



# Анализ методических подходов к выбору муниципальных маршрутов регулярных перевозок для эксплуатации электробусов



Максим КУДРЯШОВ



Максим СКОРКИН

Максим Александрович Кудряшов<sup>1</sup>,  
Максим Валерьевич Скоркин<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет  
(МАДИ), Москва, Россия.

<sup>1</sup> РИНЦ SPIN-код: 6666-0154;

РИНЦ Author ID: 890537.

✉ <sup>1</sup> [sparky5@yandex.ru](mailto:sparky5@yandex.ru).

## АННОТАЦИЯ

Статья посвящена анализу тенденций эксплуатации и выбору параметров для решения задачи оптимального назначения электробусов на заданный набор маршрутов.

Выполнена оценка количества постановок на учет и продаж как одного из методов оценки тенденций эксплуатации электробусов. Определены средние показатели значения емкости АКБ в зависимости от категории и назначения электробуса. Приведены основные статистические значения, полученные по результатам анализа иностранных государственных программ электрификации пассажирского транспорта. Рассмотрен отечественный опыт эксплуатации электробусов на муниципальных маршрутах регулярных перевозок.

По результатам выполненного анализа, с учетом выявленных тенденций поставлена задача выбора первоочередных параметров для определения обслуживаемых электробусами маршрутов.

**Ключевые слова:** пассажирский транспорт, электробус, муниципальные маршруты регулярных перевозок, технико-эксплуатационные показатели маршрута.

В качестве объекта исследования выбраны муниципальные маршруты регулярных перевозок, обслуживаемые ГУП «Мосгортранс», крупнейшим в Европе оператором, эксплуатирующим электробусы.

В качестве основного метода исследования использована апробированная методика мета-анализа ранее выполненных исследований PRISMA. По результатам выполненного анализа двадцати двух методических подходов к организации работы электробусов определены четыре первоочередных технико-эксплуатационных параметра, влияющих на выбор маршрута ( $L_m$ ,  $V_z$ ,  $N_{ост}$ ,  $Q$ ). Предложен общий алгоритм решения задачи по выбору оптимальных муниципальных маршрутов регулярных перевозок для эксплуатации электробусов. Определены направления дальнейших исследований.

**Для цитирования:** Кудряшов М. А., Скоркин М. В. Анализ методических подходов к выбору муниципальных маршрутов регулярных перевозок для эксплуатации электробусов // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 4 (113). С. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-4-8>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.  
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы интенсивно реализуется тенденция к росту использования электробусов на муниципальных маршрутах регулярных перевозок. Актуальным в этой связи является решение задачи оптимального назначения электробусов на заданный набор маршрутов. Целью представленного в статье исследования является анализ тенденций эксплуатации и выбора параметров для решения этой задачи.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Анализ общемировых тенденций эксплуатации электробусов на муниципальных маршрутах регулярных перевозок

Одним из методов оценки тенденций эксплуатации электробусов является оценка количества постановок на учет и продаж. Постановки на учет показывают количество автомобилей, которые впервые были поставлены на учет в государственных органах или страховых компаниях.

На рис. 1 представлены результаты анализа количества постановок на учет и процент продаж электробусов в мире в 2016–2022 годах. Необходимо отметить, что в Китае страхование транспортного средства производится в отношении машины, а не конкретного водителя.

В соответствии с докладом Международного энергетического агентства (МЭА), «в 2022 году во всем мире было продано около 66 тысяч электробусов, что составляет около 4,5 % всех продаж автобусов. Китай продолжает лидировать в производстве и продажах электрических автобусов. В 2022 году в КНР было зарегистрировано 54 тыс. новых электробусов, что составляет 18 % от общего объема продаж автобусов в Китае и около 80 % от общемирового объема продаж электробусов». Важно отметить, что «многие автобусы, продаваемые в Европе, Латинской и Северной Америке, были так же сделаны китайскими производителями»<sup>1</sup>.

«В Европе наибольший процент продаж электробусов был зафиксирован в Финляндии, где на электробусы приходилось 2/3 продаж автобусов в 2022 году; в Норвегии и Нидер-

ландах на них приходилась почти половина продаж; а в Дании – почти треть. Также процент продаж был высоким в Швеции, Швейцарии и Израиле»<sup>1</sup>.

Важно заметить, что несколько лет объемы производства и продаж электробусов колебались за счет предоставляемых субсидий (общая сумма субсидий с 2018 по 2021 год составила менее 2,9 млрд долл. США), однако, начиная с 2021 года, продажи электробусов начали снова расти<sup>1</sup>.

Из имеющихся в продаже моделей электробусов в 2022 году 60 % (более 500 моделей) были произведены китайскими производителями. Еще 20 % (более 170 моделей) были произведены американскими производителями и 15 % (более 120 моделей) – европейскими<sup>1</sup>.

Таблица, составленная на основе данных<sup>1</sup> и Global Drive to Zero ZETI<sup>2</sup>, представляет модельный ряд автобусов с нулевым уровнем выбросов и среднюю емкость используемых на них аккумуляторов (табл. 1).

С 2021 по 2022 год увеличился спрос на литий-ионные аккумуляторные батареи примерно на 65 % с ~330 ГВт ч до ~550 ГВт ч, главной причиной стал рост продаж электрических легковых автомобилей, при этом количество новых постановок на учет увеличилось на 55 % в 2022 году относительно 2021 года<sup>1</sup>.

В 2022 году, согласно указанному докладу МЭА, отмечен «рост венчурного финансирования производства электромобилей и технологий зарядки (на 50 % до 1,2 млрд долларов США, 2021–2022 гг.). Особенно значительный рост произошел в сегменте зарядки, который получил рекордное финансирование в размере 730 миллионов долларов США. Финансирование переработки и повторного использования аккумуляторов также заметно увеличилось и составило 200 миллионов долларов США, что в восемь раз больше, чем в 2021 году»<sup>1</sup>. Аналогичные тренды выявлены и в данных Cleantech Group i3<sup>3</sup>.

На основе базы данных МЭА<sup>4</sup>, авторами были отобраны для анализа 294 документа стратегического планирования и программы

<sup>1</sup> Global EV Outlook 2023 (Глобальный прогноз развития электромобилей, 2023 год). Доклад Международного энергетического агентства [Электронный ресурс]: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>. Доступ 04.12.2023.

<sup>2</sup> ZETI (Zero-Emission Technology Inventory). [Электронный ресурс]: <https://globaldrivetozero.org/tools/zeti/>. Доступ 04.12.2023.

<sup>3</sup> Веб-сайт Cleantech Group i3 [Электронный ресурс]: <https://www.cleantechforeurope.com/publications/cleantech-q3-briefing-2022#chapter-03>. Доступ 04.05.2023.

<sup>4</sup> IEA policies database [Электронный ресурс]: <https://www.iea.org/policies/sector%5B0%5D=Passenger%20transport%20%28Road%29>. Доступ 04.05.2023.

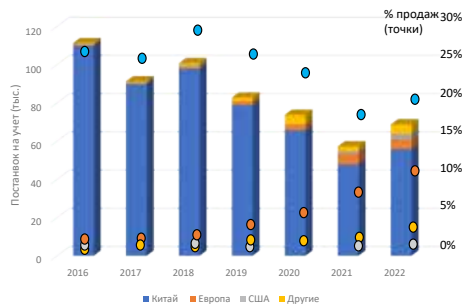


Рис. 1. Количество постановок на учет и процент продаж электробусов в мире в 2016–2022 гг [IEA (2023), *Electric bus registrations and sales share by region, 2015–2022*, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-bus-registrations-and-sales-share-by-region-2015–2022>, Licence: CC BY 4.0].

Таблица 1  
Средняя емкость АКБ электробусов <sup>[1, Global Drive to Zero ZETI database]</sup>

Категория и назначение ТС	Средняя емкость АКБ (кВт·ч)				Изменение среднего показателя 2019–2022 гг.
	2019	2020	2021	2022	
МЗШ, муниципальные и региональные перевозки	264	322	225	345	31 %
МЗІ, МЗІІ, заказные перевозки	104	119	120	150	45 %
МЗІ, МЗІІ, перевозки организованных групп детей	155	141	207	137	–12 %



Рис. 2. Количество документов и программ различных стран в сфере электрификации наземного городского пассажирского транспорта [на основе данных <sup>1</sup>].

(включая планы, документы, устанавливающие преференциальные режимы, гранты и т. д.), имеющих отношение к электрификации наземного городского пассажирского транспорта (НГПТ), среди которых наибольшее количество было утверждено в Испании, Португалии, США, КНР, Италии и Канаде (рис. 2).

Из 294 программных документов 223 (76 %) являлись на тот момент действующими, 66 (23 %) утратили силу, оставшиеся находились на стадии утверждения и разработки (рис. 3).

Анализ сферы действия документов (рис. 4) показывает преобладание программ национальной юрисдикции (239 или 81,3 %

от общего числа), за ними следует городская/муниципальная юрисдикция (30 или 10,2 %), юрисдикция штата/провинции (22 или 7,5 %) и международная юрисдикция (3 или 1 %).

В значительном числе анализируемых программ приводятся прогноз запаса хода и мощности электробусов на период до 2030 гг. по различным сценариям, а также прогнозные значения по количеству зарядных станций.

### Отечественный опыт эксплуатации электробусов

По состоянию на 2023 год в Российской Федерации основными производителями электробусов являлись: ПАО «КАМАЗ», ПАО





Рис. 3. Распределение документов и программ по статусу [на основе данных \*].

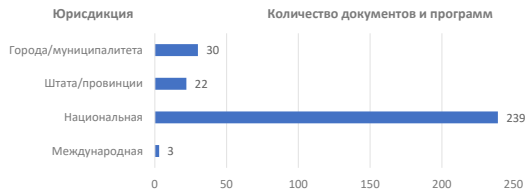


Рис. 4. Распределение документов и программ по юрисдикциям [на основе данных \*].

Таблица 2  
Модельный ряд производителей  
электробусов [составлено авторами]

№	Производитель	Количество моделей
1	ПАО «КАМАЗ»	2
2	ПАО «ГАЗ»	1
3	ООО «Волгабас»	1
4	АО «Синара-Транспортные Машины»	1
5	ООО «ПК Транспортные системы»	3
6	АО «Стройтранс»	1

Таблица 3  
Эксплуатация электробусов  
на муниципальных маршрутах регулярных  
перевозок [составлено авторами]

Город	Количество электробусов	Количество маршрутов
Москва	1055	79
Санкт-Петербург	10	1
Липецк	5	1
Владивосток	2	1
Рыбинск	2	1
Сочи	2	1
Тюмень	1	1

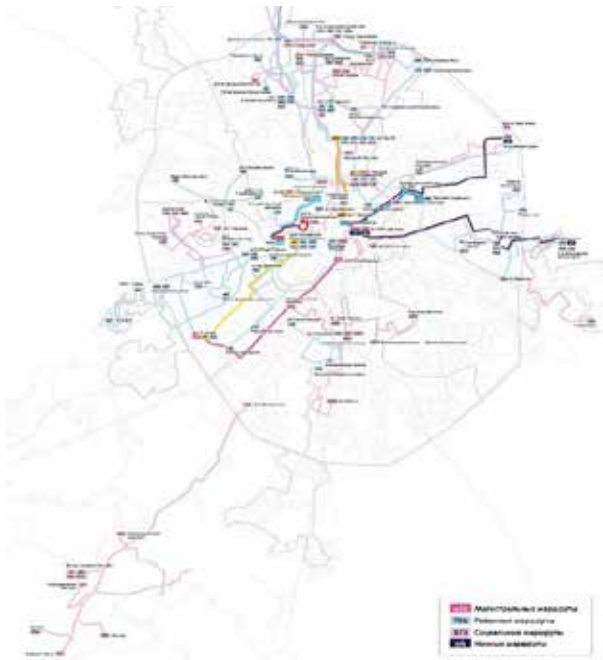


Рис. 5. Схема маршрутной сети электробусов (Схема маршрутов электробуса. [Электронный ресурс]: <https://www.mosgortrans.ru/electrobus/map/>. Доступ 07.05.2023.)

Кудряшов М. А., Скоркин М. В. Анализ методических подходов к выбору муниципальных маршрутов регулярных перевозок для эксплуатации электробусов



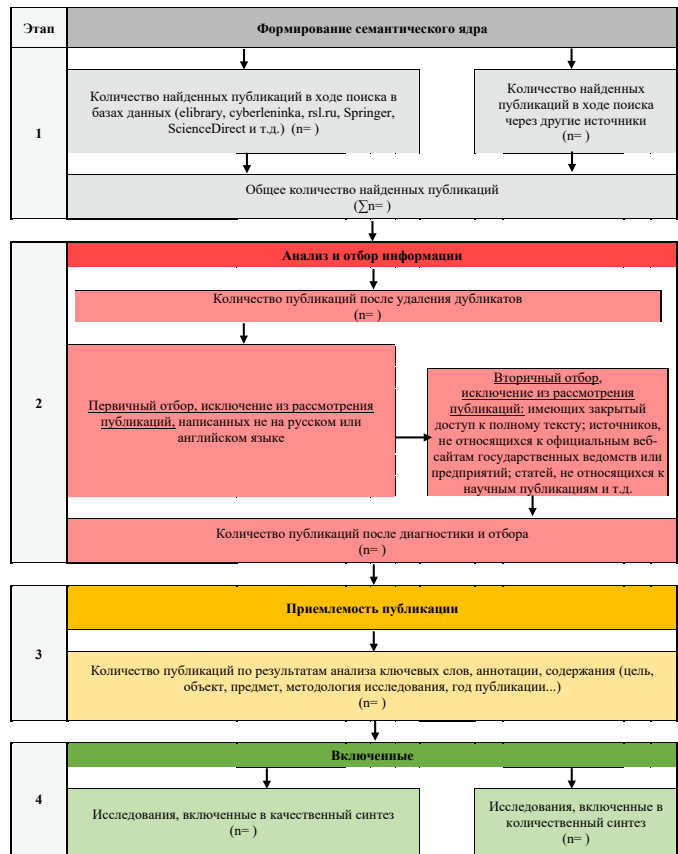


Рис. 7. Адаптированная схема методологии PRISMA [составлена авторами].

структуре и подвижному составу, выполнить экономическую оценку предлагаемых решений в конкретных условиях эксплуатации.

Общий алгоритм решения задачи по выбору оптимальных муниципальных маршрутов регулярных перевозок для эксплуатации электробусов с учетом отобранных параметров изображен на рис. 8.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направлением дальнейших исследований является статистический и кластерный анализ автобусных, электробусных и всей совокупности маршрутов ГУП «Мосгортранс» по выбранным параметрам с оценкой доли электробусных маршрутов в кластерах. Дополнительно предлагается выполнить оценку соот-

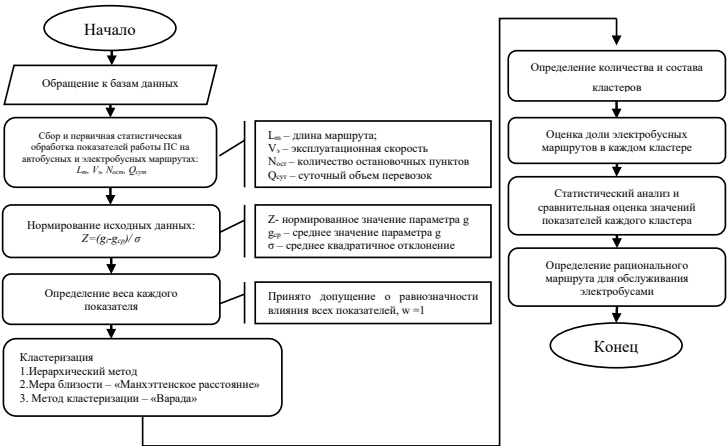


Рис. 8. Алгоритм решения задачи по выбору оптимальных муниципальных маршрутов регулярных перевозок для эксплуатации электробусов [выполнено авторами].

Таблица 4

Учет показателей влияющих на выбор маршрута [составлено авторами]

№ п/п	Технико-экономические показатели (ТЭП)												Источник
	Маршрут							Пассажиропоток					
	V <sub>э</sub>	I	L <sub>м</sub>	t <sub>об</sub>	h <sub>э</sub>	N <sub>ост</sub>	l <sub>ж</sub>	Q <sub>max</sub>	Q <sub>ч</sub>	Q <sub>сут</sub>	Π <sub>г</sub>	P <sub>ч</sub>	
1	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	[2]
2	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	[3]
3	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	[4]
4	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	[5]
5	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	[6]
6	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	[7]
7	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	*
8	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	[8]
9	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	[9]
10	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	[10]
11	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	[11]
12	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	[12]
13	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	[13]
14	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	[14]
15	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	[15]
16	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	**
17	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	[16]
18	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	***
19	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	[17]
20	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	[18]
21	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[19]
Σ	13	4	21	17	8	14	13	6	8	11	3	4	

Примечания:  $V_{\text{э}}$  – эксплуатационная скорость; I – интервал движения;  $L_{\text{м}}$  – протяженность маршрута;  $t_{\text{об}}$  – время оборота подвижного состава;  $h_{\text{э}}$  – частота движения;  $N_{\text{ост}}$  – общее количество остановочных пунктов;  $l_j$  – протяженность j-го участка маршрута;  $Q_{\text{max}}$  – максимальный пассажиропоток;  $Q_{\text{ч}}$  – часовой пассажиропоток;  $Q_{\text{сут}}$  – суточный пассажиропоток;  $P_i$  – пассажирообмен i-го остановочного пункта;  $P_{\text{ч}}$  – пассажиропоток по участкам маршрута.

\* Доклад Международного союза общественного транспорта. Performance evaluation framework: For electric buses in India. [Электронный ресурс]: <https://www.uitp.org/publications/performance-evaluation-framework-for-electric-buses-in-india/>. Доступ 05.05.2023.

\*\* The Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH [Немецкое агентство по международному сотрудничеству]. Training Needs Assessment for Electric Buses in India: Volume I–Identification of Training Needs. [Электронный ресурс]: <https://transformative-mobility.org/multimedia/training-needs-assessment-for-electric-buses-in-india-volume-i-identification-of-training-needs/>. Доступ 05.05.2023.

\*\*\* E-Bus. Solution booklet. Smart Cities Marketplace 2023 European Union. [Электронный ресурс]: <https://www.eiturbanmobility.eu/wp-content/uploads/2023/02/230113-Solution-Booklet-E-bus-Updated.pdf>. Доступ 07.05.2023.

ветствия автобусных и электробусных маршрутов путем сопоставления средних значений нормированных показателей всей совокупности полученных кластеров электробусных и автобусных маршрутов. По результатам анализа выдвигается гипотеза о наибольшем соответствии кластера автобусных маршрутов электробусным. Для апробации предложенной методики и решения технологических задач организации работы подвижного состава, с учетом однородности параметров

маршрутов в кластере, выбирается маршрут и решаются основные технологические задачи организации работы электробуса на выбранном маршруте:

- определение номинальной пассажироместимости в соответствии с требованиями социального стандарта транспортного обслуживания населения в редакции распоряжения Минтранса России от 13.04.2018 № НА-55-р;

- планирование работы подвижного состава и водителей, в том числе графика дви-





жения и расхода электроэнергии, на маршруте.

В завершение необходимо выполнить расчет основных технико-эксплуатационных и экономических показателей, составить точную ведомость технико-экономических показателей и смету текущих затрат при обычной системе налогообложения.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кудряшов М. А., Блудян Н. О. Методы оценки температурных режимов в салоне транспортных средств общественного городского транспорта // *Транспорт: наука, техника, управление*. – 2022. – № 2. – С. 43–54. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-02-7.
2. Горбунова А. Д. Анализ факторов, влияющих на выбор городского регулярного маршрута для ввода электробуса // *Вестник гражданских инженеров*. – 2021. – № 4 (87). – С. 127–133. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-4-127-133.
3. Горбунова А. Д. Влияние маршрутной нормы расхода электроэнергии электробусом на выбор городского регулярного маршрута для его эксплуатации // *Перспективное развитие науки, техники и технологий: сб. научных статей 11-й Международной научно-практ. конференции, Курск, 29 октября 2021 года*. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 82–84. EDN: UFUNGO.
4. Горбунова А. Д., Смирнова О. Ю. Разработка алгоритма выбора рационального регулярного городского маршрута для эксплуатации электробуса // *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. – 2021. – Т. 18. – № 4 (80). – С. 378–389. DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-4-378-389.
5. Jain, M., Jain, H., Tiwari, G., Rao, K. R. Indicators to Measure Performance Efficiency of Bus Systems. Final Report. Prepared for Shakti Sustainable Energy Foundation, New Delhi. TRIPP-PR-16-02. Transportation Research and Injury Prevention Programme, Indian Institute of Technology. Delhi, 2026, 56 p. [Электронный ресурс]: <https://shaktifoundation.in/wp-content/uploads/2016/07/Indicators-to-measure-performance-efficiency-of-bus-systems1.pdf>. Доступ 28.02.2024.
6. Hjelkrem, O. A., Lervåg, K. Y., Babri, S., Lu Chaoru., Södersten, C. J. A battery electric bus energy consumption model for strategic purposes: Validation of a proposed model structure with data from bus fleets in China and Norway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2021, Vol. 94, 102804. DOI: 10.1016/j.trd.2021.102804.
7. Кудряшов М. А., Прокопенков А. В., Айриев П. С. Методический подход к организации перевозок на электробусных маршрутах // *Мир транспорта*. – 2020. – Т. 18. – № 5 (90). – С. 152–170. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-152-170.
8. Rebouças, A. B., Daniel, J., Delgado, O. Operational analysis of battery electric buses in São Paulo. Technical study developed for São Paulo Transportes S/A (SPTTrans) as part of the ZEBRA initiative (Zero Emission Bus Rapiddeployment Accelerator) [Электронный ресурс]: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/02/Operational-analysis-of-battery-electric-buses-in-Sao-Paulo-final2-feb2023.pdf>. Доступ 05.12.2023.
9. Eudy, L., Prohaska, R., Kelly, K. J., Pos Foothill Transit Battery Electric Bus Demonstration Results. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States), 2016, Report number: NREL/TP-5400-65274. DOI: 10.13140/RG.2.1.1236.0087.
10. Su, X., Jiang, L., Huang, Y. Design of Electric Bus Transit Routes with Charging Stations under Demand Uncertainty. *Energies*, 2023, Vol. 16, Iss. 4, 1848. DOI: 10.3390/en16041848.
11. Thorne, R. J., Hovim, I. B., Figenbaum, E., Pinchasik, D. R., Amundsen, A. H., Hagman, R. Facilitating adoption of electric buses through policy: Learnings from a trial in Norway. *Energy Policy*, 2021, Vol. 155, 112310. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112310.
12. Göhlich, D., Kunith, A., Ly, Tu-Anh. Technology assessment of an electric urban bus system for Berlin. *WIT Transactions on The Built Environment*, 2014, Vol. 138, pp. 137–149. DOI: 10.2495/UT140121.
13. Wang, Y., Liao, F., Lu, C. Integrated optimization of charger deployment and fleet scheduling for battery electric buses. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2022, Vol. 109 (12), 103382. DOI: 10.1016/j.trd.2022.103382.
14. Xylia, M., Leduc, S., Patrizio, P., Kraxner, F., Silveira, S. Locating charging infrastructure for electric buses in Stockholm. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2017, Vol. 78, pp. 183–200. DOI: 10.1016/j.trc.2017.03.005.
15. Gong, J., He, J., Cheng, C., King, M., Yan, X., He, Z., & Zhang, H. Road Test-Based Electric Bus Selection: A Case Study of the Nanjing Bus Company. *Energies*, 2020, Vol. 13, Iss. 5, 1253. DOI: 10.3390/en13051253.
16. Кудряшов М. А., Прокопенков А. В., Айриев П. С. К вопросу нормативного обеспечения эксплуатации пассажирских электрических транспортных средств // *Мир транспорта*. – 2020. – Т. 18. – № 1 (86). – С. 196–211. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-196-211.
17. Капский Д. В., Кузьменко В. Н., Красильникова А. С., Семченков С. С., Кот Е. Н., Ларин О. Н. Анализ развития различных видов городского электрического транспорта в Полоцке и Новополоцке // *Наука и техника*. – 2022. – Т. 21. – № 2. – С. 150–157. DOI: 10.21122/2227-1031-2022-21-2-150-157.
18. Lotfi, M., Pereira, P., Paterakis, N., Gabbar, H. A., Catalão, J. P. S. Optimizing Charging Infrastructures of Electric Bus Routes to Minimize Total Ownership Cost. 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Madrid, Spain, 2020, pp. 1–6. DOI: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope49358.2020.9160687.
19. Кайрмухамбетов О. Б. Характеристики производительности электрических автобусов // *Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева*. – 2021. – № 1 (116). – С. 136–144. DOI: 10.52167/1609-1817-2021-116-1-136-144. ●

### Информация об авторах:

**Кудряшов Максим Александрович** – старший преподаватель базовой кафедры «Городской пассажирский транспорт» на базе ГУП «Мосгортранс», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия, [sparky5@yandex.ru](mailto:sparky5@yandex.ru).

**Скоркин Максим Валерьевич** – бакалавр кафедры автомобильных перевозок, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия, [xzelution@yandex.ru](mailto:xzelution@yandex.ru).

Статья поступила в редакцию 08.12.2023, одобрена после рецензирования 03.09.2024, принята к публикации 10.09.2024