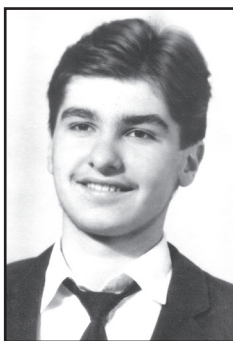




Трамваи и троллейбусы без внешнего питания



Виталий ОРЛОВ

Vitaly A. ORLOV

Беспроводное электропитание для городского пассажирского транспорта, создание аккумуляторных батарей, обеспечивающих автономность хода рельсового и безрельсового подвижного состава, – это задачи, которые правомерно ставятся в один ряд с разработкой современных электромобилей, гибридных силовых установок, предназначенных под потребности легковых автомашин (см., например: Мир транспорта, 2013, № 1). Публикуемая обзорная статья дает представление о существующих инженерных решениях и реализуемых в последние десятилетия проектах, так или иначе отражающих опыт стран, где трамвайные и троллейбусные маршруты имеют участки без внешнего сетевого энергоснабжения.

Ключевые слова: городской транспорт, трамвай, троллейбус, электропитание, аккумуляторные батареи, автономный ход.

Орлов Виталий Андреевич – ведущий инженер государственного учреждения «Столичный транспорт и связь», Минск, Республика Беларусь.

1.

Само по себе электропитание от аккумуляторных батарей трамваев как транспортных средств массой до 40 т и с высокой пассажироместимостью уже не выглядит некоей экстравагантностью. Однако еще сравнительно недавно многие, включая и непосредственно транспортников, считали решение использовать такие батареи для продолжения движения трамваев без питающего провода в Ницце лишь стремлением подчеркнуть особое место Французской Ривьеры среди культурных столиц мира.

Между тем, в конце мая 2011 года принадлежащий Мюнхенскому объединению городского транспорта трамвай (Variobahn) швейцарского вагоностроителя Stadler на опытном участке под Берлином прошёл без контактной сети 16 км – получая питание от литий-ионной (LiON) аккумуляторной батареи массой 380 кг. Это достижение внесено в Книгу рекордов Гиннесса. Впрочем, и трамвайный вагон Swimo постройки «Кавасаки», проходивший на никель-металл-гидридных (NiMH) батареях 10 км пути, в ходе испытаний тоже ставил рекорды. Да что там зарубежье – рекордные расстояния по родному Екатеринбургу набегал в мае 2012 года трамвай модели 71-405-11

«УралТрансМаш» с теми же литий-ионными аккумуляторами [1, 18].

В 2013 году стал известен и заокеанский пример движения трамваев на аккумуляторных батареях. В феврале американское предприятие «Brookville Equipment Corp.» заключило договор на поставку пары трамвайных вагонов в г. Даллас. Отрезок участка в 1,6 км они будут проходить без контактной сети, причём по мосту (через р. Trinity), и для питания тяговых электродвигателей (4×99 кВт) как раз предусмотрено использование аккумуляторов. Откроется новый участок (общей длиной 2,6 км) в конце 2014 года. В договор с изготовителем заложена возможность поставки ещё двух трамваев «Brookville Liberty», имеющих 3-звенное исполнение и низкий пол на 70% длины салона [2].

Азия «ответила» на подобные вызовы посвоему. По данным июньского выпуска 2011 года «Международного альманаха железнодорожного транспорта» (Railway Gazette International, статья «Energy storage offers Macau metro 10% saving»), на всей протяжённости 20-километровой сети строящегося метрополитена г. Аомынь (португальский Макао), открыть который намечено в апреле 2015 года, пневмоколёсные поезда постройки Mitsubishi без машиниста будут следовать на электроэнергию, запасённой подвагонными литий-ионными аккумуляторными батареями. Эта разработка Hitachi V.I носит простое и ясное название B-Chop.

В городах тем не менее отечественный автотранспорт на аккумуляторах грузоперевозки всё-таки выполнял [3]. Так, развозить почту электрические фургончики НАМИ-ЛАЗ моделей 750 (грузоподъёмностью 0,5 т) и 751 (1,5 т) в Москве начали аж в 1949 году. Запас их хода достигал 70 км. Электродвигатель и привод изготавливал столичный завод «Динамо», аккумуляторные батареи — «Ленинская искра» (Ленинград). В 1951 году ЛАЗ тоже для развоза почты поставил уже в Ленинград 20 электромобилей (они проработали до 1958 г.).

В 1974 году в автокомбинат № 34 Мосторгтранса поступили пять электромобилей на шасси УАЗ-451. Через четыре года одноименные электромобили придут из Ульяновска уже с зарядным устройством (питают хоть от сети). Дело продолжили РАФ-2207 и - 2210, а затем ЕрАЗ-3734. Из-за размеров аккумуляторных отсеков у них несли потери грузоподъ-

ёмность — 0,5 т (при шестикратно большей собственной массе), пассажироместимость, а «рафиках» — всего 8 человек. Любопытно, что последние успели потрудиться в качестве маршрутных такси. Электромобили «Пони» (ВАЗ-2802) нашли применение в службе быта Волжского автозавода и «служили» на почте г. Тольятти. Поступившие в Подольск в 1970-е годы модели НИИАТ занимались транспортировкой товаров народного потребления.

Почтовое ведомство и сегодня продолжает подставлять плечо применению электротяги на транспорте. В 2013 году «Почта России» взялась использовать «каблучки» Renault-Kangoo с электроприводом, причём с собственной сетью зарядных станций.

2.

Развитие троллейбусного движения на улицах города власти Рима [4] связывают с подвижным составом (в кузове BredaMenarinibus с электрической частью от Škoda), оборудованным дизель-генераторной установкой (MAN).

Конструктивно такая же составляющая отличает смешанный привод троллейбуса, ставшего основным видом транспорта на открытой в конце апреля 2013 года линии в студгородке университета Короля Сауд Бин-Азиза, находящегося в столице Саудовской Аравии г. Эр-Рияде [5].

Напомним, что служебные троллейбустягачи ТГ в 1960—1970-е годы выпускались Киевским заводом электротранспорта как раз с дизель-генераторной установкой. Они, как и трамваи с дизель-электрическим приводом, способны были применять ёмкостные накопители для продолжения движения вне контактной сети — в первую очередь на участках, где она отсутствует (за рубежом целый ряд маршрутов сформирован таким образом), а также для объезда помех, созданных в том числе и при проведении дорожно-строительных работ.

В СНГ, к сожалению, использование этого технического решения остаётся ограниченным. Изготовленный, к примеру, в 2005 году сочленённый троллейбус «Белкоммунмаш-333» заезд на участок без контактной сети г. Бобруйска выполнял лишь короткое время. При этом названное белорусское предприятие применяет ёмкостные накопители уже на троллейбусах четвертого поколения (модели 420, сочленённая 433), наряду с ещё



Перечень способов обеспечения движения на электротяге по маршрутной сети без питающего провода

/ Вид транспорта Способ тяги*/	Трамвай		Троллейбус	
Аккумуляторы	ЕС, др. страны Ницца (Фр.), Падуя (Ит.) (оба – 2007 г.) Женева (Швейц.) (2012 г., опыт.), Даллас (США), Нанкин (Китай) (оба – на 2014 г.)	СНГ Екатеринбург (опыт, 2012 г.)	ЕС, др. страны Рим (партия 2005 г.), Афины (ЗиУ, до 2001 г.) Минск (партия учебно-пасс. «Белкоммунмаш»-321 2009 г.), Ландскруна (Швеция, с 2003 г.)	СНГ Санкт-Петербург (ПТ-6231, на базе МА3-103Т, с 2006 г.)
Дизель-генератор	Нордхаузен (2004 г.), Кассель (2006 г.) (оба – Германия)	Таллинн (ограниченное число «бензомоторных» трамваев до 1952 г.)	Афины, Лион, Пекин, Шанхай, Рим (партия 2010 г.), др. города Италии, Австрии, Швейцарии, Чехии, столица Словакии Братислава, др.; Эр-Рияд (Сауд.Аравия)	«Белкоммунмаш-333»: - образца 1998 г. (опыт.), - в южноамериканском исполнении (2010 г.) <i>служебные ТГ в Сов. Союзе</i>
Ёмкостные накопители	Севилья (2010 г.), Сарагоса (2011 г.) (оба – Испания) Хайдельберг, Мангейм (с 2009 г.) (оба – Германия) Лиссабон (Португалия) (с 2009 г., опыт.) Париж (с 2009 г.) Шэньян (Китай, с 2013 г.)	-	Милан (2008 г.)	«СадКо» (МТрЗ- ЛиАЗ-5292), «Белкоммунмаш-333» (мод. 2007 г., опыт.)
Маховичный накопитель	Роттердам (Голландия) (середина 2000-х, опыт.)	-	Базель (Швейцария) (с конца 1990-х, опыт.),	-
Индуктивный токосъём (Primove(City))	Аугсбург (Германия) (2010 г., опыт.)	-	-	-

* гидропривод не рассматривается ввиду отсутствия на сегодняшний день практических примеров его использования трамваями и троллейбусами на линии.

одной разновидностью только-только освоенной техники — дизель-электрическими автобусами А420. Больше известно о прохождении троллейбусами без контактного маршрута по московскому Садовому кольцу, в силу чего используемые для этого «рогатые» на базе кузова низкопольного ЛиАЗ-5292 получили созвучное наименование «Садко».

Обращаясь к промышленно-развитым странам, упомянем ещё один, помимо изготовленных для Рима, дизель-электрический троллейбус с ёмкостными накопителями Maxwell Technologies (вес каждого модуля — 60 кг). Семь десятков оборудованных ими троллейбусов Van Hool (с электротехникой Vötsch Kiepe) итальянский Милан заказал в середине 2008 года. Дополняет привод дизельный двигатель мощностью 100 кВт.

Похоже, чуть раньше других за ёмкостные накопители для рельсовых видов транспорта взялась известная французская многопрофильная компания Alstom. В России у нее СП с «Трансмашхолдингом» по выпуску в Новочеркасске электровозов и двухэтажных вагонов в Твери для поездов дальнего следования (с ориентацией на олимпийский Сочи). Ис-

следования, проводившиеся совместно с местным НИИ транспортной безопасности (Inrets), а также Парижским объединением городского транспорта (RATP), получили название Steem (Maximal Energy Efficiency Tramway System). Испытания же показали возможность подзарядки установленных на крыше многоосного низкопольного трамвая (парижского маршрута № 3) 48 ёмкостных накопителей (весом 15 кг каждый) за 20 секунд — от питающего провода на трассе либо остановочном пункте. В середине 2009 года железнодорожное разрешительное ведомство Франции (Certifer) одобрило использование технологии Steem при перевозках пассажиров [6].

Заметные успехи сопутствуют Siemens. Знаковое достижение именитой немецкой электротехнической компании — система Sitrans-HES (Hybrid Energy Storage), которая будет обеспечивать беспроводное движение 19 трамваев Avenio (длиной 27,7 м и вместимостью 239 пассажиров) в столице Катара г. Дохе. Линия протяженностью 11,5 км должна открыться здесь осенью 2015 года. Ёмкостные накопители с приставкой «супер»

в этом проекте дополняют никель-металл-гидридные (NiMH) аккумуляторные батареи, размещаемые на крыше. За подзарядку, занимающую 20 секунд (т. е. с запасом от того времени, пока пантограф поднят на момент высадки-посадки пассажиров), отвечает «воздушный» контактный провод на 750 В, расположенный над каждым из 25 остановочных пунктов. Её будет достаточно для последующего автономного прохождения трамваями перегонов до 2,5 км. Любопытно, что трамвай с такой системой появляется в катарской столице в рамках подготовки к футбольному чемпионату мира 2022 года [7].

Четыре года потребовалось европейскому отделению Bombardier на то, чтобы предложить систему ёмкостных накопителей для многоосных трамваев, сегодня известную как Mitrac Energy Saver [8, 9]. В нее входят три крышевых блока высокопроизводительных суперконденсаторов (каждый весом 428 кг). Нетривиальна причина, по которой немецкие Хейдельберг и Мангейм оборудовали ими 7-звенные трамвайные вагоны, проходящие без контактной сети два 400-метровых участка. Сделано это с учетом близости к трассе медучреждения с высокочувствительным диагностическим оборудованием, для которого опасно воздействие внешних магнитных полей.

Ёмкостные накопители, компенсирующие электротранспорту отсутствие контактной сети, предложены в своем варианте исследовательскими подразделениями испанского вагоностроителя CAF и Арагонским технологическим институтом. Разработанные ими ACR (Accumuladores de Carga Rapida, rapid charge battery/accumulator) впервые установили на трамваях (постройки CAF) в Севилье в 2010 году, где на одном из участков они проходят без контактной сети вблизи известного католического собора XVI века.

Зарядка ёмкостных накопителей производится на остановочных пунктах, над которыми установлен «воздушный» провод. Потребное для этого время, составляющее те же 20 секунд, обеспечивает затем автономное прохождение до 2 км пути. А вот в Сарагосе, восстановившей трамвайное движение в апреле 2011 года, на отдельных участках для подзарядки ACR вместо контактной сети над остановкой решили установить токопитающий рельс, напряжение на который подаётся только в момент прибытия вагона [10, 11].

В клуб стран, обзаведшихся беспроводными трамваями, вступил и Китай. Чанчунский вагоностроительный завод (входит в CNR) оснастил ёмкостными накопителями «Фойт» 30 вагонов собственного производства [12], которые должны были выйти на линию в г. Шэньян летом 2013 года — к открытию 12-й Всекитайской спартакиады.

В 2012 году электровозостроительным заводом CSR Zhuzhou выпущен опытный (с прицелом на серию с 2014 года) двухвагонный оборудованный крышевыми ёмкостными накопителями состав (320 пассажиров) для облегчённого метрополитена [13]. Осуществляемая на промежуточных станциях зарядка занимает 30 секунд и оказывается достаточной, чтобы покрыть двухкилометровое расстояние (без питающего провода, третьего рельса и т. п.).

3.

В 2004—05 годах, примерно через пять лет после начала французской стороной (Alstom) испытаний, маховик в качестве источника тяги нашёл применение на 5-звенном низкопольном трамвайном вагоне Роттердама. Автономность хода составила 900 м — без токоприёмников транспорт с пассажирами пересекал мост им. Эразма Роттердамского.

Маховичный накопитель в этом случае отличает крышевое расположение. Его применение в качестве источника автономного хода связано с уменьшением собственного веса и размеров — современные маховики изготовлены из композитов (углеродистого волокна, которое легче и прочнее металлических сплавов) и вращаются в безвоздушном пространстве, раскручиваясь на десятки тысяч об./мин.

Кстати, маховик, установленный на испытаниях трамвая в 1999 году, оказался ещё велик («влез» в салон) и осиливал всего пару сотен метров. Alstom заменил его изготовленным голландским Centre for Concepts in Mechatronics (CCM, близ Эйндховена, в котором квартирует «Филипс») аналогом повышенной (с 200 до 300 кВт) мощности. Этот маховик уже умещался на крыше, отличался приемлемыми тягово-разгонными характеристиками при движении без питающего провода и быстротой подзарядки.

Компания «Alstom» продолжает работать в данном направлении. В 2013 году она заключила соглашение с «Williams





Hybrid Power» — разработчиком накопителей энергии, ещё в 2009 году использовавшихся гоночными автомобилями «Формулы-1». Стационарный маховик (один только вес которого превышал тонну) был полностью переделан под условия автогонок — как с точки зрения размеров, так и нагрузок. Отсутствие крупных металлических частей позволило свести к минимуму тепловые, а также вызванные вихревыми токами потери (что, в свою очередь, обеспечило высокую полезную отдачу установки).

Уточним: отсутствие нагрева ротора означает, что предложенный маховик может использоваться длительное время под нагрузкой без ухудшения полезных свойств и сокращения срока службы всего устройства. В 2014 году Alstom проведёт испытания трамвайного вагона с выполненным из композитов маховиком «Williams Hybrid Power». Используя его, компания рассчитывает достичь 15-процентной экономии расходуемой трамваями электроэнергии. При этом сами французы отмечают целый ряд достоинств нового маховика по сравнению с аккумуляторными батареями и ёмкостными накопителями [14, 15].

И другой пример использования пассажирского транспортного средства с маховиком [16]. В феврале 2011 года, после пятилетних испытаний облегчённый рельсовый автобус (одновагонный дизель-поезд) PPM50 начал выполнение пяти оборотных рейсов в утренние и вечерние часы «пик» по будням на малодеятельной ветке Mid-Hants Railway в Стаурбридж (Южная Англия). Любопытно, что финансовую сторону дела (а каждый PPM оценивают в 550 тыс. долларов) обеспечил выпуск ценных бумаг организаторами начинания — «Lightweight Community «Transport» и GoCo-operative».

Ещё раньше, по завершении эпопеи с жиробусом «Орликон», в конце 1990-х годов, маховик в тех же целях опробовали на троллейбусах. Транспортное ведомство швейцарского Базеля сообщало, что установка на троллейбусы маховичного накопителя давала от 20 до 25% экономии электроэнергии — в сравнении с обычным подвижным составом того же вида на том же маршруте. При этом уточнялось, что наработка маховичного накопителя

на отказ за 10 лет эксплуатации в среднем составила 38 тыс. часов.

Можно ли считать достаточным распространение маховичного накопителя в качестве движителя электротранспорта, следующего без контактной сети, либо подобное техническое решение только «готовится выстрелить»?

Постараемся избежать прямых оценок, ибо есть требующее дополнительного внимания обстоятельство. С 2002 года с той или иной степенью успеха маховики используют на объектах энергоснабжения (тяговых подстанциях) метрополитенов Нью-Йорка, Лондона, Парижа, Лиона в качестве накопителей электроэнергии, выделенной поездами при рекуперативном торможении. Конечно, данный вопрос — предмет отдельной статьи, особенно с учётом того, что на тяговых подстанциях, к примеру, метрополитена Филадельфии (линия «Market-Frankford») именно в этом случае нашли применение литий-ионные аккумуляторные батареи [17].

Что действительно выгодно отличает индуктивный токосъём, получивший известность как «Primeve» — так это возможность его равного использования и электро-, и автотранспортом [19].

Пример такого рода — обкатка пятисекционного трамвая (с двумя подвагонными приёмными индукционными катушками Primeve) на одном из участков маршрута № 3 немецкого Аугсбурга. Она проходила с сентября 2010 года. К испытаниям с пассажирами здесь приступили через год.

Наземный токосъём, уже сам по себе предполагающий высокий уровень промышленного развития государств, где на трамвайных сетях городов он находит свое применение (подача напряжения на подвагонное оборудование, обеспечение безопасности другим участникам движения), остаётся за скобками нашего обзора. Дело в том, что в случае его использования токопитание подвижного состава является постоянным по всей длине маршрута. Иными словами, питающий провод сохраняется, хотя и в изменённом виде.

Отметим, конечно, что наземный токосъём под обозначением APS существует на пассажирских линиях уже более десяти лет — на действующих (французские города Бордо, Анже, Реймс, Орлеан) и строящихся (Дубай,

«Al Safooh») трамвайных сетях. «TramWave» — схожая итальянская разработка. В 2009 году компания «Ansaldo» успешно завершила (в Неаполе) её многолетние испытания [3, 18]. Затем, как считается, в целях расширения географии применения этот вариант наземного токосъёма летом 2012 года передан Китаю (на железнодорожное предприятие CNR в г. Далянь, имевший когда-то русское название Дальний).

ЛИТЕРАТУРА

1. Transit news// Railway Gazette International, 2011, № 10; 2013, № 3.
2. Transit news Railway Gazette International, 2011, № 10; 2013, № 3.
3. «Электромолния» для колбасы// Грузовик-Пресс. — 2006 — № 11.
4. More new trolleybuses for Roma // Transurban, 2010, № 3.
5. Opening of the New Campus of the King Saudbinaziz University. Сообщение от 06.05.2013. Электронный ресурс: http://www.trolleyemotion.ch/index.php?id=115&L=3&n_ID=1783. Доступ 20.12.2013.

6. Power to the people// International Railway Journal, 2009, № 9.
7. Qatar Foundations's Siemens-built turnkey tramway// Railvolution, 2012, № 4.
8. Energy storage takes off// Metro Report, 2010, № 9.
9. Mitrac energy saver batch production starts// Transurban, 2010, № 1.
10. Presenting CAF power and automation// Railvolution, 2012, № 4.
11. Supercapacitor «Tango» in service in Geneve// Railvolution, 2012, № 4.
12. RATP Dev. and Transdev to operate Shenyang LRT// International Railway Journal, 2013, № 4.
13. Supercapacitor light metro train unveiled// Railway Gazette International, 2012, № 8.
14. Alstom puts a nail in the coffin of catenary// ERO, 2005, № 9.
15. Formula-1 technology offers light rail energy savings// International Railway Journal, 2013, № 3.
16. Flywheel railcar to operate demonstration commuter service// Railway Gazette International, 2011, № 1.
17. Transit systems — get creative with revenue generation// Metro-Magazine, 2013, № 1.
18. Wireless connections// International Railway Journal, 2009, № 6.
19. «Primove» on the move// Railvolution, 2012, № 4.
20. Nanjing to get catenary-free trams// Railway Gazette International, 2013, № 4.

TRAMS AND TROLLEY BUSES WITHOUT EXTERNAL FEEDING

Orlov, Vitaly A. — leading engineer of a department of public institution «Metropolitan transport and communications», Minsk, Republic of Belarus.

The tasks of engineering of wireless electric feeding for urban passenger transport, of storage batteries which ensure prolonged autonomy of rail and trackless vehicles — are rightfully ranked among the tasks of engineering of modern electric cars, hybrid engines for motor cars (see, e. g. Mir Transporta,

2013, Iss. 1). The present survey article is a sort of a think piece referring to existing engineering solutions and projects, implemented during past decades, which reflect best practices of countries where tram and trolleybus routes are equipped with sections without external electric feeding.

Key words: urban transport, tram, trolleybus, electric feeding, storage battery, vehicle autonomy.

REFERENCES

1. Record of Stadler [Rekord kompanii «Stadler»]. Zheleznye dorogi mira, 2011, № 7.
2. Transit news. Railway Gazette International: 2011, № 10; 2013, № 3.
3. «Electric lightning» for sausage [«Elektromolniya» dlya kolbasy]. Gruzovik-Press, 2006, № 11.
4. More new trolleybuses for Roma. Transurban, 2010, № 3.
5. Opening of the New Campus of the King Saudbinaziz University. Сообщение от 06.05.2013. http://www.trolleyemotion.ch/index.php?id=115&L=3&n_ID=1783. Last accessed 20.12.2013.
6. Power to the people. International Railway Journal, 2009, № 9.
7. Qatar Foundations's Siemens-built turnkey tramway. Railvolution, 2012, № 4.
8. Energy storage takes off. Metro Report, 2010, № 9.
9. Mitrac energy saver batch production starts. Transurban, 2010, № 1.
10. Presenting CAF power and automation. Railvolution, 2012, № 4.

11. Supercapacitor «Tango» in service in Geneve. Railvolution, 2012, № 4.
12. RATP Dev. and Transdev to operate Shenyang LRT. International Railway Journal, 2013, № 4.
13. Supercapacitor light metro train unveiled. Railway Gazette International, 2012, № 8.
14. Alstom puts a nail in the coffin of catenary. ERO, 2005, № 9.
15. Formula-1 technology offers light rail energy savings. International Railway Journal, 2013, № 3.
16. Flywheel railcar to operate demonstration commuter service. Railway Gazette International, 2011, № 1.
17. Transit systems — get creative with revenue generation. Metro-Magazine, 2013, № 1.
18. Wireless connections. International Railway Journal, 2009, № 6.
19. «Primove» on the move. Railvolution, 2012, № 4.
20. Nanjing to get catenary-free trams. Railway Gazette International, 2013, № 4.

Координаты автора (contact information): Орлов В.А. (Orlov V.A.) — vitano@open.by.

Статья поступила в редакцию / article received 07.05.2013
Принята к публикации / article accepted 25.05.2013

