



Методический подход к организации перевозок на электробусных маршрутах



Максим КУДРЯШОВ



Александр ПРОКОПЕНКОВ



Радион АЙРИЕВ

Кудряшов Максим Александрович – ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия.

Прокопенков Александр Владимирович – Ассоциация «ТАМА», Москва, Россия.

Айриев Радион Саркисович – ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия.*

При разработке проектов внедрения в эксплуатацию автобусов на электрической тяге и определения потребной инфраструктуры необходимо обосновать концепцию, методические подходы к выбору маршрутов, рассчитать количество зарядных станций в зависимости от их типа и провести экономическую оценку предлагаемых решений в конкретных условиях эксплуатации.

В статье рассматриваются основные вопросы организации работы автобусов на электрической тяге (электробусов) на маршрутах наземного городского пассажирского транспорта общего пользования. Проведён первичный анализ как текущих, так и пер-

спективных электробусных маршрутов в Москве.

На основе классических методов определения потребного количества подвижного состава на маршруте по заданной производительности, по пассажиропотоку и по заданному интервалу движения предложены адаптивные методы расчёта.

Рассмотрены текущая и перспективные схемы размещения зарядных станций, предложена методика определения их потребного количества.

Адаптирован методический подход к определению прямых расходов, непосредственно связанных с перевозками при эксплуатации электробусов на маршруте.

Ключевые слова: наземный городской пассажирский транспорт, эксплуатация электробусов, зарядные станции.

*Информация об авторах:

Кудряшов Максим Александрович – начальник сектора службы кадров ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия, sparky5@yandex.ru.

Прокопенков Александр Владимирович – проектный менеджер Ассоциации «ТАМА», Москва, Россия, prokopenkovaleksandr@gmail.com.

Айриев Радион Саркисович – советник заместителя генерального директора ГУП «Мосгортранс», Москва, Россия, ayrievrs@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 23.04.2020, принята к публикации 02.08.2020.

For the English text of the article please see p. 162.

ВВЕДЕНИЕ

Поэтапный переход от эксплуатации дизельных автобусов к использованию автобусов на электрической тяге (электробусов) на маршрутах наземного городского пассажирского транспорта общего пользования в настоящее время является общемировым трендом. Во многих странах Европы, Северной Америки, в Китае, Японии, Корее и других государствах ведутся научно-экспериментальные исследования внедрения в эксплуатацию различных вариантов электробусов [1]. В России инициатором внедрения в эксплуатацию автобусов на электрической тяге на транспорте общего пользования стала Москва.

При разработке проектов и определении необходимой инфраструктуры необходимо обосновать концепцию, методические подходы к выбору маршрутов, организации перевозок, рассчитать потребности в зарядных станциях в зависимости от их типа и провести экономическую оценку предлагаемых решений в конкретных условиях эксплуатации. Отдельным вопросам эффективной организации работы транспорта общего пользования посвящены работы [2–5].

Автобусы на электрической тяге являются относительно новым типом подвижного состава, что предопределяет необходимость взвешенного и объективного обоснования выбора тех или иных альтернативных вариантов технических, технологических, организационных, экономических и других решений.

Проведённый ранее авторами анализ регулирования и организации перевозок пассажиров наземным электрическим городским транспортом позволил выявить, что в настоящее время применяются различные системы классификации транспортных средств, однако термин «электробус» не утверждён [6]. К городским электрическим транспортным средствам юридически пока относятся трамваи и троллейбусы.

Исходя из требований к допуску водителей к управлению электробусами, они относятся к транспортным средствам категории «Д», то есть к автобусам. Согласно концепциям скорости зарядки батареи электробусов, их можно разделить на несколько классов и групп [6].

В настоящее время у исследователей и практиков нет однозначного ответа относительно экономической целесообразности перехода от дизельных автобусов на электрические. В некоторых странах и городах по-прежнему есть приверженцы перевода городского транспорта на газообразное топливо, водород, гибридные установки и другие альтернативные виды топлива. В конкретных условиях эксплуатации и инфраструктуры каждый вариант может быть экономически оправдан. Большое значение при обосновании перехода на электробусы имеет тип (класс) автобуса, пассажироместимость и т.д. В настоящее время, как в мире, так и в России, при разработке проектов внедрения электробусов в эксплуатацию, как правило, рассматриваются транспортные средства длиной 12 метров — автобусы большого класса. Понятно, что у автобусов классом ниже или выше будет совершенно другая экономика.

Вопрос выбора концепции и экономической оценки в настоящее время является дискуссионной темой на международном уровне, и нет однозначного принятого подхода [7–10].

Инновационное развитие в любой сфере экономики является аренной поиска альтернативных вариантов и концепций. Транспорт общего пользования не является исключением. Тенденции укрупнения агломераций во всем мире [4; 5], ухудшение экологической обстановки в них [6], проблемы с увеличением количества транспортных средств на улично-дорожной сети [1–4] заставляют городские власти принимать решения, направленные на развитие транспорта на альтернативных видах топлива.

РАЗВИТИЕ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОБУСОВ

В соответствии с официальным реестром от 27.12.2019 г. в городе Москве зарегистрировано 1049 муниципальных маршрутов регулярных перевозок, в т.ч. 771 обслуживаемых ГУП «Мосгортранс»¹.

¹ Официальный сайт Мэра Москвы. Реестр муниципальных маршрутов регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным и наземным электрическим транспортом в городе Москве от 27.12.2019 г. [Электронный ресурс]: <https://www.mos.ru/dt/documents/view/223682220/>. Доступ 23.03.2020.





Рис. 1. Структура парка подвижного состава ГУП «Мосгортранс»
(сведения предоставлены ГУП «Мосгортранс»).

В настоящее время ГУП «Мосгортранс» является также главным эксплуатационным предприятием автобусов на электрической тяге и единственным в г. Москве.

Выполненный анализ структуры парка подвижного состава ГУП «Мосгортранс» по состоянию на 01.01.2020 г. показал, что общее количество транспортных средств составляет 8926 ед. (рис. 1), в т.ч. автобусов на электрической тяге — 300 ед.

Согласно сведениям единой информационной системы в сфере закупок в 2018 году заключено два контракта на поставку 200 автобусов на электрической тяге в филиал «Северо-Восточный» с оказанием услуг по их последующему сервисному обслуживанию и ремонту в течение 15 лет. По результатам проведения конкурса поставлено 100 ед. электробусов модели КамАЗ-6282² и 100 ед. ЛиАЗ-6274³.

Согласно принятым решениям, в 2018 г.⁴ было приобретено 100 ед. электробусов модели КамАЗ-6282 с поставкой в Филёвский автобусно-троллейбусный парк филиала «Центральный» ГУП «Мосгортранс».

В 2020 году предусмотрена поставка 200 автобусов на электрической тяге модели

КамАЗ-6282 на территорию эксплуатационной площадки Первого троллейбусного парка и 100 автобусов на электрической тяге ЛиАЗ-6274 на территорию эксплуатационной площадки Филевского автобусно-троллейбусного парка филиала «Центральный» ГУП «Мосгортранс»^{5, 6}.

По состоянию на I квартал 2020 г. автобусы на электрической тяге обслуживают 23 регулярных маршрута. Общие эксплуатационные характеристики маршрутов представлены в табл. 1. Трассы следования маршрутов показаны на рис. 2.

В соответствии с планами развития на 2020 г. планируется перевод 10 троллейбусных и 14 автобусных маршрутов на обслуживание автобусами на электрической тяге. Перспективная маршрутная сеть ГУП «Мосгортранс» для автобусов на электрической тяге представлена на рис. 3.

При разработке проекта создания инфраструктуры эксплуатации высокоэкологичных электрических транспортных средств, при внедрении в эксплуатацию автобусов на электрической тяге с динамической зарядкой предлагается учитывать не только перспективы развития маршрутной сети автобусов на электрической тяге ГУП «Мосгортранс», но и действующую транспортную инфраструктуру троллейбусов.

² Официальный сайт ЕИС. Электронный аукцион № 0173200001417001533. [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/supplier-results.html?regNumber=0173200001417001533>. Доступ 23.03.2020.

³ Официальный сайт ЕИС. Электронный аукцион № 0173200001417001534. [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/supplier-results.html?regNumber=0173200001417001534>. Доступ 23.03.2020.

⁴ Официальный сайт ЕИС. Электронный аукцион № 0173200001417001532. [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/supplier-results.html?regNumber=0173200001417001532>. Доступ 23.03.2020.

⁵ Официальный сайт ЕИС. Электронный аукцион № 0173200001419001670. [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/common-info.html?regNumber=0173200001419001670>. Доступ 23.03.2020.

⁶ Официальный сайт ЕИС. Электронный аукцион № 0173200001419001671. [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/supplier-results.html?regNumber=0173200001419001671>. Доступ 23.03.2020.

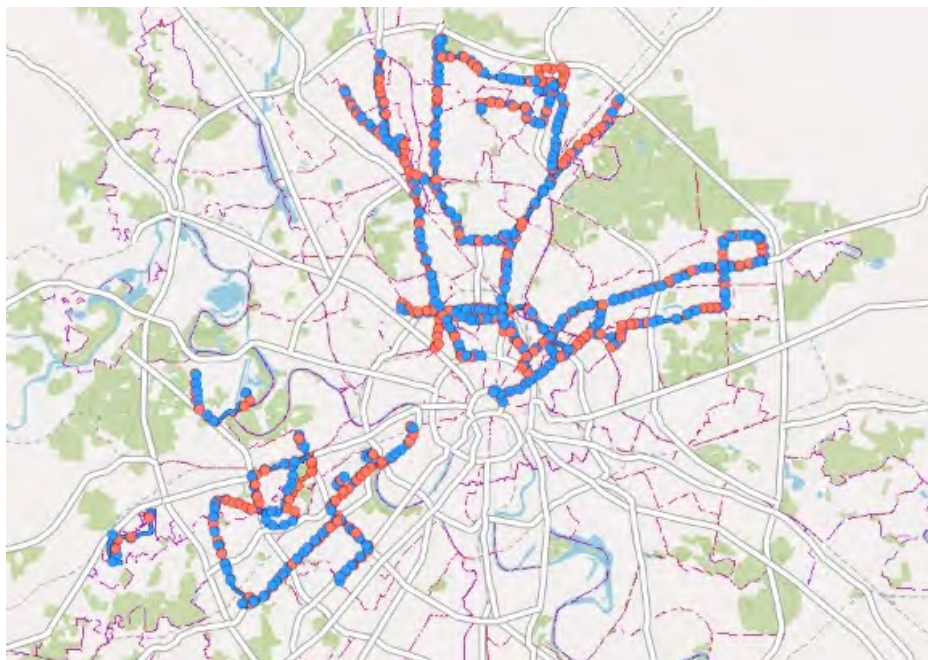


Рис. 2. Трассы следования маршрутов автобусов на электрической тяге
(карта составлена на основе данных официального сайта ГУП «Мосгортранс»
с использованием программного комплекс ГИС «Мосгортранс»).

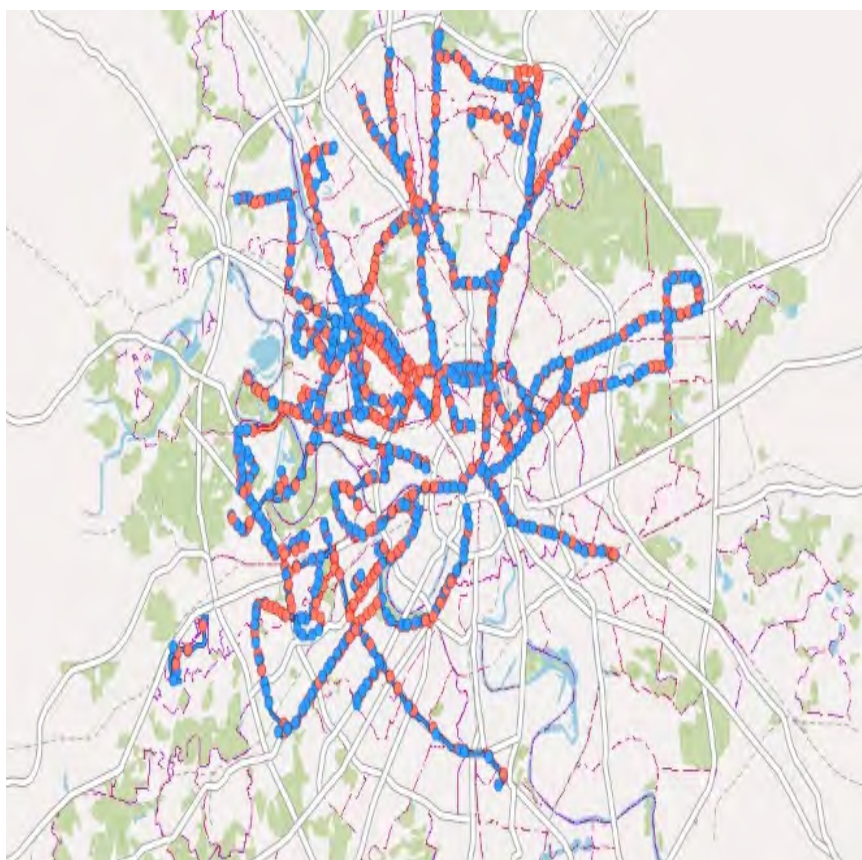


Рис. 3. Перспективная электробусная маршрутная сеть
(Источник: программный комплекс ГИС «Мосгортранс»).



Эксплуатационные показатели маршрутов

№ маршрута	Конечные пункты	Парк	Выпуск общий/ОБК/БК/СК/МК (ед)	Время оборотного рейса (мин)	Длина маршрута (км)	Эксплуатационная скорость (км/ч)	Минимальный интервал (мин)	Максимальная частота (ед./час)	Перевозка пик/межпик/сутки (пассе)
93	ВДНХ (южн.)—Метро «Медведково»	ЭЛ	6/-/-/6/-	86,4	10,9	15,1	17,6	3,4	803/991/2218
107	Метро «Филевский парк»—Платф. Матвеевская	ЭЛЦ	6/-/6/-/-	53,8	6,6	14,7	11,3	5,3	713/729/1691
205K	Киевский вокзал—Ул. Довженко	ЭЛЦ	6/-/6/-/-	41,5	6	17,4	9	6,7	933/725/1950
622	Метро «Озёрная»—Метро «Славянский бульвар»	Ц	9/-/9/-/-	87,3	14	19,2	10,7	5,6	1621/1573/3969
649	Ясный пр.—Осташковская ул.	ЭЛ	5/-/5/-/-	59,7	6,4	12,9	16,7	3,6	403/380/879
778	Рижский вокзал—Спартакоская пл.	ЭЛ	4/-/4/-/-	42,3	5,4	15,3	13	4,6	432/485/1153
791	Киевский вокзал—4-й Сетуньский пр.	ЭЛЦ	7/-/7/-/-	32,9	4,6	16,8	5,9	10,1	1521/1101/3479
810	Рижский вокзал—Тихвинская ул.	ЭЛ	3/-/-/3/-	43,9	3,6	9,8	25	2,4	-/-/-
832	Крылатское—Спортцентр «Крылатское»	ЭЛЦ	5/-/5/-/-	43,4	5,4	14,9	9	6,7	658/639/1554
Sk1	ТМК/Сибур—Хаб	ЭЛЦ	3/-/3/-/-	36	5,9	19,7	23,1	2,6	-/-/-
Н3	Уссурийская ул.—Метро «Китай-город»	ЭЛ	6/-/6/-/-	138	20,4	17,7	37,5	1,6	-/-/332
T14	Северянинский путепровод—Электровзводский мост	ЭЛ	16/-/16/-/-	143,7	15,2	12,7	12	5	-/-/-
T17	Метро «Озерная»—Киевский вокзал	ЭЛЦ	20/-/20/-/-	103,4	12,6	14,6	5,8	10,3	6846/6473/16629
T25	Просп. Будённого—Метро «Лубянка»	ЭЛ	11/-/11/-/-	82,4	7,6	11,1	9	6,7	-/-/-
T34K	Ул. Кравченко—Киевский вокзал	ЭЛЦ	17/-/17/-/-	96,2	10,9	13,6	6,3	9,5	5937/4947/12032
T36	ВДНХ (южн.)—Дмитровское ш., 155	ЭЛ	15/-/15/-/-	112,9	13,1	13,9	9,2	6,5	-/-/-
T42	Рижский вокзал—Метро «Петровский парк»	ЭЛЦ	14/-/14/-/-	56,8	5,8	12,2	6	10	-/-/-
T47	Бескудниковский пер.—Самотёчная пл.	ЭЛ	20/-/20/-/-	95,7	12	15,1	6	10	6737/5275/15090
T56	Базовская ул.—Тверская Застава	ЭЛ	20/-/20/-/-	109,6	13,8	15,1	4,7	12,8	1736/2469/6279
T73	6-й мкр. Бибирева—ВДНХ (южн.)	ЭЛ	34/-/34/-/-	105,4	12,4	14,1	3,7	16,2	-/-/-
T76	Холмогорская ул.—Метро «ВДНХ»	ЭЛ	28/-/28/-/-	69,3	8,8	15,2	2,9	20,8	-/-/-
T80	6-й мкр. Бибирева—Осташковская ул.	ЭЛ	10/-/10/-/-	68,3	7,1	12,5	8,8	6,8	-/-/-
T83	Уссурийская ул.—Метро «Преображенская пл.»	ЭЛ	17/-/17/-/-	78,3	8,9	13,6	5,8	10,3	-/-/-

Источник: программный комплекс ГИС «Мосгортранс».

В первую очередь предлагается организовать автобусные маршруты, трасса следования которых полностью проходит по троллейбусным. Выполненный анализ маршрутной сети позволил выделить 12 таких маршрутов (табл. 2).

Вместе с тем предлагается исключить экспрессные маршруты и маршруты, обслуживаемые автобусами особо большого класса (903, 907, T144K, T63, T71), поскольку эксплуатация электробусов на указанных маршрутах может оказать суще-

Таблица 2

Эксплуатационные характеристики автобусных маршрутов

№ маршрута	Конечные пункты	Выпуск общий/ОБК/БК/ СК/МК (ед.)	Время оборотного рейса (мин)	Длина маршрута (км)	Эксплуатационная скорость (км/ч)	Минимальный интервал (мин)	Максимальная частота (ед./ час)	Перевозка пик/межпик/ сутки (пассе)
903	Холмогорская ул.— Метро «Просп. Мира»	27/15/12/-/-	80,3	13,4	20	2,8	21,4	9657/10121/26521
907	Каширское ш., 148— Метро «Добрынинская»	15/15/-/-/-	97,7	17,8	21,9	9,2	6,5	6338/7429/17725
T18	Рижский вокзал— Стрельбищенский пер.	14/-/14/-/-	108,8	10,7	11,8	6,6	9,1	5217/5095/12910
T26	Карачаровский путепровод— Автозаводский мост	12/-/12/-/-	105,8	13,8	15,6	10,7	5,6	8113/6711/18298
T32	Уссурийская ул.— Гаражная ул.	17/-/17/-/-	141,8	17,1	14,5	13	4,6	2472/2811/8281
T51	Пл. Соловецких Юнг—Метро «Измайловская»	11/-/11/-/-	49,2	4,8	11,7	4,8	12,4	5640/4855/14926
T63	138-й кв. Выхина— Метро «Таганская»	15/15/-/-/-	105,2	14,1	16,1	8,2	7,3	8500/9801/24023
T67	Каширское ш., 148— Автозаводский мост	6/-/6/-/-	112,5	18,2	19,4	23,1	2,6	1650/1971/4803
T71	Каширское ш., 148— Метро «Добрынинская»	15/15/-/-/-	123,4	17,8	17,3	9,7	6,2	7501/6863/18749
T86	Серебряный бор— Метро «Сокол»	12/-/12/-/-	93,4	11,7	15	8,6	7	5274/3713/11646
T88	Просп. Будённого— Комсомольская пл.	6/-/6/-/-	51,3	5,4	12,6	10,9	5,5	1942/1668/4929
T144K	Ул. Кравченко— Метро «Октябрьская»	10/-/10/-/-	51,3	8,8	20,6	6,9	8,7	3607/4708/9961

ственное влияние на качество транспортного обслуживания населения.

РАСЧЁТ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ

Согласно проведённому анализу кон- курсной документации, одновременно с поставкой автобусов на электрической тяге предусмотрена поставка и установка 98 зарядных станций. Схема размеще- ния зарядных станций представлена на рис. 4.

Общая перспективная схема размеще- ния ультрабыстрых зарядных станций представлена на рис. 5.

Для расчёта потребного количества за- рядных станций первичным является

определение количества подвижного со- става на маршруте. При расчёте количества подвижного состава A_p необходимыми исходными данными являются:

- 1) данные о пассажиропотоке: в разрезе по часам суток, дням недели и остановоч- ным пунктам (вход/выход);
- 2) пассажировместимость автобуса на электрической тяге;
- 3) эксплуатационные данные маршрута (время оборотного рейса, длина маршрута, эксплуатационная скорость и пр.).

При этом пассажировместимость опре- деляется с учётом количества мест для си- дения и мест для проезда стоя (не более восьми человек на квадратный метр неза- нятой площади местами для сидения).



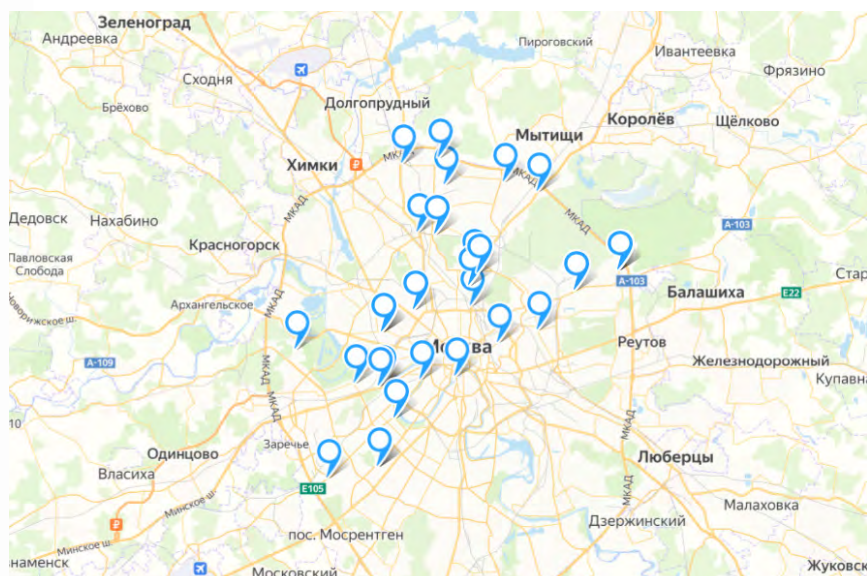


Рис. 4. Схема размещения зарядных станций.

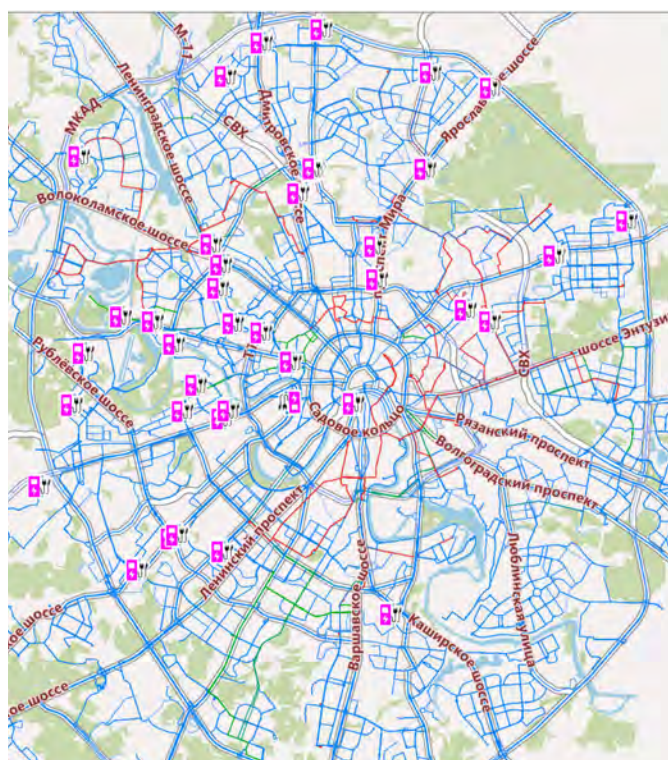


Рис. 5. Перспективная схема размещения зарядных станций.
Источник: программный комплекс ГИС «Мосгортранс» и конкурсная документация.

Расчёт A_j необходимо выполнять отдельно для весенне-летнего периода и осенне-зимнего, будних и выходных дней, часов пик и межпиковых периодов.

Анализ различных подходов к расчёту A_j позволил их сгруппировать по трём показателям:

- 1) по заданной производительности автобуса на электрической тяге;
- 2) по пассажиропотоку;
- 3) по заданному интервалу движения.

Отличительной особенностью расчёта времени оборотного рейса $t_{об}$ при определении A_j вне зависимости от выбора целе-

вого показателя является необходимость учёта времени зарядки батареи, соответственно:

$$t_{об} = \sum t_{дв} + \sum t_{оп} + \sum t_{ко} + \sum t_3,$$

где $t_{об}$ — время движения на маршруте;

$t_{оп}$ — время простоя на промежуточных остановочных пунктах для посадки/высадки пассажиров;

$t_{ко}$ — время технологического простоя на конечных остановочных пунктах;

t_3 — время заряда аккумуляторных батарей, определяемое как произведение потребного количества циклов зарядки на время затрачиваемое на один цикл зарядки.

Необходимо отметить, что $\sum t_3 > 0$ при эксплуатации автобусов на электрической тяге с концепцией медленной и ультрабыстрой зарядки. У автобусов на электрической тяге с динамической зарядкой $\sum t_3 = 0$, поскольку питание батареи возможно осуществлять при движении от контактной сети троллейбусов.

В дальнейшем расчёт потребного количества автобусов на электрической тяге предлагается осуществлять в зависимости от выбранного показателя.

По заданной производительности автобуса на электрической тяге расчёт A_3 выполняется по формуле:

$$A_3 = \frac{Q \cdot (l_p + V_m \cdot \beta \cdot (\sum t_{он} + \sum t_3))}{T_m \cdot q \cdot \gamma_{ам} \cdot \kappa_{см} \cdot V_m \cdot \beta},$$

где Q — производительность автобуса на электрической тяге;

l_p — длина рейса;

V_T — техническая скорость;

β — коэффициент использования пробега;

T_M — время работы маршрута;

q — пассажироместность;

$\gamma_{ам}$ — коэффициент использования пассажироместности;

$\kappa_{см}$ — коэффициент сменности пассажиров на маршруте.

По данным о пассажиропотоке расчёт потребного количества автобусов на электрической тяге A_3 выполняется по формуле:

$$A_3 = \frac{Q_{max} \cdot t_{об}}{q \cdot \gamma_{ам}},$$

где Q_{max} — максимальная пассажиронапряжённость на участке маршрута.

По заданному интервалу движения расчёт A_3 выполняется по формуле:

$$A_3 = 60 t_{об} / I_3,$$

где I_3 — заданный интервал движения автобусов на электрической тяге.

Расчёт количества зарядных станций напрямую зависит от выбранной концепции зарядки автобусов на электрической тяге.

Так система энергоснабжения автобуса на электрической тяге с динамической подзарядкой может стать основой единой зарядной инфраструктуры всего электро-транспорта города, благодаря соединению объектов контактной сетью⁷. Использование контактных сетей позволит отказаться от большого объёма земляных работ, что сократит сроки реализации проектов.

Благодаря динамической подзарядке при движении от контактной сети, автобусы на электрической тяге любого класса могут устойчиво работать 24 часа на маршруте, без потери времени на заряд батарей.

Станции зарядки частных электромобилей, такси и каршеринга с питанием от контактной сети могут быть интегрированы в опору контактной сети.

Тяговая подстанция с установкой блоков ёмкостей для эффективного использования рекуперации и солнечных фотоэлементов повысит энергоэффективность.

В ночное время предприятия, которые располагаются вдоль трассировки контактных сетей, используют мощности для станций медленной зарядки коммунальных и коммерческих электромобилей.

Расчёт количества зарядных станций у автобусов на электрической тяге с медленной и ультрабыстрой зарядкой требует дополнительных вычислений. В настоящее время нет единого подхода к расчёту потребного количества зарядных станций. Расчёт при выборе такой концепции предлагается осуществлять на основе данных технического задания на закупку электробусов и в четыре этапа:

⁷ Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 18 апреля 2013 г. № НА-37-р «О введении в действие Методических рекомендаций по расчёту экономически обоснованной стоимости перевозки пассажиров и багажа в городском и пригородном сообщении автомобильным и городским наземным электрическим транспортом общего пользования». [Электронный ресурс]: <https://www.mintrans.ru/press-center/news/5761>. Доступ 23.03.2020.



1. Расчёт удельного расхода электроэнергии на маршруте:

$$W_{уд} = ((1,68 \cdot V_э)/16) + 1, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $V_э$ — эксплуатационная скорость;

1,68 — расход электроэнергии на тягу в кВт·ч при скорости 16 км/ч (средняя скорость движения согласно ТЗ на закупку электробусов), а также дополнительно 1 кВт·ч на работу установки климат-контроля.

2. Расчёт полного расхода электроэнергии на маршруте:

$$W_m = W_{уд} \cdot L_m, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $W_{уд}$ — удельный расход электроэнергии на маршруте;

L_m — длина маршрута.

3. Расчёт времени, необходимого на зарядку тяговых батарей:

$$t_3 = (W_m \cdot 24)/70, \text{ мин},$$

где W_m — расход электроэнергии на маршруте;

70 — используемая ёмкость аккумулятора кВт·ч.

4. Расчёт потребного количества зарядных станций:

$$N_3 = t_3/I, \text{ ед.},$$

где I — плановый интервал прибытия автобусов на электрической тяге к зарядной станции.

Расчёт планового интервала прибытия необходимо осуществлять с учётом наложения трасс следования маршрутов, обслуживаемых автобусами на электрической тяге.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

Экономическая оценка внедрения и эксплуатации автобусов на электрической тяге на городских маршрутах является относительно новым, но очень актуальным предметом исследования как в иностранных, так и в отечественных научно-практических кругах.

В настоящее время отечественными и зарубежными исследователями уже разработаны общие методические подходы к экономической оценке эксплуатации автобусов на электрической тяге на городских маршрутах. Вместе с тем, предложенные методики и результаты их апробации не позволяют сделать однозначных выводов о целесообразности перехода на эксплуатацию автобусов на электрической тяге.

Одновременно следует отметить отсутствие нормативных правовых актов по расчётам экономического обоснования себестоимости эксплуатации автобусов на электрической тяге, аналогично троллейбусам, трамваям, дизельным автобусам и т.д.

Вопрос выбора концепции экономической оценки в настоящее время является дискуссионной темой, и на международном уровне нет однозначно принятых подходов.

Настоящий подход основан на методических рекомендациях Министерства транспорта Российской Федерации, утверждённых распоряжением от 18 апреля 2013 г. № НА-37-р [14], и рекомендуется к использованию при определении прямых расходов, связанных непосредственно с перевозками.

Целью данного методического подхода является определение стоимости 1 километра пробега автобуса на электрической тяге.

Исходными данными при расчёте являются:

- 1) эксплуатационные параметры маршрутов;
- 2) расписание движения;
- 3) объём перевозок (фактический или плановый).

Расчёт предлагается определять для каждой i марки и модели автобуса на электрической тяге по формуле:

$$\sum_{i=1}^n S_{азкм} = P_{фоткм} + P_{ткм} + P_{эдвжкм} + P_{смкм} + P_{шкм} + AM_{икм} + P_{кккм} + P_{тпкм} + P_{зскм},$$

руб./1 км пробега,

где $P_{фоткм}$ — фонд оплаты труда водителей;

$P_{ткм}$ — расходы на топливо при оснащении электробусов автономными дизельными отопителями, л/ч;

$P_{эдвжкм}$ — расходы электроэнергии на движение (зарядку);

$P_{смкм}$ — расходы на эксплуатационно-смазочные материалы;

$P_{шкм}$ — расходы на эксплуатацию шин;

$AM_{икм}$ — амортизация;

$P_{кккм}$ — расходы на кабельную сеть;

$P_{тпкм}$ — расходы на тяговые подстанции;

$P_{зскм}$ — расходы на зарядные станции.

При эксплуатации автобуса на электрической тяге в расходы не включаются зат-

раты на техническое обслуживание и ремонт, поскольку они включены в стоимость транспортного средства согласно условиям контракта жизненного цикла.

Расчёт себестоимости 1 место-километра, 1 пассажиро-километра и перевозки одного пассажира предлагается выполнять по формулам, соответственно:

$$S_{\text{пасс.место.км } i} = S_{ik}/q_i, \text{ руб.},$$

$$S_{\text{пасс.км } i} = S_{\text{пасс.место.км } i} / \gamma, \text{ руб.},$$

$$S_{\text{пасс. } i} = S_{\text{пасс.км } i} \cdot l_{\text{ср}}, \text{ руб.},$$

где q_i — пассажировместимость i марки и модели электробуса;

γ — среднее значение коэффициента использования пассажировместимости;

$l_{\text{ср}}$ — средняя дальность поездки одного пассажира, км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье выполнен анализ текущего уровня и освещены ближайшие перспективы развития эксплуатации автобусов на электрической тяге на муниципальных маршрутах города Москвы.

Рассмотрены общие вопросы организации работы автобусов на электрической тяге на маршрутах наземного городского пассажирского транспорта общего пользования. Предложенные методы расчёта потребного количества подвижного состава на маршруте основаны на классических подходах с учётом особенностей эксплуатации электробусов. Также предлагается методика расчёта потребного количества зарядных станций на маршруте с учётом данных технических заданий на закупку электробусов.

Предлагается методический подход к экономической оценке внедрения в эксплуатацию электробусов, основанный на определении прямых расходов, связанных непосредственно с перевозками.

Данный методический подход может быть использован как основа при разработке проектов внедрения в эксплуатацию автобусов на электрической тяге.

Направлением дальнейших исследований является разработка частотной методики оценки качества транспортного об-

служивания населения на электробусных маршрутах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айриев Р. С., Кудряшов М. А. Перспективы экологической транспортной системы в мегаполисе // Мир транспорта. — 2018. — № 2. — С. 220–232. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1449/1725>. Доступ 02.08.2020.

2. Блудян Н. О. К концепции развития транспортного обслуживания населения в Московском регионе // Автотранспортное предприятие. — 2009. — № 2. — С. 11–13. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12049698>. Доступ 02.08.2020.

3. Блудян Н. О. Альтернативный подход к концепции модернизации транспортной системы московского мегаполиса // Автотранспортное предприятие. — 2013. — № 7. — С. 2–6. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19421478>. Доступ 02.08.2020.

4. Блудян Н. О., Айриев Р. С., Кудряшов М. А. Методические основы управления мультимодальными пассажирскими перевозками // В мире научных открытий. — 2015. — № 10 (3). — С. 1249–1259. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24858928>. Доступ 02.08.2020.

5. Блудян Н. О., Айриев Р. С. Агломерационные подходы к решению транспортных проблем // Автотранспортное предприятие. — 2014. — № 8. — С. 2–7. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21832594>. Доступ 02.08.2020.

6. Кудряшов М. А., Прокопенков А. В., Айриев Р. С. К вопросу нормативного обеспечения эксплуатации пассажирских электрических транспортных средств // Мир транспорта. — 2020. — № 1. — С. 196–211. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1836/2268>. Доступ 02.08.2020.

7. Rogge, M., van der Hurk, E., Larsen, A., Sauer, D. U. Electric bus fleet size and mix problem with optimization of charging infrastructure. Applied Energy, 2018, Vol. 211, pp. 282–295. [Электронный ресурс]: <https://www.sciencedirect.com/journal/applied-energy/vol/211/suppl/C>. Доступ 02.08.2020.

8. Göhlich, D., Tu-Anh Fay, Jefferies, D., Lauth, E., Kunith, A., Xudong Zhang. Design of urban electric bus systems. Design Science, 2018, Vol. 4. [Электронный ресурс]: <https://www.cambridge.org/core/journals/design-science/article/design-of-urban-electric-bus-systems/1C0E4AA05F6E1FBF8A545E13F6A8D2DE>. Доступ 02.08.2020.

9. Aber, J. Electric Bus Analysis for New York City Transit. Columbia University, New York, 2016. [Электронный ресурс]: <http://www.columbia.edu/~ja3041/Electric%20Bus%20Analysis%20for%20NYC%20Transit%20by%20J%20Aber%20Columbia%20University%20-%20May%202016.pdf>. Доступ 02.08.2020.

10. Kunith, A., Mendelevitch, R., Goehlich, D. Electrification of a city bus network. An optimization model for cost-effective placing of charging infrastructure and battery sizing of fast-charging electric bus systems. International Journal of Sustainable Transportation, 2017, Vol. 11, No. 10, pp. 707–720. DOI: <https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1310962>. Доступ 02.08.2020.

Работа выполнена при поддержке Комитета общественных связей и молодежной политики города Москвы, заявка – 2019-0417.

