

Борьба с загрязнением окружающей среды вынуждает вновь и вновь возвращаться к решению исключительно сложной проблемы замены автотранспорта с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) высоконадежными электромобилями.

Современные тенденции развития электромобильного транспорта

Сергей Булгач, академик УАН, Вадим Любас, инженер, г. Киев



Основу электромобильного транспорта составляют: электромобили, зарядка одного из которых показана на **фото**, электробусы (автобусы с аккумуляторной тягой), а на закрытых территориях – грузовые электрокары.

Коротко о создании и начальном этапе развития электромобильного транспорта

Электромобиль в виде транспортного средства, ведущие колеса которого приводятся в движение от электродвигателя, питаемого электробатереей, впервые был создан в Англии Робертом Дэвидсоном в 1838 г., всего лишь через шесть лет после открытия М. Фарадеем явления электромагнитной индукции, т.е. значительно раньше автомобиля с ДВС. Он представлял собой огромную машину с ваннами, заполненными серной кислотой. Тяговый электродвигатель этого электромобиля получал питание от батарей со свинцовыми аккумуляторами емкостью всего 20 Вт·ч/кг, позволявшими ему передвигаться с очень малой скоростью, совершая пробег на одной зарядке всего лишь в несколько десятков километров.

Но уже в 1901 г. изобретатель У. Бейкер построил первый электрокэп на четырех велосипедных колесах, позволявший ездить в течение 6–8 ч без подзарядки, и через год он достиг на нем скорости 130 км/ч [1], наглядно продемонстрировав высокие возможности этого вида транспорта.

Наибольшую популярность электромобили приобрели в США, причем в одном лишь Нью-Йорке в 1910 г. в качестве такси работало около 70 тыс. электромобилей, большое количество грузовых электромобилей и электроминибусов (электробусов) [1].

Все же, после того как вскоре выяснилось, что электромобили из-за малой энергоемкости батарей со свинцовыми аккумуляторами не в состоянии обеспечивать длительный пробег, их количество на дорогах разных стран начало резко сокращаться. Так, в Европе уже к маю 1914 г. насчитывалось всего лишь 1576 электромобилей разных систем [1].

Развитие электромобильного и гибридного транспорта в конце XX века

Начиная с 1960-х годов роль электромобилей в городском транспорте начала снова существенно возрастать вследствие установившегося к этому времени во многих городах мира сравнительно небольшого (около 100 км) среднесуточного пробега обычных автомобилей, ограничения их скорости до 60 км/ч, а в дальнейшем также из-за резкого роста стоимости топлива в результате разразившегося в 1970-х годах мирового энергетического кризиса.

Повышение роли электромобилей в городском транспорте в эти годы происходило даже несмотря на продолжавшееся повсеместное применение в них батарей со свинцовыми аккумуляторами. Хотя к этому времени энергоемкость таких батарей возросла до 45 Вт·ч/кг и даже больше, их недостатки продолжали оставаться достаточно ощутимыми. Так, кроме наличия в таких батареях ядовитых компонент свинца, создававших ряд проблем с утилизацией отработавших свой ресурс батарей, их существенным недостатком оставалось также то, что они, хорошо работая при движении электромобиля на постоянных скоростях и при плавных разгонах, в случае резких стартов теряли значительное количество энергии. Энергия теряется на охлаждение или обогрев салона, а также для питания других бортовых энергопотребителей.

К сожалению, созданные впоследствии энергоемкие натриево-серные аккумуляторные батареи как альтернатива батареям со свинцовыми аккумуляторами из-за использова-

ния в них серебра и лития, так же, как и литий-ионные батареи, позволяющие электромобилю совершать пробег в 150 км без подзарядки, оказались достаточно дорогими, поэтому в электромобилях не нашли широкого применения. Поэтому исключительно важным является значительное снижение стоимости таких батарей.

По мнению многих экспертов, поездки на дальние дистанции для электромобилей станут возможными лишь после перехода на еще более совершенные батареи по сравнению с литий-ионными, например, на серно-литиевые, литий-воздушные и т.д. Однако в настоящее время разработка таких батарей еще находится на стадии фундаментальных исследований, а их появление на рынке ожидается не раньше, чем через 10 лет.

Что же касается сокращения потерь энергии в коробке передач и в других элементах трансмиссии электромобиля (до 10%), то эта проблема впоследствии была успешно решена двумя японскими компаниями – Mitsubishi Motor и Toyota, первая из которых разработала колесо (точнее, мотор-колесо с встроенным электродвигателем), а вторая создала про-

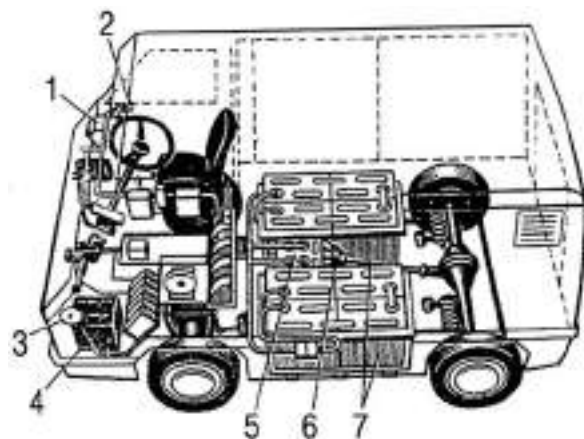


Рис.1

тотип автомобиля Toyota Fine-T с колесом, поворачивающимся перпендикулярно оси, что значительно упростило парковку электромобиля.

Электромобили в последней трети XX века создавались повсеместно. Так, в бывшем Советском Союзе ГосНИИ автотранспорта разработал для эксплуатации в городских условиях достаточно эффективный электромобиль, принципиальная схема которого показана на рис.1, где обозначено:

- 1 – акселератор;
- 2 – выключатель;
- 3 – розетка для подзарядки;
- 4 – вспомогательный аккумулятор;
- 5 – тяговый электродвигатель;
- 6 – редуктор трансмиссии;
- 7 – контейнеры с тяговой батареей аккумуляторов.

Отметим, что в 1970-80-е годы в ряде стран наряду с обычными электромобилями разрабатывались также их «гибридные» модели (электробусы), использующие для привода ведущих колес более одного источника энергии – ДВС и электродвигатель. Они, кроме сокращения загрязнения воздушной среды и уменьшения шума в городах, позволяли также существенно экономить жидкое топливо.

Общий вид одного из таких «гибридных» электромобилей компании «Даймлер-Бенц» показан на рис.2 [3], где обозначено:

- 1 – контейнеры с тяговыми аккумуляторными батареями;
- 2 – блоки управления;
- 3 – редуктор;
- 4 – тяговый двигатель;
- 5 – вспомогательный двигатель и вентилятор для охлаждения тягового двигателя;
- 6 – дизель с электрогенератором;
- 7 – компрессор усилителя рулевого управления;
- 8 – устройство для вентиляции батарейного отсека.

Сравнение энергетической и экологической эффективности электромобильного и автомобильного транспорта

Энергетическую эффективность транспортного средства принято выражать в виде количества энергии, затраченной на превращение исходного источника энергии в энергию механического передвижения этого средства на определен-

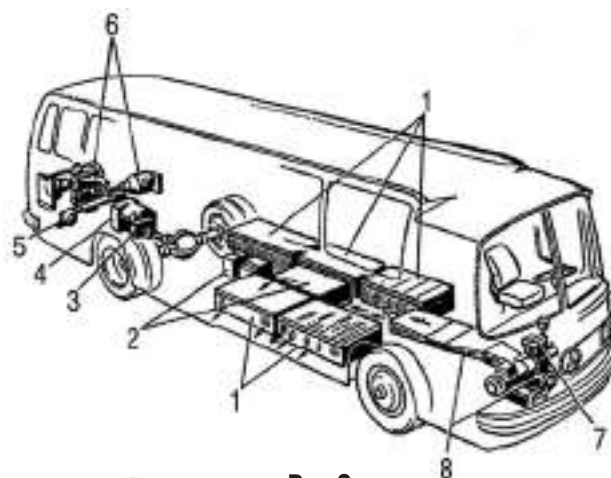


Рис.2

ное расстояние (МДж/км), а экологическую – в виде количества граммов углекислого газа CO_2 , выделяемого при полном цикле превращения топлива, т.е. от момента его добычи до использования для передвижения транспортного средства на один километр (CO_2 , г/км).

Значительный интерес представляет детальное сравнение эффективности электромобильного транспорта с автомобильным. Для проведения такого сравнения следует сравнивать между собой соответствующие показатели наиболее совершенных марок электромобилей, автомобилей, а также их гибридных моделей, использующих различные первичные источники энергии.

Результаты такого сравнения энергетической, экологической и полной эффективности электромобилей, автомобилей с ДВС, а также гибридов, изготовленных по технологии бензин/электро, приведены в таблице [1].

Приведенные в таблице данные показывают, что электромобили и гибриды более эффективно используют исходные источники энергии по сравнению с автомобилями. При этом превосходство электромобилей, по сравнению с автомобилями оказывается особенно большим. При этом энергоэффективность гибридов «бензин/электро», согласно данным таблице,

также существенно превосходит энергоэффективность автомобилей, поэтому они, в настоящее время, безусловно являются наилучшим видом транспорта.

Экологическая и полная эффективность электромобилей и гибридных автомобилей, выполненных по различным технологиям, согласно данным **таблице**, существенно выше экологической и полной эффективности всех типов автомобилей.



Таким образом, для внутригородского автотранспорта, обеспечивающего перевозки на сравнительно небольшие расстояния с небольшой скоростью, в ближайшее время нет более экологически чистой и недорогой альтернативы электромобилям.

Каким должен быть современный доступный электромобиль

В настоящее время существует много и притом нередко диаметрально противоположных взглядов на состояние проблемы электротранспорта – от неоправданно радужных надежд у оптимистов, предсказывающих очень быструю, в течение ближайших нескольких лет, замену автомобилей электромобилями, до полного неприятия такой замены пессимистами – противниками электромобилей.

По заключению ряда специалистов, реальное использование электромобилей в качестве основного вида внутригородского электротранспорта будущего предусматривает особый подход к функциональному предназначению электромобиля как простого, выгодного и экологически чистого вида

транспорта, способного осуществлять перевозки на сравнительно небольшие расстояния с ограниченной в черте города максимальной скоростью до 60 км/ч.

При таком предназначении электромобилей их основной недостаток – малый запас хода на одном заряде аккумуляторных батарей практически отпадает, а их другой недостаток, заключающийся в наличии в них аккумуляторных батарей с ядовитыми компонентами свинца или лития, в настоящее время легко устраняется путем отправки отработанных батарей на вторичную безопасную для окружающей среды переработку вместо их выбрасывания на свалку.

Современный доступный электромобиль как один из основных видов внутригородского транспорта должен иметь [1]:

- несущий каркас безопасности, обеспечивающий достаточную пассивную безопасность при минимуме капитальных вложений;
- выполненную из пластиковых навесных панелей двухместную компоновку корпуса, способного обеспечить длительный срок службы электромобиля;
- ограничение максимальной скорости до 70...90 км/ч, вызванное ограничением скорости передвижения по городу;
- общую массу без нагрузки, не превышающую 400...500 кг, и полезную нагрузку до 250 кг;
- электродвигатель с номинальной мощностью 4...5 кВт и пиковой до 20 кВт;
- минимальный запас хода на одной зарядке 100...120 км и стоимость пробега, эквивалентную стоимости пробега гипотетического автомобиля с ДВС, потребляющего 2...3 л бензина на 100 км.

Новые технологии в электромобильном транспорте

Электромобили к настоящему времени даже несмотря на их значительное усовершенствование, которое существенно увеличило их пробег и сократило расход части энергии на их охлаждение, так и не достигли характеристик, позволяющих им на равных конкурировать с автомобилями по запасу хода и стоимости. По заключению ряда специалистов это произошло, поскольку, как показывают расчеты, химическая энергия топлива, сжигаемого на электростанциях, используется соб-

Типология автомобиля или электромобиля	Наименование марки автомобиля или электромобиля	Исходный источник энергии	Расстояние пробега на единицу топлива	Содержание CO ₂ в выходящем топливе г/МДж	Плотная энергоэффективность кВт/МДж	Энергоэффективность автомобиля или электромобиля, МДж/км	Экологическая эффективность (CO ₂ , г/км)
1	2	3	4	5	6	7	8
Автомобиль с традиционным двигателем	Hyundai CNG	Торфяной газ	12,38 км/л	114	0,32	0,57	16,0
Бензиновый двигатель с катализатором	Hyundai FCX	Воздух	10,2 км/л	114	0,35	0,57	11,1
Бензиновый двигатель	Hyundai Diesel	Нефть	17,7 км/л	59	0,46	0,50	11,5
Бензиновый двигатель	Hyundai SUV, MPV	Нефть	13 км/л	59	0,51	0,60	19,0
Трёхцилиндровый автомобиль с турбодвигателем	Hyundai i30	Нефть	22,5 км/л	39	0,64	0,74	11,1
Электромобиль	Toyota Mirai	Торфяной газ		114	1,14	1,14	12,6

ственно для движения электромобиля менее чем на 15%. Т.е. суммарный КПД системы: электростанция – зарядное устройство – аккумулятор – преобразователь – электродвигатель более чем в два раза ниже, чем у бензиновых автомобилей.

В связи с этим отметим, что значительная часть проблем, связанных с увеличением пробега и сокращением расхода части энергии на охлаждение электромобилей может быть снята при их питании от первичных источников электроэнергии – топливных элементов (ТЭ), которые, потребляя кислород и водород, вырабатывают энергию непосредственно из топлива. При этом кислород обычно забирается из окружающего воздуха, а водород запасается в сжатом или сжиженном виде, а также в, так называемых, гидридах, хотя его реальнее получать из обычного автомобильного топлива прямо на электромобиле с помощью конвертора.

Несмотря на то, что при этом эффективность ТЭ несколько снижается, но зато вся инфраструктура топливозаправочного хозяйства остается неизменной, причем КПД топливных элементов при этом все равно остается очень высоким – около 50%. Отметим, что такие ТЭ и конверторы уже разработаны и проходят проверку в реальных условиях эксплуатации электромобилей.

Попытки использовать в качестве источников энергии конденсаторы большой емкости (ионисторы) и запасать в них электричество, выработанное в ТЭ, до настоящего времени еще не принесли ощутимых результатов, поскольку лучшие образцы ионисторов, которые могут быть установлены в электромобилях, имеют удельную мощность 0,8 Вт·ч/л, а для накопления всего 2 кВт·ч энергии требуется 3 тонны ионисторов объемом 2,5 м³.

Отметим также, что в ряде ведущих лабораторий мира ионисторы, ТЭ и обычные аккумуляторы пытаются заменить изобретенным еще 50 лет тому назад российским ученым Н.В. Гулиа, но еще массово не применявшимся супермаховиком, изготавливаемым навивкой из волокон или лент на упругий центр. Такой супермаховик способен запасать в тысячи раз больше энергии, чем обычный маховик [3]. Так, в США в Ливерморской национальной лаборатории и в компании Mechanical Technology Inc. уже опробованы схемы такой замены. При этом удельная энергия супермаховиков из кевлара и графита была достаточно велика – для накопления 2 кВт·ч нужен супермаховик массой всего лишь в 10 кг.

Электробус с супермаховиком

Кратко рассмотрим особенности схемы городского электробуса (рис.3), разработанной на основе новой концепции устройства такого транспортного средства с супермаховичным накопителем энергии [3]. На рис.3 приняты следующие обозначения:

- 1 – источник тока;
- 2 – электродвигатель;
- 3 – механизм реверса;
- 4 – коробка отбора мощности;
- 5 – планетарный дисковый вариатор;
- 6, 7 – карданные передачи;
- 8 – главная передача;
- 9 – коническая зубчатая передача;
- 10 – супермаховичный накопитель.

Согласно этой схеме супермаховичный накопитель 10, снабженный своим редуктором 9, располагается в электробусе независимо от остальных агрегатов и мягко подвешивается на раме – с целью уменьшения и без того небольших гироскопических усилий при горизонтальном расположении супермаховика.

Далее, с помощью коробки отбора мощности 4 и карданных передач 7 супермаховичный накопитель 10 может связываться с вариатором 5 как независимо, так и совместно с

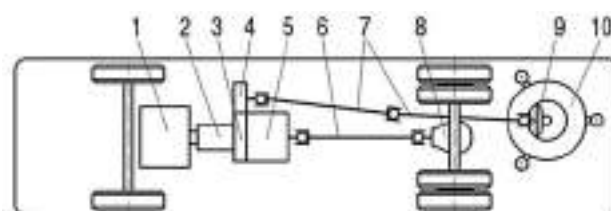


Рис.3

электродвигателем 2, причем этот электродвигатель может быть соединен с планетарным дисковым вариатором 5 и независимо от супермаховика и играть роль полноценного тягового двигателя, в основном, на стационарных режимах движения.

Отметим, что энергоемкость супермаховичного накопителя 10 может быть существенно снижена – реально до 0,5 кВт·ч,



что позволяет его изготавливать из такого стабильного и сравнительно дешевого материала, как стальная углеродистая проволока. В этом случае выход из строя (разрыв) супермаховика настолько безопасен, что нет необходимости устанавливать тяжелый защитный кожух. Отличительной особенностью новой схемы городского электробуса является установка в нем планетарного дискового вариатора 5, позволяющего тяговому электродвигателю 2 работать в эффективном диапазоне крутящих моментов и частот вращения, что благоприятно сказывается на его работе.

Литература

1. Остапенко Екатерина, Любас Вадим. Электромобиль: вчера, сегодня, завтра // Электропанорама. – 2008. – №6, №7-8, №11; 2009. – №1-2.
2. Долматовский Ю.А. Электромобиль // БСЭ, т. 30.
3. Гулиа Н.В. Накопители энергии. – М.: Наука, 1980.
4. Устройство электромобилей – Электромобили // sites.google.com.