

Перспективы использования химических источников тока для электропитания автономной радиоэлектронной аппаратуры

Евгений Нижниковский (Москва)

В статье даётся обзор современных химических источников тока (гальванических элементов и аккумуляторов) для обеспечения автономного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Автор приводит варианты организации электропитания различных типов аппаратуры и обсуждает вопросы обеспечения надёжности и безопасности автономных блоков питания.

Перспективы развития автономной техники во многих случаях определяются эксплуатационными характеристиками обеспечивающих их работоспособность источников электропитания. Автономное питание чаще всего обеспечивается с использованием химических источников тока (ХИТ). В связи с этим состояние и перспективы практического использования ХИТ являются предметом постоянного интереса разработчиков и пользователей радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

К настоящему времени разработаны многочисленные варианты ХИТ, отличающиеся размерами, конструктивными особенностями и природой протекающих в них токообразующих электрохимических реакций [1–4] (табл. 1). В зависимости от конкретного исполнения меняются характеристики и эксплуатационные параметры. Такое разнообразие вполне оправданно, так как ХИТ используются в разнообразных условиях эксплуатации и каждая

область применения имеет свои специфические особенности.

Этот перечень электрохимических систем не является полным, однако приведённые системы в той или иной мере использовались при создании практических ХИТ. По принципу работы ХИТ делятся на группы: первичные и вторичные, или аккумуляторы. Первичные ХИТ после разряда до конечного напряжения подлежат утилизации, вторичные же после разряда могут быть многократно заряжены для продолжения работы. Выделяют класс электрохимических генераторов, основу которых составляют топливные элементы. Они работают с использованием активных компонентов, постоянно подводимых извне. Чётко выраженной границы между указанными группами ХИТ нет: некоторые типы первичных элементов могут быть подзаряжены, в то же время аккумуляторы иногда разряжаются только один раз (например, в торпедах). Выбирая между аккумуляторами и первичными элементами, конструкторы аппаратуры обыч-

но учитывают, что первые, как правило, обладают большей мощностью, в то время как первичные элементы – более высокой удельной энергией.

Основные критерии качества ХИТ можно сформулировать так:

- удельная энергия;
 - сохраняемость;
 - диапазон рабочих температур;
 - ресурс (количество циклов заряда-разряда) для аккумуляторов.
- Всего в технических условиях и ГОСТах нормируется около 20 характеристик ХИТ:
- напряжение разомкнутой цепи (НРЦ);
 - разрядное напряжение или напряжение, измеренное при разряде на определённую нагрузку через определённый промежуток времени;
 - среднее разрядное напряжение;
 - начальное напряжение разряда;
 - конечное напряжение разряда;
 - ток разряда или сопротивление внешней цепи;
 - продолжительность работы или ёмкость;
 - сохраняемость (срок службы);
 - диапазон рабочих температур;
 - снижение продолжительности разряда в конце срока сохраняемости (саморазряд) и др.

В ГОСТе на ХИТ [5] приводится более 50 терминов в отношении ХИТ. Однако определяющими являются приведённые выше четыре. От их значений зависит перспектива применения конкретного ХИТ в АБП конкретного изделия.

Выбор оптимального источника электропитания для конкретного использования возможен при условии знания эксплуатационных параметров и особенностей эксплуатации основных классов ХИТ [2, 4].

Наиболее известными и распространёнными первичными ХИТ являются марганцево-цинковые элементы. Более 150 лет известны элементы с соевым электролитом и батареи на их основе. Их невысокие эксплуатационные характеристики (удельная энергия до 100 Вт ч/дм³, срок службы до 2 лет) с лихвой компенсируются низкой стоимостью и простотой изготовления.

Таблица 1. Основные типы химических источников тока

Химические источники тока		
первичные	вторичные	генераторы
Диоксид марганца-цинк	Свинцовые	Водородно-кислородные
Оксид ртути-цинк	Никель-железные	Гидразин-воздух
Оксид серебра-цинк	Никель-кадмиевые	Метанол-воздух
Кислород (воздух)-цинк	Никель-металлгидридные	Оксид углерода-кислород
Водоактивируемые	Никель-водородные	Гидриды металлов-воздух
Диоксид марганца-литий	Никель-цинковые	
Фторуглерод-литий	Серебряно-цинковые	
Оксид меди-литий	Серебряно-кадмиевые	
Хромат серебра-литий	Литиевые	
Сульфид меди-литий	Литий-ионные	
Дисульфид железа-литий	Литий-полимерные	
Иод-литий	Воздушно-цинковые	
Дисульфид молибдена-литий	Бромно-цинковые	
Дисульфид титана-литий	Высокотемпературные	
Оксид ванадия-литий	Марганцево-цинковые	
Оксид молибдена-литий	Электрохимические конденсаторы	
Тионилхлорид-литий		
Диоксид серы-литий		
Сульфурилхлорид-литий		

Модификация марганцево-цинковых элементов со щелочным электролитом имеет в 1,5...2 раза более высокую ёмкость и мощность. Современные технологии и конструкции, применяемые рядом ведущих зарубежных фирм (Energizer, Duracell, Sony), позволили ещё более повысить эксплуатационные параметры марганцево-цинковых ХИТ. Основным производителем солевых и щелочных элементов в нашей стране является АО «Энергия», г. Елец.

На замену марганцево-цинковым элементам 40 лет назад разработаны ртутно-цинковые источники тока. По удельной энергии (300 Вт ч/дм³) и сроку службы (до 5 лет) они превосходят марганцево-цинковые аналоги и не уступают им по другим параметрам. Однако при их разряде выделяется металлическая ртуть, крайне опасная в экологическом отношении. Попадая на элементы монтажа РЭА, она выводит её из строя. В последние годы производители этих элементов (в России это АО «Энергия», г. Елец и НПП «Квант», г. Москва) сократили их производство.

Более высокими эксплуатационными параметрами обладают ХИТ с анодами на основе лития. Промышленный выпуск литиевых источников тока начал в 70-х годах прошлого столетия [1–4]. Из-за уникальных эксплуатационных возможностей они быстро заняли ведущее место в электропитании целого ряда направлений техники. Их технические характеристики обусловлены использованием в указанных источниках тока высокоэнергетических электродных материалов, новых конструкционных материалов и передовых технологий. В зависимости от типа применяемых электродных материалов и электролитов различают:

- литиевые элементы с неорганическим электролитом (литий-тионилхлорид, литий-диоксид серы и т.д.);
- литиевые элементы с органическим электролитом (литий-фторуглерод, литий-диоксид марганца, литий-триоксид молибдена и т.д.);
- литиевые элементы с твёрдым электролитом (литий-йод).

Наиболее высокими техническими параметрами из промышленно выпускаемых образцов обладают элементы системы литий-тионилхлорид. Они имеют разрядное напряжение 3,4 В, срок службы до 15 лет, высокую работоспособность при отрицательных температурах, низкий саморазряд (до 3% в год) и высокую мощность. Эlemen-

ты системы литий-тионилхлорид имеют самую высокую из используемых при производстве ХИТ систем удельную энергию свыше 1000 Вт ч/дм³. Их применение вместо ХИТ традиционных систем приводит к повышению технических возможностей и срока службы изделий, а также улучшению их массогабаритных характеристик.

В нашей стране налажен выпуск целого ряда миниатюрных тионилхлоридных ХИТ ёмкостью от 0,12 А ч (ER14135) до 18,5 А ч (ER20C). Есть опыт выпуска элементов с ёмкостью несколько сотен ампер-часов. Особенностью элементов этой системы является то, что тионилхлорид одновременно служит и растворителем, и активным материалом катода, что приводит к весьма высоким показателям удельной энергии. Параметры выпускаемых в г. Новочеркасск тионилхлоридно-литиевых элементов приведены в табл. 2.

Наряду с безусловными положительными качествами тионилхлоридно-литиевых ХИТ им присущи и некоторые недостатки, учёт которых необходим при планировании их использования. Главным из них является взрывоопасность. При нарушении правил эксплуатации и хранения элементов (короткие замыкания, перегрев, глубокий разряд, заряд, механические повреждения и т.д.) возможны взрывы, опасные разрушением аппаратуры и поражением людей. С целью повышения взрывобезопасности элементов в последние годы разработчики выполнили ряд действенных мероприятий [4, 8], что позволило практически полностью исключить самопроизвольные и немотивированные взрывы.

Другим недостатком тионилхлоридных элементов является наличие начальных «провалов» напряжения. Они затрудняют работу ряда изделий, которые требуют полной мощности непосредственно с момента включения. Наиболее заметны «провалы» у элементов по-

сле длительного хранения либо находившихся в условиях повышенных температур. Показано, что предварительный небольшой подзаряд элементов способствует снятию «провалов» напряжения.

Наряду с тионилхлоридными элементами, ряд зарубежных фирм выпускает элементы системы литий-диоксид серы. Они несколько уступают первым по удельной энергии (525 Вт ч/дм³) и разрядному напряжению (2,7 В), однако считаются более взрывобезопасными. «Провалы» напряжения наблюдаются и для элементов данной системы.

По конструкторским решениям различают цилиндрические, дисковые и призматические конструкции, рулонные и набивные. Рулонные источники имеют электроды малой толщины и большой площади, что обеспечивает повышенную их мощность. Набивные ХИТ имеют электроды малой площади, обладают низкой мощностью, но повышенной удельной энергоёмкостью ввиду более рационального использования всего объёма элементов.

Для электропитания РЭА оправдано использование литиевых ХИТ с органическим электролитом, которые по основным эксплуатационным параметрам (напряжению, удельной энергии и мощности) несколько уступают образцам на основе тионилхлорида. Это элементы с катодами на основе фторуглерода (CF_x)_m, диоксида марганца MnO₂, триоксида молибдена MoO₃, оксида меди CuO и т.д. Они имеют длительный срок службы (10 – 15 лет) и более дешевы, чем тионилхлоридно-литиевые.

Литиевые элементы с твёрдым электролитом отличаются длительным сроком службы (10 – 20 лет), однако имеют весьма малую мощность. Они используются для питания электрокардиостимуляторов, возможно их при-

Таблица 2. Тионилхлоридно-литиевые элементы фирмы «ОРИОН-ХИТ»

Тип элемента	Номинальная ёмкость, А ч	Масса, г	Ток номинальный (максимальный), А	Срок службы, лет
ER14135	0,12	8,5	0,004 (0,25)	12,5
ER14235	0,4	12,5	0,015 (0,25)	12,5
ER6S	1,2	20	0,003 (0,25)	3
ER6P	1,2	20	0,01 (0,25)	3
ER6C	2,25	20	0,0001 (0,1)	10
ER14S	5,5	55	0,01 (2,0)	3
ER14P	4,5	55	0,1 (2,0)	3
ER14PS	3,8	55	0,25 (10,0)	3
ER14C	8,5	55	0,0005 (0,5)	10
ER20S	13,0	110	0,015 (3,0)	3
ER20P	10,0	110	0,25 (3,0)	3
ER20C	18,5	115	0,001 (1,0)	10

менение в системах сохранения памяти в компьютерах.

Производство литиевых элементов освоено в нескольких научно-производственных центрах страны: «ОРИОН-ХИТ», г. Новочеркасск; НПП «Квант», г. Москва; ОАО НИИИ «Источник», г. С.-Петербург; АО «Альтэн», г. Электроугли; НПП «Литий», г. Дубна и др.

В табл. 3 приведены эксплуатационные характеристики ряда первичных ХИТ системы литий-диоксид марганца, разработанных фирмой «ОРИОН-ХИТ», г. Новочеркасск.

Использование новых ответственных и дорогостоящих типов техники потребовало повышенного внимания к надёжности и безотказности блоков питания. В этой связи остро встаёт задача мониторинга состояния ХИТ в процессе хранения и разряда, а также исследования их состояния перед постановкой в аппаратуру. Повышение надёжности и долговечности АБП путём проведения мониторинга состояния каждого элемента (аккумулятора) в батарее было достигнуто при использовании специально разработанных устройств [6].

Более широко в качестве основы автономного электропитания в последние годы используются вторичные химические источники тока. Они уступают первичным по удельной энергии, однако возможность перезаряда, высокая мощность и надёжность обеспечивают достаточно широкий и устойчивый круг потребителей аккумуляторной техники.

Рассмотрим перспективы использования основных типов вторичных

ХИТ для обеспечения электропитания автономной техники.

Свинцовые аккумуляторы отличаются высоким и стабильным напряжением (2,1 В), мало меняющимся с температурой и с токами нагрузки, высокими мощностью и надёжностью. Основные типы свинцовых аккумуляторов: стартерные, тяговые и стационарные. Все они широко применяются в автономных блоках питания. В последние годы заметно расширяется выпуск герметичных свинцовых аккумуляторов.

Никель-кадмиевые аккумуляторы обладают более высокой удельной энергией и ресурсом (до нескольких тысяч циклов заряда-разряда), чем свинцовые. Наибольшее распространение получили герметичные модификации, надёжные и удобные в эксплуатации. Разрядное напряжение этих аккумуляторов составляет 1,25 В. Герметичные никель-кадмиевые аккумуляторы средних габаритов собираются, как правило, в корпусах, имеющих форму цилиндра или прямоугольной призмы.

Некоторые типы аккумуляторов, в которых при определённых условиях, например при форсированных режимах заряда, может развиваться значительное давление, оснащаются клапанами одноразового или многократного действия или датчиками давления, выдающими сигнал о необходимости прекращения заряда или снижении зарядного тока. В ряде зарубежных моделей аккумуляторов (например, фирмы SAFT, Франция) успешно используются аварийные клапаны давления. В российских аккумуляторах НКГЦ-1,3-2;

НКГЦ-3,5-2 и НКГЦ-6-2 также используются защитные клапаны [3, 8].

Никель-кадмиевые аккумуляторы получили широкое распространение для питания самой различной аппаратуры, стационарной и переносной. Вместе с тем они обладают рядом недостатков, ограничивающих их применение. Так, материал отрицательного электрода – кадмий – токсичен, и его использование в промышленности сокращается. Кроме того, при циклировании аккумуляторов не на полную ёмкость наблюдается так называемый «эффект памяти», когда их разрядная ёмкость заметно снижается [2–4]. Основные параметры отечественных цилиндрических никель-кадмиевых аккумуляторов приведены в табл. 4.

Серебряно-цинковые аккумуляторы превосходят свинцовые и никель-кадмиевые по удельной энергии и мощности, однако уступают по циклируемости и сроку службы. Из-за высокой стоимости в последнее время их использование заметно сократилось. На их место приходят никель-водородные и никель-металлгидридные аккумуляторы, имеющие аналогичные энергетические характеристики, но не содержащие драгоценных или экологически вредных компонентов.

В никель-металлгидридных аккумуляторах (НМА) в качестве электродного материала отрицательного электрода применяются некоторые сплавы, которые образуют соединения с водородом (гидриды) [3, 14]. Как и в никель-кадмиевых аккумуляторах, активным материалом положительного электрода служит гидроксид никеля. Напряжение разомкнутой цепи заряженного НМА находится в пределах 1,30...1,35 В. Номинальное разрядное напряжение U_p при нормированном токе разряда $0,1...0,2 C_n$ при 25°C составляет 1,20...1,25 В, конечное напряжение 1,0 В. Зарядное напряжение при токе $0,3...1 C_n$ лежит в пределах 1,4...1,5 В. В зависимости от типа НМА, режима работы и условий эксплуатации НМА обеспечивают от 500 до 1000 разрядно-зарядных циклов при глубине разряда 80% и имеют срок службы от 3 до 5 лет.

НМА имеют более высокие удельные массовые и объёмные энергетические характеристики, чем никель-кадмиевые аналоги. Вместе с тем, у НМА предел температур уже, допустимые скорости разряда и заряда ниже, они более чувствительны к перезаряду. Стоимость НМА несколько выше стоимости никель-кадмиевых аккумулято-

Таблица 3. Элементы системы литий-диоксид марганца, разработанные «ОРИОН-ХИТ», г. Новочеркасск

Тип	Диаметр (длина), мм	Высота, мм	Ширина, мм	Масса, г	Ёмкость, А ч	Удельная энергия, Вт ч/кг (Вт ч/л)	Ток разряда, А
Цилиндрические							
МРЛГ-1	14,5	50,5	–	20	1,0	125 (300)	0,15
МРЛГ-5	26,2	50,0	–	50	3,0	150 (275)	0,25
МРЛГ-10	34,2	61,5	–	100	8,0	200 (350)	0,50
МРЛГ-150	104,0	170,0	–	2500	100	100 (170)	25,0
Призматические							
МРЛГ-5П	(50)	70	20	130	6,0	120 (230)	0,2
МРЛГ-10П	(135)	100	10	340	10,0	80 (200)	0,2
МРЛГ-15П	(60)	95	50	450	30,0	180 (300)	4,0

Таблица 4. Технические параметры НКГЦ-аккумуляторов ОАО «НИИИ "Источник"»

Параметр	ЦНК-0,9	НКГЦ-1,3-2	НКГЦ-1,8-2	НКГЦ-3,5-2	НКГЦ-3,5-2-1	НКГЦ-6-2	НКГЦ-6-2-1
Номинальная ёмкость, МА ч	0,9	1,3	1,8	3,5	4,0	6,0	6,5
Диаметр, мм	14,0	20,1	25,	33,1	33,1	33,1	33,1
Высота, мм	50,6	61,0	50	61,0	61,0	91,0	91,0
Масса, г	28	65	80	170	170	250	250
Ресурс, циклов	500	500	500	500	500	500	500

ров, однако при пересчёте на единицу ёмкости разница стоимости невелика.

Основными производителями НМА в России являются компания «Ригель», и «Завод Мезон». Ряд аккумуляторов с ёмкостью 0,8...6 А ч и батареи на их основе выпускает АО «Курский завод «Аккумулятор»». Эксплуатационные характеристики дисковых никель-металлгидридных аккумуляторов АК «Ригель» приведены в табл. 5.

Зарубежные производители НМА представлены продукцией фирм: GP Batteries (Китай, Япония), Highstar Chemical Power Source, Ni-Watt Battery Ind. (Китай), Matsushita Battery Industrial, Sanyo Electric (Япония), SAFT (Франция), Varta (Германия). Большую номенклатуру цилиндрических и призматических никель-металлгидридных аккумуляторов выпускает фирма Panasonic.

С целью создания аккумуляторов с более высокой удельной энергией, чем у никель-металлгидридных, с 70-х годов предпринимаются шаги по созданию аккумуляторов с анодами на основе щелочных металлов [1–4]. В настоящее время ограниченный выпуск литиевых аккумуляторов освоен несколькими фирмами в США, Израиля и Японии.

Таблица 5. Эксплуатационные характеристики дисковых никель-металлгидридных аккумуляторов АК «Ригель»

Параметр	НМГД-0,045	НМГД-0,09	НМГД-0,18	НМГД-0,4	НМГД-0,6	НМГД-0,8	НМГД-1,1
Номинальная ёмкость, мА ч	45	90	180	400	600	800	1100
Диаметр, мм	11,6	15,7	20,0	25,2	27,2	34,6	34,6
Высота, мм	5,4	6,6	6,6	9,2	10,3	9,8	9,8
Ток разряда, мА	9	18	36	80	120	160	220
Масса, г	2,4	5,0	7,7	15,0	18,0	31,0	36,0

Большее распространение получили созданные 90-х годах прошлого века литий-ионные аккумуляторы (ЛИА). Они более безопасны в эксплуатации, чем литиевые. В этих аккумуляторах совершенно не содержится металлического лития. Отрицательным электродом служит углеродный материал, в который при заряде внедряются (интеркалируют) ионы лития. Хотя при использовании такой углеродной матрицы несколько снижается напряжение и удельная энергия, отказ от металлического лития повышает безопасность эксплуатации таких источников тока, а также заметно увеличивает их срок службы и ресурс.

Выпускаемые в настоящее время литий-ионные аккумуляторы активно используются для электропитания видеоаппаратуры, портативных компьюте-

ров, сотовых телефонов и т.д. Однако их использование в блоках питания радиоаппаратуры требует выполнения определённых правил и использования некоторых схемотехнических решений [4]. Требуется отключение аккумуляторов по достижению конечного зарядного или зарядного напряжений, а также ограничение токов заряда и разряда.

ЛИА обеспечивают напряжение 3,6 В, которое в три раза превышает напряжение успевших занять прочные позиции Ni-Cd- и Ni-MH-систем. Преимущество высокого напряжения очевидно, поскольку один аккумулятор ЛИА эквивалентен трём Ni-Cd-аккумуляторам, соединённым последовательно. Другое преимущество ЛИА состоит в том, что эта система, являясь литиевой вторичной системой, не использует литий в виде металла. Тем самым устранён не-

достаток аккумуляторов с литиевым анодом, связанный с дендритообразованием, что позволило реально осуществить выход изделий на рынок. Первоначально в качестве катода и анода служили кобальтат лития (LiCoO₂) и кокс (впоследствии замененный на графит).

В процессе заряда ион лития из материала катода (LiCoO₂) мигрирует к аноду и интеркалирует в кристаллическую структуру графита. В процессе разряда ион лития выходит из структуры графита и перемещается от анода к катоду, проникает в кристаллическую структуру материала катода. В

последние годы в качестве катодных материалов предложены литий-марганцевые шпинели LiMn₂O₄, фосфаты металлов и другие материалы. Разработка материалов для ЛИА активно продолжается.

Большинство производителей ЛИА рекомендует хранить их при комнатной температуре при степени заряженности 30...50% с подзарядом раз в год для компенсации саморазряда.

Обычный интервал температур при разряде ЛИА составляет -20...+40°C, а при заряде - 0...40°C. Однако многие производители (SAFT, Yardney, Argonne

и др.) уже декларируют, что ими достигнут рубеж -40°C.

Верхний предел температуры применения литий-ионных батарей ограничен экзотермическим разложением ряда катодных материалов и составляет ориентировочно +60°C.

В последние годы регулярно поступают сообщения о начале производства литий-ионных аккумуляторов в нашей стране и за рубежом. Три типа литий-ионных аккумуляторных батарей производит Верхне-Уфалейский завод «Уралэлемент». Батареи снабжены блоком контроля и защиты, который измеряет напряжение и температуру на каждом аккумуляторе. Характеристики батарей приведены в табл. 6.

Действует линия по производству литий-ионных аккумуляторов в АК «Ригель». Объявлено о начале выпуска ряда аккумуляторов (табл. 7) и батарей на их основе (табл. 8).

Более высокими характеристиками, чем у ЛИА, обладают литий-полимерные аккумуляторы (ЛПА). В их конструкции полимер используется в качестве электролита и сепаратора. Твёрдый полимерный электролит в литиевом аккумуляторе позволяет заметно улучшить его надёжность, ресурс и срок службы. Возможность использования в качестве анода металлического лития приводит к повышению удельной энергии. Однако более высокое выходное сопротивление полимерных электролитов при прочих равных условиях приведёт к снижению мощности ХИТ. Интересны появившиеся в последние годы сообщения некоторых китайских и южнокорейских фирм (КОКАМ) о выпуске ЛПА, способных разряжаться токами до 20 C_н. Имеются также сообщения ряда фирм (например, «Альгаир-нано») о выпуске аккумуляторов, разработанных с применением нанотехнологий и наноматериалов с рядными токами до 100 C_н.

ЛПА использует электролит в виде геля, иммобилизованного в полимерную матрицу, вместо пористого сепаратора из полиолефина. Корпус аккумулятора может быть изготовлен не из стали или алюминия, как в литий-ионных образцах, а из мягкого материала.

Компания Sony выпускает ультратонкие аккумуляторы с гелевым полимерным электролитом (табл. 9). Номинальное напряжение этих аккумуляторов 3,7 В, конечное напряжение разряда 3,0 В, ресурс 500 циклов.

Ресурс обычных коммерческих аккумуляторов достигает 1000 и более

Таблица 6. Технические характеристики литий-ионных батарей

Параметр	7LC-150	7LP-200	7LC-100-2
Номинальная ёмкость, Ач	150	200	200
Номинальное напряжение, В	25,2	25,2	25,2
Ток разряда макс., А	100	100	100
Напряжение макс., В	29,4	29,4	29,4
Напряжение конечное, В	21	21	21
Наработка, циклов	500	500	500
Срок службы, лет	10	10	10
Размеры, мм	795 × 255 × 70	720 × 200 × 310	450 × 400 × 320
Масса, кг	36	32	39

Таблица 7. Технические характеристики ЛИА производства АК «Ригель»

Параметр	ЛИКГП-0,9 ICR 063450	ЛИКГП-1,3 ICR 1033450	ЛИКГП-10 ICR 325582	ЛИКГЦ-1,5С ICR 18650
Номинальная ёмкость, А ч	0,9	1,3	10,0	1,5
Номинальное напряжение, В	3,6			
Номинальный (максимальный) ток разряда, А	0,2 C _н (2 C _н)			
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+40			
Размеры, мм	34,2 × 6,2 × 50	34,2 × 20,1 × 50	55,2 × 32,2 × 80,5	18,2 × 65,0
Масса, г	30	40	350	50
Наработка, циклов	1000			
Срок службы, лет	10			

Таблица 8. Технические характеристики батарей ЛИА производства АК «Ригель»

Параметр	2хЛИКГП-0,9	8ЛИКГП-10	6хЛИКГП-1,5С	10хЛИКГЦ-1,5С
Номинальная ёмкость, А ч	1,8	10	9,0	15,0
Номинальное напряжение, В	13,5	28,8	13,5	13,5
Номинальный ток разряда, А	0,2 C _н			
Максимальный ток разряда, А	0,5 C _н	0,5 C _н	1,0 C _н	1,0 C _н
Диапазон рабочих температур	-40...+40			
Размеры, мм	68 × 40,5 × 57	252 × 82 × 120,5	176,5 × 72,5 × 69	176,5 × 72,5 × 99
Масса, кг	0,28	4,0	1,4	2,3
Наработка, циклов	1000			
Срок службы, лет	10			

Таблица 9. Литий-полимерные аккумуляторы компании Sony

Тип аккумулятора	Номинальная ёмкость, А ч	Размеры, мм	Масса, г
UP325385A4H	1,23	3,2 × 53,0 × 85,0	27,5
UP383562A3	0,65	3,8 × 35,0 × 62,0	15,5
UP383562A5	0,76	3,8 × 35,0 × 62,0	15,5
UP423456A3	0,63	4,2 × 34,0 × 56,0	15,5
UP423469A3	0,80	4,2 × 34,0 × 69,0	19,5
UP423469A4	0,89	4,2 × 34,0 × 69,0	19,5
UP503759A4H	1,00	5,1 × 37,0 × 59,0	20,5
UP523948A4H	0,65	5,2 × 30,0 × 48,0	13,5

циклов, но в ряде случаев он существенно зависит от величины конечного напряжения заряда. Проблем по обслуживанию литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов обычно не возникает, поскольку они герметичны и им не присущ «эффект памяти».

Продолжаются исследования и других электрохимических систем с литиевым анодом. Так, компании Sion Power Corp. и PolyPlus Battery Comp. разработали аккумулятор системы Li/S. Реально достигнутые в промышленном масштабе удельные характеристики составляют 520 Втч/дм³ и 420 Втч/кг для аккумуляторов 2,1 Ач. Эта система представляет также несомненный интерес с точки зрения снижения стоимости.

Известны примеры аккумуляторов электромобилей системы Li/FeS₂ с расплавленным электролитом, функционирующие при температурах 400...500°C. Интерес к этой системе обусловлен тем, что её теоретическая удельная энергия при четырёхэлектронном переносе составляет 1270 Втч/кг, в то же время FeS₂ дешёв и нетоксичен.

Из новых технических решений можно отметить создание литий-воздушно-го перезаряжаемого источника тока. Из-

вестно, что цинк-воздушные и другие металл-воздушные источники тока имеют весьма высокую удельную энергию на уровне показателей литиевых элементов. Использование в этих источниках тока в качестве анода металлического лития приведёт к повышению удельной энергии примерно вдвое. Кроме того, исследователи показали возможность создания перезаряжаемых образцов на данной системе. Создание литий-воздушных источников тока позволило бы в 1,5...2 раза улучшить массогабаритные характеристики питаемой техники, однако работы находятся пока на уровне фундаментальных исследований.

ЛИА и ЛПА имеют устойчивую тенденцию роста в ряде применений, где особое значение для повышения потребительских свойств конечных изделий занимают удельные характеристики. В первую очередь это сегменты сотовой телефонии, портативных компьютеров, видео- и фотокамер. Требования миниатюризации устройств, в первую очередь по толщине, вызвали увеличение доли призматических аккумуляторов, причём растёт доля наиболее тонких типоразмеров. Именно возможность

создания плоских аккумуляторов обусловила дополнительный стимул роста литий-полимерных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. М.: Энергоиздат, 1981.
2. Химические источники тока. Справочник. Под ред. Н.В. Коровина и А.М. Скундина. М.: Изд-во МЭИ, 2003.
3. Нижниковский Е.А. Химические источники автономного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. М.: Изд-во МЭИ, 2004.
4. Нижниковский Е.А. Портативные химические источники тока. М.: «Спутник+», 2008.
5. ГОСТ 15596-82. «Источники тока химические. Термины и определения».
6. Нижниковский Е.А., Шимченко В.А., Кузовов В.В. Обеспечение резервного электропитания автономной радиоэлектронной аппаратуры длительного действия. Электрохимическая энергетика. 2000. № 1. С. 68–73.
7. Скундин А.М., Ефимов О.Н., Ярмоленко О.В. Современное состояние и перспективы развития литиевых аккумуляторов. Успехи химии. 2002. 71 (4). С. 329–346.
8. Нижниковский Е.А. Обеспечение взрывобезопасности литиевых химических источников тока. Электрохимическая энергетика. 2001. № 3. С. 39–44.

