УДК 656.1

© А. Д. Горбунова, аспирант
(Тюменский индустриальный университет,
Тюмень, Россия)
E-mail: gorbunovaad94@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-127-133

© A. D. Gorbunova, post-graduate student
(Industrial University of Tyumen,
Tyumen, Russia)
E-mail: gorbunovaad94@gmail.com

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЫБОР ГОРОДСКОГО РЕГУЛЯРНОГО МАРШРУТА ДЛЯ ВВОДА ЭЛЕКТРОБУСА

ANALYSIS OF THE FACTORS INFLUENCING THE CHOICE OF THE URBAN REGULAR ROUTE FOR THE ELECTRIC BUS

Представлен анализ существующих подходов к выбору маршрута для ввода электробуса и организации зарядной инфраструктуры на нем. В ходе выполнения данного этапа исследования выявлено, что до настоящего момента не существует работ в данной области, которые учитывают влияние условий эксплуатации и особенности организации транспортного обслуживания населения на регулярных городских маршрутах в РФ. Поэтому данная статья направлена на выявление и систематизацию факторов, оказывающих влияние на выбор городского регулярного маршрута для электробуса. В результате сформирована структурно-логическая схема факторов, которая позволит разработать логико-лингвистическую модель для выбора маршрута.

Ключевые слова: электробус, зарядная станция, регулярный городской маршрут, факторы.

The paper presents the results of analysis of existing approaches to the selection of the route for the introduction of the electric bus and organization of the charging infrastructure. At the stage of the study, there has been revealed that presently, there are no researchers in this area that have taken into account the influence of operating conditions and the features of organizing transport services for the population on regular urban routes in the Russian Federation. Therefore, this research is aimed at identifying and systematizing the factors that influence the choice of an urban regular route for the electric bus. As a result, there has been formed a structural and logical scheme of factors, which will enable developing a logical and linguistic model for choosing the electric bus route.

Keywords: electric bus, charging station, regular urban route, factors.

Современные тенденции развития транспортной отрасли направлены на повышение экологичности эксплуатируемых транспортных средств. Снижение выбросов вредных веществ автомобильным транспортом является целью транспортной стратегии развития РФ на период до 2030 г.¹, а также стратегии развития автомобильной промышленности на период до 2025 г.² Это способствует внедрению транспортных средств, использующих экологически чистые источники энергии, в том числе и в области коммерческих перевозок.

¹ Об утверждении транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г.: распоряжение Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р // Министерство транспорта РФ. Документы. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/3/1009> (дата обращения: 15.05.2021).

² Об утверждении Стратегии развития автомобильной промышленности до 2025 года: распоряжение Правительства РФ от 28 апреля 2018 г. № 831-р // Правительство России. Документы. URL: <http://government.ru/docs/32547/> (дата обращения: 15.05.2021).

В настоящее время наблюдается ввод и изучение особенностей эксплуатации электробусов при перевозке пассажиров и багажа автомобильным транспортом. Данный процесс позволит снизить негативное воздействие на окружающую среду, а следовательно, повысить качество транспортного обслуживания населения. Это взаимодействие описано в работе Н. В. Якуниной [1]. На начало 2021 г. лидерами в РФ по количеству введенных в эксплуатацию электробусов были Москва и Санкт-Петербург. В регионах, как правило, для перевозки пассажиров и багажа автомобильным транспортом вводят 1–2 электробуса, что обусловлено высокими капитальными затратами на приобретение данных транспортных средств и организацию зарядной инфраструктуры, отсутствием достаточного массива данных об их экс-

плуатации и алгоритма выбора рационального маршрута для их функционирования.

В мировой практике выбор рационального маршрута для ввода электробуса и организация на нем зарядной инфраструктуры основываются на научных подходах, разработанных зарубежными исследователями [2–6]. Однако они не учитывают влияние условий эксплуатации и особенностей организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом в РФ. Это наличие дублирующих или пересекающихся маршрутов, единоличного мнения при выборе маршрута, отсутствие парковочного места для зарядки транспортного средства и другое.

Таким образом, научно-практическая задача, направленная на разработку алгоритма выбора рационального маршрута с возможностью организации на нем зарядной инфраструктуры и с учетом влияния условий эксплуатации и особенностей организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом в РФ, является актуальной. Цель данной статьи заключается в выявлении и систематизации факторов, оказывающих влияние на выбор городского регулярного маршрута при вводе электробуса и организации зарядной инфраструктуры на нем.

Важность планирования электрификации автомобильного транспорта, осуществляющего транспортное обслуживание населения на регулярных городских маршрутах, отмечена в работе Conti V., Orchi S. и др. [2]. Это позволит минимизировать затраты на создание и эксплуатацию зарядной сети и транспортных средств. В качестве основных факторов, учитываемых при проектировании сети функционирования электрических транспортных средств, в данной работе авторы предложили учитывать вместимость транспортных средств, их снаряженную массу, емкость тяговой аккумуляторной батареи, среднюю скорость движения на маршруте, тип используемых зарядных устройств, пассажиропоток на маршруте и средний уклон дороги. Важность данных факторов при организации зарядной инфраструктуры и оценке маршрутной сети при переходе к электрическим транспортным средствам отмечена в исследовании Fusco G., Alessandrini A. и др. [3]. Однако дополнительно включены протяженность маршрута, время рейса и их количество в течение смены, продолжительность сто-

янки на конечном и промежуточном остановочных пунктах и их количество. При этом частота движения транспортных средств рассматривается в качестве результирующего показателя, а не входного фактора, как в работе De Fillippo G. и др. [4]. В этом случае авторы предлагают для оценки уровня транспортного обслуживания населения рассматривать среднее время ожидания в очереди на остановочном пункте транспортного средства, а частоту движения транспортных средств — как фактор, зависящий от численности электробусов на линии и времени их заряда.

Проектирование городской транспортной сети электрических транспортных средств рассматривали Pternea M., Kerpptoglou K. и др. [5]. Они предложили учитывать не только особенности маршрутной сети, которые представлены ранее, но и воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду. Однако наряду с данными факторами Kunith A., Mendelevich R. и др. отмечают важность минимизации затрат на электрификацию подвижного состава [6], которые будут зависеть от себестоимости транспортной работы за 1 км, наличия субсидий при покупке электробусов, снижения таможенных пошлин, а также их первоначальной стоимости и затрат на организацию зарядной инфраструктуры.

В ходе анализа работ, выполненных в РФ по состоянию на май 2021 г., не выявлено исследований, рассматривающих выбор регулярного городского маршрута для ввода в эксплуатацию электробусов и особенности организации зарядной инфраструктуры. При этом разработаны подходы к рациональному распределению подвижного состава, работающего на традиционном топливе, в соответствии с параметрами маршрутной сети и к выбору систем городского пассажирского транспорта. Поэтому данные работы были изучены для выявления факторов, описывающих особенности транспортного обслуживания населения по регулярным городским маршрутам в РФ.

Одним из важных факторов, оказывающих влияние на выбор подвижного состава, является пассажиропоток, который предложено в работах И. В. Спирина и С. А. Яценко оценивать с помощью средней интенсивности пассажиропотока на перегоне [7, 8], а в исследованиях [9–12] — коэффициента использования пассажиромести-

мости. При этом Е. В. Фомин предложил учитывать неравномерность пассажирских потоков и взаимное наложение маршрутов, которое может оказать влияние на наличие свободных мест стоянки для подзарядки электробусов на остановочных пунктах [9]. Он, так же как авторы ранее представленных работ [2–6], предлагает оценивать экономическую эффективность перевозок. Наряду с минимизацией затрат при транспортном обслуживании населения по регулярным городским маршрутам, экологическое воздействие автомобильного транспорта, которое было также отражено в работе иностранных ученых [5], представлено в исследованиях В. А. Черняевой, М. В. Фёдоровой [13, 14]. Однако они предложили количественную оценку данного фактора с помощью показателей уровня шума, загрязнения атмосферного воздуха и наличия пыли в нем, что может оказать существенное влияние на выбор маршрута при наличии экологически чистых зон на территории города.

Особенности организации дорожного движения в городе также являются важной составляющей, которая будет оказывать влияние на

выбор маршрута для ввода электробуса. Данные параметры были рассмотрены А. А. Назаровым с целью повышения эффективности функционирования городских автобусов [10]. Он предложил учитывать не только количество остановочных пунктов, как это было представлено ранее, но выявил необходимость расчета количества светофоров, поворотов на маршруте, а также измерение плотности движения автотранспорта и среднего расстояния между остановками. Последний фактор также был отражен в работе С. Г. Архипова как длина перегона [11].

Таким образом, в ходе анализа ранее выполненных работ в качестве основных факторов, оказывающих влияние на выбор маршрута для ввода электробуса и организации на нем зарядной инфраструктуры, выявлены: характеристики пассажиропотока, транспортных средств, маршрута, зарядных станций и маршрута, особенности организации улично-дорожной сети и транспортного обслуживания, а также природно-климатические условия. Их влияние представлено с помощью причинно-следственной диаграммы Исикавы (рис. 1).

Рис. 1. Диаграмма факторов, влияющих на выбор городского регулярного маршрута для ввода электробуса (получены в ходе анализа ранее выполненных работ)

Особенности эксплуатации электрических транспортных средств, связанные с беспрепятственным восполнением энергии тяговых аккумуляторных батарей на маршруте, требуют учета дополнительных факторов. Так, в местах остановок электрических транспортных средств обязательно наличие уширения проезжей части. При этом в качестве фактора следует рассматривать и длину площадки для остановки, которая рассчитывается в соответствии с соотношением 20 м на одно транспортное средство, но не более 60 м при организации их в пределах населенных пунктов³. Несоответствие данного значения нормам может привести к увеличению продолжительности времени простоя транспортных средств для посадки и высадки пассажиров. Это соответственно может увеличить время рейса, которое зависит от плотности транспортного потока на маршруте. При этом данное воздействие состояния дорожного движения не всегда будет оказывать влияние на время рейса, что наблюдается при наличии выделенных полос для движения общественного транспорта, которые в настоящее время активно развиваются в крупных городах. Однако их организация требует достаточного количества полос для движения транспортных средств — две и более в одном направлении, что также может оказывать влияние на выбор маршрута для ввода электробуса.

Ранее было выявлено влияние характеристик пассажиропотока, которые учитывались с помощью средней интенсивности и коэффициента неравномерности. При этом не включены в качестве характеристик сезонность спроса и наличие маломобильных групп населения на маршруте, которые требуют особых требований к подвижному составу для комфортного перемещения. Однако перевозка пассажиров и багажа автомобильным транспортом должна быть не только комфортной, но и безопасной. Для этого водитель электробуса должен соблюдать режим труда и отдыха, который также может оказывать влияние на время и место зарядки электрического транспортного средства на маршруте, что будет относиться к организационным факторам, также как наличие заинтересованности органов муниципальной

власти при вводе электробусов на таких маршрутах, как гостевой или туристический.

Время заряда тяговой аккумуляторной батареи будет зависеть и от типа накопителей, которые также определяют запас хода и тип зарядных станций, а соответственно, их мощность и обеспечиваемую силу тока. При этом тип зарядной станции будет также влиять на такие градостроительные факторы, как наличие свободной площади для организации зарядной станции или контактной сети (в случае выбора электробуса с динамической системой заряда), а также возможность подведения требуемой мощности.

Запас хода электробуса и время заряда — это параметры, определяемые также условиями эксплуатации. Так, наличие низкотемпературных условий эксплуатации может вызвать рост расхода электроэнергии из тяговой аккумуляторной батареи [15]. Это требует выбора маршрута с иными параметрами. Поэтому природно-климатические условия эксплуатации являются фактором, который будет влиять на выбор маршрута.

Факторы, выявленные в ходе дополнительного анализа особенностей эксплуатации электробусов, представлены в структурно-логической схеме на рис. 2.

В ходе выполнения данного этапа исследования проанализированы отечественные и зарубежные исследования в области организации транспортного обслуживания населения электробусом и организации зарядной инфраструктуры. Полученные результаты аналитического исследования, проведенного автором, позволили выявить факторы, оказывающие влияние на выбор городского регулярного маршрута для ввода электробуса, и систематизировать их в виде структурно-логической схемы.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку логико-лингвистической модели выбора рационального маршрута для ввода электробуса, а также разработку алгоритма для расположения зарядной инфраструктуры на нем.

Библиографический список

1. Якунина Н. В. Методология повышения качества перевозок пассажиров общественным автомо-

³ ГОСТ Р 52766–2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования. М., 2020. 41 с.

Рис. 2. Структурно-логическая схема факторов, влияющих на выбор городского регулярного маршрута для ввода электробуса

бильным транспортом: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Оренбург, 2013. 32 с.

2. Conti V., Orchi S., Valentini M. P., Nigro M., Calò R. Design and evaluation of electric solutions for public transport // *Transportation Research Procedia*. 2017. № 27. Pp. 117–124.

3. Fusco G., Alessandrini A., Colombaroni Ch., Valentini M. P. A model for transit design with choice of electric charging system // *Procedia: Social and Behavioral Sciences*. 2013. № 8. Pp. 234–249.

4. De Filippo G., Marano V., Sioshansi R. Simulation of an electric transportation system at The Ohio State University // *Applied Energy*. 2014. Vol. 113. Issue C. Pp. 1686–1691.

5. Pternea M., Kepaptsoglou K., Karlaftis M. G. Sustainable urban transit network design // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2015. Vol. 77. Pp. 276–291.

6. Kunith A., Mendelevitch R., Göhlich 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. 10. Issue 11. Pp. 707–720.

7. Спири́н И. В. Научные основы комплексной реструктуризации городского автобусного транспорта: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 2007. 38 с.

8. Яценко С. А. Повышение качества обслуживания пассажиров на городских автобусных маршрутах в условиях применения подвижного состава разной вместимости: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2012. 20 с.

9. Фомин Е. В. Повышение качества обслуживания пассажиров городского транспорта путем оптимизации структуры парка подвижного состава: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2018. 20 с.

10. Назаров А. А. Разработка комплекса мероприятий по совершенствованию функционирования городских автобусов на основе учета сложности маршрута движения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2006. 23 с.

11. Архипов С. Г. Повышение эффективности технической эксплуатации городских автобусов за счет рациональной адаптации их к условиям маршрута движения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1999. 17 с.

12. Федоров С. В. Совершенствование методов проектирования транспортных сетей и маршрутных систем крупных городов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2011. 20 с.

13. Черняева В. А. Комплексное обоснование выбора систем городского пассажирского общественного транспорта: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2014. 16 с.

14. Фёдорова М. В. Экономическое обоснование стратегии развития скоростного городского транспорта на основе магнитолевитационной технологии: автореф. дис. ... канд. экон. наук. СПб., 2019. 18 с.

15. Оспанбеков Б. К. Повышение энергетической эффективности и эксплуатационных показателей электромобилей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. 22 с.

References

1. Yakunina N. V. *Metodologiya povysheniya kachestva perevozok passazhirov obshchestvennym avtomobil'nyim transportom*. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Methodology for improving the quality of passenger transportation by public road transport. Author's thesis of Dr. Sci. Tech. diss.]. Orenburg, 2013, 32 p.

2. Conti V., Orchi S., Valentini M. P., Nigro M., Calò R. Design and evaluation of electric solutions for public transport. *Transportation Research Procedia*, 2017, no. 27, pp. 117–124.

3. Fusco G., Alessandrini A., Colombaroni Ch., Valentini M. P. A model for transit design with choice of electric charging system. *Procedia: Social and Behavioral Sciences*, 2013, no. 8, pp. 234–249.

4. De Filippo G., Marano V., Sioshansi R. Simulation of an electric transportation system at the Ohio State University. *Applied Energy*, 2014, vol. 113, iss. C, pp. 1686–1691.

5. Pternea M., Kepaptsoglou K., Karlaftis M. G. Sustainable urban transit network design. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2015, vol. 77, pp. 276–291.

6. Kunith A., Mendelevitch R., Göhlich 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. 10, iss. 11, pp. 707–720.

7. Spirin I. V. *Nauchnye osnovy kompleksnoy restrukturizatsii gorodskogo avtobusnogo transporta*. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk [Scientific bases of complex restructuring of urban bus transport Author's thesis of Dr. Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2007, 38 p.

8. Yatsenko S. A. *Povyshenie kachestva obsluzhivaniya passazhirov na gorodskikh avtobusnykh marshrutakh v usloviyakh primeneniya podvizhnogo sostava raznoy vmestimosti*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Improving the quality of passenger service on urban bus routes in the conditions of using rolling stock of different capacities. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Irkutsk, 2012, 20 p.

9. Fomin E. V. *Povyshenie kachestva obsluzhivaniya passazhirov gorodskogo transporta putem optimizatsii struktury parka podvizhnogo sostava*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Improving the quality of passenger service in

urban transport by optimizing the structure of the rolling stock fleet. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Krasnoyarsk, 2018, 20 p.

10. Nazarov A. A. *Razrabotka kompleksa meropriyatiy po sovershenstvovaniyu funktsionirovaniya gorodskikh avtobusov na osnove ucheta slozhnosti marshruta dvizheniya*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Development of a set of measures to improve the functioning of city buses based on taking into account the complexity of the route. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2006, 23 p.

11. Arkhipov S. G. *Povyshenie effektivnosti tekhnicheskoy ekspluatatsii gorodskikh avtobusov za schet ratsional'noy adaptatsii ikh k usloviyam marshruta dvizheniya*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of technical operation of city buses due to their rational adaptation to the conditions of the route. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 1999, 17 p.

12. Fedorov S. V. *Sovershenstvovanie metodov proektirovaniya transportnykh setey i marshrutnykh sistem krupnykh gorodov*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk

[Improving the methods of designing transport networks and route systems of large cities. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2011, 20 p.

13. Chernyaeva V. A. *Kompleksnoe obosnovanie vybora sistem gorodskogo passazhirskogo obshchestvennogo transporta*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Complex justification of the choice of urban passenger public transport systems. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2014, 16 p.

14. Fyodorova M. V. *Ekonomicheskoe obosnovanie strategii razvitiya skorostnogo gorodskogo transporta na osnove magnitolevitatsionnoy tekhnologii*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Economic justification of the strategy for the development of high-speed urban transport based on magnetolevitation technology. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2019, 18 p.

15. Ospanbekov B. K. *Povyshenie energeticheskoy effektivnosti i ekspluatatsionnykh pokazateley elektromobiley*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Improving the energy efficiency and operational performance of electric vehicles. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2017, 22 p.