 250 мкА свежееизготовленных (срок хранения не более 30 суток с момента заливки электролита) элементов ER14PSB и ER14P с рулонной конструкцией блока электродов.

Испытания элементов проводили в нормальных климатических условиях. Перед снятием начального участка вольт-амперной зависимости элементы выдерживали до стабилизации НРЦ с точностью до 1 мВ. Начальный участок вольт-амперной кривой получали, разряжая элемент на переменное сопротивление. Значение сопротивления уменьшали от 14 МОм до величины, при которой напряжение элемента при разряде становилось меньше значения НРЦ элемента на 0.001 В.

На рис. 1 приведён начальный участок вольт-амперной кривой одного из элементов, иллюстрирующий положение точки указанного отклонения. Полученные данные показывают, что при изменении тока разряда от нулевого до некоторого значения величина напряжения элемента остаётся равной значению НРЦ до тысячной вольта. С некоторых значений тока напряжение разряда начинает уменьшаться относительно измеренного значения НРЦ. Величину тока разряда, приводящую к изменению напряжения элемента на одну тысячную вольта, условно назвали током реагирования ($I_{\text{реаг}}$).

Было сделано предположение, что чем выше значение тока реагирования элемента, тем большим саморазрядом он обладает. Это связано с тем, что чем интенсивней протекает саморазряд, тем активнее рабочие поверхности электродов, в частности литиевого, поскольку токи саморазряда (токи утеч-

ки) приводят к частичному разрушению пассивирующих плёнок. Одновременно с поляризацией при ионизации лития на литиевом электроде происходит и процесс поляризации при восстановлении хлористого тионила на угольном электроде, который повышает внутреннее сопротивление элемента, в том числе за счёт процесса перенапряжения при диффузии через продукты реакции.

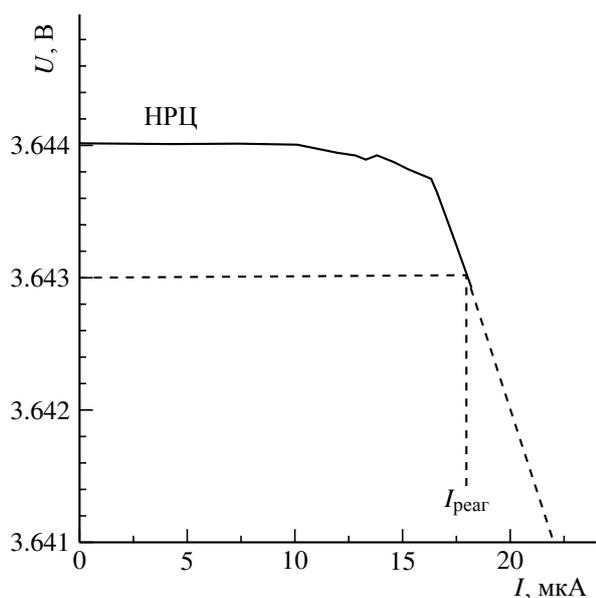


Рис. 1. Начальный участок вольт-амперной кривой литий-тионилхлоридного элемента

Fig. 1. The initial section of the current-voltage curve of the lithi-um-thionyl chloride element

Однако, учитывая, что площадь угольного электрода значительно превышает площадь литиевого электрода, влияние увеличения сопротивления на угольном электроде пренебрежимо мало.

Можно предположить, что разрушение пассивирующих плёнок в целом приводит к уменьшению внутреннего сопротивления элемента, а значит, к увеличению $I_{\text{реак}}$. Отсюда следует, что изменение значения тока реагирования свидетельствует о взаимосвязи со скоростью саморазряда элементов относительно среднестатистического базового значения для данного типоразмера.

Для подтверждения сделанных предположений были определены значения тока реагирования каждого из испытанных эле-

ментов ER14PSB и ER14P и их значения для некоторых элементов соотнесены со значениями ёмкости, оставшейся после хранения.

В табл. 1 приведены значения НПЦ и тока реагирования свежизготовленных элементов ER14PSB. По значениям тока реагирования все элементы разбиты на три группы – до 25 мкА; 25–70 мкА; 70–250 мкА.

Таблица 1 / Table 1

Значения НПЦ и тока реагирования свежизготовленных элементов ER14PSB

The values of the OCP and the response current of the freshly prepared elements of ER14PSB

Группа 1			Группа 2			Группа 3		
№ элемента	НПЦ, В	$I_{\text{реак}}$, мкА	№ элемента	НПЦ, В	$I_{\text{реак}}$, мкА	№ элемента	НПЦ, В	$I_{\text{реак}}$, мкА
15	3.641	17	12	3.644	25	35	3.651	70
38	3.647	17	27	3.648	25.5	36	3.652	84
39	3.649	13	31	3.649	34	44	3.650	60
40	3.649	13	32	3.65	32	46	3.659	250
41	3.646	20	33	3.646	25	–	–	–
42	3.650	4	34	3.647	25	–	–	–
43	3.646	10	–	–	–	–	–	–
45	3.648	20	–	–	–	–	–	–

В табл. 2 приведены значения НПЦ и тока реагирования свежизготовленных элементов ER14P. По значениям тока реагирования все элементы разбиты на три группы – до 70 мкА; 70–100 мкА; выше 100 мкА.

Нами допускается, что широкий диапазон значений $I_{\text{реак}}$ элементов может быть связан с особенностями процессов саморазряда. Причинами саморазряда могут быть внутренние токи утечки через изолирующее стеклянное кольцо гермовывода элемента, сепаратор, а также через сепараторные прокладки, изолирующие токоотводы и блок электродов. Неизбежная технологическая неоднородность элементов обуславливает различные значения токов утечки. При длительном хранении указанные токи утечки должны приводить к раз-

Таблица 2 / Table 2

Значения НРЦ и тока реагирования свежеизготовленных элементов ER14P
The values of the OCP and the response current of the freshly prepared elements of ER14P

Группа 1			Группа 2			Группа 3								
№ эле-мента	НРЦ, В	I _{реак} , мкА	№ эле-мента	НРЦ, В	I _{реак} , мкА	№ эле-мента	НРЦ, В	I _{реак} , мкА	№ эле-мента	НРЦ, В	I _{реак} , мкА	№ эле-мента	НРЦ, В	I _{реак} , мкА
7253	3.644	20	7251	3.643	76	7256	3.640	222	7273	3.664	101	7292	3.644	156
7254	3.644	65	7252	3.643	75	7260	3.642	103	7275	3.644	108	7293	3.643	139
7255	3.643	22	7263	3.645	85	7261	3.645	140	7276	3.644	182	7294	3.644	147
7257	3.644	55	7265	3.641	84	7264	3.644	103	7277	3.644	241	7295	3.642	109
7274	3.641	68	7269	3.642	79	7266	3.640	109	7278	3.644	225	7301	3.646	103
7280	3.646	57	7279	3.645	78	7267	3.641	101	7281	3.654	172	7304	3.647	119
7283	3.683	61	7282	3.644	76	7268	3.640	115	7284	3.644	243			
7296	3.648	52	7289	3.646	100	7270	3.643	127	7285	3.643	147			
7297	3.647	34	7290	3.647	87	7271	3.644	208	7286	3.643	139			
7298	3.646	32	7299	3.646	99	7272	3.642	133	7288	3.650	100			

личной величине потери ёмкости элементов вследствие саморазряда.

Результаты разрядов отдельных элементов после хранения, представлены

в табл. 3 и 4 и на рис. 2 и 3. Хранение осуществлялось в нормальных климатических условиях.

Таблица 3 / Table 3

Результаты разрядов элементов ER14PSB свежеизготовленных и после хранения
Results of discharges of ER14PSB elements of freshly prepared and after storage

Группа	Номер элемента	НРЦ, В	Ток, А	Время разряда, ч	Ёмкость, А·ч
Свежеизготовленные					
I группа	15	3.64	0.1	49.30	4.9
II группа	12	3.64	0.1	44.80	4.5
Хранение 6 месяцев					
I группа	38	3.65	0.1	46.38	4.64
	41	3.65	0.1	46.58	4.66
III группа	44	3.65	0.1	45.20	4.52
Хранение 12 месяцев					
I группа	42	3.65	0.1	44.10	4.41
II группа	32	3.65	0.1	43.70	4.37
III группа	46	3.65	0.1	9.50	0.95
Хранение 24 месяца					
I группа	40.43	3.65	0.1	40.10	4.01
II группа	31.27	3.65	0.1	35.68	3.56
III группа	36.35	3.65	0.1	35.89	3.58

Примечание. Элемент ER14PSB из группы III, испытанный после 12 месяцев хранения, имел самый высокий ток реагирования – 250 мкА.

Таблица 4 / Table 4

Результаты разрядов элементов ER14P свежизготовленных и после хранения
Results of discharges of ER14P elements of freshly prepared and after storage

Группа	Номер элемента	τ, ч	НРЦ, В	Ток, А	Ёмкость, А·ч
Свежизготовленные					
I	7297	20.20	3.67	0.25	5.05
II	7289	20.80	3.67	0.25	5.20
III	7285	19.88	3.67	0.25	4.97
	7293	20	3.67	0.25	5.00
Хранение 6 месяцев					
I	7254	20.80	3.67	0.25	5.20
II	7282	19.50	3.67	0.25	4.87
	7283	19.80	3.67	0.25	4.95
III	7284	19.20	3.67	0.25	4.80
	7288	18.70	3.67	0.25	4.67
	7289	19.50	3.67	0.25	4.87
Хранение 12 месяцев					
I	7253	15.60	3.67	0.25	3.90
	7255	17.20	3.67	0.25	4.30
II	7265	16.40	3.67	0.25	4.10
	7279	14.80	3.67	0.25	3.70
III	7261	15.20	3.67	0.25	3.80
	7301	15.20	3.67	0.25	3.80
Хранение 18 месяцев					
I	7274	16.40	3.67	0.25	4.10
II	7299	15.20	3.67	0.25	3.80
	7290	12.80	3.67	0.25	3.20
III	7277	15.60	3.67	0.25	3.90
	7278	15.20	3.67	0.25	3.80

Сопоставление значений тока реагирования свежизготовленных элементов со значениями ёмкости, отданной ими после хранения, показывает, что саморазряд выше у элементов, которые имели повышенные значения тока реагирования. Элементы групп II и III при хранении потеряли более значительную ёмкость, чем элементы группы I.

Результаты исследования разобранных элементов с повышенным саморазрядом показывают, что основными причинами высокой скорости саморазряда являются «токи утечки» за счёт внутренних коротких замы-

каний электродов электропроводными мостиками, образующимися вследствие производственных отклонений, допущенных при изготовлении элементов. В первую очередь это обугливание прокладок из сепарационного материала при заваривании крышек, деформация и разрывы сепараторов, не приводящие к КЗ при сборке элементов до момента заливки, образование электропроводных мостиков в микротрещинах стеклянной изоляции гермовывода положительного электрода через крышку элемента и т. д. Процесс саморазряда активизирует электроды, что приводит к высоким зна-

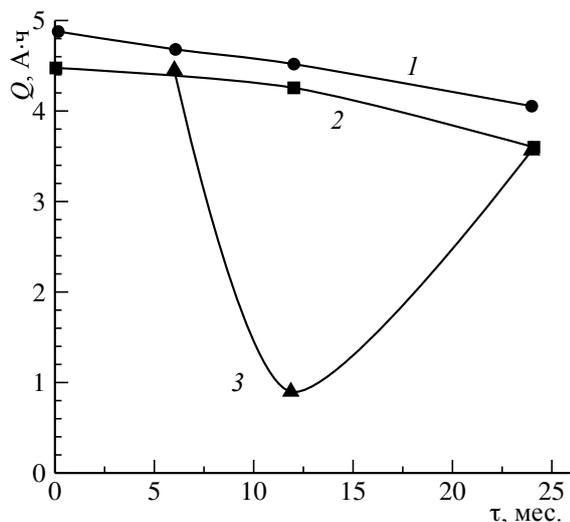


Рис. 2. Изменение значений ёмкости ER14PSB разных групп при хранении: 1 – I группа, 2 – II группа, 3 – III группа

Fig. 2. Change of ER14PSB capacity values of different groups during storage: 1 – I group; 2 – II group; 3 – III group

чениям тока реагирования. Это обстоятельство можно использовать для диагностики элементов по значениям тока реагирования. По вышеописанной методике можно выявлять и отбраковать свежизготовленные элементы с большими токами реагирования, а значит, и с высоким саморазрядом, обусловленным внутренними шунтирующими электродами электропроводными мостиками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённых исследований установлена зависимость между вели-

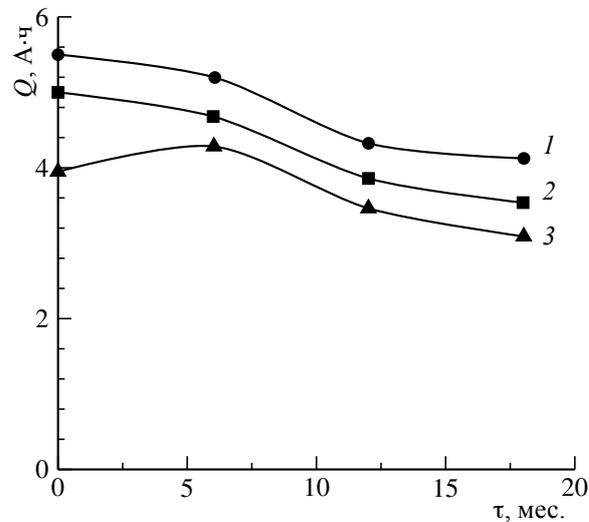


Рис. 3. Изменение значений ёмкости ER14P разных групп при хранении: 1 – I группа, 2 – II группа, 3 – III группа

Fig. 3. Change of ER14P capacity values of different groups, during storage: 1 – I group; 2 – II group; 3 – III group

чиной саморазряда литий-тионилхлоридных элементов и значением тока вольт-амперной зависимости, при котором происходит смещение напряжения разряда на одну тысячную вольта относительно НРЦ элемента. Ток, при котором происходит указанное смещение напряжения на 0.001 В, условно назвали «током реагирования». На основании обнаруженной зависимости предложена методика для диагностики саморазряда литий-тионилхлоридных элементов, которая проста и быстра в реализации, а также позволяет автоматизировать процесс анализа элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Device indicating the time remaining of the useful of battery: Pat. 4625175, US: МКИ G01 N27/46; НКИ 324/430/ Smith Leonard S; Recreating Technologies Inc.; заявл. 14.07.83; опубл. 25.11.86.

2. Способ контроля разряженности стартерного серебряно-цинкового аккумулятора и устройства для его осуществления: а.с. 1075334, СССР, МКИ

H01 M10/42, 10/32 / В. Л. Гераськов; заявл. 21.06.82; опубл. 23.02.84, Бюл. «Изобретения».

3. Electronic battery testing device and method for testing batteries: Pat. 6037778, US, МПК⁷ G01 N27/416 / Makhija Surender K.; STAT Engineering Co. L,L.C; заявл. 05.11.1997; опубл. 14.03.2000.

4. Battery Capacity Measurement: Pat. 2350686, UK, МПК⁷ G01 R31/36; НПК G14 / Anbuku Adnan,

Pascoe Philip; Swichtec Power Systems Ltd.; заявл. 03.06.1999; опубл. 06.12.2000.

5. Battery pack, battery remaining capacity detection method and application device driven with battery pack as power source: Pat. 6064182, US, МПК⁷ H01 M10/44; НПК 320/32 / Eguchi Yasuhito; Sony Corp.; заявл. 11.06.1998; опубл. 16.05.2000.

6. Sandifer James R. Slate-of-charge measurement of the lithium-carbon monofluoride battery by chronopotentiometry // J. Appl. Electrochem. 1986. Vol. 16, № 2. P. 307–308.

7. Способ определения ёмкости химического источника тока: а.с. 997143, СССР: МКИ H01 M10/48 / В. М. Соловьев; заявл. 01.12.80; опубл. в Б. И. 15.02.83, Бюл. 6. 3 с.

8. Metverfahren zur Bestimmung der Qualität einer Batterie: application 3516498, DE, МКИ G01 M31/36 / Tufhorn Hans; Accumulator en fabric Sonnenschein GmbH; заявл. 08.05.85. опубл. 20.11.86.

9. Способ определения остаточной ёмкости свинцового аккумулятора: пат. 2182388, РФ: МПК⁷ H01M 10/42, G01 R31/36 / Маслов М. Д. № 2000132131/09; заявл. 20.12.2000; опубл. 10.05.2002.

10. Способ определения остаточной ёмкости химического источника тока: а.с. 1003208, СССР, МКИ H01M 10/42 / Б. Я. Козинцев; заявл. 27.07.81; опубл. в Б. И. 1983, Бюл. 9.

11. Шехтман А. З. Спектр начальных внутренних сопротивлений литиевого источника тока при разряде током различной плотности // Электрохимия. 1991. Т. 27, вып. 2. С. 284–286.

12. Automatic battery detection system and method for detecting a rechargeable battery with low remaining charge: application 1065774, CA, МПК⁷ H02 J7/00 / Fischer D., Carkner S.; Research In Motion Ltd; заявл. 22.06.2000; опубл. 18.03.2009.

13. Electronic battery tester: Pat. 5914605, US, МПК⁶ G01 N27/416, H01 M10/48; НПК 324/439 / Bertness Kevin I.; Midronics. Inc.; заявл. 12.01.98; опубл. 22.06.99.

14. Determining state of charge of battery connected to charger involves forming ratio of battery voltage and load current differences for two different charger output voltages at same temperature: application 19903239, DE, МКИ G01 R31/36; H01 M10/44 / Vetter Mike, Miels Torsten; заявл. 27.01.1999; опубл. 10.08.2000.

15. Optimized method for determining remaining life cycles in a rechargeable battery: Pat. 6023150, US, МПК⁷ H01 M10/44, НПК 320/132 / Demuro David M., Patino J., Simpson Rassel L.; Motorola Inc.; заявл. 31.07.1998; опубл. 08.02.2000.

16. Lithium cell having continuous depletion gauge: Pat. 4515873, US, МКИ H01 M10/48 / De Haan Abel; Cordis Corp; заявл. 28.07.83; опубл. 07.05.85.

17. Electrochemical cell having continuous depletion gauge: Pat. 4544613, US, МКИ H01 M10/48; YRB 429/91 / De Haan Able; Cordis Corp.; заявл. 08.11.84; опубл. 01.10.85.

18. Vorrichtung zur Bestimmung des Ladungszustand eines Akkumulators: Pat. 2016031, DE: H01 M10/48 / Piske G.; Akkumulator en fabric Sonnenschein GmbH; заявл. 03.04.70; опубл. 21.06.79.

19. Method of determining battery life: Pat. 4438182, US, МКИ H01 M6/00; НКИ 42991 / Paraxian Harold A.; USA Secretary of the Air Force.; заявл. 30.09.82; опубл. 20.03.84.

20. Dispositif et procede de mesure externe, sans contact electrique de l'etat de charge d'un accumulateur electrique: application 27379223, FR: МКИ⁶ G01 R31/36 / Willman P., Metrot A., Mancier V.; Centre National d'Etudes Spatiales; заявл. 16.08.95; опубл. 21.02.97.

21. Use of ir (thermal) imaging for determining cell diagnostic: Pat. 5483068, US, МКИ⁶ G01 J5/00, G01 N25/72, H01 M10/48; НКИ 290/340 / Monlhton R. D., Chabner Gill B.; заявл. 07.01.94; опубл. 09.01.96.

22. Нижниковский Е. А. Неразрушающий контроль качества химического источника тока с использованием метода микрокалометрии // Электрохимическая энергетика. 2003. Т. 3, № 2. С. 80–85.

REFERENCES

1. Device indicating the time remaining of the useful of battery. Pat. US, no. 4625175, G01 N27/46. Smith Leonard S.; Recreating Technologies Inc. Smith Leonard S. 1986.

2. Sposob kontrolya razriazhennosti starternogo serebriano-tsinkovogo akkumuliatora i ustoroistva dlia ego osushchestvleniya [Method for controlling the discharge of a starter silver-zinc battery and a device for its implementation.]. A.s. SSSR, no. 1075334. H01 M10/42, 10/32. V. L. Geras'kov. 1984 (in Russian).

3. Electronic battery testing device and method for testing batteries. Pat. US, no. 6037778, G01 N27/416. Makhija Surender K. 2000.

4. Battery Capacity Measurement. Pat. UK no. 2350686, G01 R31/36. Anbuku Adnan, Pascoe Philip. 2000.

5. Battery pack, battery remaining capacity detection method and application device driven with battery pack as power source. Pat. US, no. 6064182, H01 M10/44. Eguchi Yasuhito. 2000.

6. Sandifer James R. Slate-of-charge measurement of the lithium-carbon monofluoride battery by chronopo-

tentiometry. *J. Appl. Electrochem.*, 1986, vol. 16, no. 2, pp. 307–308.

7. *Sposob opredeleniia emkosti khimicheskogo istochnika toka* [Method for determining the capacity of a power source.] A.s. SSSR, no. 997143, H01 M10/48. Solo'ev V. M. 1983 (in Russian).

8. *Metverfahren zur Bestimmung der Qualitat einer Batterie*. Application DE no. 3516498, G01 M31/36. Tuphorn Hans. 1986.

9. *Sposob opredeleniia ostatochnoi emkosti svintsovogo akkumulatora* [Method for determining the residual capacity of a lead-acid battery]. Patent RF, no. 2182388, H01M 10/42, G01 R31/36. M. D. Maslov. 2002 (in Russian).

10. *Sposob opredeleniia ostatochnoi emkosti khimicheskogo istochnika toka* [Method for determining the residual capacity of a power source]. A.s. no. 1003208, SSSR, H01 M10/42. K. L. Kozintsev 1983 (in Russian).

11. Shekhtman A. Z. Spektr nacha'nikh vnutrennikh soprotivlenii litievogo istochnika toka pri razriade tokom razlichnoi plotnosti [Spectrum of initial internal resistances of a lithium current source at discharge by a current of various density]. *Elektrokhimiya* [Electrochim], vol. 27, no. 2, pp. 284–286 (In Russian).

12. *Automtic battery detection system and method for detecting a rechargeable battery with low remaining charge*. Application Ep, no. 1065774, H02 J7/00. D. Fischer, S. Carkner. 2001.

13. *Electronic battery tester*. Pat. US, no. 5914605, G01 N27/416, H01 M10/48. Bertness Kevin I. 1999.

14. Vetter Mike., Miels Torsten. *Determining state of charge of battery connected to charger involves*

forming ratio of battery voltage and load current differences for two different charger output voltages at same temperature. Application DE, no. 19903239, G01 R31/36, H01 M10/44, 2000.

15. *Optimized method for determining remaining life cycles in a rechargeable battery*. Pat. US, no. 6023150, H01 M10/44. Demuro David M., Patino J., Simpson Russel L. 2000.

16. *Lithium cell having continuous depletion gauge*. Patent US, no. 4515873, H01 M10/48. De Haan Abel. 1985.

17. *Electrochemical cell having continuous depletion gauge*. Pat. US, no. 4544613, H01 M10/48. De Haan Abel. 1985.

18. *Vorrichtung zur Bestimmung des Ladungszustand und eaines Akkumulators*. Pat. DE, no. 2016031, H01 M10/48. Piske Gunter. 1979.

19. *Method of determining battery life*. Pat. US, no. 4438182, H01 M6/00. Papaxian Harold A. 1984.

20. *Dispositif et procede de mesure externe, sans contact electrique de l'etat de charge d'un accumulateurelectrique*. Application FR, no. 27379223, G01 R31/36. P. Willman, A. Metrot, V. Mancier. 1997.

21. *Use of ir (thermal) imaging for determining cell diagnostic*. Pat. US, no. 5483068, G01 J5/00, G01 N25/72, H01 M10/48. Monlhton R. D., Chabner Gill B. 1999.

22. Nizhnikovskii E. A. Nerazrushaiushchii kontrol' kachestva khimicheskogo istochnika toka s ispol'zovaniem metoda mikrokalorii [Microcalorimetry as non-destructive test for batteries]. *Elektrokhimicheskai energetika* [Electrochemical energetics], 2003, vol. 3, no. 2, pp. 80–85 (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Федотов Дмитрий Борисович – кандидат технических наук, заместитель директора, главный конструктор, ОАО ИФ «Орион-ХИТ», Новочеркасск. Служебный тел.: (8635) 24-32-70, e-mail: orion-hit@mail.ru

Ялюшев Николай Исмаилович – кандидат технических наук, доцент, ЮРГПУ (НПИ) имени М. И. Платонова, Новочеркасск. Служебный тел.: (8635) 24-32-70, e-mail: orion-hit@mail.ru

Мафтей Александр Николаевич – начальник сектора, ОАО ИФ «Орион-ХИТ», Новочеркасск. Служебный тел.: (8635) 24-32-70, e-mail: orion-hit@mail.ru

Маковецкий Дмитрий Валерьевич – младший научный сотрудник, ОАО ИФ «Орион-ХИТ», Новочеркасск. Служебный тел.: (8635) 24-32-70, e-mail: orion-hit@mail.ru