

# Развитие городского пассажирского транспорта



**А. Э. Горев,**  
д. э. н., профессор кафедры  
транспортных систем  
автомобильно-дорожного  
факультета Санкт-  
Петербургского госу-  
дарственного архитек-  
турно-строительного  
университета (СПб ГАСУ)



**О. В. Попова,**  
к. т. н., доцент кафедры  
транспортных систем  
автомобильно-дорожного  
университета СПб ГАСУ

Оптимальный вариант развития городского пассажирского транспорта (ГПТ) невозможен без повышения экологической безопасности и энергоэффективности подвижного состава (ПС), используемого для осуществления пассажирских перевозок.

**П**овышение экологических требований к окружающей среде, в частности к выбросам от автомобильных двигателей, как и развитие технологий, замещающих использование нефтяного топлива в автомобилях, стало мощным стимулом в развитии безрельсового ГПТ с «нулевыми» выбросами.

Основные направления повышения экологической безопасности ГПТ включают использование в ПС:

- дизельных двигателей с высокой степенью очистки выхлопных газов;
- гибридного привода;
- электрических двигателей с подводом внешнего питания (троллейбус) или на аккумуляторах (электробус);
- топливных элементов на основе водорода;
- природного газа.

По данным Американской лаборатории по возобновляемым источникам энергии (National Renewable Energy Laboratory (NREL)) ПС ГПТ с приводом различных типов при одном и том же количестве потребляемой энергии может проехать то или иное расстояние (табл. 1). В отчете NREL подчеркивается, что для электробусов на аккумуляторных батареях определена общая средняя энергоэффективность 2,15 кВт·ч на милю, что составляет 17,48 миль на галлон эквивалента дизтоплива. Средняя экономия топлива для автобусов на сжиженном природном газе (КПГ) — 4,04 миль на галлон бензинового эквивалента или 4,51 миль на галлон эквивалента дизтоплива. Таким образом, при использовании электробусов средняя экономия топлива почти в четыре раза выше, чем в случае автобусов на КПГ. Отметим, что электроэнергия может быть получена от возобновляемых источников. Например, железнодорожная система Голландии с 2018 г. потребляет только электроэнергию, вырабатываемую ветрогенераторами.

Все рассмотренные технологии повышения экологической безопасности в той или иной степени реализованы на ГПТ. С учетом потенциала развития, серийного производства и ресурсосбережения рассмотрим эффективность использования ПС с электроприводом.

Нашим современникам, привыкшим к преобладанию автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, может показаться удивительным, что в 1890 г. американец Уильям Моррисон построил первый электробус — автомобиль вместимостью шесть человек, развивающий скорость до 19 км/ч и проезжающий на одном заряде до 160 км. 24 батареи общей массой почти 350 кг выдавали ток 112 А с напряжением 58 В, для полной перезарядки требовалось 10 ч. Первый маршрутный транспорт в Лондоне — электробусы со сменой батарей на специальных станциях.

ФОТО: СЕРГЕЙ ТЮРИН



**Таблица 1. Относительное расстояние, которое подвижное средство может проехать с приводом различных типов при потреблении определенного количества энергии**

Тип привода	Пробег, %
Компилированный природный газ	80–90
Дизель	100
Гибридный	150–220
Электробус	400
Троллейбус	440

На всем протяжении маршрута использовать электрическую энергию могут только электробусы. Рассмотрим особенности электробусов разных типов.

Overnight charging (ONC) — ночная медленная зарядка. Суточный пробег зависит от емкости батареи. Требуется концентрации повышенных энерго мощностей в парке и общего пересмотра энергосистемы города. Простой на зарядку занимает от 4 до 10 ч.

Opportunity charging (OC) — ультрабыстрая зарядка на маршруте. Требуется зарядка током более 300 А, что отрицательно сказывается на батареях. В местах применения создает скачкообразную нагрузку на электрическую сеть, т. е. негативно влияет на энергосистему. Необходима организация сети зарядных станций, на которых ПС будет задерживаться от 2 до 25 мин для зарядки.

In-motion charging (IMC) — динамическая зарядка при движении по участку контактной сети (троллейбус с большим автономным ходом). Обеспечивает пробег от 5 до 80 км. Создает распределенную нагрузку на городскую энергосеть в течение всего дня. Благодаря контактными сетям, связывающим подстанции, обеспечивается устойчивое энергоснабжение. Работа батарей в щадящем режиме. Не нужно создавать инфраструктуру, не требуется стоянка на конечных станциях и в депо/парках, так как зарядка батарей выполняется во время движения по маршруту.

In-motion feeding (IMF) — подача электроэнергии по контактной сети (троллейбус). Не имеет ограничений по продолжительности движения, но маршрут и вспомогательные пути на всем протяжении должны быть оборудованы контактной сетью с питанием от тяговых подстанций.

Для электробусов, за исключением троллейбусов (электробусов IMC и IMF), могут быть использованы схемы подзарядки аккумуляторных батарей, приведенные на рис. 1. Необходимая мощность зарядных станций подсчитана специалистами фирмы Volvo, и они оценивают затраты на эту инфраструктуру при зарядке в парке как миллион евро, при

зарядке на конечных станциях — 0,5 млн евро и при зарядке на остановочных пунктах — 13,2 млн евро.

В нашей стране наибольший опыт эксплуатации электробусов имеется в Москве, где выбрана схема подзарядки аккумуляторных батарей на конечных станциях и некоторых остановочных пунктах. Для отопления салона электробуса используется дизельный обогреватель, что существенно ухудшает экологическую и экономическую составляющие проекта, так как по результатам опытной эксплуатации подобной модели электробуса в Санкт-Петербурге расход дизельного топлива на обогрев доходит до 25 л/100 км. Однако это позволяет преодолеть одну из самых болезненных проблем электробусов типов ONC и OC, когда при температуре от -10 до -15 °С расход электро

энергии на отопление салона достигает 150 % от расхода на тягу. В Санкт-Петербурге в 2019 году началась эксплуатация десяти электробусов типа ONC с отоплением салона от аккумуляторной батареи. По результатам зимней эксплуатации будет определена эффективность этого решения. Электробусами типа ONC планируется заменить дизельные автобусы, работающие на маршруте № 128 (Наличная ул. – Аптекарская наб.). Сейчас при средней протяженности маршрута 17,58 км суточный пробег каждой единицы подвижного состава составляет в среднем 147 км. Электробусы типа ONC, которые без подзарядки могут преодолевать 200–300 км, энергией батареи наполняются ночью в парке. Следовательно, на маршруте № 128 при существующих параметрах транспортного обслуживания требуется 14 электробусов большой вместимости. Это соответствует количеству дизельных автобусов, эксплуатируемых на указанном маршруте сейчас. Из расчетов следует, что затраты на эксплуатацию электробусов типа ONC на маршруте № 128 будут на 5 % меньше по сравнению с эксплуатацией дизельных автобусов. Однако введение электробусов типа IMC (троллейбусов с автономным ходом) и IMF (троллейбусов) на маршруте № 128

**Таблица 2. Сравнительная характеристика удельных эксплуатационных затрат при использовании на маршруте 128 различных подвижных средств**

Показатель	Тип подвижного средства			
	Дизельный автобус	IMF (троллейбус)	IMC (троллейбус с автономным ходом)	ONC (электробус VOLGABUS)
Доля затрат на топливо/электроэнергию, % от общих эксплуатационных затрат	16	5	3	5
Удельные эксплуатационные затраты, руб./км	108,7	70,9	93,2	103,6
Удельные эксплуатационные затраты, руб./место-км	1,087	0,709	0,932	1,151



Рис. 1. Варианты зарядки электробусов



Рис. 2. Двусчленный троллейбус Hess LightTram длиной 25 м в Цюрихе

позволит сократить эксплуатационные затраты по сравнению с использованием дизельных автобусов на 14 и 35 % соответственно. Сравнительная характеристика удельных эксплуатационных затрат при использовании на маршруте № 128 ПС различных типов приведена в *табл. 2*.

На основе опыта эксплуатации электробусов в Москве и зарубежных городах можно сделать следующее заключение. Существующий уровень развития электробусов не обеспечивает снижения эксплуатационных затрат по сравнению с традиционными видами ПС ГПТ. В зарубежных городах использование электробусов связано с необходимостью выполнения жестких экологических требований для улучшения состояния окружающей среды. Повышенные затраты требуют увеличения субсидий или роста тарифов. Так, в Европе наибольшее количество электробусов эксплуатируется в Голландии, и в этой стране наблюдается наиболее высокий в Европе темп роста тарифов на проезд в ГПТ.

При использовании электробусов необходима выделенная инфраструктура для соблюдения графика движения. Использование электробуса при движении в общем потоке автомобилей неизбежно приводит к потере заряда батарей в заторах, скоплениям электробусов перед зарядными станциями и т. п. Сбои в движении могут привести к необходимости двукратного увеличения количества электробусов на маршруте по сравнению с традиционными ПС ГПТ.

Для введения электробусов типов ОНС и ОС нужны столь же дорогостоящая инфраструктура и существенные

инвестиции, как и для электробусов типов ИМС и ИМФ. Поэтому в городах, имеющих троллейбусный транспорт, наиболее экономичное решение — развитие троллейбусной системы. С учетом более высокой стоимости троллейбуса снижение совокупных затрат на его приобретение и эксплуатацию по сравнению с автобусом происходит при годовом пробеге более 40 тыс. км. С увеличением вместимости ПС усиливается эффект в снижении эксплуатационных затрат электробусов типов ИМС и ИМФ по сравнению с автобусами в результате большего расхода топлива у последних и с электробусами типов ОНС и ОС вследствие стоимости аккумуляторной батареи. При сроке службы аккумуляторной батареи пять лет эксплуатационные затраты электробуса типа ИМС на 20 %, а электробуса типа ИМФ на 25 % ниже, чем дизельного автобуса. Таким образом, замещение автобусов электробусами ИМС и ИМФ на маршрутах с большим пассажиропотоком, особенно проходящих по выделенным полосам, позволит существенно снизить затраты на ГПТ. Так, в Санкт-Петербурге значительная часть автобусных маршрутов (например, маршруты №№ 6, 7, 24, 27, 128, 191) в центральной части города проходит по улицам с троллейбусной контактной сетью.

Учитывая повышение эффективности электробусов типов ИМС и ИМФ по сравнению с автобусами по мере увеличения их массы, весьма перспективным направлением следует считать использование двусчленных троллейбусов (рис. 2) на маршрутах с большой нагруз-

кой. По вместимости такие троллейбусы приближаются к трамваям и не имеют альтернативы там, где нет рельсовой инфраструктуры, например на Ленинском проспекте в Санкт-Петербурге.

Современные конструкции аккумуляторных батарей большой емкости позволяют достаточно эффективно использовать их на автомобилях небольшой массы. Для тяжелого ПС актуальным остается получение энергии из внешнего источника при использовании контактной сети. Электробусы типов ОНС и ОС, как и троллейбусы, требуют существенных затрат на энергетическую инфраструктуру, а порой и капитальных затрат на изменение энергосистемы города при одинаковых характеристиках по вредным выбросам и шуму. Подтверждением тому служит строительство контактной сети на автомагистралях Швеции, Германии и США для движения магистральных автопоездов с электроприводом. ■

#### Литература

1. Горев А. Э. Развитие городских транспортных систем крупных городов // Транспорт РФ. 2016. № 6 (67). С. 56–59.
2. Горев А. Э. К вопросу об экономической эффективности городского пассажирского транспорта // Там же. 2012. № 3–4 (40–41). С. 34–36.
3. Колин А. В. Троллейбус, автобус или электробус // Там же. 2018. № 3 (76). С. 38.
4. Корольков С. К., Климов К. А. Троллейбусы мира от А до Я. — М. : Электро-транссервис, 2017. — 480 с.