

**ВЫБОР БЕЗРЕЛЬСОВОГО ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО
ТРАНСПОРТА ИЗ СИСТЕМЫ ЕГО АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ**

**CHOICE OF RAILLESS URBAN PASSENGER OF TRANSPORT
FROM THE SYSTEM OF ITS ALTERNATIVE TYPES**

**Иванов Владимир Петрович,
доктор технических наук, профессор,
Полоцкий государственный университет,
профессор кафедры «Автомобильный транспорт»,
Новополоцк, Республика Беларусь
Ivanov Vladimir Petrovich,
doctor of technical Sciences, Professor
Polotsk state University,
Department of Automobile transport,
Novopolotsk, Republic of Belarus**

e-mail: ivprem@tut.by

**Дудан Александр Витальевич,
кандидат технических наук, доцент,
Полоцкий государственный университет,
декан механико-технологического факультета,
Новополоцк, Республика Беларусь
Dudan Aleksandr Vitalievitsch, Cand. Techn. Scie.,
Polotsk state University,
Department of Automobile transport,
Novopolotsk, Republic of Belarus**

e-mail: a.dudan@psu.by

**Вигерина Татьяна Владимировна,
кандидат технических наук, доцент,
Полоцкий государственный университет,
заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт»,
Новополоцк, Республика Беларусь
Vigerina Tatyana Vladimirovna,
Cand. Techn. Scie., Polotsk state University,
Department of Automobile transport,
Novopolotsk, Republic of Belarus**

e-mail: t.vigerina@psu.by

**Научная специальность:
05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта
Scientific specialty:
05.22.10 – Operation of road transport**

На основании анализа показателей работы городского пассажирского транспорта даны рекомендации по дальнейшему совершенствованию транспортной сети

для городов с населением 100 – 200 тыс. человек. Наиболее перспективно использование электротранспорта с накоплением энергии в конечных точках маршрута.

Based on the analysis of the performance of urban passenger transport, recommendations are given for further improvement of the transport network for cities with a population of 100 – 200 thousand people. The most promising is the use of electric transport with energy storage at the end points of the route.

Ключевые слова: транспорт, электробус, дуобус, гибридный автобус.

Keywords: transport, electric bus, duobus, hybrid bus.

Традиционным видом безрельсового городского пассажирского транспорта является *автобус*. Стоимость автобусов разной вместимости экологического класса Евро-5 составляет 115 – 205 тыс. долл. США.

В мировой практике широко применяются также другие виды транспорта: троллейбус, гибридный автобус и электробус. Проблема выбора пассажирского транспорта для городов с населением 100 – 200 тыс. человек с оценкой перспектив применения электрического транспорта является актуальной [1, 2].

Троллейбусы в классическом представлении являются транспортными средствами с постоянным питанием в движении – IMF (In-Motion-Feeding). Их преимущество состоит в распределённой нагрузке на электрическую сеть в течение всего дня, электрическом отоплении и кондиционировании салона, отсутствии дополнительных простоев для подзарядки на конечных остановках или в депо, большей пассажироместимости при равной с другими транспортными средствами. Недостатками троллейбусов IMF являются необходимость строительства контактной сети, нескольких тяговых подстанций вдоль трассы маршрута, низкая манёвренность.

Большой интерес представляют *троллейбусы-электробусы*, реализованные по схеме ИМС (In-Motion-Charging), с подзарядкой в движении. В частности, в модели АКСМ-32100D (производство «Белкоммунмаш») запас автономного хода составляет 15 км при времени зарядки 15 мин. Такое комбинированное решение позволяет значительно расширить территорию использования троллейбусов ИМС за счёт возможности включения в маршруты их движения участков дорожной сети, не оборудованных контактной сетью.

Разновидностью троллейбуса является *дуобус* – транспортное средство, которое оснащено двигателем внутреннего сгорания, используемым как самостоятельно, так и для привода генератора, электрическая энергия которого используется для приводных электродвигателей. Двигатель внутреннего сгорания используется при следовании по участкам, не оборудованным контактной сетью.

Гибридный автобус – транспортное средство, которое движется по дорогам и приводится в движение совместной работой двигателя внутреннего сгорания и электрического двигателя, получающего электрическую энергию от автономного бортового источника энергии (зарядка бортового источника производится от основного двигателя или при рекуперации энергии во время торможения).

Электробус – транспортное средство, которое, двигаясь по дорогам, приводится в движение электрическими двигателями, получающими электрическую энергию от автономного бортового источника (зарядка бортового источника производится во время нахождения электробуса на специальных зарядных станциях и требует определённого времени). Применение в качестве автономного источника электрической энергии молекулярных накопителей (суперконденсаторов) позволяет производить ультрабыструю зарядку на конечных станциях маршрута.

Сопоставление основных показателей городского пассажирского транспорта приведено в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Качественные характеристики различных видов городского транспорта

Показатель	Вид транспорта				
	автобус	троллейбус	троллейбус-электробус	гибридный автобус	электробус
Скорость	+	–	–	–	–
Обособленность от автомобильного потока	+	–	–	–	–
Доступность, сокращение и оптимизация пересадок	+	+	+	+	+
Комфорт для пассажиров	+	+	+	+/-	+
Безопасность	+	+/-	+/-	+/-	+/-
Выполнение расписания	+	+/-	+/-	+/-	+/-
Экономичность	+	–	–	–	–
Экологическая чистота	+	+/-	+/-	+/-	+/-
Привлекательность для пассажиров	+	–	+/-	–	+/-
<p><i>Обозначения:</i> + характерный признак; – нехарактерный признак; +/- характеризуется частично.</p>					

Стоимость транспортных средств различных видов приведена на рисунке 1, а характеристики троллейбусов IMF и IMC, дуобусов и электробусов OC и ONC – в таблице 2.

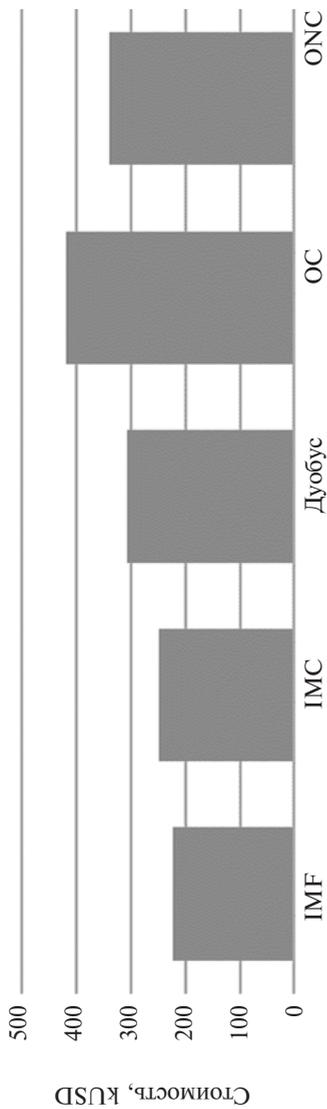


Рисунок 1 – Стоимость транспортных средств различных видов городского электрического транспорта

Т а б л и ц а 2 – Характеристики троллейбусов IMF, троллейбусов IMC, дубусов, электробусов ОС и ONC

Показатели	Вид транспортного средства					
	троллейбус IMF	троллейбус IMC	дубус	электробусы		
Модель транспортного средства	AKCM-321	AKCM-32100D	AKCM-32100A с дизель-генератором	E420 Vitovt Electro	E433 Vitovt Max Electro	CRRC TEG6125BEV03
Схема	IMF	IMC	—	ОС	ОС	ONC
Пассажировместимость	101	90	88	90	153	80
Вид автономного источника	—	Литий-титанатная батарея	Дизельный генератор (дизельное топливо)	Молекулярные накопители (суперконденсаторы)		Литий-железнодорожная фосфатная батарея

Окончание таблицы 2

Показатели	Вид транспортного средства			
	троллейбус ИМФ	троллейбус ИМС	дубус	электробусы
Способ зарядки автономного источника	–	Штанговые токоприёмники/КС	Заправка топливного бака на АЗС	Пантографный токоприёмник или зарядная станция Проводное подключение или зарядная станция
Запас хода, км	–	15	150	12,5 12,5
Время зарядки, мин	–	15 (в движении)	–	9 9
Объём бака для дизельного топлива	–	–	50 л	30 л Данные отсутствуют
Система отопления	Электробогреватель Автономные отопители на дизельном топливе			
Срок службы, лет	15 10			
Стоимость транспортного средства, kUSD	223	247, 5	306,4	420 475
Производитель	«Белкоммунмаш», Республика Беларусь CRRC, Китай			

На рисунке 2 показана приведённая к одному пассажиру стоимость транспортных средств.

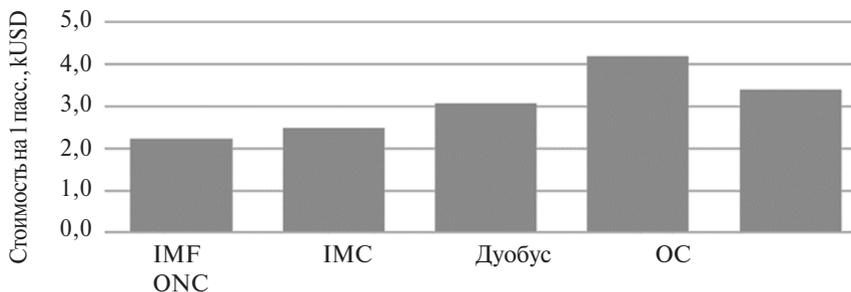


Рисунок 2 – Сравнение приведённой стоимости транспортных средств

Сравнительные затраты энергии транспортными средствами разных видов приведены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Сравнительные затраты энергии транспортными средствами разных видов городского электротранспорта и её стоимость

Показатели	Вид транспорта			
	троллейбус IMF	троллейбус IMC	дубус	электробус ОС
Расход энергии, кВт · ч/км	1,8	1,8	1,8	1,8
Расход топлива, л/км	–	–	0 или 0,33	–
Приведённая стоимость энергии на тягу и отопление, USD/км·100 пасс.	0,18	0,20	0,21 или 0,27	0,20

Элементы инфраструктуры, необходимые для обеспечения тяги троллейбусов и зарядки электробусов различных вариантов исполнения, приведены в таблице 4.

Т а б л и ц а 4 – Инфраструктура, необходимая для обеспечения тяги троллейбусов IMF, троллейбусов IMC, дубусов и зарядки электробусов различных вариантов исполнения

Показатели	Вид транспорта				
	троллейбус IMF	троллейбус IMC	дубус	электробус ОС	электробус ONC
Тяговые подстанции	+	+	+	+	+

Окончание таблицы 4

Показатели	Вид транспорта				
	троллейбус IMF	троллейбус IMC	дуобус	электробус ОС	электробус ONC
Кабельная сеть	+	+	+	+	+
Контактная сеть	+	+/-	+/-	-	-
Зарядные станции на линии	-	-	-	+	-
Зарядные станции в депо	-	-	-	+	+

Сравнение суммарных капиталовложений для электробусов ОС, троллейбусов IMF, троллейбусов IMC на условном маршруте протяжённостью 25 км приведено на рисунке 3.

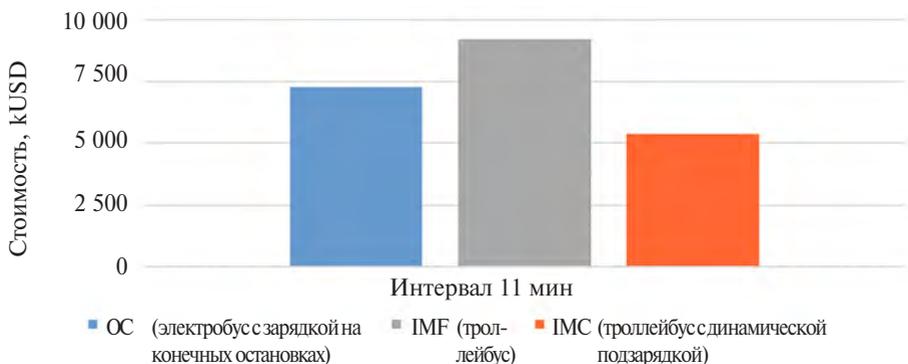


Рисунок 3 – Капиталовложения в инфраструктуру и в транспортные средства на условном маршруте протяжённостью 25 км

Для организации движения нерельсового электрического транспорта необходимы приобретение транспортных средств, создание базы по их ремонту и обслуживанию в автобусных парках, строительство тяговых (и зарядных) подстанций, кабельных сетей, обучение персонала. Для троллейбусов IMF требуется строительство контактной сети по всей длине маршрута, для троллейбусов IMC и дуобусов – частично. Для организации движения электробусов ОС необходимо строительство зарядных станций в депо и на конечных станциях.

Таким образом, дальнейшее увеличение доли электротранспорта возможно также за счёт организации движения троллейбусов IMC на некоторых

напряжённых маршрутах со строительством контактной сети для зарядки накопителей энергии, а троллейбусов ИМС – на отдельных участках маршрута вне центральной части города. Наиболее перспективно использование электротранспорта с накоплением энергии в конечных точках маршрута.

Литература

1. Капский, Д.В. Оценка возможности использования троллейбусов и электробусов в Полоцке и Новополоцке / Д.В. Капский, Е.Н. Кот, С.С. Семченков // Организация и безопасность дорожного движения: материалы XII Национальной научно-практической конференции с международным участием; ответственный редактор Д.А. Захаров, редакторы: Е.М. Чикишев, И.А. Анисимов. – 2019. – С. 266 – 273.

2. Капский, Д.В. Сравнение возможностей использования троллейбусов и электробусов для перевозок пассажиров в городах / Д.В. Капский, Е.Н. Кот, С.С. Семченков // Автомобиле- и тракторостроение: материалы Международной научно-практической конференции. В 2 томах. – 2019. – С. 210 – 214.