УДК 656.11

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-1-169-177

© А. А. Фадюшин, ассистент

© A. A. Fadyushin, assistant lecturer

© Д. А. Захаров, канд. техн. наук, доцент

© D. A. Zakharov, PhD in Sci. Tech, Associate Professor

(Тюменский индустриальный университет,

(Tyumen Industrial University,

Тюмень, Россия)

Tyumen, Russia)

E-mail: fadyush72@gmail.com, zaharov1976@rambler.ru

E-mail: fadyush72@gmail.com, zaharov1976@rambler.ru

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОСЫ ДЛЯ МАРШРУТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ВРЕМЯ ЗАДЕРЖКИ ДВИЖЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО И ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

IMPACT OF ROUTE VEHICLES' LANE PARAMETERS ON THE DELAY TIME OF INDIVIDUAL AND PUBLIC TRANSPORT

Рассмотрены вопросы влияния инфраструктуры для общественного транспорта на время задержки движения индивидуального и общественного транспорта в городских условиях. В исследовании использовались следующие методы: имитационное моделирование, математическое моделирование, полевые исследования. В результате имитационного микроскопического моделирования определены параметры математических моделей времени задержки движения на индивидуальном и общественном транспорте при различных параметрах полосы для маршрутных транспортных средств. Расчетным способом определено общее время задержки с учетом количества пассажиров в общественном и индивидуальном транспорте на участке магистральной улицы регулируемого движения. При определении оптимальных параметров инфраструктуры общественного транспорта необходимо учитывать не только пассажиров общественного транспорта, но также водителей и пассажиров индивидуального транспорта.

Ключевые слова: транспортное планирование и моделирование, городская транспортная система, общественный транспорт, индивидуальный транспорт, полоса для маршрутных транспортных средств, время в пути, время задержки.

The article deals with the influence of the public transport infrastructure during the delay periods of private and public transport in the city conditions. The following methods were used in the study: simulation, mathematical modeling, on-site research. As a result of imitation microscopic modeling, there have been determined the parameters of mathematical models of the delay time of private and public transport for various parameters of the route vehicles' lane. Calculations determined the total delay time, taking into account the number of passengers in public and private transport on the section of the main street with regulated traffic. In determining the optimum parameters of the public transport infrastructure, it is necessary to take into account not only public transport passengers, but also drivers and passengers of private vehicles.

Keywords: transport planning and modeling, urban transport system, public transport, private transport, route transport vehicles' lane, travel time, delay time.

Современный город невозможно представить без устойчивой мобильности населения. Для обеспечения устойчивой городской мобильности создаются приоритетные условия для общественного транспорта и велосипедистов по сравнению с использованием личного автомобиля [4, 5, 15].

В большинстве указанных в работе [11] городов жители отдают предпочтение общественно-

му транспорту, развитие которого обеспечивает социальную справедливость для граждан [7, 13].

Одним из важнейших факторов, определяющих выбор людьми общественного транспорта для передвижения в городах, является время на совершение поездки [19]. Для его снижения создаются активный и пассивный приоритет для движения общественного транспорта [1–3, 8, 10, 17, 18]. Создание полос для маршрутных транспортных средств позволяет организовать дви-

жение автобусов разных маршрутов [9, 20], что актуально для крупных городов с недостатком автомобильных дорог и не имеющих внеуличного транспорта. Но и при таких условиях важно находить оптимальные параметры инфраструктуры для общественного транспорта, при которых снижаются потери времени людей, передвигающихся на других видах транспорта [6, 14].

Наибольший эффект от создания полос для маршрутных транспортных средств достигается при создании дополнительной полосы за счет реконструкции автомобильной дороги и расширения проезжей части. При этом улучшаются параметры движения общественного транспорта и не ухудшаются для индивидуального. Если полоса создается за счет уменьшения количества полос для индивидуального транспорта, уровень загрузки полосы для маршрутных транспортных средств снижается, для индивидуального транспорта — увеличивается.

Цель работы — повышение эффективности организации дорожного движения в результате применения оптимальных параметров полосы для маршрутных транспортных средств на основе установления зависимости времени задержки в движении от транспортных и дорожных условий.

В работе для оценки изменения параметров дорожного движения применялось транспортное моделирование на микроскопическом уровне [16]. Оно проводилось в программе PTV Vissim. Моделирование позволяет симитировать условия, которые невозможно осуществить в реальных условиях без значительных финансовых и материальных затрат. При применении имитационного моделирования на микроскопическом уровне требуется калибровка используемых моделей с учетом реальных условий и параметров движения [12].

По мнению авторов статьи, учитывать параметры дорожного движения применительно только к транспортным средствам недостаточно. Необходимо учитывать пассажировместимость транспортных средств и количество перевезенных пассажиров. В среднем на один легковой автомобиль приходится 1,5 поездки, а одновременная загрузка маршрутных транспортных средств может достигать до 100–120 пассажиров. Поэтому для учета затрат времени на движение

в работе применяется общее время задержки T_d , которое рассчитывается по формуле

$$T_d = \sum T_{di} = t_{di} Q_i / 3600 = t_{di} q_i N_i / 3600, \quad (1)$$

где T_d — общее время задержки за один час академического времени, ч/1 ч; T_{di} — общее время задержки i -го вида транспорта, ч/1 ч; t_{di} — среднее время задержки i -го вида транспорта, с/чел.; Q_i — количество пассажиров перевезенных i -м видом транспорта на участке улично-дорожной сети, чел./1 ч; q_i — среднее количество пассажиров в одном транспортном средстве i -го вида транспорта, чел./ТС; N_i — интенсивность движения i -го вида транспорта, ТС/1 ч.

Общее время задержки i -го вида транспорта — это время задержки всех пользователей i -го вида транспорта, передвигающихся по исследуемому участку.

Снижение затрат времени на передвижение повышает качество жизни человека и конкурентоспособность города. В данной работе целевая функция имеет вид

$$T_d \rightarrow \min. \quad (2)$$

В работе рассматривались следующие факторы:

- длина сплошной-прерывистой линии разметки 1.11 перед регулируемым перекрестком;
- длина отмены действия полосы для маршрутных транспортных средств перед регулируемым перекрестком;
- среднее количество пассажиров в одном маршрутном транспортном средстве.

При создании полосы для маршрутных транспортных средств на автомобильных дорогах ее, как правило, размещают крайней правой полосой и от второй полосы отделяют сплошной линией разметки 1.1 (рис. 1, а). Для перестроения автомобилей в крайнюю правую полосу и выполнения правого поворота перед перекрестком разметку 1.1 заменяют на 1.11. Параметры разметки полосы для маршрутных транспортных средств перед регулируемым перекрестком нормируются ГОСТ Р 52289–2004. Длина линии разметки 1.11 перед перекрестком не может превышать 80 м и заканчивает действие за 20 м или более до пересечения. На практике длина линии разметки 1.11 может составлять 10 м. Такая ситуация наблюдается в центральной части городов с высокой плотностью улично-дорожной сети и небольшим расстоянием между перекрестками,

где может проходить большое количество маршрутов общественного транспорта.

При большом значении длины линии разметки 1.11 на полосе для маршрутных транспортных средств перед регулируемым перекрестком может образоваться очередь из 14-15 автомобилей (рис. 1, б). В таком случае автобус может не успеть проехать перекресток за один цикл работы светофора, что приведет к увеличению времени задержки.

Гипотеза исследования — при увеличении длины линии разметки 1.11 перед регулируемым перекрестком увеличивается время задержки общественного транспорта (далее ОТ) и уменьшается для индивидуального транспорта (далее ИТ).

Влияние длины линии разметки 1.11 перед регулируемым перекрестком на общее время задержки ИТ описывается линейной моделью (формула 3), на общее время задержки ОТ — аддитивной двухфакторной моделью (формула 4)

$$T_{dPrT} = T_{dPrT0} - S_L L_{1.11}; \quad (3)$$

$$T_{dPuT} = T_{dPuT0} + S_L L_{1.11} + S_q q_{PuT}, \quad (4)$$

где T_{dPrT} — общее время задержки ИТ, ч; T_{dPrT0} — общее время задержки ИТ при минимальном значении длины линии разметки 1.11 при 1,5 проезды в одном транспортном средстве, ч; T_{dPuT} — общее время задержки ОТ, ч; T_{dPuT0} — общее время задержки ОТ при минимальном значении длины линии разметки 1.11, ч; q_{PuT} — среднее количество пассажиров в одном маршрутном транспортном средстве, чел./ТС.

Влияние длины линии разметки 1.11 перед регулируемым перекрестком на общее время задержки ИТ и ОТ приведены на рис. 2.

При увеличении длины линии разметки 1.11 с 20 до 80 метров перед регулируемым перекрестком общее время задержки ИТ уменьшается на 50 %, а общее время задержки ОТ увеличивается по-разному, в зависимости от среднего количества пассажиров в автобусе. Например, при загрузке 20 чел./автобус общее время задержки ОТ увеличилось на 120 %, а при 80 чел./автобус — 128 %.

При среднем количестве пассажиров более 40 человек в одном маршрутном транспортном средстве увеличение длины линии разметки 1.11 приведет к увеличению общего времени задержки T_d (см. рис. 2, б). При 20 человек в салоне автобуса увеличение длины линии разметки 1.11 приведет к уменьшению общего времени задержки T_d .

Полученные данные с помощью имитационного моделирования обработаны с помощью корреляционно-регрессионного анализа, что позволило выявить статистические характеристики и параметры модели (5) и (6). Результаты анализа представлены в табл. 1.

$$T_{dPrT} = 88 - 0,586L_{1.11}; \quad (5)$$

$$T_{dPuT} = -45,86 + 0,917L_{1.11} + 0,144q_{PuT}. \quad (6)$$

Корреляция между общим временем задержки в моделях (5), (6) и переменными значима, так как выполняется условие $t > t_p$. Разработанные модели адекватны результатам имитационного моделирования, так как выполняется условие $F > F_p$.

Для участка магистральной автомобильной дороги регулируемого движения с полосой для маршрутных транспортных средств встречается схема организации движения на перекрест-

Рис. 1. Схема организации движения на участке улично-дорожной сети с полосой для маршрутных транспортных средств: а — нормирование параметров полосы для маршрутных транспортных средств перед перекрестком по ГОСТ Р 52289–2004; б — схема движения транспорта на автомобильной дороге с полосой для маршрутных транспортных средств перед регулируемым перекрестком

Рис. 2. Влияние длины линии разметки 1.11 перед регулируемым перекрестком на автомобильной дороге с полосой для маршрутных транспортных средств на: а — общее время задержки ИТ и ОТ; б — общее время задержки

ке с левым поворотом с крайней левой полосы (знак 5.15.1 «Движение по полосам») и дополнительной секцией светофора (рис. 3). При такой схеме для движения ИТ в прямом направлении остается одна полоса движения, что может привести к возникновению транспортных заторов. Для повышения пропускной способности дороги полоса для маршрутных транспортных средств заканчивается на некотором расстоянии перед регулируемым перекрестком и обозначается дорожным знаком 5.14.1 «Конец полосы для маршру-

тных транспортных средств». Крайняя правая полоса от второй полосы разделяется прерывистой линией разметки 1.5, а в зоне регулируемого перекрестка — 1.7 со смещением траектории движения нескольких полос.

При большом значении длины линии разметки 1.5 после полосы для маршрутных транспортных средств перед регулируемым перекрестком может образоваться очередь из автомобилей ИТ (см. рис. 3). В таком случае маршрутное транспортное средство может не успеть проехать пе-

Таблица 1

Параметры математической модели

Показатель	Значение для модели	
	(5)	(6)
Коэффициент множественной корреляции R	0,99	0,97
t -статистика коэффициента корреляции t	11,04	14,3
Средняя ошибка аппроксимации E , %	3,18	2,16
Дисперсионное отношение Фишера F	41,04	15,83
Табличное значение критерия Фишера F_p	19	2,6

рекресток за один цикл работы светофора, что приведет к увеличению времени задержки.

Гипотеза исследования — при увеличении расстояния между стоп-линией и знаком 5.14.1 «Конец полосы для маршрутных транспортных средств» (длины линии разметки 1.5 перед регулируемым перекрестком) при проезде перекрестка увеличивается время задержки ОТ и уменьшается для ИТ.

Влияние длины линии разметки 1.5 перед регулируемым перекрестком на общее время задержки ИТ описывается линейной моделью (7), на общее время задержки ОТ — аддитивной двухфакторной моделью (8):

$$T_{dPrT} = T_{dPrTO} - S_L L_{1.5}; \quad (7)$$

$$T_{dPuT} = T_{dPuTO} + S_L L_{1.5} + S_q q_{PuT}, \quad (8)$$

где T_{dPrT} — общее время задержки ИТ, ч; T_{dPrTO} — общее время задержки ИТ при минимальном значении длины линии разметки 1.5 при среднем количестве пассажиров в одном транспортном средстве 1,5 чел., ч; поездки в одном транспортном средстве, ч; T_{dPuT} — общее время задержки ОТ, ч; T_{dPuTO} — общее время задержки ОТ при минимальном значении длины линии разметки 1.5, ч; q_{PuT} — среднее количество пассажиров в одном маршрутном транспортном средстве, чел./ТС.

Влияние длины линии разметки 1.5 перед регулируемым перекрестком на общее время задержки ИТ и ОТ приведено на рис. 4.

При увеличении длины линии разметки 1.5 с 50 до 250 метров перед регулируемым перекрестком общее время задержки для ИТ уменьшается на 50 %, а общее время задержки ОТ увеличивается по-разному, в зависимости от среднего количества пассажиров в автобусе. Например, при загрузке 20 чел./автобус общее время задержки ОТ увеличилось на 100 %, а при 80 чел./ автобус — на 75 %.

При среднем количестве пассажиров более 40 человек в одном маршрутном транспортном средстве увеличение длины линии разметки 1.5 приведет к увеличению общего времени задерж-

Рис. 3. Схема движения транспорта при отмене действия полосы для маршрутных транспортных средств перед регулируемым перекрестком

Рис. 4. Влияние длины линии разметки 1.5 перед регулируемым перекрестком: а — общее время задержки ИТ и ОТ; б — общее время задержки

ки T_d (рис. 4, б). При 40 и менее человек в салоне автобуса влияние длины линии разметки 1.5 на общее время задержки T_d происходит в виде параболы. Следовательно, существует точка с оптимальным значением длины линии разметки 1.5, где общее время задержки T_d минимальное.

Данные обработаны с помощью имитационного моделирования и корреляционно-регрессионного анализа, получены параметры моделей (9), (10). Результаты анализа представлены в табл. 2.

$$T_{dPrT} = 84,2 - 0,241L_{1.5}; \quad (9)$$

$$T_{dPuT} = -11,72 + 0,0781L_{1.5} + 1,04q_{PuT} \quad (10)$$

Таблица 2

Параметры математической модели

Показатель	Значение для модели	
	(9)	(10)
Коэффициент множественной корреляции R	0,99	0,97
t -статистика коэффициента корреляции t	11,04	14,03
Средняя ошибка аппроксимации E , %	3,18	2,16
Дисперсионное отношение Фишера F	41,04	15,83
Табличное значение критерия Фишера F_p	19	2,6

Разработанные модели адекватны результатам имитационного моделирования.

Анализ результатов исследования показал, что параметры инфраструктуры для общественного транспорта влияют на время движения, а следовательно, и эффективность работы общественного транспорта.

Новизна результатов исследования заключается в установлении новых зависимостей:

- времени задержки от длины разметки 1.11 перед регулируемым перекрестком на дороге с полосой для маршрутных транспортных средств;
- времени задержки от длины разметки 1.5 перед регулируемым перекрестком на дороге с полосой для маршрутных транспортных средств.

Делать вывод об эффективности мероприятий по развитию инфраструктуры для общественного транспорта по значениям среднего времени задержки одного транспортного средства отдельно по ИТ и ОТ недостаточно. Необходимо учитывать потери времени всех пользователей данных транспортных систем. В этом случае минимальные потери времени достигаются при других параметрах инфраструктуры для ОТ, что позволит муниципальным властям и специалистам по городскому транспортному планированию повысить качество пассажирских перевозок и в некоторых случаях — эффективность организации дорожного движения.

На основе установленных зависимостей будут определены мероприятия по оптимизации параметров инфраструктуры для общественного транспорта (длины разметки 1.11 или 1.5 перед регулируемым перекрестком на дороге с полосой для маршрутных транспортных средств).

Транспортное моделирование позволяет определить оптимальные параметры инфраструктуры для ОТ на автомобильной дороге по критерию эффективности организации дорожного движения. Данные параметры необходимо учитывать при проектировании новых и реконструкции существующих автомобильных дорог. К сожалению, при проектировании автомобильных дорог инфраструктуре для общественного транспорта уделяется недостаточное внимание, а развитию общественного транспорта власти страны стали уделять повышенное внимание. Появились программы обновления подвижного состава маршрутного транспорта в городах

и софинансирование затрат за счет федерального бюджета. Однако одной закупкой нового подвижного состава поставленных целей при транспортном планировании городов не решить. Требуется комплекс мероприятий по уменьшению доли передвижений на личном транспорте и повышению качества перевозок общественным транспортом.

Библиографический список

1. Горев А. Э., Солодкий А. И., Попова О., Осипов Д. Т. Формирование коридоров приоритетного движения городского пассажирского транспорта // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации. Материалы 106-й Международной научно-технической конференции. 2019. С. 618–628.
2. Горев А. Э., Попова О. В., Филимонова А. М. Повышение эффективности использования общественного транспорта за счет выделенных полос // Автотранспортное предприятие. 2010. № 8. С. 10–12.
3. Зырянов В. В., Мирончук А. А. Приоритетное движение общественного транспорта: развитие методов организации // Транспорт Российской Федерации. 2012. № 3-4 (40-41). С. 22–25.
4. Солодкий А. И., Черных Н. В. Повышение уровня обслуживания дорожного движения в крупных и средних городах России // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 1(78). С. 191–197.
5. Якимов М. Р. Роль городского пассажирского транспорта в повышении качества жизни // Соискатель — приложение к журналу «Мир транспорта». 2015. № 1 (9). С. 80–83.
6. Bernal L. Basic Parameters for the Design of Intermodal Public Transport Infrastructures // Transportation Research Procedia. 2016, № 14, Pp. 499–508, doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.104.
7. Cuthill N., Cao M., Liu Y., Gao X., Zhang Y. The association between Urban Public Transport infrastructure and social equity and spatial accessibility within the urban environment: An investigation of Tramlink in London. Sustainability (Switzerland) 2019, 11(5), 1229, doi.org/10.3390/su11051229.
8. Eichler M., Daganzo C. F. Bus lanes with intermittent priority: Strategy formulae and an evaluation Transportation Research Part B: Methodological 2006, 40(9), 731–744, doi.org/10.1016/j.trb.2005.10.001.
9. Gan A., Yue H., Ubaka I., Zhao F. Development of Operational Performance and Decision Models for Arterial Bus Lanes. Transportation Research Record 2003, 1858, 18–30, doi.org/10.3141/1858-03.

10. Hao Y., Teng J., Wang Y., Yang, X. Increasing capacity of intersections with transit priority. *Promet – Traffic – Traffico* 2016, 28(6), 627–637, doi:10.7307/ptt.v28i6.1999.
11. Iwanowicz D., Kempa J. Assessment of the road and railway infrastructure and means of public transport by the aspect of the survey in the selected area of Poland. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2019, 603(4), 042069, doi.org/10.1088/1757-899X/603/4/042069.
12. Otković I. I., Deluka-Tibljajš A., Šurdonja S. Validation of the calibration methodology of the micro-simulation traffic model. *Transportation Research Procedia*, 2020, 45, 684–691, doi:10.1016/j.trpro.2020.02.110.
13. Oviedo D., Scholl L., Innao M., Pedraza L. Do Bus Rapid Transit Systems improve accessibility to job opportunities for the poor? The case of Lima, Peru. *Sustainability (Switzerland)* 2019, 11(10), 2795, doi:10.3390/su1102795.
14. Park S., Ahn K., Rakha H. A. Environmental impact of freight signal priority with connected trucks. *Sustainability (Switzerland)* 2019, 11(23), 6819, doi:10.3390/su11236819.
15. Parkhurst G. Influence of bus-based park and ride facilities on users' car traffic. *Transport Policy* 2000, 7 (2), 159–172, doi.org/10.1016/S0967-070X(00)00006-8.
16. PTV AG, PTV Vissim Manual. Available online: http://cgi.ptvgroup.com/vision-help/VISSIM_11_ENG/ (accessed on 11 September 2020).
17. Sakamoto K., Abhayantha C., Kubota H. Effectiveness of bus priority lane as countermeasure for congestion. *Transportation Research Record* 2007, (2034), 103–111, doi.org/10.3141/2034-12.
18. Sheng-Xue Hu, June Dong, Shi-Dong Liang, Peng-Cheng Yuana. An approach to improve the operational stability of a bus line by adjusting bus speeds on the dedicated bus lanes *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 2019, 107, 54–69, doi.org/10.1155/2020/3236841.
19. Ušpalytė-Vitkūnienė R., Šarkienė E., Žilionienė D. Multi-criteria analysis of indicators of the public transport infrastructure. *Promet – Traffic – Traffico* 2020, 32(1), 119–126, doi.org/10.7307/PTT.V32I1.3175.
20. Zhou X., Wang Y., Ji X., Cottrill C. Coordinated control strategy for multi-line bus bunching in common corridors. *Sustainability (Switzerland)* 2019, 11(22), 6221, doi.org/10.3390/su11226221.
21. ekspluatatsii» [Proceedings of the 106-th International Scientific and Technical Conference “Safety of Wheeled Vehicles in Operating conditions”]. Irkutsk National Research Technical University Publ., 2019, pp. 618–628.
22. Gorev A. E., Popova O. V., Filimonova A. M. *Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya obshchestvennogo transporta za schet vydelennykh polos* [Improving the efficiency of using public transport through dedicated lanes for public transport]. *Avtotransportnoe predpriyatie – Motor Transport Enterprise*, 2010, no. 8, pp. 10–12.
23. Zyryanov V. V., Mironchuk A. A. *Prioritetnoe dvizhenie obshchestvennogo transporta: razvitie metodov organizatsii* [Priority movement of public transport: development of organization methods]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2012, no. 3/4 (40/41), pp. 22–25.
24. Solodkiy A. I., Chernykh N. V. *Povyshenie urovnya obsluzhivaniya dorozhnogo dvizheniya v krupnykh i srednikh gorodakh Rossii* [Improving the level of road traffic service in large and medium-sized cities of Russia]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2020, no. 1 (78), pp. 191–197.
25. Yakimov M. R. *Roľ gorodskogo passazhirskogo transporta v povyshenii kachestva zhizni* [The role of urban passenger transport in improving the quality of life]. *Soiskatel' — prilozenie k zhurnalu Mir transporta – Applicant-Appendix to the Journal World of Transport*, 2015, no. 1 (9), pp. 80–83.
26. Bernal L. Basic Parameters for the Design of Intermodal Public Transport Infrastructures. *Transportation Research Procedia*, 2016, no. 14, pp. 499–508, doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.104.
27. Cuthill N., Cao M., Liu Y., Gao X., Zhang Y. The association between Urban Public Transport infrastructure and social equity and spatial accessibility within the urban environment. An investigation of Tramlink in London. *Sustainability (Switzerland)*, 2019, no. 11(5), pp. 1229, doi.org/10.3390/su11051229.
28. Eichler M., Daganzo C. F. Bus lanes with intermittent priority: Strategy formulae and an evaluation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2006, no. 40(9), pp. 731–744, doi.org/10.1016/j.trb.2005.10.001.
29. Gan A., Yue H., Ubaka I., Zhao F. Development of Operational Performance and Decision Models for Arterial Bus Lanes. *Transportation Research Record*, 2003, 1858, pp. 18–30, doi.org/10.3141/1858-03.
30. Hao Y., Teng J., Wang Y., Yang, X. Increasing capacity of intersections with transit priority. *Promet – Traffic – Traffico*, 2016, no. 28(6), pp. 627–637, doi:10.7307/ptt.v28i6.1999.
31. Iwanowicz D., Kempa J. Assessment of the road and railway infrastructure and means of public transport by the aspect of the survey in the selected area of Poland. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*,

References

1. Gorev A. E., Solodkiy A. I., Popova O., Ospanov D. T. *Formirovanie koridorov prioritetnogo dvizheniya gorodskogo passazhirskogo transporta* [Formation of priority traffic corridors for urban passenger transport]. *Trudy 106-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Bezopasnost' kolyosnykh transportnykh sredstv v usloviyakh*

2019, no. 603(4), 042069, doi.org/10.1088/1757-899X/603/4/042069.

12. Otković I. I., Deluka-Tibljša A., Šurdonja S. Validation of the calibration methodology of the micro-simulation traffic model. *Transportation Research Procedia*, 2020, no. 45, pp. 684–691, doi:10.1016/j.trpro.2020.02.110.

13. Oviedo D., Scholl L., Innao M., Pedraza L. Do Bus Rapid Transit Systems improve accessibility to job opportunities for the poor? The case of Lima, Peru. *Sustainability (Switzerland)*, 2019, no. 11(10), 2795, doi:10.3390/su11102795.

14. Park S., Ahn K., Rakha H. A. Environmental impact of freight signal priority with connected trucks. *Sustainability (Switzerland)*, 2019, no. 11(23), 6819, doi: 10.3390/su11236819.

15. Parkhurst G. Influence of bus-based park and ride facilities on users' car traffic. *Transport Policy*, 2000, no. 7 (2), pp. 159–172, doi.org/10.1016/S0967-070X(00)00006-8.

16. PTV AG, *PTV Vissim Manual*. Available online: http://cgi.ptvgroup.com/vision-help/VISSIM_11_ENG/ (accessed on 11 September 2020).

17. Sakamoto K., Abhayantha C., Kubota H. Effectiveness of bus priority lane as countermeasure for congestion. *Transportation Research Record*, 2007, (2034), pp. 103–111, doi.org/10.3141/2034-12.

18. Sheng-Xue Hu, June Dong, Shi-Dong Liang, Peng-Cheng Yuana. An approach to improve the operational stability of a bus line by adjusting bus speeds on the dedicated bus lanes. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2019, no. 107, pp. 54–69, doi.org/10.1155/2020/3236841.

19. Ušpalytė-Vitkūnienė R., Šarkienė E., Žilionienė D. Multi-criteria analysis of indicators of the public transport infrastructure. *Promet – Traffic – Traffico*, 2020, no. 32(1), pp. 119–126, doi.org/10.7307/PTT.V32I1.3175.

20. Zhou X., Wang Y., Ji X., Cottrill C. Coordinated control strategy for multi-line bus bunching in common corridors. *Sustainability (Switzerland)*, 2019, no. 11(22), 6221, doi.org/10.3390/su11226221.