

ТРАНСПОРТ

УДК 653.13

DOI: 10.25198/2077-7175-2019-4-90

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ГОРОДСКОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д.А. Дрючин¹, М.Р. Янучков²

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹e-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

²e-mail: msi80@mail.ru

Аннотация. Улично-дорожная сеть является одним из ключевых элементов городского автотранспортного комплекса. Рост уровня автомобилизации населения существенно повысил значимость этого элемента городской инфраструктуры, возросли требования к уровню проектирования и степени обоснованности инженерных решений. Следовательно, исследование, направленное на поиск наиболее эффективных решений в данной области, **актуально**, а его результаты востребованы. Решение задач в области организации движения транспортных потоков требует разработки последовательности действий, обеспечивающей принятие проектных решений, обеспечивающих максимальную пропускную способность рассматриваемого участка улично-дорожной сети при минимальных объёмах капиталовложений.

Цель исследования – определение перспективных направлений развития городской улично-дорожной сети на основе применения методов имитационного моделирования.

В работе приведены результаты литературного обзора, сделан вывод о том, что при наличии методологических основ и необходимого программного обеспечения отсутствует обоснованный алгоритм принятия проектных решений.

Предложенный авторами теоретико-методический подход предполагает проведение группировку мероприятий по реконструкции улично-дорожной сети, исходя из объёмов капиталовложений, необходимых для их реализации. Для определения оптимального проектного варианта определены условия перехода на каждый последующий уровень проектирования.

Предложен параметр, позволяющий произвести оценку эффективности проектных решений, связанных с изменением схем организации дорожного движения и реконструкцией участка улично-дорожной сети.

Определён перечень программных продуктов, позволяющих определить параметры реализации предлагаемых проектных решений. Разработан и алгоритм реализации предложенного методического подхода.

Произведена апробация предложенной методики на практике, в ходе проведения проектных работ по совершенствованию одного из участков улично-дорожной сети города Оренбурга. Использование предложенных методов позволило разработать ряд альтернативных проектных решений и выявить решение, обеспечивающее наибольшую эффективность инвестиционных вложений.

Полученные **результаты** позволяют сделать заключение об актуальности рассмотренных в работе проблем, адекватности разработанной методики и целесообразности её применения при оценке эффективности альтернативных проектных решений в области проектирования схем организации дорожного движения и проектирования участков улично-дорожной сети.

Ключевые слова: имитационное моделирование, пропускная способность, организация дорожного движения, дорожная сеть.

Для цитирования: Дрючин Д. А., Янучков М. Р. Оценка эффективности мероприятий по совершенствованию городской улично-дорожной сети на основе результатов имитационного моделирования // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 4. – С. 90-97. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-4-90.

EVALUATION OF EFFICIENCY OF MEASURES TO IMPROVE THE URBAN STREET-ROAD NETWORK BASED ON THE RESULTS OF IMITATION MODELING

D.A. Dryuchin¹, M.R. Yanuchkov²

Orenburg State University, Orenburg

¹ e-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

² e-mail: msi80@mail.ru

Abstract. *The road network is one of the key elements of the urban road transport complex. The increase in the level of automobilization of the population has significantly increased the importance of this element of the urban infrastructure, the requirements for the level of design and the degree of justification for engineering solutions have increased. Consequently, research aimed at finding the most effective solutions in this area is relevant, and its results are in demand. Solving problems in the organization of traffic flow requires the development of a sequence of actions to ensure the adoption of design solutions to ensure maximum throughput of the considered section of the road network with minimum investment.*

The purpose of the study is to identify promising areas of development of the urban street-road network based on the use of simulation methods.

The paper presents the results of the literature review, concluded that, if there is a methodological basis and the necessary software, there is no sound algorithm for making design decisions.

The theoretical and methodological approach proposed by the authors implies a grouping of measures for the reconstruction of the road network, based on the amount of capital investment necessary for their implementation. To determine the optimal design option, the conditions for the transition to each subsequent level of design are determined.

A parameter is proposed that allows an assessment of the effectiveness of design decisions related to the change in traffic management schemes and the reconstruction of a section of the road network.

The list of software products has been determined, allowing to determine the parameters for the implementation of the proposed design solutions. The algorithm for the implementation of the proposed methodological approach has been developed.

An approbation of the proposed methodology in practice, in the course of carrying out design work to improve one of the sections of the road network in the city of Orenburg, was carried out. The use of the proposed methods made it possible to develop a number of alternative design solutions and to identify a solution that ensures the greatest efficiency of investments.

The obtained results allow us to make a conclusion about the relevance of the problems considered in the work, the adequacy of the developed methodology and the feasibility of its use in assessing the effectiveness of alternative design solutions in the field of designing traffic management schemes and designing sections of the road network.

Keywords: *simulation modeling, capacity, traffic management, road network.*

Cite as: Dryuchin D. A., Yanuchkov M. R. (2019) [Evaluation of efficiency of measures to improve the urban street-rod network based on the results of imitation modeling]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovation. Investments]. Vol. 4, pp. 90-97. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-4-90.

Введение

При выполнении работ в области проектирования элементов улично-дорожной сети и при разработке схем организации движения возникает проблема оценки и сравнения нескольких альтернативных вариантов. При этом оценка проектных решений производится по множеству параметров, таких как: безопасности дорожного движения, пропускная способность, доступность, удобство использования, влияние на окружающую среду и ряд других [1]. Отсутствие методики многопараметрической оптимизации, позволяющей произвести обоснованный выбор предпочтительного проектного решения, является научной проблемой, решаемой в данной работе.

При выполнении проектных работ в области модернизации улично-дорожной сети и организации дорожного движения в настоящее время широко используются методы имитационного моделирования, реализуемые при помощи специальных программных продуктов. Данные методы позволяют получить прогноз дорожной ситуации с варьируемыми параметрами транспортных потоков. При этом пошаговый дискретный расчёт, выполняемый в процессе моделирования, позволяет учесть множество факторов, учёт которых практически невозможен в ходе аналитического расчёта параметров транспортных потоков при помощи традиционных методик [2].

Очевидно, что применение методов имитационного моделирования позволяет существенно по-

высится качество и обоснованность решений, принимаемых при разработке проектов организации дорожного движения. Но имитационное моделирование не позволяет определить тенденции и стратегические направления развития улично-дорожной сети. В условиях ограниченности средств, ресурсов, особенностей планирования и развития городских территорий, ответ на данный вопрос приобретает особую актуальность.

Исходя из актуальности проблемы обоснования выбора и оценки альтернативных проектных решений, сформулирована цель исследования – определение перспективных направлений развития городской улично-дорожной сети на основе применения методов имитационного моделирования.

Обзор литературы

Методы имитационного моделирования находят широкое применение практически во всех областях науки и во многих практических сферах деятельности. Несмотря на специфические особенности каждой предметной области, суть подхода едина: сложный многоэлементный объект управления разбивается на отдельные элементы, прописывается алгоритм поведения каждого элемента, и в процессе моделирования одновременно запускаются программы, реализующие данные алгоритмы. Данный подход описан в работах В.В. Зырянова, В.Л. Швецова, В.Н. Задорожного, Д.Ю. Долгушина, В.В. Parkinson, М. Treiber и других авторов [3, 4, 5, 6, 7, 8]. В работах рассмотрен математический аппарат построения и функционирования многопараметрических моделей, описаны способы адаптации теоретических подходов к решению практических задач.

Теоретико-методический подход

Решение задач в области организации движения транспортных потоков, на наш взгляд, требует разработки последовательности действий, обеспечивающей принятие проектных решений, обеспечивающих максимальную пропускную способность рассматриваемого участка улично-дорожной сети при минимальных объемах капиталовложений.

Для достижения поставленной цели все мероприятия по реконструкции улично-дорожной сети предложено разделить на три группы:

- изменение схем организации дорожного движения без проведения дорожно-строительных работ;
- изменение схем организации дорожного движения с проведением дорожно-строительных работ, связанных с реконструкцией транспортных развязок;
- изменение схем организации дорожного движения с проведением дорожно-строительных работ, связанных с комплексной реконструкцией участков улично-дорожной сети.

Очевидно, что представленные группы мероприятий выстроены в порядке увеличения объемов капиталовложений, необходимых для их реализации. Следовательно, для определения оптимального проектного варианта переход на каждый последующий уровень целесообразен лишь после того, как рассмотрены и исчерпаны возможности предыдущего уровня.

Оценка эффективности проектных решений, связанных с изменением схем организации дорожного движения и реконструкцией участка улично-дорожной сети, может быть выполнена при помощи предложенного авторами параметра, названного удельным повышением общей пропускной способности. Внедрение данного показателя в практику разработки и оценки эффективности проектов является одной из составляющих научной новизны проведенного исследования. Данный показатель может быть определен при помощи выражения:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{li} - P_{oi})}{K}, \quad (1)$$

где

P_{li} и P_{oi} – пропускная способность i -го направления рассматриваемого участка улично-дорожной сети до и после реализации проектных решений, соответственно, авт/час;

K – объем капиталовложений, необходимых для реализации проектных решений, руб.

Предложенный показатель характеризует приращение пропускной способности участка улично-дорожной сети на каждый вложенный рубль инвестиций, затраченных на проведение реконструкции. Таким образом, реализован двухпараметрический подход к принятию проектных решений, позволяющий выбрать наиболее предпочтительный вариант.

Алгоритм принятия проектных решений, разработанный с учетом предложенного подхода, представлен на рисунке 1.

Одной из задач, решение которой необходимо для реализации данной методики, является определение пропускной способности проектируемого участка улично-дорожной сети. Решение этой задачи возможно методом имитационного моделирования, реализованным при помощи специальных программных продуктов. Одним из таких программных продуктов является программа Vissim, разработанная немецкой фирмой PTV [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Представленный алгоритм был опробован при проектировании одного из участков улично-дорожной сети города Оренбурга. Участок включает в себя часть проезда Северный от улицы Родимцева до улицы Автомобилистов. Рассматриваемый уча-

сток включает в себя три транспортных развязки. Участок был введён в эксплуатацию в конце 2018 года. Натурные исследования проводились как до,

так и после введения в эксплуатацию данной транспортной магистрали на пересечении Северного проезда и улицы Автомобилистов.

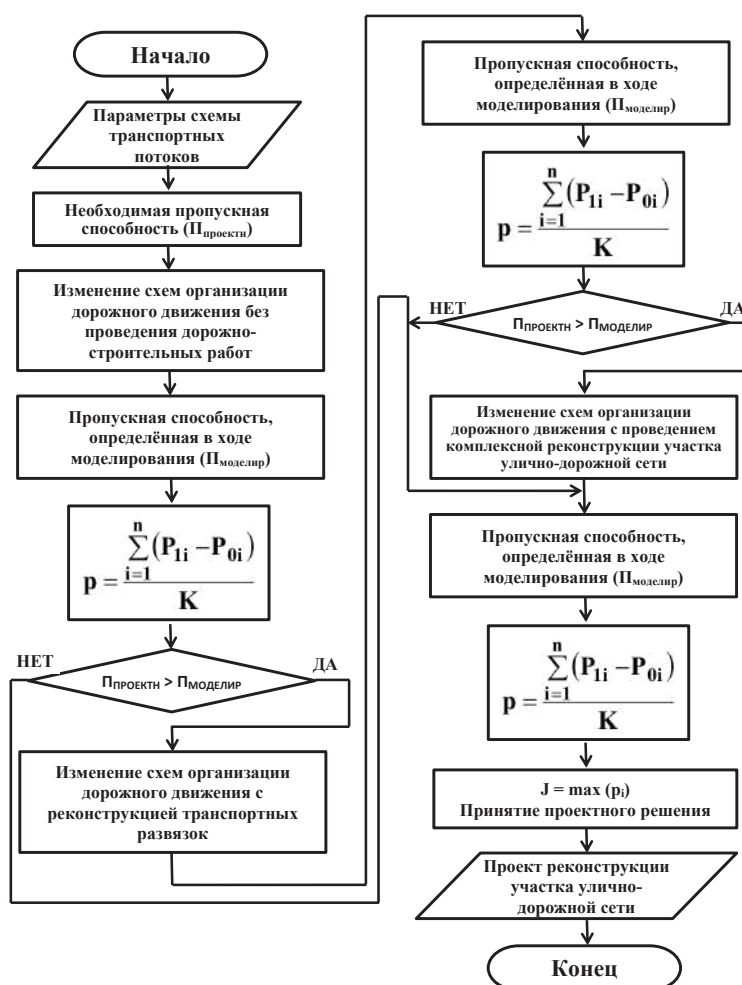


Рисунок 1. Алгоритм принятия проектных решений

В соответствии с разработанным алгоритмом, было произведено комплексное обследование транспортных потоков на рассматриваемых участках улично-дорожной сети. Далее, при помощи программного продукта VISSIM, проведено моделирование параметров существующей схемы организации движения, а также трёх проектных схем. Одна из проектных схем предусматривает реализацию организационных мероприятий без реконструкции улично-дорожной сети; вторая проектная схема предусматривает мероприятия, связанные с реконструкцией дорожных развязок; третья схема предполагает комплексную реконструкцию, включающую в себя, как строительство дорожных развязок, так и обустройство фрагмента городской улицы. Пропускная способность определена путём последовательного пропорционального увеличения интенсивности транспортных потоков до значений, при которых начинается образование заторов.

Схема рассматриваемого пересечения до проведения реконструкции представлена на рисунке 2.

Третий вариант реконструкции впоследствии был реализован на практике. Натурные исследования параметров транспортных потоков, выполненные после реконструкции, позволили оценить адекватность результатов моделирования. Схема рассматриваемого в работе участка улично-дорожной сети после проведения комплексной реконструкции, с указанием исследуемого пересечения, представлена на рисунке 3.

Структура транспортных потоков на рассматриваемом пересечении представлена на рисунке 4.

Исходя из существующей структуры транспортных потоков, для адекватного сравнения полученных результатов выполнено приведение численности транспортных средств к численности легковых автомобилей.

Результаты моделирования транспортных потоков на рассматриваемом пересечении при реализа-

ции различных групп мероприятий представлены в таблице 1. В той же таблице показаны результаты расчёта объёма капиталовложений, необходимых

для реализации данных мероприятий, а также требуемая пропускная способность по различным направлениям пересечения.

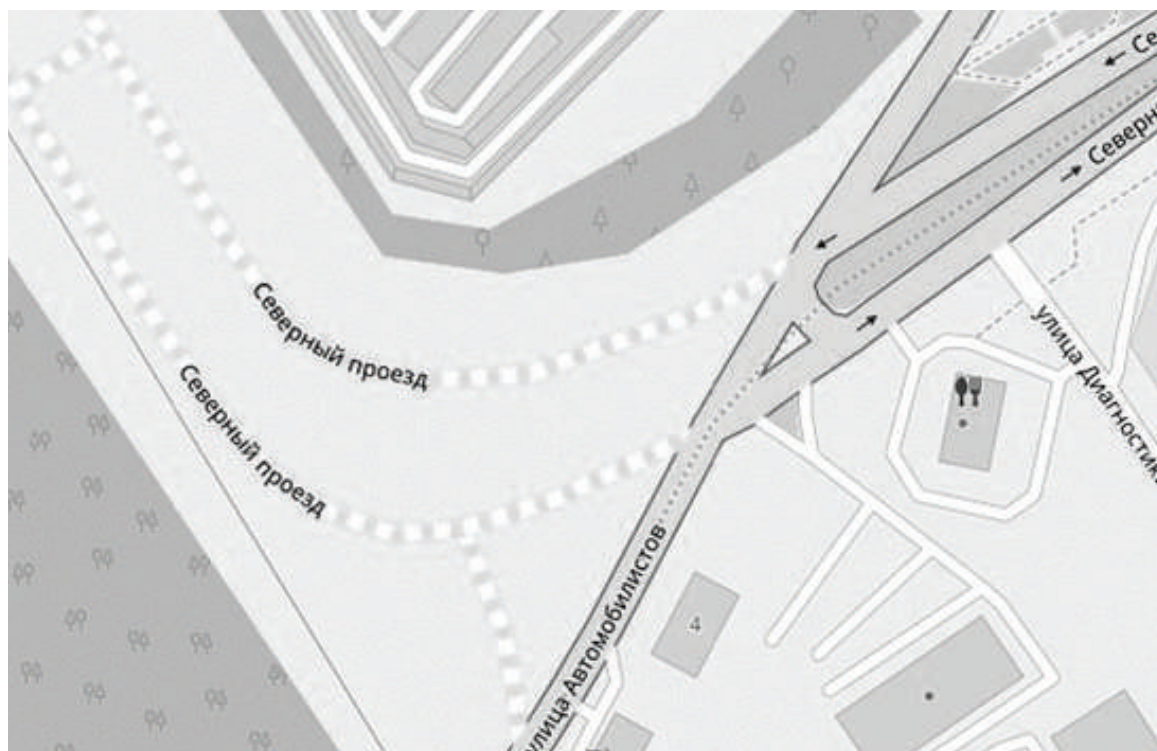


Рисунок 2. Схема пересечения ул. Автомобилистов и проезда Северный



Рисунок 3. Схем рассматриваемого участка улично-дорожной сети после проведения комплексной реконструкции

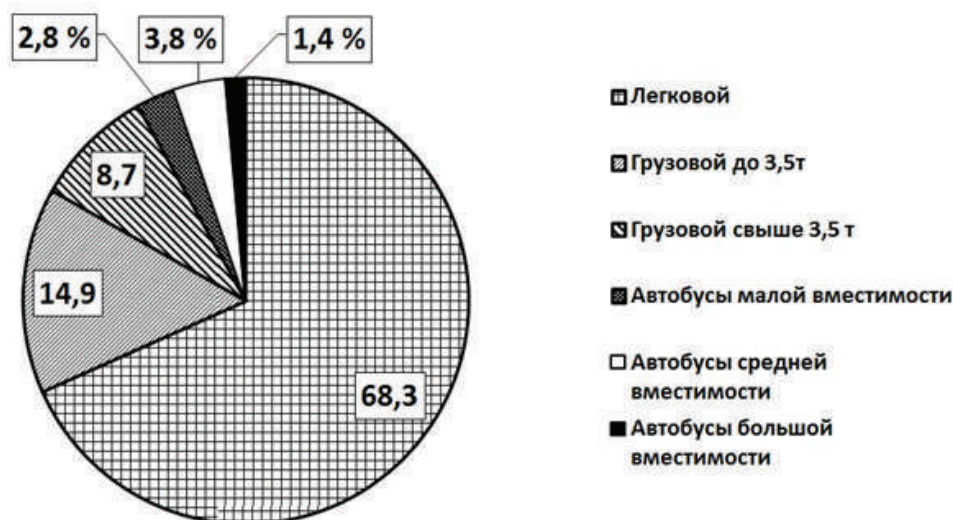


Рисунок 4. Структура транспортных потоков рассматриваемого пересечения

Таблица 1. Результаты моделирования транспортных потоков на пересечении улицы Автомобилистов и проезда Северный

Наименование параметра	Изменение схем организации дорожного движения			
	базовая схема, без реконструкции	без проведения дорожно-строительных работ	с реконструкцией транспортных развязок	с комплексной реконструкцией участка улично-дорожной сети
Суммарная пропускная способность развязки (по всем направлениям), авт/час	3150	3471	4160	6760
Требуемая суммарная пропускная способность (по всем направлениям), авт/час	3800	3800	3800	4250
Объём капиталовложений, необходимых для реализации проектных решений, тыс. руб.	–	1850	9570	315500
Удельное повышение общей пропускной способности, авт/час на 1 тыс. руб.	–	0,17	0,11	0,01

Как видно из результатов, представленных в таблице 1, наибольшее удельное повышение общей пропускной способности рассматриваемого пересечения получено при изменении схем организации дорожного движения без проведения дорожно-строительных работ. Но такие проектные решения не привели к повышению пропускной способности рассматриваемой транспортной развязки до требуемого уровня. Необходимый уровень пропускной способности обеспечен за счёт реализации мероприятий, предусматривающих проведение реконструкции транспортных развязок. Практическое внедрение проектных решений данной группы требует привлечения больших объёмов денежных средств и характеризуется меньшим значением удельного

повышения общей пропускной способности. Реализация проектных решений третьей группы для рассматриваемого пересечения избыточно и нецелесообразно. Оно характеризуется крайне низким значением удельного повышения общей пропускной способности транспортной развязки.

Обсуждение и заключение

В ходе выполнения работ по совершенствованию организации движения разработана методика оценки эффективности проектных решений. Определены инструменты, реализации разработанной методики. Предложен новый критерий удельного повышения общей пропускной способности участ-

ка улично-дорожной сети, характеризующий увеличение данного параметра на каждый рубль инвестиционных вложений.

Разработанная методика была опробована на одном из участков улично-дорожной сети города Оренбурга. Полученные результаты позволяют сделать заключение об адекватности разработан-

ной методики. В качестве заключения следует отметить, что разработанная методика может быть рекомендована для сравнительной оценки альтернативных проектных решений в области проектирования схем организации дорожного движения и направлений развития городской улично-дорожной сети.

Литература

1. Зырянов В. В. Моделирование дорожного движения: монография. – Ростов-на-Дону: Ростовский гос. строит. ун-т, 2015. – 163 с.
2. Буслаев А. П. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения: монография. – М.: Мир, 2003. – 367 с.
3. Швецов В. Л. Смоделировать будущее // Строительство и городское хозяйство. – 2009. – № 113. – С. 119-121.
4. Задорожный В. Н. Обзор программ моделирования транспортных потоков // Динамика систем, механизмов и машин: материалы 8 международной науч.-техн. конф. Кн.1. (Омск, 2012 г.) – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. – С. 254-257.
5. Задорожный В. Н., Юдин Е. Б. Аналитико-имитационные методы решения актуальных задач системного анализа больших сетей: монография. – Омск: ОмГТУ, 2013. – С. 86-125.
6. Долгушин Д. Ю., Мызникова Т. А. Имитационное моделирование дорожного движения для оценки экологического влияния автотранспорта // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 4 (38). – С. 139-142.
7. Долгушин Д. Ю. Применение клеточных автоматов к моделированию автотранспортных потоков: монография. – Омск: СибАДИ, 2012. – 111 с.
8. Трофименко Ю. В., Якимов М. Р. Транспортное планирование: Формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография. – М.: Логос, 2013. – 464 с.
9. Якимов М. Р., Арепьева А. А. Транспортное планирование: Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах: монография. – М.: Логос, 2016. – 280 с.
10. Nagel K. A., Schreckenberg M. (1992). Cellular automaton model for freeway traffic. J. Phys. I France: V. 2. – pp. 2221-2229. (In France)
11. Жанказиев С. В., Халилев Р. Ф. Становление жизненного цикла локального проекта интеллектуальной транспортной системы // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 11. – С. 31-33.
12. Воробьев А. И., Морданов И. С. Исследовательский комплекс моделирования интеллектуальных транспортных систем // Автотранспортное предприятие. – 2013. – № 12. – С. 40-41.
13. Тур А. А. Математические подходы к обоснованию проектов информирования участников дорожного движения в интеллектуальных транспортных системах // Вестник МАДИ. – 2012. – № 1(28). – С. 109-113.
14. Saul Wordworth (2006). Will and sentiment. Traffic Technology International. October / November. pp 54-58. (In Eng.)
15. Lakoba, T.I. (2005). Modifications of the Helbing-Molnár-Farkas-Vicsek Social Model for Pedestrian Evolution, Simulation, 81, pp. 339-352. (In Eng.)

References

1. Zyryanov, V.V. (2015) *Modelirovanie dorozhnogo dvizheniya: monografiya* [Road traffic modeling: monograph]. Rostov-on-don: Rostov state build. University, 163 p. (In Russ.)
2. Buslaev, A. P. (2003) *Veroyatnostnye i imitacionnye podhody k optimizacii avtodorozhnogo dvizheniya: monografiya* [Probabilistic and simulation approaches to optimizing road traffic: monograph]. Moscow: World, (OJSC Yaroslav. Polyg. Comb.), 367 p. (In Russ.)
3. Shvetsov, V.L. (2009) [Model the future] *Stroitel'stvo i gorodskoe hozyajstvo* [Construction and urban economy]. Vol. 113, pp. 119-121 (In Russ.)
4. Zadorozhny, V.N., Yudin, E.B. (2012) [Overview of programs for modeling traffic flows] *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin: materialy 8 mezhdunarodnoj nauch.-tekhn. konf.* [Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines: Proceedings of the 8th International Scientific-Technical]. Omsk: Omsk State Technical University Publishing House, Kn.1, pp. 254–257. (In Russ.)
5. Zadorozhny, V.N., Yudin E.B. (2013) *Analitiko-imitacionnye metody resheniya aktual'nyh zadach sistemnogo analiza bol'shih setej: monografiya* [Analytical and simulation methods for solving actual problems of sys-

tem analysis of large networks]. Omsk: Omsk State Technical University Publishing House, pp. 86-125. (In Russ.)

6. Dolgushin, D.Yu, Myznikova T.A. (2009) [Simulation of traffic to assess the environmental impact of vehicles] *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii* [Control Systems and Information Technologies], 4.1 (38), pp. 139-142. (In Russ.)

7. Dolgushin, D.Yu. (2009) *Primenenie kletochnyh avtomatov k modelirovaniyu avtotransportnyh potokov: monografiya*. [Use of cellular automata to modeling of motor transportation streams: monograph]. Omsk: SibADI, 111 p. (In Russ.)

8. Trofimenko, Yu.V., Yakimov M.R. (2013) *Transportnoe planirovanie: Formirovanie ehffektivnyh transportnyh sistem krupnyh gorodov: monografiya* [Transport planning: Formation of efficient transport systems of large cities: monograph]. M.: Logos, 464 p. (In Russ.)

9. Yakimov, P.R., Arepyeva, A.A. (2016) *Transportnoe planirovanie: Osobennosti modelirovaniya transportnyh potokov v krupnyh rossijskih gorodah: monografiya* [Transport planning Features of modeling traffic flows in major Russian cities: a monograph]. M.: Logos, 280 p. (In Russ.)

10. Nagel, K. A., Schreckenberg, M. (1992) Cellular automaton model for freeway traffic. *J. Phys. I France*: V, pp. 2221–2229. (In French).

11. Zhankaziev, S.V., Khalilev R.F. (2012) [Formation of the life cycle of a local project of an intellectual transport system]. *Avtotransportnoe predpriyatie* [Motor Transport Enterprise]. Vol. 11, pp. 31–33. (In Russ.)

12. Vorobiev, A.I., Mordanov I.S. (2013) [Research complex of intellectual transport systems modeling]. *Avtotransportnoe predpriyatie* [Motor Transport Enterprise]. Vol.12, pp. 40–41. (In Russ.)

13. Tour, A.A. (2012) [Mathematical approaches to the justification of projects to inform road users in intelligent transport systems] *Vestnik MADI* [MADI Bulletin]. Vol. 1 (28), pp. 109–113. (In Russ.)

14. Saul Wordworth (2006) Will and sentiment. *Traffic Technology International*. October / November, pp 54–58. (In Eng.)

15. Lakoba, T.I. (2005). Modifications of the Helbing-Molnár-Farkas-Vicsek Social Model for Pedestrian Evolution, *Simulation*, 81, pp. 339-352. (In Eng.)

Информация об авторах:

Дмитрий Алексеевич Дрючин, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технической эксплуатации и ремонта автомобилей, **ORCID ID:** 0000-0002-1311-6462, **Researcher ID:** F-3228-2019, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
e-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

Михаил Романович Янучков, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта, **ORCID ID:** 0000-0001-7277-7511, **Researcher ID:** F-3212-2019, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
e-mail: msi80@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.02.2019; принята в печать 05.06.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Dmitry Alekseevich Dryuchin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technical Operation and Repair of Automobiles, **ORCID ID:** 0000-0002-1311-6462, **Researcher ID:** F-3228-2019, Orenburg State University, Orenburg, Russia
e-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

Mikhail Romanovich Yanuchkov, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Automobile Transport, **ORCID ID:** 0000-0001-7277-7511, **Researcher ID:** F-3212-2019, Orenburg State University, Orenburg, Russia
e-mail: msi80@mail.ru

The paper was submitted: 11.02.2019.

Accepted for publication: 05.06.2019.

The authors have read and approved the final manuscript.