

divisions of the industry in the context of the introduction of digital technologies]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2020. Vol. 65. No. 1. Pp. 156–165. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.1(65).156-165.

20. Grigor'eva N.N. Problemy i perspektivy vnedreniya innovatsii na zheleznodorozhnom transporte [Problems and prospects for the introduction of innovations in railway transport]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona: Materialy devyatoi mezhduнародnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Transport infrastructure of the Siberian region: Materials of the ninth international scientific and practical conference]. Vol. 2. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2018. Pp. 97–101.

Информация об авторах

Цуцкарёв Владимир Константинович – аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, г. Санкт-Петербург, e-mail: vtsutskarev@gmail.com

Information about the authors

Vladimir K. Tsutskarev – Ph.D. student of St. Petersburg State University of Civil Aviation, Saint Petersburg, e-mail: vtsutskarev@gmail.com

DOI 10.26731/1813-9108.2020.3(67).146-152

УДК 656.025.2, 656.078

Исследование влияния автономных транспортных средств на пропускную способность транспортных сетей

Ю. О. Полтавская¹✉, С. К. Каргапольцев², А. П. Хоменко²

¹ Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

² Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ juliapoltavskaya@mail.ru

Резюме

Транспортная инфраструктура – важнейший компонент городского функционирования, играющий ключевую роль в экономике, безопасности и социальной структуре. В частности, сеть автомобильных дорог России является составляющей всех перевозок по стране, ведь большая часть грузопотоков следует автомобильным транспортом. С каждым годом нагрузка на улично-городскую сеть возрастает с геометрической прогрессией. Урбанизация городов приводит к тому, что пропускная способность дорог не удовлетворяет текущие и будущие потребности региона. В статье рассматривается использование автономных транспортных средств на дорогах общего пользования как одно из возможных решений обозначенной проблемы. Технологии решения поставленной задачи позволяют осуществлять движение транспортных средств с соблюдением меньшей дистанции на более высоких скоростях, что будет способствовать увеличению пропускной способности участков улично-дорожной сети без каких-либо изменений и реконструкций. За последние десятилетия был достигнут значительный прогресс в области систем управления и контроля транспортными средствами. Автономные транспортные средства используют набор (комплекс) датчиков для сканирования окружающей среды, а встроенный микропроцессор осуществляет контроль за системами торможения, рулевого управления и скорости движения. Со временем эта технология будет дополнена возможностью связи автономных транспортных средств с системами управления дорожного движения и другими транспортными средствами. Такой уровень связи облегчит поток движения автономных транспортных средств в больших группах. В работе приводятся результаты моделирования, на основании которого можно сделать вывод, что автономный поток транспортных средств может увеличить пропускную способность улично-дорожной сети в четыре раза без строительства дополнительных полос движения. Результаты исследований позволяют выработать комплекс мероприятий, направленных на регулирование указанных технологий с целью обеспечения безопасной интеграции автономных транспортных средств с транспортной инфраструктурой.

Ключевые слова

пропускная способность, транспортная инфраструктура, автономные транспортные средства, интенсивность движения, интервал движения, линейная плотность

Для цитирования

Полтавская Ю. О. Исследование влияния автономных транспортных средств на пропускную способность транспортных сетей / Ю. О. Полтавская, С. К. Каргапольцев, А. П. Хоменко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 3(67). – С. 146–152. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.3(67).146-152

Информация о статье

поступила в редакцию: 10.06.2020, поступила после рецензирования: 25.06.2020, принята к публикации: 10.07.2020

Study of the influence of autonomous vehicles on transport network capacity

Yu. O. Poltavskaya¹✉, S.K. Kargapol'tsev², A. P. Khomenko²

¹ Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

² Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ juliapoltavskaya@mail.ru

Abstract

Transport infrastructure is an essential component of urban functioning that plays a major role in the economy, security and social structure. In particular, the Russian road network is a component of all transportation in the country, because most of the cargo flows follow by automobile transport. Every year, the load on the street-city network increases with a geometric progression. Urbanization of cities results in the fact that the throughput capacity of the road network does not satisfy the current and future needs of the region. The article considers the use of autonomous vehicles on public roads as one of the possible solutions to this problem. Technologies allow the movement of vehicles in compliance with a shorter distance at higher speeds, which will help increase the throughput capacity of the road network section without requiring any changes and reconstructions. In recent decades, significant progress has been made in the field of vehicle control and monitoring systems. Autonomous vehicles use a set (system) of sensors to scan the environment, and the built-in microprocessor monitors the braking, steering and speed systems. In the long term, this technology will be supplemented by the possibility of connecting autonomous vehicles with traffic control systems and other vehicles. This level of communication will facilitate the flow of autonomous vehicles in large groups, allowing one to maintain a minimum distance at high speed, while increasing road safety. This work presents simulation results, on the basis of which it can be concluded that an autonomous flow of vehicles can increase the throughput capacity of the road network by four times without the construction of additional lanes. The research results make it possible to develop a set of measures aimed at regulating these technologies in order to ensure the safe integration of autonomous vehicles with transport infrastructure.

Keywords

road throughput capacity, transport infrastructure, autonomous vehicles, traffic intensity, traffic interval, linear density.

For citation

Poltavskaya Yu. O., Kargapol'tsev S. K., Khomenko A. P. Issledovanie vliyaniya avtonomnykh transportnykh sredstv na propusknyuyu sposobnost' transportnykh setei [Study of the influence of autonomous vehicles on transport network capacity]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 3(67), pp. 146–152. 10.26731/1813-9108.2020.3(67).146-152

Article info

Received: 10.06.2020, Revised: 25.06.2020, Accepted: 10.07.2020

Введение

Рост автомобилизации неизбежно ведет к увеличению транспортных заторов на дорогах города. Прогнозирование увеличения численности населения производится с целью оценки функционирования транспортной системы в условиях меняющейся загрузки, а также с помощью ряда математических моделей, оценивается потенциал снижения интенсивности дорожного движения на основе использования автономных транспортных средств [1].

Согласно статистическим отчетам фирмы «TomTom», которая занимается мониторингом и анализом данных об уровнях загруженности дорог в городах по всему миру, в среднем в России водители проводят в пробках 170 ч в год (7 дней и 2 ч) (по данным 2019 г.) [2], что в денежном эквиваленте составляет потери страны в 4,23 млрд руб. в год из-за снижения производительности экономически активного населения во время ожидания в пробках [3]. Поэтому исследования, направленные на повышение пропускной способности дорог, являются актуальными в области транспортного планирования.

Один из методов снижения транспортных заторов заключается в расширении проезжей части. Основным недостатком является ограниченное пространство для строительства в городских районах, особенно с плотной исторической застройкой. Кроме того, исследования авторов показали, что увеличение числа полос приводит к увеличению транспортного потока и, в целом, оказывает незначитель-

ное влияние на общую пропускную способность дорог [4–8]. Существует также ряд факторов, которые влияют на пропускную способность дороги, например, дорожно-транспортные происшествия, геометрия дороги, погодные условия [9, 10]. Помимо строительства дорог и упомянутых факторов, пропускная способность дороги может быть увеличена за счет эффективного использования существующей инфраструктуры.

Моделирование транспортного потока

Для установления влияния различных факторов на условия движения необходимо определить основные характеристики транспортного потока и их взаимосвязь [11–13]. Основываясь на этих данных, оценивается влияние автономных транспортных средств на пропускную способность участков дороги.

Для описания математической модели транспортного потока используется абстрактная улично-дорожная сеть, транспортные средства, водители и их поведение. Вводятся ограничения – сеть делится на участки или перекрестки, где предполагаются постоянные условия движения; время реакции водителя и его готовность к совершению маневра в случае обнаружения опасности следуют эмпирически статистическому распределению. Существует несколько типов моделей транспортного потока:

– микроскопическая модель описывает соответствующие характеристики одного транспортного

средства – время движения t_i (сек.), путь x_i (м), скорость v_i (км/ч);

– макроскопическая модель учитывает множество транспортных средств и соответствующие свойства транспортного потока – объем потока q (авт./ч), плотность движения k (авт./км), средняя скорость v (км/ч).

Транспортный поток может быть описан путем измерения параметров определенного поперечного сечения дороги в течение интервала времени dt посредством локальных наблюдений или измерений в данный момент времени в интервале dx (мгновенные наблюдения) (рис. 1) [14].

Ни один из перечисленных параметров моделей не определяет состояние транспортного потока, для этого необходимо установить их взаимозависимости. Соотношение данных параметров определяется выражением (1) [11, 14]:

$$q = k \cdot v(k). \quad (1)$$

Влияние автономных транспортных средств на пропускную способность

Эффективность транспортной системы зависит от пропускной способности ее элементов. При использовании автономного вождения транспортных средств пропускная способность будет иной, чем в случае, если транспортными средствами будут управлять люди. Поскольку пропускная способ-

ность в городских условиях зависит от пропускной способности регулируемых и нерегулируемых дорожных пересечений, на автомагистралях пропускная способность открытых участков дороги имеет принципиальное значение [15–19].

Рассмотрим процесс моделирования транспортных заторов на проезжей части с целью установления увеличения пропускной способности за счет использования автономных транспортных средств. Сначала моделируются заторы на основе транспортных средств, управляемых человеком, далее – с использованием автономных транспортных средств. Сравнение двух моделей покажет увеличение пропускной способности.

Для оценки влияния количества транспортных средств на интенсивность движения в транспортном потоке используется модель взаимодействия транспортных средств в условиях меняющейся загрузки [20, 21]. Рассматривается одна полоса для движения транспортных средств с некоторой скоростью $V(t)$. Водители транспортных средств должны соблюдать безопасный интервал движения (ts); считается, что трехсекундный интервал между транспортными средствами обеспечивает безопасность дорожного движения [10, 11]:

$$S = ts V(t). \quad (2)$$

Стоит отметить, что при увеличении скорости транспортного средства расстояние между транс-

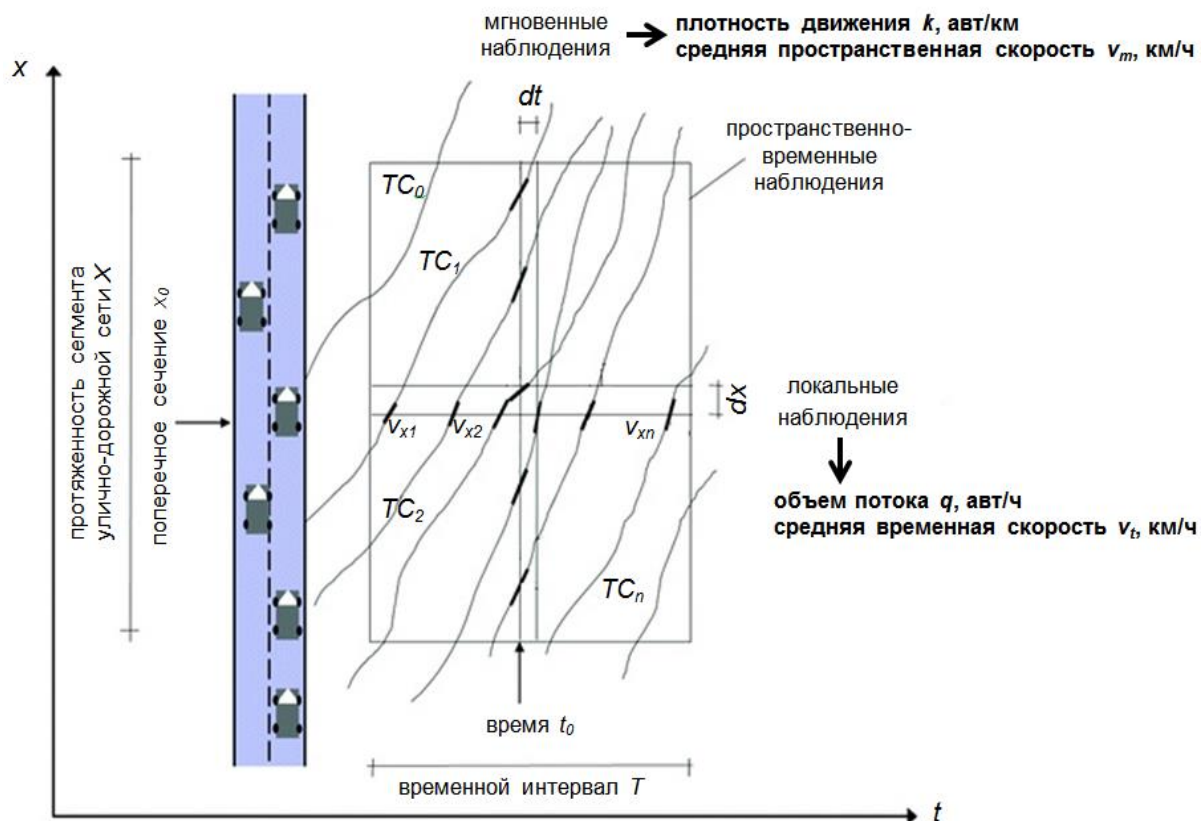


Рис. 1. Система измерений характеристик транспортного потока
Fig. 1. System of measuring the characteristics of traffic flow

портными средствами увеличивается. В дополнение к расстоянию между транспортными средствами каждое транспортное средство занимает определенный участок самой дороги, который будет определен как l_c . Это значение включается в уравнение расстояния для определения элементарного статического уравнения линейной плотности ρ :

$$\rho = l_c + S. \quad (3)$$

Далее рассчитывается линейная плотность с учетом длины транспортного средства (5 м) и изменения скорости транспортных средств. Установлено, что линейная плотность транспортных средств уменьшается с увеличением скорости, что является логическим выводом, основанным на уравнении (2), поскольку при увеличении скорости безопасное расстояние должно увеличиваться, чтобы учесть время реакции человека.

Статическая линейная плотность является основным показателем для расчета количества транспортных средств, которые могут проезжать через определенное сечение улично-дорожной сети за установленный период времени. Произведение статической плотности и скорости движения транспортных средств отражает пропускную способность одного километра дороги [22]. Далее приведены результаты значений линейной плотности и пропускной способности дороги при движении транспортных средств, управляемых человеком (табл.).

Результаты расчетов
пропускной способности дороги
Results of the calculation of the road
throughput capacity

Скорость движения V , км/ч	Линейная плотность ρ , авт/км	Пропускная способность одного километра дороги, авт/ч
20	46	923
40	26	1043
60	18	1091
80	14	1116
90	13	1125
100	11	1132
110	10	1138
120	10	1143

В реальности пропускная способность будет уменьшаться при любом внешнем воздействии в системе – погодные условия, дорожно-ремонтные работы, сужение полосы движения, дорожно-транспортные происшествия. Таким образом, изменения в организации дорожного движения приводят к тому, что фактическая пропускная способность дороги будет меньше, чем расчетная.

Автономные системы управления способствуют сокращению безопасного расстояния между транспортными средствами. В 2014 г. компания «Peleton Technologies» [22] представила вариант движения транспортных средств путем объединения двух грузовых автомобилей в единый автономный поток. Датчики и компьютерное управление позволяют двум транспортным средствам безопасно перемещаться вместе, поддерживая наименьший безопасный интервал движения на более высоких скоростях, и минимизировать расход топлива. Технология находится в стадии разработки для использования в области общественного транспорта.

Уменьшенный и стандартизированный интервал движения между транспортными средствами в потоке позволит увеличить пропускную способность дороги. Из уравнения определения расстояния между транспортными средствами и пропускной способности дороги с учетом движения автономных транспортных средств, следует:

$$C = V \frac{n}{n \cdot S + (n-1)d + D}, \quad (4)$$

где C – количество транспортных средств, авт./сек.; d – интервал между потоками автономных транспортных средств, м; D – интервал между автономными транспортными средствами, м; S – длина транспортного средства, м; V – скорость движения, м/с; n – количество автономных транспортных средств в потоке.

Для определения статической линейной плотности потока автономных транспортных средств был произведен аналогичный расчет по уравнениям (1–4). После доказательства того, что эти уравнения сопоставимы, выражение (5) было использовано для расчета статической линейной плотности движения при различных скоростях, но для потока, состоящего из пяти автономных транспортных средств:

$$n \cdot s + (n-1) \cdot d + D. \quad (5)$$

Значение длины транспортного средства, равное 5 м, было сохранено, а значение безопасной дистанции движения составило 2 м. Поток транспортных средств будет соблюдать тот же трехсекундный интервал движения. Предполагается, что движение по исследуемой полосе будет осуществляться только автономными транспортными средствами. Значительное увеличение статической плотности становится возможным ввиду использования автономных систем, контролирующих расстояние между транспортными средствами. Полученные результаты отображены графически (рис. 2). Видно, что достигается повышение пропускной способности дорог при движении автономных транспортных средств.

Несмотря на относительно статический характер пропускной способности дороги для транспортных средств, управляемых человеком, автономный поток значительно увеличивает динамическую нагрузку на

один километр полосы движения (рис. 2). При скорости 80 км/ч потока автономных транспортных средств пропускная способность дороги увеличивается в 4 раза. Однако стоит полагать, что полученные данные основаны на упрощенных моделях движения транспортных средств. Состав транспортного потока неоднороден, поэтому ожидаемая пропускная способность будет меньше. Независимо от ограничений модели это доказывает, что использование автономных транспортных средств может значительно увеличить пропускную способность дорожной сети. С ростом численности транспортных средств на дорогах и при использовании автономных транспортных средств может быть получен небольшой прирост пропускной способности, и существующая дорожная сеть будет справляться с увеличением трафика. Модели, которые отражают взаимосвязь транспортного потока и пропускной способности с учетом определенной доли автономных транспортных средств, показывают, что пропускная способность непропорционально возрастает по мере увеличения доли автономных транспортных средств в общем потоке.

Заключение

Проведенный анализ с помощью макроскопических моделей транспортных потоков показывает, что использование автономных транспортных средств позволит значительно увеличить пропускную способность и эффективно использовать транспортную сеть. Наряду с ожидаемым увеличением пропускной способности сокращаются транспортные заторы и временные затраты, что, в свою очередь, улучшает качество дорожного движения. Можно выделить два параметра, которые отвечают за увеличение пропускной способности:

1. Сокращение дистанции между автономными транспортными средствами. При этом стоит отметить, что комфорт поездки сохраняется в виду взаимосвязи транспортных средств и элементов сети.

2. Скорость потока транспортных средств. При увеличении скорости с постоянной плотностью движения, повышается пропускная способность. Однако достижение высоких скоростей при сохранении плотности потока возможно только в потоке автономных транспортных средств.

Список литературы

1. Fernandes P., Nunes U. Platooning with IVC-Enabled Autonomous Vehicles: Strategies to Mitigate Communication Delays, Improve Safety and Traffic Flow // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 2012. Vol. 13. No. 1. Pp. 91–106.
2. TomTom Traffic Index 2019. [Электронный ресурс]. URL: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/?country=RU (дата обращения 19.06.2020).
3. Федеральная служба государственной статистики. Рынок труда, занятость и заработная плата [Электронный ресурс]. URL: https://www.gks.ru/labor_market_employment_salaries (дата обращения 19.06.2020).
4. Полтавская Ю.О., Драгунов А.Ф., Ляпустин П.К. Повышение пропускной способности по улице Карла Маркса // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2014. Т. 1. С. 43.
5. Полтавская Ю.О. Повышение пропускной способности и уровня обслуживания в транспортной теории // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2019. Т. 1. С. 200–201.
6. Федотова А.С., Лебедева О.А. Степень использования пропускной способности автомобильных дорог // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2015. Т. 1. № 1. С. 270–274.
7. Лагерева Р.Ю., Михайлов А.Ю., Лагерева С.В. Методика предупреждения сетевых транспортных заторов // Вестник НЦБЖД. 2010. № 5. С. 82–88.
8. Гозбенко В.Е., Иванков А.Н., Колесник М.Н., Пашкова А.С. Методы прогнозирования и оптимизации транспортной сети с учетом мощности пассажира и грузопотоков. Депонированная рукопись № 330-B2008. 17.04.2008.
9. Кашталинский А.С., Петров В.В. Влияние дорожно-транспортных факторов на неравномерность транспортных потоков в городах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 1 (108). С. 116–123.
10. Косолапов А.В. Прогнозирование транспортных заторов на перегоне улицы при использовании спутниковых навигационных систем // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2005. № 5 (50). С. 98–101.
11. Петров В.В., Кашталинский А.С. Исследование некоторых свойств транспортного потока // Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования - основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России: Материалы конференции. 2012. С. 4–8.
12. Косолапов А.В. Динамическое распределение транспортных потоков на основе технологий интеллектуальных транспортных систем // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2005. № 2 (46). С. 136–138.
13. Шаров М.И. Управление транспортным спросом как средство снижения нагрузок на улично-дорожную сеть // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2013. Т. 6. № 10 (113). С. 89–92.
14. Friedrich B. The Effect of Autonomous Vehicles on Traffic. In: Maurer M., Gerdes J., Lenz B., Winner H. (eds) Autonomous Driving // Springer, Berlin, Heidelberg, 2016. Pp. 317–334. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_16.
15. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов // Новосибирск: Наука, 2004. С. 155–176.
16. Полтавская Ю.О. Надежность как показатель эффективного функционирования транспортной системы // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2018: Материалы международной-научно-практической конференции. 2018. С. 206–209.

17. Антонов Д.В., Лебедева О.А. Основные принципы развития транспортных систем городов // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. № 8. С. 149–155.
18. Михайлов А.Ю. Интегральный критерий оценки качества функционирования улично-дорожных сетей // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2004. № 2. С. 50–53.
19. Гозбенко В.Е., Крипак М.Н., Иванков А.Н. Совершенствование транспортно-экспедиционного обслуживания грузопользователей. Иркутск, 2011.
20. Бахирев И.А., Михайлов А.Ю. Оценка условий движения на городских улицах // Градостроительство. 2015. № 4 (38). С. 63–68.
21. Lebedeva O.A., Kripak M.N., Gozbenko V.E. Increasing effectiveness of the transportation network by using the automation of a Voronoi diagram // Transportation Research Procedia. 2018. С. 427–433.
22. Simko D.J. Increasing road infrastructure capacity through the use of autonomous vehicles. Master's thesis // Naval Postgraduate School Monterey, CA 93943-5000, 2016. 65 p.

References

1. Fernandes P., Nunes U. Platooning with IVC-Enabled Autonomous Vehicles: Strategies to Mitigate Communication Delays, Improve Safety and Traffic Flow. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 2012. Vol. 13. No. 1. Pr. 91–106.
2. TomTom Traffic Index 2019. [Electronic media]. URL: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/?country=RU (Accessed: 19.06.2020).
3. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Rynok truda, zanyatost' i zarabotnaya plata [Federal State Statistics Service. Labor market, employment and salary] [Electronic media]. URL: https://www.gks.ru/labor_market_employment_salaries (Accessed: 19.06.2020).
4. Poltavskaya Yu.O., Dragunov A.F., Lyapustin P.K. Povyshenie propusknosti sposobnosti po ulitse Karla Marksa [Increasing the capacity along Karl Marx Street]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress [Modern technology and technological advance]*, 2014. Vol. 1. P. 43.
5. Poltavskaya Yu.O. Povyshenie propusknosti sposobnosti i urovnya obsluzhivaniya v transportnoi teorii [Increasing capacity and service level in transport theory]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress [Modern technology and technological advance]*, 2019. Vol. 1. Pp. 200–201.
6. Fedotova A.S., Lebedeva O.A. Stepen' ispol'zovaniya propusknosti avtomobil'nykh dorog [The degree of use of the throughput capacity of highways]. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Collection of scientific papers of Angarsk State Technical University]*, 2015. Vol. 1. No. 1. Pp. 270–274.
7. Lagerev R.Yu., Mikhailov A.Yu., Lagereva S.V. Metodika preduprezhdeniya setevykh transportnykh zatorov [Methods of preventing network traffic jams]. *Vestnik NTsBZhD [Bulletin of the scientific center for life safety]*, 2010. No. 5. Pp. 82–88.
8. Gozbenko V.E., Ivankov A.N., Kolesnik M.N., Pashkova A.S. Metody prognozirovaniya i optimizatsii transportnoi seti s uchetom moshchnosti passazhiro i gruzopotokov. Deponirovannaya rukopis' No. 330-V2008. 17.04.2008. [Methods for predicting and optimizing the transport network, taking into account the capacity of passenger and freight traffic. Deposited manuscript No. 330-B2008. 17.04.2008].
9. Kashtalinskii A.S., Petrov V.V. Vliyaniye dorozhno-transportnykh faktorov na neravnomernost' transportnykh potokov v gorodakh [The influence of road traffic factors on the unevenness of traffic flows in cities]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of Irkutsk State Technical University]*, 2016. No. 1 (108). Pp. 116–123.
10. Kosolapov A.V. Prognozirovaniye transportnykh zatorov na peregone ulitsy pri ispol'zovanii sputnikovyykh navigatsionnykh sistem [Forecasting traffic congestion on the stretch of the street using satellite navigation systems]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Kuzbass State Technical University]*, 2005. No. 5 (50). Pp. 98–101.
11. Petrov V.V., Kashtalinskii A.S. Issledovaniye nekotorykh svoystv transportnogo potoka [Investigation of some properties of the traffic flow]. *Orientirovannyye fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya - osnova modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksov Rossii: Materialy konferentsii [Oriented fundamental and applied research is the basis for modernization and innovative development of architectural and construction and road transport complexes in Russia: Conference proceedings]*, 2012. Pp. 4–8.
12. Kosolapov A.V. Dinamicheskoe raspredeleniye transportnykh potokov na osnove tekhnologii intellektual'nykh transportnykh sistem [Dynamic distribution of traffic flows based on technologies of intelligent transport systems]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Kuzbass State Technical University]*, 2005. No. 2 (46). Pp. 136–138.
13. Sharov M.I. Upravleniye transportnym sprosom kak sredstvo snizheniya nagruzok na ulichno-dorozhnuyu set' [Management of transport demand as a means of reducing the load on the street and road network]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnyye transportnye sistemy [Izvestia VSTU. Series: Above-ground transportation systems]*, 2013. Vol. 6. No. 10 (113). Pp. 89–92.
14. Friedrich B. The influence of autonomous vehicles on traffic. In: Maurer M., Gerdes J., Lenz B., Winner H. (eds) *Autonomous Driving*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2016. Pp. 317–334. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_16.
15. Mikhailov A.Yu., Golovnykh I.M. Sovremennyye tendentsii proektirovaniya i rekonstruktsii ulichno-dorozhnykh setei gorodov [Modern trends in the design and reconstruction of street and road networks of cities]. Novosibirsk: Nauka Publ., 2004. Pp. 155–176.
16. Poltavskaya Yu.O. Nadezhnost' kak pokazatel' effektivnogo funktsionirovaniya transportnoi sistemy [Reliability as an indicator of the efficient functioning of the transport system]. *Transport Rossii: problemy i perspektivy – 2018: Materialy mezhduнародnoi-nauchno-prakticheskoi konferentsii [Transport of Russia: problems and prospects - 2018: Materials of the international scientific-practical conference]*, 2018. Pp. 206–209.

17. Antonov D.V., Lebedeva O.A. Osnovnye printsipy razvitiya transportnykh sistem gorodov [Basic principles of the development of urban transport systems]. *Vestnik Angarskoi gosudarstvennoi tekhnicheskoi akademii [Proceedings of Irkutsk State Technical Academy]*, 2014. No. 8. Pp. 149–155.

18. Mikhailov A.Yu. Integral'nyi kriterii otsenki kachestva funktsionirovaniya ulichno-dorozhnykh setei [An integral criterion for assessing the quality of the functioning of street and road networks]. *Izvestiya Irkutskoi gosudarstvennoi ekonomicheskoi akademii [Bulletin of Irkutsk State Economic Academy]*, 2004. No. 2. Pp. 50–53.

19. Gozbenko V.E., Kripak M.N., Ivankov A.N. Sovershenstvovanie transportno-ekspeditsionnogo obsluzhivaniya gruzovladel'tsev [Improvement of freight forwarding services for cargo owners]. Irkutsk, 2011.

20. Bakhirev I.A., Mikhailov A.Yu. Otsenka uslovii dvizheniya na gorodskikh ulitsakh [Assessment of traffic conditions on city streets]. *Gradostroitel'stvo [City and town planning]*, 2015. No. 4 (38). Pp. 63–68.

21. Lebedeva O.A., Kripak M.N., Gozbenko V.E. Increasing effectiveness of the transportation network by using the automation of a Voronoi diagram. *Transportation Research Procedia*, 2018. Pp. 427–433.

22. Simko D.J. Increasing road infrastructure capacity through the use of autonomous vehicles. Master's thesis. *Naval Postgraduate School Monterey, CA 93943-5000*, 2016. 65 p.

Информация об авторах

Полтавская Юлия Олеговна – канд. техн. наук, доцент кафедры управления на автомобильном транспорте, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

Каргапольцев Сергей Константинович – д-р техн. наук, профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Хоменко Андрей Павлович – д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: homenko@irgups.ru

Information about the authors

Julia O. Poltavskaya – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Department of Management of automobile transport, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

Sergei K. Kargapol'tsev – Doctor of Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, e-mail: kck@irgups.ru

Andrey P. Khomenko – Doctor of Engineering Science, Prof., Irkutsk State Transport University, e-mail: homenko@irgups.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.3(67).152-159

УДК 625.1+004.9

Обоснование проектных параметров криволинейных участков плана трассы высокоскоростных железнодорожных магистралей

О. С. Морозова, С. В. Шкурников ✉

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ 3123810@mail.ru

Резюме

В статье представлена методика выбора проектных параметров круговых кривых высокоскоростной железнодорожной магистрали при движении на ней нескольких категорий поездов – высокоскоростных пассажирских, скоростных пассажирских и специальных грузовых. Методика основана на решении многокритериальной задачи и позволяет определять оптимальные параметры круговых кривых в условиях совмещенного движения с учетом технико-экономических факторов и особенностей движения поездов различной массы с различными скоростями в криволинейных элементах плана трассы. Разработанная методика обладает устойчивостью к неравномерности размеров движения во времени, с ее помощью можно определять оптимальную скорость специального грузового поезда. Особенностью данной методики является применение имитационного компьютерного моделирования взаимодействия пути и подвижного состава на этапе проектирования плана трассы высокоскоростной железнодорожной магистрали. Результаты имитационного моделирования используются для построения математической модели, характеризующей влияние радиуса и непогашенного ускорения на величину боковой силы. Известные значения боковой силы позволяют исключить варианты круговых кривых, в которых движение специальных грузовых поездов оказывает негативное воздействие на путь. В работе также рассмотрены условия, при которых возможно снижение скорости высокоскоростного поезда. Обоснование понижения скорости высокоскоростного поезда строится на основе теории игр. Увеличение объемов грузовых перевозок с течением времени приводит к необходимости снижения скорости высокоскоростного поезда во избежание неоправданного увеличения радиуса круговой кривой.

Ключевые слова

высокоскоростная железнодорожная магистраль, совмещенное движение, специальное грузовое движение, параметры круговых кривых, взаимодействие пути и экипажа, многокритериальная оптимизация.

Для цитирования

Морозова О. С. Обоснование проектных параметров криволинейных участков плана трассы высокоскоростных железнодорожных магистралей / О. С. Морозова, С. В. Шкурников // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 3(67). – С. 152–159. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.3(67).152-159