

С. Б. Орлов

Региональный консультационно-технический центр автономных источников тока «Фирма АЛЬФА-плюс»,
Москва, Россия

Дан анализ состояния и развития рынка химических источников тока на основе новых электрохимических систем в сравнении с другими источниками тока

The status and development of the market of chemical power sources based on new electrochemical systems in comparison with other power sources are analyzed.

В России энергетика является одной из системообразующих сфер жизнедеятельности государства: на долю топливно-энергетического комплекса (ТЭК) приходится

- 30% промышленного производства;
- ТЭК даёт 32% консолидированного бюджета,
- 54% федерального бюджета,
- 54% экспорта,
- 45% валютных поступлений.

Поэтому термин «национальная безопасность» имеет для России специфическое содержание. Поскольку страна является крупнейшим мировым экс-

Наряду с первичными энергоносителями (газ, нефть и т. д.) важнейшим энергетическим ресурсом является электроэнергия, способы получения которой сведены в табл. 1

Одними из важных задач так называемой «большой энергетики» являются операции промежуточного хранения перерабатываемого запаса энергии и операции доставки энергии до конечного потребителя, что осуществляется в основном за счет применения автономных источников тока. Конечно, долю, занимаемую химическими и физическими источниками тока в экономике страны, не сравнить с долей «большой энергетики», но надо понимать, что они являются



Рис. 1. Иерархия стратегических рисков

Таблица 1

Способы получения электроэнергии

«Большая энергетика»		«Малая энергетика»												
		Стационарные								Мобильные				
Невозобновляемые		Возобновляемые												
Традиционные				Нетрадиционные (физические источники тока)								Химические источники тока		
Топливо		Вода							Ветер	Солнце		Электроэнергия	Хим. энергия	
ТЭС	АЭС	ГидроЭС	Малые гидроЭС	Приливные	Течения	Энергия волн	Смещение соленой и пресной вод	Геотермальные	Ветроэлектро-станции	Солнечные ЭС	Автономные	Ионисторы	Перезаряжаемые (вторичные, аккумуляторы)	Неперезаряжаемые (первичные)
											Сетевые			

крайне важной ее составной частью, без которой «большой энергетике» в ряде случаев просто невозможно функционировать. Поэтому нельзя оставлять на долю автономных источников тока роль пасынка, о котором известно, что он существует, но которым можно пренебрегать.

К тому же сейчас у всех на устах термины «мобильность», «коммуникация» и ряд столь же популярных терминов, само существование которых невозможно без автономных (в первую очередь химических) источников тока. Или мы будем таскать за собой провода? Но и провода спасут далеко не всегда: существенно возрастают требования к качеству энергообеспечения, что невозможно реализовать без источников бесперебойного питания. От этого напрямую зависит функционирование ряда жизненно важных объектов, уже не опосредованно, а непосредственно влияющих на безопасность страны. И вот, казалось бы, дождались. . .

После долгих обсуждений и доработок в августе 2003 г. была принята «**Энергетическая стратегия России на период до 2020 года**». (Утверждена Распоряжением правительства РФ №1234-р от 28 августа 2003 г.) В документе констатируется:

- Россия располагает значительными запасами энергетических ресурсов и мощным топливно-энергетическим комплексом, который является базой развития экономики, инструментом проведения внутренней и внешней политики. Роль страны на мировых энергетических рынках во многом определяет ее геополитическое влияние.

- Энергетический сектор обеспечивает жизнедеятельность всех отраслей национального хозяйства, способствует консолидации субъектов Российской Федерации, во многом определяет формирование основных финансово-экономических показателей страны.

- Эффективное его использование создает необходимые предпосылки для вывода экономики страны

на путь устойчивого развития, обеспечивающего рост благосостояния и повышение уровня жизни населения.

- Начавшийся экономический рост неизбежно повлечет за собой существенное увеличение спроса на энергетические ресурсы внутри страны, что требует решения унаследованных и накопившихся за годы реформ экономических проблем в условиях глобализации и ужесточения общемировой конкуренции, обострения борьбы за энергетические ресурсы, рынки и др.

- Для долгосрочного стабильного обеспечения экономики и населения страны всеми видами энергии необходима научно обоснованная и воспринятая обществом и институтами государственной власти долгосрочная энергетическая политика.

В упомянутой и долгожданной «Энергетической стратегии России» химические источники тока упоминаются, но только один раз в разделе «Научно-техническая и инновационная политика в ТЭК»:

«Важным направлением исследований является поиск и освоение принципиально новых технологий бестопливной (углеводородной) энергетики:

- развитие водородной энергетики;
- создание химических источников тока».

Такое упоминание вскользь, безусловно, совершенно не заслужено и является следствием того, что разработка и производство ХИТ у нас в стране практически сведены на нет, так что в пору действительно говорить о «создании», а не о развитии отрасли.

Для того чтобы понимать, каково состояние производства источников тока, рассмотрим, что представляет собой сейчас мировой рынок автономной энергетики.

Общий мировой рынок химических источников тока в 2005 г. составил 38 млрд долл. США (рис. 2). При этом существенную долю (13 млрд долл. США) занимают первичные, т. е. неперезаряжаемые элементы и батареи (рис. 3).



Рис. 2. Распределение мирового рынка ХИТ

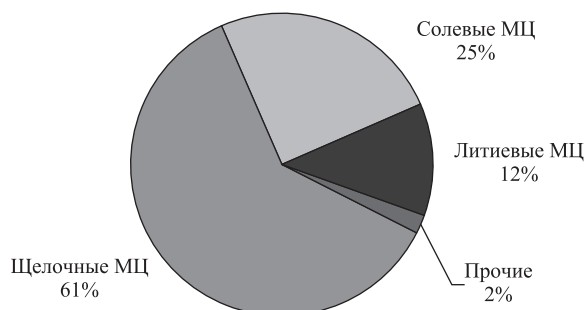


Рис. 3. Первичные элементы и батареи

Основные тенденции развития сегмента первичных систем до 2010 г. это:

- Сохранение объема потребления на ближайшие 2 года на том же уровне в стоимостном выражении (со смещением акцента на литиевые и воздушно-цинковые за счет сокращения доли солевых элементов) при снижении объема потребления в штучном выражении на 20–30%.

- До 2010 г.: потеря наиболее массовых потребителей за счет вытеснения вторичными системами, сокращение объема рынка в стоимостном выражении в 2–3 раза. Первичные системы сохраняют свое значение в устройствах, срок эксплуатации которых может быть обеспечен максимум 1–2 заменами источника тока (часы, измерительная и контрольная аппаратура, оборудование сезонного использования с обязательным регламентным обслуживанием).

Главными причинами такого состояния дел на рынке первичных источников тока являются:

- Достижение вторичными системами (аккумуляторами) практически всех ключевых потребительских показателей: емкости разового цикла, сохраняемости, мощностных параметров, характерных для первичных систем.

- Сближение стоимости Вт·ч вторичных систем с основной массой первичных.

- Изменение менталитета потребителей («необслуживаемый черный ящик», сообщающий о своей

готовности и возможности выполнения задач, которые собирается возложить на него потребитель).

- Изменение приоритета экологических вопросов.

Рынок вторичных систем составляет примерно 25 млн долл. В области промышленных и автомобильных аккумуляторов пока безраздельно господствует свинцово-кислотная система (89%).

Почему она?

На чаше весов лежат, с одной стороны, следующие причины:

- отработанность и привычность системы,
- приемлемая цена,
- наличие относительно больших мировых запасов свинца,
- простота и эффективность переработки старых аккумуляторов.

А с другой стороны:

- необходимость регламентных работ при длительном хранении даже для новых, «безуходных» аккумуляторов,
- невозможность оставления разряженного аккумулятора при низких температурах (весьма частое явление, особенно в регионах нашей страны),
- «нежелательность» глубоких разрядов,
- невозможность прогнозирования выхода из строя,
- экологический фактор,
- невозможность размещения в герметичных отсеках.

Пока при выборе системы у потребителя перевешивает первая группа причин, особенно ценовой показатель.

В области источников тока для портативной техники ситуация несколько иная. Переход на продукцию третьего поколения вызывает резкое повышение требований к характеристикам источников тока (рис. 4).

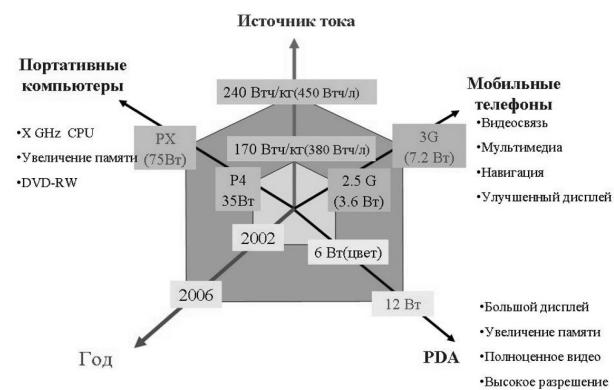


Рис. 4. Рост требований к источнику тока третьего поколения

А производители говорят уже о четвертом поколении, которое требует дальнейшего повышения характеристик по запасу энергии.

В области источников тока специального применения, например в программе перевооружения НАТО Land Warrior, в 1999 г. была поставлена задача достижения следующих показателей:

Год	Удельная энергия, кВт·ч/кг
2003	0.27
2005	1.45
2008	3.1
2025	5.9

Однозначно, что решить эту задачу на основе свинцовых (СА), как, впрочем, и никель-кадмиевых (Ni/Cd) аккумуляторов нельзя. Поэтому среди вторичных систем в этих секторах получили развитие и преобладают электрохимические системы, появившиеся в последние 10–15 лет:

никель-металлгидридная (Ni/MH),
литий-ионная (ЛИА),
литий-полимерная (ЛИПА, ЛПА).

Динамика изменения положения этих систем на мировом рынке видна на рис. 5.

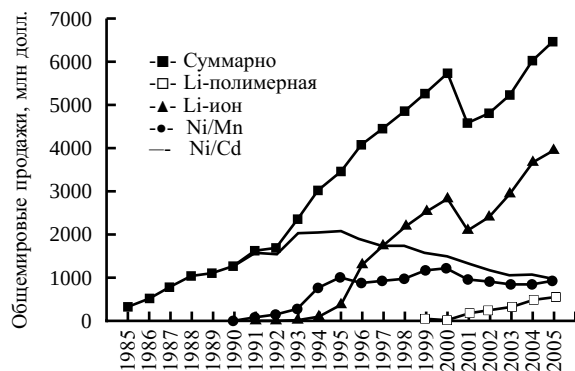


Рис. 5. Мировой объем продаж малогабаритных аккумуляторов

Рассматривая рынок электрохимических систем, можно отметить следующие особенности.

По состоянию на 2005 год рынок Ni/Cd аккумуляторов составлял порядка \$950 млн. Рынок относительно стабилен, со снижением в стоимостном выражении на 5% в год. Важным показателем является то, что практически всеми ведущими фирмами, производящими Ni/Cd аккумуляторы, прекращены исследовательские работы по улучшению их характеристик. Например, Panasonic прекратил разработки в 2002 г. и сократил производство с 2002 г. в 2 раза, номенклатуру сократил в 3 раза. Sanyo сохраняет объем производства на практически постоянном уровне, но также прекратило разработки в этом направлении. Некоторые оптимистичные прогнозы ряда маркетинговых фирм, предсказывающие сохранение в полном

объеме рынка малогабаритного Ni/Cd, основаны на предположении о его существенной доле в электронике, игрушках, радиомоделизме, что, на наш взгляд, неверно, так как не учитывает большого прогресса в характеристиках и снижении цен других систем. Возможно, Ni/Cd система останется для ряда радиостанций, в основном старых типов, в аварийном освещении, так как более устойчива по сравнению с другими (по крайней мере пока) к глубокому разряду и хранению в разряженном состоянии. Немаловажными обстоятельствами являются также повышение цен на никель, и экологические проблемы, связанные с использованием кадмия.

В области металлгидридных аккумуляторов также наблюдается снижение количества разработок. На этом направлении активные разработки ведут только COBASYS (OVONICS), MOLTECH и Sanyo. Несмотря на то, что, начиная с коммерциализации в 1991 г., система претерпела ряд существенных улучшений, предсказать сейчас, какую долю рынка удастся удержать Ni/MH, трудно. По состоянию на 2005 г. сегмент Ni/MH составлял \$660 млн, при этом он вырос по сравнению с предыдущим годом на 5%, в основном за счет резкого увеличения производства гибридных электромобилей. Некоторые оптимистичные прогнозы и в дальнейшем связываются с рынком гибридных автомобилей (ГЭМ) и электромобилей (ЭМ), основываясь на продолжительном сроке этих разработок и необходимости длительных проверок новых аккумуляторов в автомобильной промышленности. Наиболее яркой новинкой 2005 г. явился коммерческий выпуск компанией Sanyo аккумулятора в габарите AA Eneloop. Емкость этого аккумулятора составляет 2 А·ч, что, конечно, ниже наиболее энергоемких аккумуляторов 2005 г. (2.7 А·ч), но его несомненным достоинством является резко сниженный саморазряд (табл. 2), что ставит его на одну ступень с первичными щелочными элементами для достаточно большого круга потребителей, которые хотят использовать источник тока сразу после покупки в магазине, не производя над ним никаких работ (заряд, необходимый для аккумуляторов обычных серий). В то же время его емкость лежит в диапазоне 2–2.7 А·ч, характерном для большинства современных щелочных первичных элементов.

Таблица 2

Саморазряд никель-металлгидридных аккумуляторов

Модель	SANYO HR-3U	Наилучшие результаты других компаний	Eneloop		
Хранение при 20°C	6 мес.	6 мес.	6 мес.	1 год	2 года
Остаточная емкость, %	75	80	90	85	75

Рынок малогабаритных ЛИА в 2005 г. составил \$3.9 млрд с годовым приростом 8%, рынок ПЛИА увеличился на 20% и составил \$0.6 млрд. В 2005 г. можно отметить появление моделей с повышенной емкостью (до 2.8 А·ч для габарита 18650), коммерциализацию элементов с фосфатными катодными материалами, расширение номенклатуры силовых серий, появление моделей, которые производители позволяют использовать при одиночном применении без плат контроля, разработку электродов биполярной конструкции. Особо следует отметить, что в связи с внедрением в промышленное производство новых катодных и анодных материалов появились модели, которые нужно эксплуатировать в другом окне безопасных напряжений (например, 2.5–4.5 В для Nexelion с катодом из смеси LiCoO_2 , $\text{Li}(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Mn})\text{O}_2$ и анодом из аморфного композита Co-Sn-C , производимых Sony, вместо 3.0–4.2 В, характерных для традиционных ЛИА на основе кобальтата и графита).

По некоторым прогнозам можно ожидать увеличения рынка малогабаритных аккумуляторов к 2010 г. до \$19–23 млрд, причем порядка 70% должны занять литиевые системы.

Тенденциями сегмента вторичных систем до 2010 г. являются:

- Небольшое снижение общего объема потребления на ближайшие 2 года Ni/Cd батарей (порядка 20–30%) за счет вытеснения другими системами, в дальнейшем более быстрое снижение и стабилизация на уровне 300 млн Вт·ч (данный прогноз расходится с другими маркетинговыми исследованиями, основанными на предположении о сохранении ключевой роли Ni/Cd в электроинструментах и аварийном освещении).

- Несколько более замедленное, но с теми же тенденциями снижение объема потребления Ni/MH (данный прогноз расходится с другими маркетинговыми исследованиями, основанными на предположении о сохранении ключевой роли Ni/MH в ГЭМ).

- Возрастание как доли, так и абсолютной величины вторичных систем на основе лития (ЛИА, ПЛИА, литий-полимерных (ЛПА), литий-серных (ЛС)). Вытеснение Ni/Cd и Ni/MH , а также суперконденсаторов из большинства существующих применений. Вытеснение свинцово-кислотных и никель-кадмиевых аккумуляторов в части стационарных и подвижных объектов резервного питания и промежуточного хранения энергии.

- Реальных данных о появлении вторичных систем, основанных на других принципах, пока нет.

Основные причины, которые позволяют ЛИА доминировать на рынке вторичных систем, следующие:

- Достижение и превышение вторичными системами на основе лития практически всех ключевых потребительских показателей: удельных характеристик, емкости, сохраняемости, мощностных параметров, ресурса, температурного диапазона. Снятие ограничений на создание аккумуляторов большой емкости. Решение проблемы безопасной эксплуатации.

- Сближение стоимости Вт·ч, а в ряде случаев и более низкие величины стоимости литиевых систем с основной массой других вторичных систем.

- Изменение менталитета потребителей («необслуживаемый черный ящик», который должен сообщать о своей готовности и возможности выполнения задач. Кстати, это хороший пример первоначальной трудности, которая превратилась в достоинство системы при создании «Систем управления энергией», позволивших реализовать принципиально новые потребительские качества источников автономного питания).

Ранее считалось, что ЛИА хороши и перспективны только для малогабаритных систем с относительно низким током разряда, причем в области ценонезависимых применений. Однако в настоящее время ситуация резко меняется.

Прогнозируется, что рынок ЛИА для портативной электроники, послуживший в свое время импульсом для развития литий-ионной системы, будет развиваться не очень интенсивно в стоимостном выражении. Количественное возрастание объемов будет компенсироваться снижением цены за Вт·ч. Рост рынка ЛИА всецело будет определяться возможностями ЛИА новых поколений. Наиболее существенный рост рынка связывается с новыми применениями (рис. 6, табл. 3), которые могут учетверить существующий сегодня рынок, оцениваемый на конец 2005 г. в \$7 млрд.

Новые сегменты рынка ЛИА должны расти. Так, например, рынок батарей для беспроводного электроинструмента в ближайшие несколько лет будет увеличиваться ежегодно на 10–20%. Это стало возможным благодаря разработке и коммерческому выпуску мощных и энергоемких литиевых аккумуляторов, к тому же конкурентоспособных с другими типами источников тока по цене.

Также в стадии завершения находится решение вопроса о применении ЛИА и в других стратегических областях, требующих большие емкости и большие разрядные токи (тяговые и стартерные режимы). Это касается в первую очередь электромобилей и железной дороги, стационарных объектов телекоммуникаций, авиационного, космического, подводного и ряда других применений, в частности робототехники, которая, возможно, окажет такую же определяющую роль в развитии аккумуляторной промышленности, как в свое время сотовая телефония.

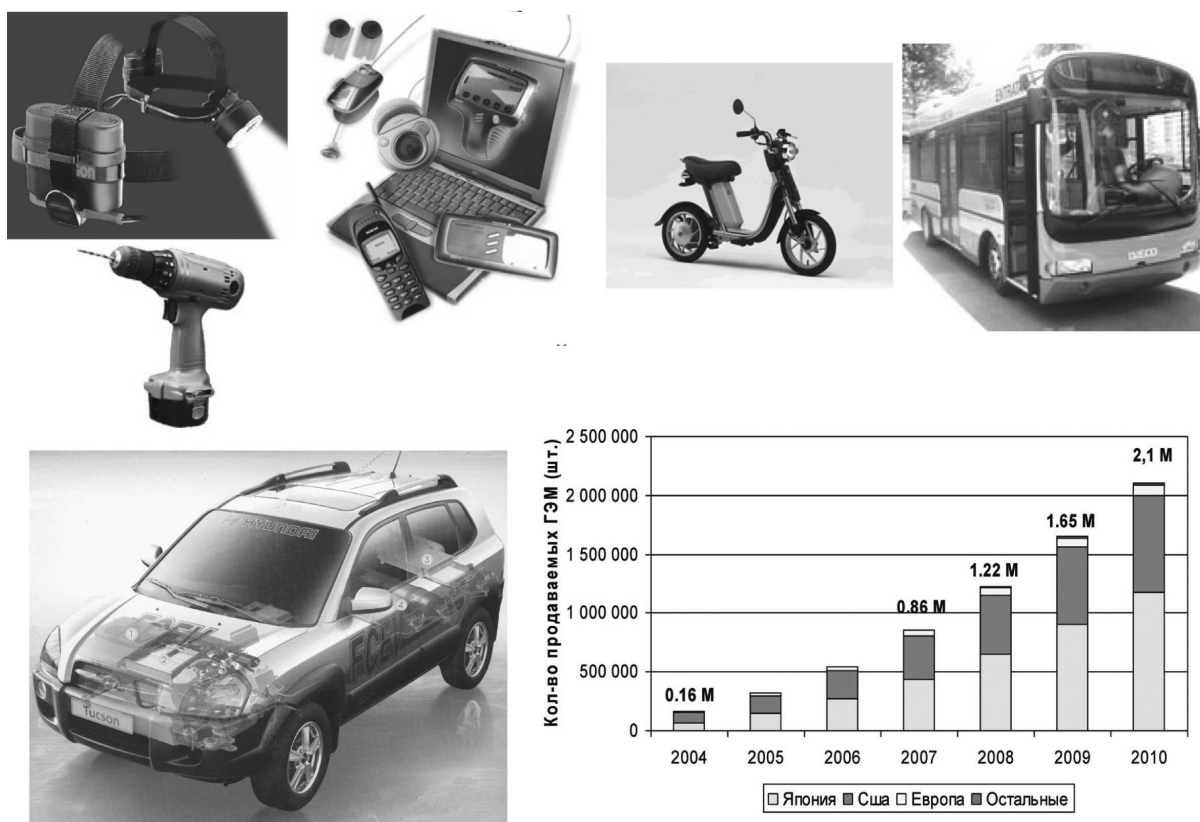


Рис. 6. Современный и будущий рынок литий-ионных аккумуляторов

Чтобы батарея была востребована, она должна удовлетворять некоторым критериям потребителя. Какой же должна быть батарея, которую потребитель будет считать хорошей?

Хорошая батарея (по приоритетам с точки зрения потребителя) это:

- дешевая (стоимость),
- энергоемкая (большая емкость),
- мощная (высокие токи разряда),
- легкая (высокие гравиметрические и объемные показатели),
- способная быстро заряжаться,
- долговечная (ресурс),
- безуходная (отсутствие регламентных работ),

- с хорошей сохраняемостью заряда (низкий саморазряд),
- работающая в широком интервале температур,
- устойчивая к воздействию внешних факторов (ВВФ),
- безопасная,
- нетоксичная,
- не требующая специальной утилизации.

Если рассматривать цены, как принято рядом маркетологов в пересчете на 1 А·ч, то стоимость ЛИА пока превышает остальные типы аккумуляторов. Однако необходимо учесть, что запас энергии, который в конечном счете и интересует потребителя, определяется не только емкостью, но и напряжением.

Таблица 3

Проникновение ЛИА в массовые сектора рынка (Takeshita market report)

Применение	2005, млн кВт·ч		2010, млн кВт·ч		2015, млн кВт·ч	
	ЛИА	Прочие	ЛИА	Прочие	ЛИА	Прочие
Бесперебойные источники питания	—	2.1	1.1	2.8	3.0	4.0
Электроинструменты	—	2.0	1.2	2.8	3.3	4.3
ГЭМ	—	0.5	0.9	4.3	8.0	10.0

Для ЛИА оно в 3 раза выше, чем для щелочных аккумуляторов. Поэтому целесообразней сравнивать стоимости источников тока в пересчете на 1 Вт·ч. К настоящему моменту удалось снизить стоимость Вт·ч по малогабаритным (до 20 А·ч) литий-ионным аккумуляторам до \$0.35, причем достижимой в ближайшее время считается задача доведения стоимости до \$0.12–0.25 за Вт·ч (в зависимости от режима использования). Это существенно ниже, чем стоимость никель-кадмиевых аккумуляторов даже простых ламельных серий и уже соизмеримо со стоимостью свинцовых аккумуляторов. В перспективе поставлена задача снижения стоимости Вт·ч до \$0.10. Например, если сравнивать розничную цену ЛИА для электроинструмента (менее \$2/Вт·ч), то она уже сейчас ниже стоимости батареи Ni/Cd (\$2.06/Вт·ч). Основной вклад в стоимость ЛИА вносит катод. Вплоть до настоящего времени наиболее массовым катодным материалом является кобальтат и производные на его основе, в том числе просто механические смеси (до 90%). Однако в последнее время все больше используются более энергоемкие материалы в той же ценовой нише (например, $\text{Li}[\text{NiCoMn}]\text{O}_2$) или более дешевые материалы типа LiMn_2O_4 , LiFePO_4 , LiMPO_4 .

В основном решены и вопросы безопасности. Этому способствовало как применение высоконадежных систем мониторинга состояния батарей, так и разработка новых типов катодных материалов (отметим особо работы компании Valence по фосфатам, фторфосфатам и ванадатам, первые из которых уже серийно используются многими производителями) и добавок в электролит.

Для проверки безопасности батарей проводится серия испытаний, включая перезаряд, переразряд, нагрев, протыкание иглой, раздавливание, короткое замыкание, и ряд других, имитирующих возможные варианты воздействия при эксплуатации (табл. 4). Современные типы литий-ионных и полимерных литий-

ионных аккумуляторов с успехом проходят все эти испытания.

Вообще говоря, в терминологии, используемой при описании вторичных литиевых систем, имеется некоторая неопределенность. Существуют три основных типа вторичных систем (аккумуляторов) на основе лития:

- литий-ионные аккумуляторы,
- «литий-полимерные» (литий-ионные с загущенным электролитом),
- литиевые аккумуляторы с полимерным электролитом.

Если с одним из типов — ЛИА — все более-менее понятно, то с двумя другими есть небольшая путаница, связанная с маркетинговыми ходами производителей.

Литий-ионные аккумуляторы (LIB, ЛИА)

Особенность ЛИА состоит в том, что эта система, являясь литиевой вторичной системой, не использует литий в виде металла. Тем самым был убран имевшийся на первых порах недостаток литиевых аккумуляторов с литиевым анодом, связанный с дендритообразованием, что позволило реально осуществить выход изделий на рынок. Первоначально в качестве катода и анода служили кобальтат лития (LiCoO_2) и кокс (впоследствии замененный на графит). Литиевая соль (типа LiPF_6) в органическом растворителе (или смеси растворителей) устойчивых в широком интервале потенциалов используется в качестве электролита. Основой смеси растворителей обычно является этиленкарбонат. Электролит находится в порах сепаратора из полиолефина.

«Литий-полимерные» (литий-ионные с загущенным электролитом) (PLI, ПЛИА) аккумуляторы

Принцип работы ПЛИА тот же, что и в ЛИА. Главное различие между ПЛИА и ЛИА состоит в том, что ПЛИА использует электролит в виде геля, иммобилизованного, например, в сополимере PVDF

Таблица 4

Тесты на безопасность большинства современных ЛИА и ПЛИА

Наименование	Тест	Аккумулятор		Метод тестирования	Результат
		Состояние	Условия		
Вибрация	0.8 мм 10–50 Гц 90–100 мин	Заряжен	Свежеизг.	UL 1642 SBAG 1101	Нет взрыва Нет воспламенения Нет деформации
Форсированный разряд	1С до 2.5 В	»	»	SBAG 1101	Нет взрыва
Короткое замыкание	Медный проводник 1.3 мм ²	Разряжен	»	UL 1642	Нет воспламенения
Протыкание гвоздем	Гвоздь 5 мм	Заряжен	»	SBAG 1101	Нет взрыва
Раздавливание	13 кН	»	»	UL 1642 SBAG 1101	Нет воспламенения
Перезаряд	0.5С	Разряжен	»	SBAG 1101	Нет взрыва

вместо пористого сепаратора из полиолефина. Корпус аккумулятора, вместо стали или алюминия, как в ЛИА, может быть изготовлен из мягкого материала. Анод и катод сделаны обычной техникой покрытия тех же подложек, что и в ЛИА. Собранный слоистый пирог соединяют горячим способом, после чего его пропитывают тем же электролитом, что и в ЛИА. Затем его помещают в пакет, вакуумируют и герметизируют.

Литиевые аккумуляторы с полимерным электролитом (LPB, ЛПА)

Как уже отмечалось выше, литий имеет самую высокую теоретическую плотность энергии, однако его использование в виде металла в качестве анода затруднено из-за дендритообразования в процессе циклирования. Дендритообразование рассматривается как один из главных факторов, который делает литиевую вторичную батарею подверженной взрыву и воспламенению. В процессе взаимодействия литиевого металлического анода с органическим аprotонным электролитом на его поверхности образуется межфазная пленка. Структура этой пленки определяет безопасность и ресурс литиевой вторичной батареи. Концепция литиевого аккумулятора с твердым полимерным электролитом (ЛПА) заключалась в том, чтобы найти способ использовать литиевый анод настолько безопасно насколько возможно. В ЛПА полимерный электролит действует и как сепаратор, и как электролит, обеспечивающий высокое качество пленки на литиевом металлическом аноде. Принцип, лежащий в основе этой концепции ЛПА, состоит в том, что плотный и однородный полимерный электролит является идеальным для межфазной пленки, и поэтому может предотвращать формирование и рост дендритов. Было найдено, что ряд полимеров, например комплекс полиэтиленоксида (PEO) и литиевой соли, обладают ионной проводимостью. И таким образом, концепция полимерного электролита стала реальностью. Технология производства подобна таковой для ПЛИА за исключением того, что в качестве материала анода используется металлический литий. Внедрение проходило с трудом, что было связано с низкой ионной проводимостью использованных полимеров и не позволяло производить разряд требуемыми токами. Сейчас многие компании работают в этом направлении и добились ощутимых успехов.

К сожалению, многие производители оборудования своевременно не отслеживают изменение состава ЛИА и не запрашивают у производителя аккумуляторов особенности применения новых моделей. При этом чисто автоматически используются те же технические решения и элементная база, что и для старых. Но изменение состава катода и анода зачастую влечет за собой разные конечные напряжения и вообще алгоритмы заряда ЛИА (с разбросом на

величину порядка 1 В), разные конечные напряжения при разряде. Именно этим можно объяснить участвовавшие за последнее время случаи отзывов батарей на основе ЛИА.

Приведём пример — два наиболее больших отзыва только за август 2006 г. Компания Dell Inc. объявила об отзыве порядка 2.7 млн батарей для ноутбуков в США и 1.4 млн батарей, проданных за пределами США, собранных из аккумуляторов Sony Energy Devices Corp., из-за вероятности их воспламенения. Компания Apple по аналогичным причинам объявила отзыв 1.1 млн батарей в США и 0.7 млн батарей за их пределами. Для наших производителей особо отметим, что столь масштабные отзывы (с соответствующими финансовыми потерями) были сделаны на основании 6 рекламаций в первом случае и 9 во втором, к тому же не повлекших сколь-нибудь серьезных последствий для людей.

Посмотреть актуальные случаи отзыва батарей производителями можно, например, на сайте U.S. Consumer Product Safety Commission (www.cpsc.gov).

Резюмируя имеющиеся данные, можно отметить, что за последнее время произошло существенное поднятие характеристик литиевых источников тока:

- емкость одиночного аккумулятора можно поднять до 10000 А·ч и выше,
- появились силовые серии (токи до 20С и выше),
- время заряда можно снизить до нескольких минут,
- удельные характеристики на уровне 600 Вт·ч/л и выше,
- расширение температурного диапазона работоспособности до -40°C в нижнюю и $+75^{\circ}\text{C}$ в верхнюю сторону,
- снижение саморазряда.

Кроме того, возникли и получили практическое воплощение новые подходы к конструированию батарей:

- модульное исполнение функционально законченных блоков, позволяющее просто наращивать необходимую емкость и токи разряда путем параллельного объединения и допускающее заряд как постоянным током, так и при постоянном напряжении;
- развитие систем мониторинга батарей, позволяющее с большой точностью предсказать оставшееся время работы устройства в зависимости от режима и температуры.

Все это способствовало расширению круга потенциальных потребителей ЛИА, появлению новых применений (табл. 5).

Таблица 5

Режимы	Ток разряда, С	Применение
Короткие	до 1	Связь
Тяговые	~ 1.5	Железная дорога, инвалидные коляски
Стартерные	~ 5	Запуск двигателей, электромобиль
Силовые	~ 10	Электроинструмент, моделизм и ...

Интенсивно развиваются также системы бесперебойного и резервного питания как мобильных, так и стационарных объектов.

Характеристики ЛИА, ожидаемые через 3–5 лет, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Перспективные характеристики ЛИА, ожидаемые к 2010 г.

	Батареи большой энергии	Батареи большой мощности
Удельная энергия	>200 Вт·ч/кг	>100 Вт·ч/кг
Удельная мощность	>500 Вт/кг	>2000 Вт/кг
Ресурс	3000 циклов	15 лет
Цена	0.125 US\$/ Вт·ч	0.25 US\$/ Вт·ч

Естественно, что пристальное внимание на литий-ионную систему обращают и военные. Например, в США ЛИА легли в основу широкомасштабной программы перевооружения Land Warrior. В силу своих высоких энергетических показателей ЛИА привлекательны и для использования в космосе. В качестве успешных применений можно упомянуть аккумуляторы, разработанные фирмой Yardney по заказу NASA для марсианских роверов SPIRIT и OPPORTUNITY. Для спускаемых аппаратов и марсоходов используются батареи 7–25 А·ч, напряжением 14 или 28 В. Уже удовлетворяются и требования для спутников — большой ресурс (>30000 циклов) для низких орбит и большой срок службы (5 лет) для геостационарного применения. Для беспилотных самолетов используются, например, батареи 270 В с емкостью до 200 А·ч.

Многие работы, связанные с повышением удельных характеристик литиевых источников тока, нацелены на возможность в том или ином виде использовать литиевый металлический анод, от которого отказались ещё в 90-е гг. прошлого века из соображений низкой безопасности и низкого ресурса.

Чем обусловлено повышение активности в этой области? В табл. 7 приведено сравнение удельных характеристик анодов на основе металлического литиевого электрода и традиционных катодов на основе углеродных материалов.

Теоретические значения для металлического литиевого электрода существенно превышают значения, присущие традиционным катодам на основе углеродных материалов. Разработчики считают, что

задача перехода на металлические аноды может и должна быть поставлена. Такая возможность является следствием накопления определенного объема знаний о природе границы литий-электролит и возможности влиять на ее свойства. Проповедниками этой идеи являются, в частности, компании AVESTOR и ANL, не прекращавшие с самого начала разработки в этой области.

Таблица 7

Удельные характеристики анодных материалов

Удельная энергия	Литиевый металлический анод		Катод на основе LiC ₆	
	Теоретически	Практически реализовано	Теоретически	Практически реализовано
Весовая, А·ч/кг	3830	960	372	300
Объемная, А·ч/л	2045	510	820	570

Перспективу имеют и аккумуляторы системы Li/S, обладающие наибольшей удельной энергией среди других литиевых систем. Катод и анод покрыты полимерными пленками, причем катод находится практически в жидком (растворенном) состоянии. Образование дендритов не происходит благодаря полимерной пленке на поверхности лития.

В табл. 8 приведены сравнительные данные компании Oxis Energy по достигнутому уровню характеристик по сравнению с другими системами. Пока непреодоленным для этой системы является относительно малый ресурс.

Таблица 8

Реализованная удельная энергия по данным компании Oxis Energy

Электрохимическая система	Теоретическая, Вт·ч/кг	Реализованная, Вт·ч/кг	% от теоретической
Ni/Cd	240	45–80	19–33%
Ni/MH	270	60–120	22–44%
Li-ион/полимер	640	140–165	22–25%
Li/S	2600	350–450	13–17%

Портативные топливные элементы

В последнее время интенсивно ведутся работы в области портативных топливных элементов. Так, PNNL разрабатывает концепцию портативных носимых энергосистем с использованием топливного процессора на микротехнологиях, позволяющих обеспечить от 10 до 100 Вт электроэнергии в течение недель или месяцев. Компактная система (рис. 7) на основе топливного элемента на углеводородном топливе имеет удельную энергию на уровне 2–4 кВт·ч/кг.

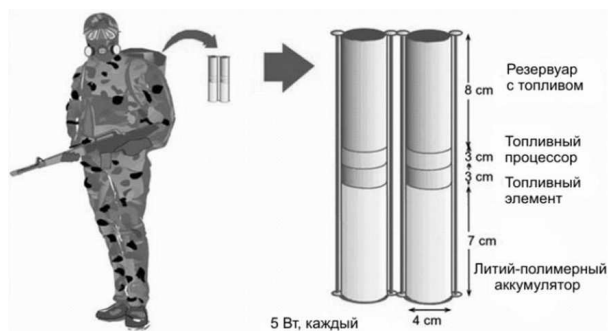


Рис. 7. Высокотемпературный топливный элемент на углеводородном топливе с конверсией в микрореакторе

При весе 0.7 кг и объеме порядка 1 л, с учетом запаса топлива 0.33 кг источник позволяет полноценно обеспечивать выполнение недельного боевого задания (на которое требуется 1.7 кВт·ч). Эквивалентная литий-ионная батарея весила бы около 5.5 кг. Пока система работает на чистом бутане, и имеет относительно небольшой ресурс. Ведутся работы по использованию обычного транспортного (дизельного) топлива и повышению ресурса.

Большой прогресс имеется в области портативных топливных элементов на метаноле. Сразу несколько компаний, среди которых NEC Corp., Manhattan Scientifics Inc., MTI MicroFuel Cells Inc., Neah Power Systems Inc., Toshiba Corp., начали промышленный выпуск в 2004–2005 гг. топливных элементов для портативной электроники, в первую очередь сотовых телефонов и портативных компьютеров. Ведутся интенсивные работы по созданию эффективных топливных элементов для стационарных и подвижных объектов с перспективой создания полностью электрического гибридного автомобиля на комбинированной установке ТЭ/ЛИА.

Водородная энергетика

Необходимо остановиться еще на одном моменте. В ряде стран, в первую очередь США, очень большое внимание сейчас уделяется альтернативной, в том числе водородной энергетике.

Программы хорошо финансируются и имеют реальное воплощение. В их основе лежат не только соображения о близости исчерпания запасов углеводородного сырья, но и чисто политические соображения. Так, в США, особенно после событий 11 сентября, взят курс на полное освобождение от импорта нефти к 2030 г. под флагом освобождения от зависимости от стран Ближнего Востока. Уже сейчас закладывается инфраструктура альтернативной энергетике, частью которой является водородная энергетика (рис. 8).

Если вернуться к реалиям российского рынка автономных источников тока, то имеем ли мы в своем заделе хоть что-нибудь подобное упомянутому выше? Нет, не имеем.

Мы специально не приводили сравнения с имеющимися характеристиками ХИТ, достигнутыми российскими разработчиками и производителями как по собственным разработкам, так и по «доработке» импортных технологий, чтобы не вызвать бурю возмущений со стороны предприятий, которые пришлось бы упомянуть, хотя они-то как раз и пытаются хоть что-то делать в данном направлении. Но данные о реальном положении дел достаточно удручающие.

Существует ряд объективных и субъективных причин, обуславливающих сложившуюся ситуацию.

1. В России нет производства современных источников тока потому, что нет необходимого уровня их потребления. Важно не только произвести, но и продать произведенное. Произошел ряд объективных изменений, в результате которых производителям ХИТ экономически стало возможно работать только в том случае, если они могут выйти на первичный рынок достаточно большого объема, т. е. для комплектации устройств и оборудования российского производства (для выхода на внешний рынок нужно обеспечить высший уровень качества и большие финансовые вложения в продвижение продукции. Об этом можно пока не говорить, имея такого конкурента, как Китай). Российский вторичный рынок резко сужается по наименованию изделий, в которых предусмотрена замена источников питания (эти изделия имеют срок службы, превышающий срок службы современных ХИТ).

К числу сегментов вторичного рынка, которые еще длительное время будут сохранять привлекательность для производителей ХИТ, относятся стационарные объекты «большой энергетики» и стационарные и подвижные объекты транспорта, в первую очередь железнодорожного. Вторичный рынок малогабаритных систем непрозрачен, так как срок службы аккумулятора, уже установленного в устройство производителем, оказывается больше, чем время морального старения самого устройства. А первичный рынок? Есть ли в нём такой сегмент? Если не учитывать отечественное автомобилестроение, то до последнего времени (начиная с 90-х годов) его просто не существовало и начинать нужно именно с него, с создания федеральных целевых и ведомственных программ, рассчитанных на длительный период и предусматривающих меры, направленные на развитие, например, отечественной электроники. В то же время из существующих по состоянию на 2006 г. 113 федеральных и региональных целевых программ нет ни одной, рассчитанной на создание потенциального рынка для производителей автономной энергетики. Подчеркнём еще раз: речь идет не о программе развития источников тока (хотя, наверное, и такой подход был бы правомочен), а о государственной поддержке производителей конечных устройств, которые

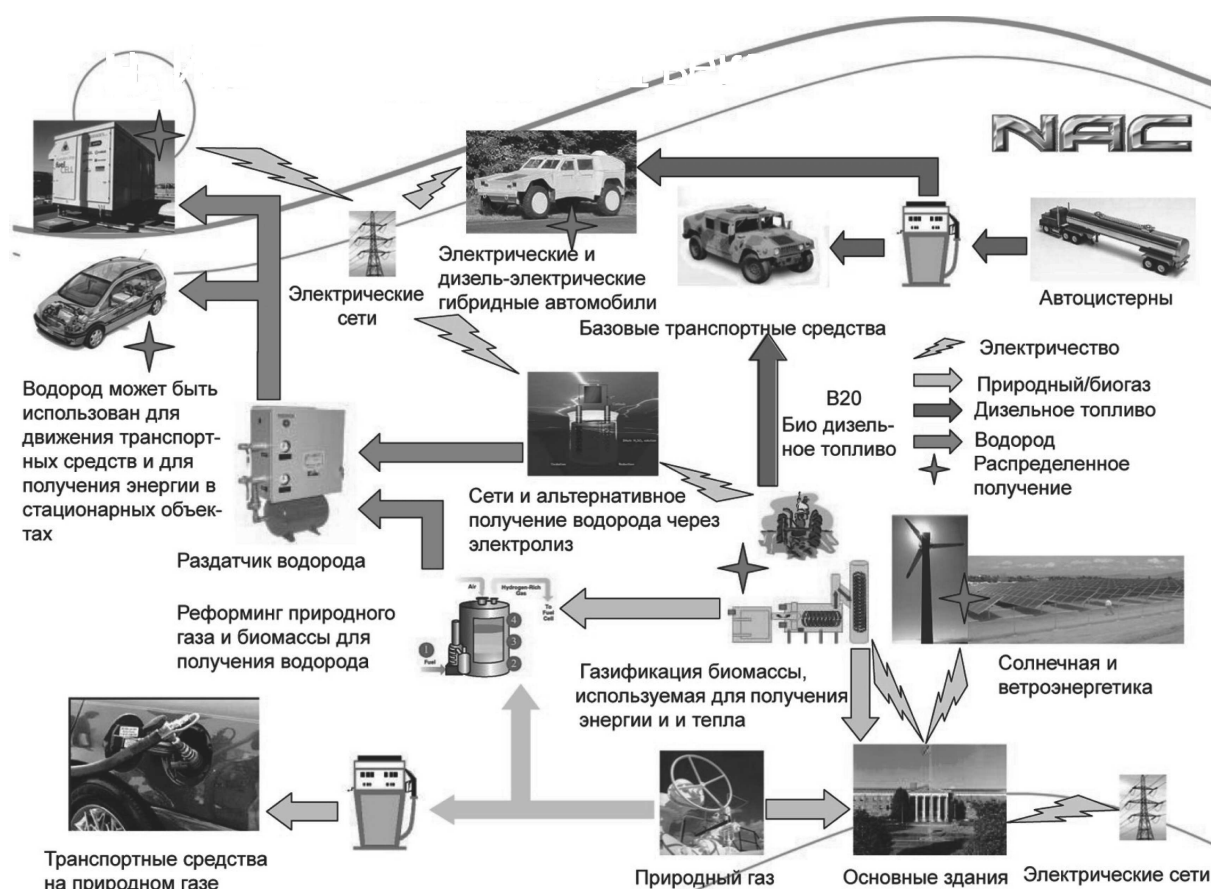


Рис. 8. Инфраструктура водородной энергетики

могли бы обеспечить тот минимальный объем спроса на источники тока. Так, например, Федеральная целевая программа «Электронная Россия (2002–2010 годы)» (утверждена Постановлением Правительства РФ № 65 от 28 января 2002 г.) (с изменениями от 26 июля 2004 г.) посвящена развитию информационных и коммуникационных технологий, но в ней нет ни слова о развитии собственной производственной базы, позволяющей обеспечить аппаратную поддержку. Федеральная целевая программа «Энергоэффективная экономика» на 2002–2005 годы и на перспективу до 2010 года (утверждена Постановлением Правительства РФ № 796 от 17 ноября 2001 г.) (с изменениями от 29 декабря 2001 г.), нацеленная на реализацию основных положений программы энергетической стратегии России (на снижение издержек производства в энергетическом секторе, в том числе на транспорте, при переработке и использовании топливно-энергетических ресурсов потребителями; на снижение негативного воздействия энергетического сектора на окружающую природную среду), ни единым словом не затрагивает вопросы автономной энергетики. В таком основополагающем документе, как Федеральная целевая программа «Модер-

низация транспортной системы России (2002–2010 годы)» (утверждена Постановлением Правительства РФ № 848 от 5 декабря 2001 г.) нет ни единого упоминания о транспорте на электротяге (любых, в том числе гибридных, схем).

Требуется создание новых ФЦП по развитию ряда крайне перспективных направлений (например, «электромобиль», «робототехника») и пересмотр ряда существующих (например, «электронная Россия»). И крайне важно, чтобы такие программы, если они будут созданы, носили не декларативный, а созидательный и деловой характер, направленный на стабилизацию соответствующих отраслей и повышающий их инвестиционную привлекательность.

Определенные надежды возлагаются на спецтехнику. Но сейчас она, к сожалению, не является тем «локомотивом», который, как раньше, был способен вытянуть остальные направления в связи с малым по объему (но не по значимости) применением. Положительные тенденции здесь есть, и хотелось бы надеяться на продолжение тех сдвигов, которые наметились по сегменту специальной техники. Однако, хотелось бы, чтобы они носили более системный и систематический характер.

2. Несколько слов о состоянии науки и разработок.

В условиях существующего отставания, которое мы должны признать, очень важно найти пути наиболее рационального использования тех небольших ресурсов, имеющихся у нашей науки. Радует, что сегодня уже наметился некоторый прогресс в отношении молодежи к естественным и техническим наукам. Однако важна концентрация усилий на наиболее перспективных направлениях, особенно в фундаментальной науке, при этом нельзя бояться закрывать те направления исследований, от которых мир уже отказался.

Негативное влияние оказывает также тот факт, что отсутствует единый орган, осуществляющий координацию НИР и ОКР. Часто эти практические работы ведутся параллельно для нескольких заказчиков, причем одними и теми же исполнителями. Если считать этих заказчиков едиными (бюджет), то встает вопрос о правомерности такого подхода; если заказчики разные, то неизбежно встает вопрос о собственности на результаты разработки.

Определённая координация усилий исследователей и разработчиков приводится. Так, например, в упомянутой выше российской «Энергетической стратегии...» отдельной строчкой выделена водородная энергетика. Она включает два аспекта:

- получение, транспортировку и хранение водорода как высокоемкого энергоносителя (вместо

углеводородных видов топлива и передачи электроэнергии по проводам),

- использование водорода в электрохимических преобразователях для получения электрического тока.

И это понятно. Россия обладает одним из крупнейших в мире минерально-сырьевым потенциалом, являющимся основой гарантированного обеспечения экономической и энергетической безопасности страны, удовлетворения текущих и перспективных потребностей экономики России в углеводородном сырье, угле и уране. Углеводородное сырье является одним из главных источников дохода российской казны.

А если ситуация изменится? Если будут реализованы упомянутые выше программы в ведущих странах (как это делается уже сейчас в США для снижения, а в перспективе — для полного освобождения от зависимости от импорта нефти и газа)? Где можно будет тогда найти свою (российскую) нишу и как мы сможем осуществить интеграцию в мировое энергетическое пространство? Конечно, если задачи, поставленные «Энергетической стратегией...» в области водородной энергетики (которая, кстати, не связана там напрямую с развитием альтернативной энергетики вообще), будут решаться, то, может быть, мы и сохраним свое особое положение, но пока реальных и ощутимых движений в этом направлении не просматривается.