

ира), этот сектор деятельности компании развивался такими темпами, что теперь на него приходится до 35 % оборота. В 2001/2002 финансовом году Alstom была ответственна за техническое состояние 3946 ед. подвижного состава, в 2002/2005 году этот показатель достиг 6517 ед., на 2005/2006 год поставлена цель довести его до 7055 ед. с дальнейшим увеличением в перспективе. Из общего числа обслуживаемых единиц подвижного состава 35 % приходится на моторвагонные поезда железных дорог, 22 % на локомотивы, 18 % на поезда метрополитена, 15 % на высокоскоростные поезда и 5 % на поезда трамвая. Приблизительно 60 % общего объема работ приходится на подвижной состав постройки Alstom, остальное — на подвижной состав других компаний-изготовителей.

В указанном секторе заняты около 8500 чел., работающих в 25 депо и на 19 ремонтных предприятиях разных стран. Сектор характеризуется относительно высокой стабильностью, поскольку срок действия некоторых контрактов достигает 30 лет.

Контракты на фирменное обслуживание заключаются по-разному. В некоторых случаях они следуют за контрактами на поставку подвижного состава, как это имело место, например, в отношении поездов трамвая для Дублина и Орлеана (Франция). Мо-

гут использоваться схемы государственно-частных финансовых инициатив, как, например, в отношении обновления парка подвижного состава линии Jubilee метрополитена Лондона. Иногда такие контракты входят в рамки концессионных соглашений, составляемых по принципу «построил — эксплуатировал — передал государству» (BOT), как, например, в отношении проектов линий трамвая TramBaix и TramBesos в Барселоне (Испания).

Случаются также «чистые» контракты непосредственно на техническое обслуживание. Примером может служить контракт сроком на 15 лет, подписанный в июне 2004 г. Alstom Transport с Metrorex, компанией-оператором метрополитена Бухареста. Здесь Alstom обслуживает поезда типа Astra постройки одной из румынских компаний и типа Movia постройки Bombardier. Кроме того, в соответствии с условиями контракта Alstom модернизирует три существующих депо и ремонтный завод, устанавливает там современное производственное оборудование, внедряет информационные технологии и осуществляет переподготовку 1200 чел. персонала Metrorex.

*Railway Gazette International*, 2005, № 3, p. 153 – 160.

## Трамвай с питанием от аккумуляторной батареи

*Научно-исследовательский институт железнодорожной техники Японии (RTRI) разработал вагон трамвая, который может работать с питанием только от литий-ионной аккумуляторной батареи и не нуждается в контактной сети. Проведены первые испытания этого трамвая, подтвердившие реализуемость данного проекта.*

### Требования к системам аккумуляции энергии для подвижного состава

Хранение энергии в принципе представляет собой трудную задачу, и практическое применение рекуперативного торможения на электроподвижном составе в течение последних 30 лет основано исключительно на передаче вырабатываемой энергии другому подвижному составу через контактную сеть, а не на ее резервировании. Можно сказать, что аккумуляция энергии в чистом виде в настоящее время не играет существенной роли в электрической тяге.

Следует также отметить, что в последние годы был достигнут значительный прогресс в технологиях накопления энергии. Это позволило создать устройства для резервирования энергии на аварийный случай, достаточно компактные и легкие, чтобы была обеспечена возможность их размещения на транспортных средствах. Такие бортовые накопители энергии целесообразно устанавливать, например, на автомобили, оснащенные главным образом двигателями внутреннего сгорания; это позволяет улучшить показатели топливной экономичности автомобилей за счет использования запасенной энергии. Концерн Toyota (Япония) в 1997 г. выпустил автомобиль с гибридным (комбинированным) приводом, в котором применена никелевая металл-гидридная аккумуляторная батарея для хранения запаса электроэнергии. С другой стороны, объем продаж чисто электроприводных автомобилей (электромобилей), работающих только от аккумуляторных батарей и созданных до появления гибридного привода, не показывает тенденции к росту.

Подобным же образом гибридный тяговый привод, в котором в качестве основного источника энергии используется контактная сеть или двигатель внутреннего сгорания, а в качестве вспомогательно — устройство аккумулирования электроэнергии, может рассматриваться как перспективный для подвижного состава железных дорог. Железнодорожная компания JR East уже создала опытный рельсовый автобус NE Train с гибридным приводом на базе автомобильного дизельного двигателя и аккумуляторной батареи.

Известны аналогичные электромобилям опытные электропоезда, работающие с питанием только от аккумуляторных батарей; появлялись также аккумуляторные электровозы и вагоны трамвая. Однако электроподвижному составу всех этих видов, на котором применялись свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, присущи существенные недостатки. Вся необходимая для привода электроэнергия должна была в полном объеме храниться на борту, так как батареи этого типа нельзя быстро подзаряжать. Кроме того, такие батареи весьма тяжелы, и их масса составляет значительную часть общей массы единицы подвижного состава, на которой они установлены. В сочетании с продолжительным временем, требуемым для подзарядки батарей, этот фактор создавал трудно решаемые проблемы в эксплуатации, и поэтому такой подвижной состав не мог получить широкого распространения в регулярных пассажирских перевозках.

Возможность создания подвижного состава трамвая, который мог бы работать независимо от контактной сети, определяется степенью преодоления указанных недостатков. С учетом всех факторов можно сформулировать следующие технические требования к бортовой системе аккумулирования энергии (в порядке приоритетности):

- основным видом энергии должна быть электрическая. Электроэнергия должна подаваться или от системы ее генерирования (например, от топливных элементов), или от аккумуляторных батарей;
- количество запасенной энергии должно позволять подвижному составу следовать по меньшей мере до места следующей стоянки. Здесь следует отметить, что потребность в энергии определяется не только чисто тягой, т. е. преодолением сопротивления движению, но и необходимостью электропитания вспомогательного бортового оборудования, такого, например, как система кондиционирования воздуха, и в итоге оказывается непредвиденно большой;
- аккумуляторный подвижной состав должен без осложнений работать как обычный, т. е. обладать способностью следовать по заданному маршруту с соблюдением реального расписания движения;
- аккумуляторные батареи должны иметь относительно небольшие массу и габариты, позволяющие разместить их на подвижном составе;

- так как экономия энергии позволяет увеличить дальность пробега подвижного состава между подзарядками, следует обеспечить возможно большую степень использования вырабатываемой при рекуперативном торможении электроэнергии. Иначе говоря, должна быть обеспечена быстрая подзарядка аккумуляторов большим количеством электроэнергии;
- аккумуляторные батареи должны иметь большой срок службы без ухудшения рабочих характеристик;
- стоимость реализации данных требований должна быть относительно невысокой.

### **Применение накопителей энергии и особенности литий-ионных аккумуляторов**

Универсальных накопителей энергии, которые можно было бы использовать во всех областях применения, не существует, и поэтому для каждого случая следует выбрать наиболее подходящий тип. При выборе аккумуляторных батарей для подвижного состава, кроме требований по мощности и энергоемкости, необходимо также учитывать такие их характеристики, как масса, занимаемый объем, стоимость, долговечность (в указанном порядке). Следует отметить, что численные параметры аккумуляторов электроэнергии, содержащиеся в каталогах компаний-изготовителей, могут быть скорректированы с учетом конкретных потребностей.

Потенциально пригодные к применению на подвижном составе накопители энергии — маховикового типа, двухслойные электрические конденсаторы, никелевые металл-гидридные и литий-ионные аккумуляторные батареи — могут быстро подзаряжаться, что является весьма важным их достоинством. Все эти эффективные накопители целесообразно использовать в основном в гибридном приводе, а литий-ионные батареи — также и в качестве основного источника энергии

#### **Особенности литий-ионных аккумуляторов**

##### *Преимущества:*

- возможность быстрой подзарядки большим количеством электроэнергии. Благодаря этому аккумуляторы могут в полном объеме воспринимать энергию рекуперативного торможения непосредственно при ее выработке и быстро подзаряжаться во время стоянок малой продолжительности. Нет необходимости хранить на подвижном составе запас энергии, требуемый для следования по всей длине маршрута, поскольку аккумуляторы можно подзаряжать на промежуточных остановках без существенных затрат времени, и поэтому масса батарей, а следовательно, масса тары, например, вагона трамвая может быть меньше.
- малое внутреннее сопротивление постоянному току (0,6 мОм на один элемент). Это обуславливает низ-



Рис. 1. Бортовая литий-ионная аккумуляторная батарея



Рис. 2. Опытный вагон трамвая

кие потери и дает экономию электроэнергии при зарядке и разрядке: энергетический КПД литий-ионных аккумуляторов равен 98 % (при номинальном токе);

- высокое напряжение (расчетное — 3,6 В, максимальное — 4,2 В на один элемент; для сравнения: напряжение на один элемент никелевых металл-гидридных аккумуляторов равно 1,2 В). Это позволяет получать требуемое рабочее напряжение при меньшем числе элементов в батарее;

- высокая плотность энергии (55 А·ч/кг массы). Этим обеспечивается малая общая масса аккумуляторных батарей — в 3 раза меньше, например, чем свинцово-кислотных при тех же электрических параметрах.

**Недостатки:**

- малая долговечность. Средний срок службы литий-ионных аккумуляторов соответствует 1000 циклам полной разрядки/зарядки. Вместе с тем этот срок может быть значительно увеличен при снижении глубины разрядки/зарядки. Так, в ходе некоторых испытаний при изменении режимов разрядки/зарядки была достигнута долговечность аккумуляторов, равная 150 тыс. и даже более циклов;

- высокая стоимость (в настоящее время). Однако есть основания ожидать снижения стоимости в 5 – 10 раз при освоении массового производства аккумуляторов.

**Технические характеристики батарей**

Число аккумуляторных элементов	168
Номинальное напряжение, В	600
Рабочий диапазон напряжения, В	504 – 705
Расчетная энергоемкость, А·ч	55 (или 33 кВт·ч)
Ток зарядки, А	500
Масса полная, кг	1160
Масса собственно аккумуляторов, кг	605

**Литий-ионные аккумуляторные батареи для подвижного состава**

Литий-ионные аккумуляторные батареи в зависимости от технологии их изготовления можно подразделить на два типа: EV (для подвижного состава с чисто электрическим тяговым приводом), характеризующиеся максимальным количеством отдаваемой электроэнергии, и HEV (для подвижного состава с гибридным приводом), характеризующиеся возможностью быстрой подзарядки. Так как рабочие характеристики этих батарей различны, при выборе батареи одного типа нельзя в полной мере воспользоваться преимуществами батареи другого типа.

В то же время для железнодорожного подвижного состава желательны как быстрота подзарядки, позволяющая, в частности, лучше использовать энергию рекуперативного торможения, так и большое количество запасаемой энергии при затратах времени на подзарядку максимум в несколько десятков секунд.

Путем изменения структуры электродов и других компонентов удалось разработать новую литий-ионную аккумуляторную батарею, в данном случае для вагона трамвая, сочетающую в себе желательные характеристики обоих типов (рис. 1).

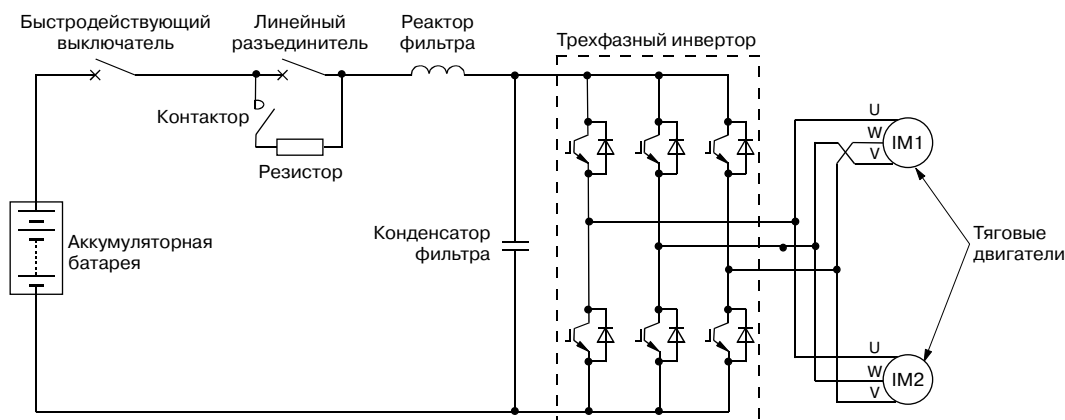
**Опытный вагон трамвая**

Вагон трамвая для испытаний тягового привода с питанием от литий-ионной аккумуляторной батареи (рис. 2) институту предоставила в апреле 2002 г. транспортная администрация города Тоёхаси. Вагон серии Мо3301 был построен в 1961 г. компанией Nippon

**Основные технические характеристики вагона**

Ширина колеи, мм	1 067
Длина, мм	11 500
Ширина, мм	2 200
Высота, мм	3 120
Диаметр колес, мм	720
Передаточное отношение тяговой передачи	1:5,77
Масса тары, т	19,7
Мощность инвертора, кВт	180
Мощность тяговых двигателей, кВт	60 × 2 = 120
Конструкционная скорость, км/ч	55
Максимально допустимая эксплуатационная скорость трамвая в Японии, км/ч	40
Ускорение при разгоне, м/с <sup>2</sup>	0,83
Замедление при торможении, м/с <sup>2</sup>	0,94

Рис. 3. Упрощенная силовая схема опытного вагона трамвая



Энергетические характеристики вагона	
Общее потребление энергии при движении по экспериментальному пути, МДж. ....	3,6 (100 %)
Количество энергии, полученной от аккумуляторной батареи, МДж. ....	1,9 (52 %)
Количество энергии, полученной от рекуперативного торможения, МДж. ....	1,7 (48 %)
Общее количество энергии, выработанной при рекуперативном торможении, МДж. ....	2,3
Коэффициент использования энергии рекуперативного торможения. ....	0,75
Общий коэффициент рекуперации. ....	0,64

Shario и первоначально эксплуатировался в городе Канадзава. В 1967 г. после закрытия трамвайного движения в этом городе он был передан в Тоёхаси, где и работал до 2000 г. Затем его планировали отправить в транспортный музей штата Иллинойс (США), но по ряду причин этот план остался неосуществленным.

Данный вагон был выбран потому, что он как нельзя лучше подходил к условиям испытаний на экспериментальном пути RTRI. Он получил условное название Lithy Tram (литий + трамвай).

Механическая часть вагона в основном оставлена без изменений, электрическая часть полностью модернизирована.

Упрощенная силовая схема опытного вагона трамвая приведена на рис. 3.

Основным источником питания является литий-ионная аккумуляторная батарея, составленная из 24 блоков с семью аккумуляторными элементами в

Характеристики подзарядки батареи на стоянках (в режиме движения с подзарядкой на каждой остановке)	
Зарядная мощность, кВт. ....	300 (при 600 В/500 А)
Расход энергии на тягу, МДж. ....	2,0
Расход энергии на питание вспомогательного оборудования, МДж. ....	2,0
Время, необходимое для подзарядки батареи только для тяги, с. ....	7
Время, необходимое для подзарядки батареи для всех нужд, с. ....	14
Время, необходимое для полной подзарядки батареи, мин. ....	6,5

каждом. Каждый блок оснащен отдельным модулем управления и регулирования с датчиками отказа элементов. Питание от батареи подается через последовательно включенные быстродействующий выключатель, линейный разъединитель с параллельно подключенным резистором и реактор фильтра. Параллельно с батареей подключен конденсатор фильтра. Поступающий от батареи постоянный ток преобразуется трехфазным инвертором в переменный и подается на выводы двух асинхронных тяговых электродвигателей с опорно-осевым подвешиванием.

Для замедления вагона применяется только рекуперативное торможение с максимальной скорости вплоть до остановки.

Испытания опытного вагона трамвая на экспериментальном пути с максимальной скоростью 53 км/ч и средним расстоянием между остановками 250 м (на некоторых остановках аккумуляторную батарею подзаряжали) показали, что в данных условиях он преодолевает расстояние 17 км, израсходовав примерно 2/3 энергоемкости батареи. Запас хода вагона без подзарядки батареи составляет около 15 км.

Пример режима работы аккумуляторной батареи при следовании вагона трамвая по типичному перегону между двумя остановками приведен на рис. 4. Видно, что при наборе скорости батарея отдает энергию на тягу и разряжается, а при замедлении — воспринимает энергию рекуперативного торможения, подзарядаясь при этом.

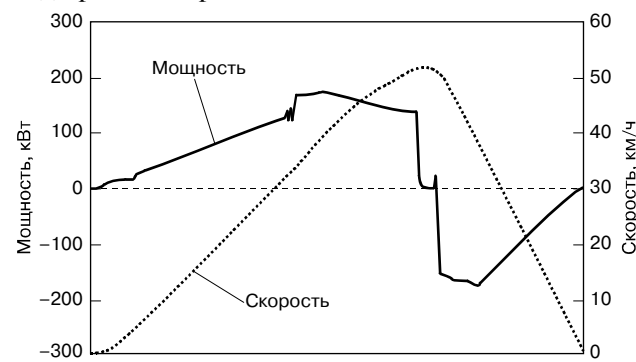


Рис. 4. Работа аккумуляторной батареи при следовании вагона трамвая по перегону

### Выводы, проблемы и перспективы

Опытный вагон трамвая RTR1 является первым в мире полностью работающим от бортовой литий-ионной аккумуляторной батареи без питания от контактной сети и способным двигаться с максимально допустимой скоростью.

#### Преимущества:

- отсутствие загрязнения окружающей среды;
- возможность рекуперативного торможения в любых условиях независимо от наличия принимающей энергию рекуперации стороны;
- возможность снижения расчетного напряжения (а следовательно, и стоимости) компонентов электрического и электронного оборудования тяговой цепи и преобразовательных установок благодаря отсутствию прерывания тока в контактах;
- устранение расходов на сооружение и техническое обслуживание контактной сети;
- возможность беспрепятственного проведения местных мероприятий благодаря отсутствию контактной сети (так, контактная сеть линий трамвая в городе Киото ежегодно демонтировалась для проведения фестиваля Гион);
- улучшение эстетики городской среды.

#### Проблемы, подлежащие решению:

- повышение надежности, экономичности и долговечности аккумуляторной батареи;

- обеспечение возможности подзарядки батареи в пути следования за счет наличия соответствующих зарядных устройств на всех остановках;
- модификация системы управления автоматическими стрелочными переводами и сигналами.

#### Перспективы

Для увеличения долговечности аккумуляторных батарей все же целесообразно использовать питание от контактной сети (естественно, там, где она есть) всякий раз, когда позволяют условия. При этом, по всей вероятности, можно исходить из следующих соображений: в центральных районах городов рекомендуется работа с питанием только от аккумуляторной батареи и ее подзарядкой на промежуточных и обязательно на конечных остановках; на окраинных и вылетных линиях трамвая, где можно обустроить контактную сеть, предпочтительнее работа в режиме гибридного привода с комбинированным питанием.

Несмотря на экспериментальный характер эксплуатации опытного вагона трамвая с литий-ионной аккумуляторной батареей, полученные обнадеживающие результаты испытаний указывают на возможность эффективной работы этого экологически чистого вида подвижного состава.

*M. Ogasa, H. Sameshima. Japanese Railway Engineering, 2004, № 1, p. 23 – 26.*

## Безмасляные компрессоры для подвижного состава

*Пассажир поезда, как правило, не видит компрессоров, производящих сжатый воздух для тормозного оборудования и пневматических систем, но нередко ощущает их работу по шуму и вибрациям. Эксплуатационники хотят иметь высоконадежные компрессоры, не создающие шума и заметных вибраций и одновременно требующие минимальных затрат на техническое обслуживание и ремонт. Такие компрессоры созданы. В результате отказа от применения в них каких-либо смазочных материалов значительно упростилось их обслуживание и уменьшилось загрязнение окружающей среды.*

Компрессорные установки, применяемые на железнодорожном подвижном составе, имеют следующие основные компоненты (рис. 1, а): собственно компрессор 1, воздухоосушитель со встроенным

фильтром 2, сборник конденсата с отводящей линией 3 и масляный фильтр тонкой очистки 4. Предохранительные клапаны 5 и 6 предотвращают возникновение недопустимо высокого давления в случае различных неисправностей. Компрессор сжимает забираемый воздух до 8,5 – 10 бар. При этом сжатый воздух содержит масло и воду в виде капель или паров. Для предотвращения их попадания в пневматическую сеть сжатый воздух подвергается специальной обработке.

Из компрессора он сразу поступает в воздухоосушитель, где основная часть каплеобразных примесей осаждается механическим путем, а оставшаяся забирается специальными влагопоглотителями. Далее, если это необходимо, сжатый воздух дополнительно охлаждают и пропускают через масляный фильтр тонкой очистки. Накапливающийся в воздухоосушителе загрязненный маслом конденсат в большинстве стран по экологическим соображениям