

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

В. В. Морозов¹, В. Н. Карнаухов², С. А. Ярков³

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

¹e-mail: morozov1990_72@mail.ru

²e-mail: karnauhovvn@tyuiu.ru

³e-mail: jarkovsa@tyuiu.ru

Аннотация. Формирование транспортных заторов остаётся существенной проблемой организации дорожного движения (далее ОДД) в городах и является серьёзным вызовом для инженерии и науки. Отечественный и зарубежный практический опыт, а также научные исследования, показали, что наиболее рациональным подходом для разрешения данной проблемы является применение интеллектуальных транспортных систем (далее ИТС), подсистемой которых, в части управления транспортными потоками (далее ТП) на улично-дорожной сети (далее УДС) городов, являются автоматизированные системы управлением дорожным движением (далее АСУДД). Однако в случае реализации управления ТП в автоматизированном режиме на основании фиксируемых значений количества проезжающих транспортных средств (далее ТС), возникает неопределённость: значение интенсивности ТП может быть равно или близкое к нулю как в случае формирования транспортного затора, так и в случае полного отсутствия ТС. В современных зарубежных научных исследованиях предлагается разрешить данную ситуацию при помощи сопоставления данных интенсивности ТП с его концентрацией во времени (занятостью полосы). К сожалению, данный процесс до конца не изучен. Поэтому целью данной статьи является совершенствование разработанной ранее авторами модели влияния занятости полосы на интенсивность движения ТП с учетом более широкого диапазона экспериментальных данных. Достижение поставленной цели потребовало проведения теоретических исследований, которые базировались на теории транспортных потоков, теории импульсов, математическом моделировании. Для подтверждения результатов теоретических исследований проведены экспериментальные исследования, которые основывались на теории планирования эксперимента, математической статистики. Сбор и обработка исходных данных для эксперимента проводились при помощи программного обеспечения и оборудования STATISTICA 10, СПЕКТР 2.0, Traficat и др. В конечном итоге произведена корректировка исходной модели влияния занятости полосы на интенсивность ТП. Научная новизна результатов исследования заключается в том, что откорректированная модель достоверно отображает физический смысл процесса изменения интенсивности движения автомобилей под влиянием концентрации ТП во времени с учетом различных режимов работы регулируемого пересечения. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования алгоритмов работы регулируемых пересечений в составе АСУДД, калибровки имитационных моделей дорожного движения, оперативного управления ТП.

Ключевые слова: концентрация транспортного потока, занятость полосы, интенсивность автомобилей, транспортный поток, дорожное движение.

Благодарности: авторы выражают особую благодарность коллективу МКУ «Тюменьгортранс», а также канд. тех. наук, доценту, заслуженному работнику высшей школы РФ Колесову Виктору Ивановичу, без участия которых данное исследование бы не состоялось.

Для цитирования: Морозов В. В., Карнаухов В. Н., Ярков С. А. Совершенствование модели влияния концентрации транспортного потока на интенсивность движения автомобилей // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 1. – С. 98–105. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-1-98.

IMPROVING THE MODEL OF THE INFLUENCE OF TRAFFIC FLOW CONCENTRATION ON THE TRAFFIC INTENSITY

V. V. Morozov¹, V. N. Karnauhov², S. A. Iarkov³

Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

¹e-mail: morozov1990_72@mail.ru

²e-mail: karnauhovvn@tyuiu.ru

³e-mail: jarkovsa@tyuiu.ru

Abstract. The formation of traffic congestion remains a significant problem in the organization of road traffic in cities and is a serious challenge for engineering and science. Domestic and foreign practical experience, as well as scientific research have shown that the most rational approach to solve this problem is the use of intelligent transport systems, the subsystem of which, in terms of traffic management on the road network of cities, are automated traffic management systems. However, in the case of implementation of traffic flow control in the automated mode on the basis of values of the number of passing vehicles, there is uncertainty: the value of the traffic flow intensity can be equal to or close to zero both in the case of traffic congestion and in the case of complete absence of the vehicle. In modern foreign scientific research it is offered to solve this situation by means of comparison of data of intensity of traffic flow with its concentration in time (lane occupancy). Unfortunately, this process is not fully for understanding. Therefore, the purpose of this article is to improve the previously developed by the authors of the model of the influence of lane occupancy on the intensity of traffic flow, taking into account a wider range of experimental data. Achieving this goal required theoretical studies, which were based on the theory of transport flows, the theory of pulses, mathematical modeling. To confirm the results of theoretical studies, experimental studies were conducted, which were based on the theory of experimental planning, mathematical statistics. The initial data for the experiment were collected and processed with the help of software and equipment STATISTICA 10, SPECTRUM 2.0, Traficam, etc. in the end, the initial model of the influence of band occupation on the intensity of traffic flow was corrected. The scientific novelty of the research results lies in the fact that the corrected model reliably displays the physical meaning of the process of changing the intensity of traffic under the influence of the concentration of traffic flow in time, taking into account the different modes of operation of the adjustable cross-section. the obtained results can be used to improve the algo-rhythms of controlled intersections in the automated traffic management systems, calibration of simulation models of traffic flow movement, operational control of traffic flow.

Keyword: traffic flow concentration, lane occupancy, intensity, traffic flow, traffic.

Acknowledgements. The authors express special gratitude to the staff of MKU «Tyumengortrans», Candidate of Technical Sciences, associate Professor; honored worker of the higher school of the Russian Federation Kolesov Victor Ivanovich, without whom this study would not have taken place.

Cite as: Morozov, V. V., Karnaukhov, V. N., Iarkov, S. A. (2020) [Improvement of the model of the influence of the concentration of traffic flow on the traffic intensity of cars]. *Intellect. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 1, pp. 98–105. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-1-98.

Введение

Одной из ключевых проблем ОДД в городах является образование существенных транспортных заторов [16,20,21]. В качестве наиболее рациональной и эффективной меры по разрешению данной проблемы отечественные и зарубежные исследователи определяют применение ИТС, где управление

транспортными потоками реализуется посредством подсистемы АСУДД [11,12,16,18]. Процесс формирования транспортных заторов в обобщенном виде можно описать следующим образом [13]: интенсивность движения транспортных средств на последующем пересечении существенно снижается по отношению к предыдущему (рисунок 1).

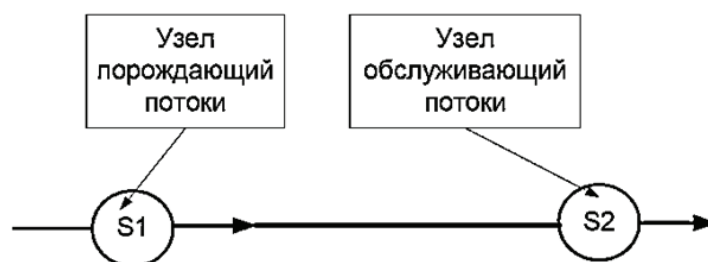


Рисунок 1. Обобщенная схема процесса формирования транспортных заторов на УДС [12]: $S_1 > S_2$, где

S_1 – интенсивность движения входящего транспортного потока, авт./ч;

S_2 – интенсивность движения исходящего транспортного потока, авт./ч

Следовательно, разрешение данной проблемы непосредственно связано с процессом изменения интенсивности движения автомобилей. При этом ситуации, когда значение интенсивности стремится к нулю, могут быть вызваны не только образова-

нием транспортных заторов, но и фактическим отсутствием транспортных средств на УДС. Вследствие чего, возникает неопределенность, не позволяющая в полной мере реализовать управление транспортными потоками.

Обзор литературы

В фундаментальной теории транспортных потоков предлагается разрешить данную ситуацию путём сопоставления данных об интенсивности транспортного потока с его концентрацией в пространстве – плотностью [7–9, 14]. Однако корректное измерение плотности транспортного потока требует использования системы индуктивных петлевых детекторов с ограниченным сроком службы не более 1 календарного года. Устройство, обслуживание и ремонт индуктивных детекторов при этом связано с трудоёмкими дорожными работами: монтаж контрольных зон (рамок) детекторов производится непосредственно под дорожное полотно. Использование данной системы являлось чрезмерно трудозатратным и дорогостоящим, в связи с чем в современных АСУДД используются видеодетекторы, обладающие большей мобильностью и сроком службы [9, 17, 18].

В исследованиях [1–3, 5] предлагается в качестве меры концентрации ТП использовать его концентрацию во времени, мерилем которой является занятость полосы – процент от общей продолжительности времени измерения, в течение которого в контрольной зоне детектора находились транспортные средства [6]:

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i + d) / u_i}{T} 100\%, \quad (1)$$

где

θ – занятость полосы, %;

t_i – время нахождения i -го транспортного средства в контрольной зоне детектора, с;

L_i – длина i -го транспортного средства, проходящего через контрольную зону детектора, м;

d – длина рамки детектора, м;

u_i – скорость i -го транспортного средства в потоке;

T – продолжительность измерения, с.

По результатам проведенного анализа работ [1–3, 6, 17] установлено, что данный показатель обладает большей информативностью и надежностью, при этом требует меньшие затраты для его измерения [10, 17, 18]. Однако влияние занятости полосы на интенсивность движения автомобилей в полном объеме не изучено. Поэтому в работе [15] проведено исследование, целью которого являлось определение данной закономерности, в результате чего был сформулирован промежуточный вывод о том, что влияние занятости полосы на интенсивность движения автомобилей описывается степенной функцией общего вида:

$$y = ax^b \quad (2)$$

Несмотря на высокие значения полученных коэффициентов детерминации от 0,85 до 0,9 для каждой групп полос по направлениям движения, возникает подозрение, что получившаяся модель не в полной мере обладает физическим смыслом. Во-первых, (2) не имеет точки максимума, т.е. значение интенсивности автомобилей в (2) будет достигать бесконечно большого значения. Во-вторых, даже с учетом $\theta \in [0 : 100]$ максимальная интенсивность Q_{MAX} здесь достигается в $\theta = 100\%$. Сопоставив полученные результаты [15] с (1) следует, например, что для транспортного потока, движущегося в левоповоротном направлении, $Q_{MAX} = 1009$ авт/ч. достигается при $u = 7,13$ км/ч., что, безусловно, ошибочно. В-третьих, в [15] не в полной мере было учтено возможное влияние иных факторов, вследствие чего возникает дополнительная неопределенность, не позволяющая объективно произвести и оценить экспериментальные исследования.

Поэтому, целью данной работы является совершенствование разработанной модели влияния занятости полосы на интенсивность движения автомобилей, которая была представлена ранее в [15].

Теоретические исследования

На основании анализа работ [1–7, 13–15, 17, 19] был произведен предварительный отбор факторов, влияющих на изменение интенсивности и структурирование рассматриваемой системы (рисунок 2).

В целях исключения появления дополнительной неопределенности, в работе были введены ограничения по условиям окружающей среды: температура воздуха выше плюс 5 градусов по Цельсию, сухое дорожное покрытие, отсутствие осадков. Введение корректных ограничений позволило предопределить, что наиболее значимыми факторами являются концентрация транспортного потока во времени (занятость полосы θ , %) и режим работы светофорной сигнализации (фазовый коэффициент λ , т.е. отношение эффективной длительности разрешающего сигнала t_0 , с к длительности цикла светофорного регулирования $T_{\text{ц}}$, с).

В [12] было установлено, что меры концентрации ТП в пространстве и времени имеют линейную взаимосвязь:

$$\theta = k_{\theta} p, \quad (3)$$

где

θ – занятость полосы, %;

k_{θ} – параметр взаимосвязи плотности потока и занятости полосы, $k_{\theta} = (\bar{L} + d)/10$, км·%/авт.

По результатам исследования [4] состояние ТП является достаточно сложной категорией. В базовых положениях теории транспортных потоков взаимосвязь показателей состояния ТП описывается моделью [6–8, 13]:



Рисунок 2. Предварительный отбор факторов. Структурирование исследуемой системы

$$u(p) = u_f \left(1 - \frac{p}{p_j}\right) \quad (4)$$

где

$u(p)$ – функция зависимости скорости от плотности транспортного потока;

u_f – скорость движения потока в свободном режиме, км/ч;

p – плотность транспортного потока, авт./км;

p_j – критическая (максимальная) плотность транспортного потока, при которой образуется затор авт./км.

С учётом (3) для (4) справедливо равенство:

$$u(\theta) = u_f \left(1 - \frac{k_\theta \theta}{k_\theta \theta_j}\right) = u_f - \frac{u_f}{\theta_j} \theta \quad (5)$$

где

θ и θ_j – соответственно фактическая и максимальная занятость полосы, при которой образуется затор, %;

$u(\theta)$ – функция зависимости скорости транспортного потока от занятости полосы.

Полученные результаты (3) и (5) позволяют преобразовать фундаментальную транспортную диаграмму с учетом влияния концентрации ТП во времени [7–9,14]:

$$Q(\theta) = \frac{\theta}{k_\theta} \left(u_f - \frac{u_f}{\theta_j} \theta\right) = \frac{u_f}{k_\theta} \theta - \frac{u_f}{k_\theta \theta_j} \theta^2 \quad (6)$$

где

$Q(\theta)$ – функция, описывающая зависимость интенсивности движения автомобилей от занятости

полосы.

С учетом того, что $u_f = \text{const}$ и $\theta_j = \text{const}$, (6) принимает вид

$$Q(\theta) = b\theta - a\theta^2 \quad (7)$$

где

a, b – параметры модели, авт./((ч·100%)) и авт./(ч·%), соответственно.

По результатам теоретических исследований установлено, что влияние занятости полосы на интенсивность движения автомобилей описывается квадратичной моделью.

Экспериментальные исследования

Для подтверждения (7) проведены экспериментальные исследования. Сбор исходных данных интенсивности транспортного потока Q , авт./ч, занятости полосы, θ % и продолжительности сигналов режима работы светофорной сигнализации t_0 , с, T_u производился на регулируемом пересечении ул. Республики и ул. М. Тореца с использованием видеодетекторов Traficam, светофорного контроллера «КДСФ-СПЕКТР», подключенных при помощи программного обеспечения СПЕКТР 2.0 и TraficamData к автоматизированному рабочему месту инженера центра управления движением (далее ЦУД) г. Тюмени. Для получения более широкого диапазона значений выборки замеры проводились в общей сложности три календарных года в будние дни с 07 ч. 00 м. до 23 ч. 00 м, с учётом обозначенных ранее ограничений.

Полученные экспериментальные данные обрабатывались с использованием программного комплекса STATISTICA 10. Для каждого периода времени работы светофорной сигнализации и направления движения ТП исходные данные группировались по средним значениям по формулам Стерджесса. Внутри каждого диапазона был выявлен тип распределения, который в большинстве случаев соответствовал нормальному закону. Определение

закономерности влияния концентрации транспортного потока на интенсивность движения автомобилей и построение линии регрессии проводилось при помощи метода наименьших квадратов.

В качестве примера на рис. 3 и рис. 4 представлено графическое отображение модели (7) для ТП в левоповоротном и прямом направлении движения в период замера с 08 ч. 00 м. до 09 ч. 00 м. при $\lambda = 0,49$ и $\lambda = 0,26$ соответственно.

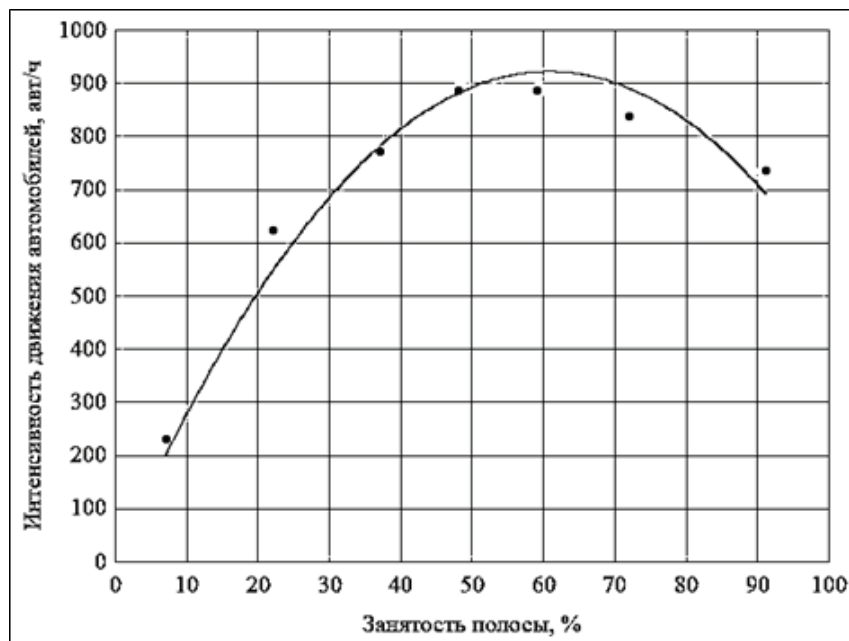


Рисунок 3. Влияние занятости полосы на интенсивность движения автомобилей в левоповоротном направлении при $\lambda = 0,49$

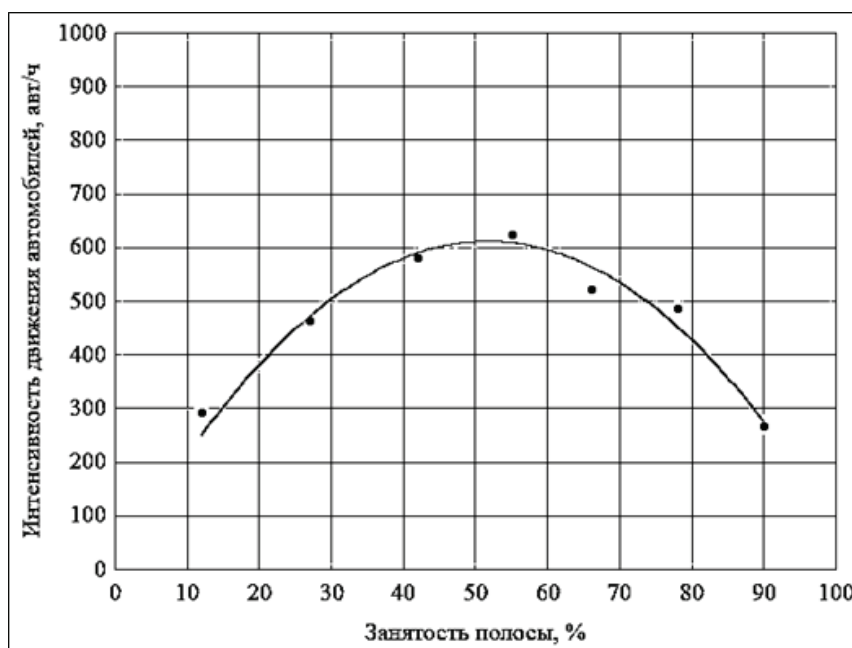


Рисунок 4. Влияние занятости полосы на интенсивность движения автомобилей в прямом направлении при $\lambda = 0,26$

Далее были определены статистические характеристики и параметры модели (7). Высокие значения коэффициентов корреляции и детерминации при различных λ режима работы светофоров составили не ниже 0,95 и 0,9 соответственно, что говорит о высокой силе связи между рассматриваемыми величинами. Проверка t – критерию Стьюдента и кри-

терию Фишера F подтвердила значимость корреляционной связи и адекватности модели. В табл. 1 представлены статистические характеристики и численные значения параметров модели (7) для ТП в левоповоротном и прямом направлении движения в период замера с 08 ч. 00 м. до 09 ч. 00 м. при $\lambda = 0,49$ и $\lambda = 0,26$ соответственно.

Таблица 1. Численные значения параметров модели (7) и её статистические характеристики

Направление движения ТП	Фазовый коэффициент λ	Параметры модели		Коэффициент корреляции r	Коэффициент детерминации R^2	Критерий Стьюдента $t_{табл}$	Критерий Стьюдента $t_{факт}$	Дисперсионное отношение Фишера F	Критерий Фишера F
		a , авт./ч.100%	b , авт./ч.°						
Налево	0,49	0,25	30,35	0,98	0,96	2,015	10,861	3,2744	2,7849
Прямо	0,26	0,23	23,68	0,98	0,96	2,015	10,033	3,1938	2,7849

Результаты исследования

Путём реализации системного подхода, более тщательного отбора факторов, введения дополнительных ограничений было произведено совершенствование разработанной ранее модели влияния концентрации ТП на интенсивность движения автомобилей. Экспериментальные исследования, проведенные на основании расширенного диапазона исходных данных изучаемых величин, подтвердил значимость и адекватность разработанной модели.

Выводы

Разработанная математическая модель в пол-

ной мере отражает физический смысл изменения интенсивности ТП под влиянием занятости полосы при различных режимах работы светофорной сигнализации, характеризующимися значениями фазовых коэффициентов для каждого направления движения автомобилей. Результаты исследования могут быть использованы для создания алгоритмов работы регулируемых пересечений в составе АСУДД, разработки методики оперативного управления ТП инженеров ЦУД, совершенствования имитационных моделей движения ТП различного уровня.

Литература

1. Banks J. H. (1989). Freeway Speed-Flow Concentration Relationships: More Evidence and Interpretations. Transportation Research Record, 1225, TRB, NRC, Washington, DC, pp. 53–60.
2. Hall F. L. and M. A. Gunter (1986). Further Analysis of the Flow-Concentration Relationship. Transportation Research Record 1091, TRB, NRC, Washington, DC, pp. 1–9.
3. Hall F. L., V. F. Hurdle, and J. H. Banks (1992). Synthesis of Recent Work on the Nature of Speed-Flow and Flow-Occupancy (Or Density) Relationships on Freeways. Transportation Research Record 1365, TRB, National Research Council, Washington, DC, pp. 12–18.
4. Larin, O. N., Dosenko, V. A (2014). Use of a Phase Transition Concept for Traffic Flow Condition Estimation, Transport and Telecommunication, Vol. 15, No. 4, pp. 315–321.
5. Pushkar A., F. L. Hall, and J. A. Acha-Daza (1994). Estimation of Speeds from Single-Loop Freeway Flow and Occupancy Data Using the Cusp Catastrophe Theory Model. Transportation Research Record 1457, TRB, NRC, Washington, DC, pp. 149–157.
6. Robert L. Gordon P. E., Warren Tighe P. E. Traffic Control Systems Handbook. Washington, DC, 2005, 367 p.
7. Ахмадинуров М. М., Завалишин Д. С., Тимофеева Г. А. Математические модели управления транспортными потоками: монография. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2011. – 120 с.
8. Бадалян А. М., Еремин В. М. Имитационное моделирование движения автомобилей для оценки пропускной способности дорог и коэффициентов приведения автомобилей разных типов к легковому автомобилю // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2004. – № 1. – С. 18.
9. Басков В. Н., Игнатов А. В. К вопросу о регулировании транспортного потока оптимизацией задержек на улично-дорожной сети // Математические методы в технике и технологиях. – 2010. – № 4 (63). – С. 108–110.

10. Бродский Г. С., Кашкин М. Ю., Айвазов А. Р., Рыкунов В. В. Работа детекторов транспорта на московской дорожно-уличной сети // Приборы. – 2006. – № 7. – С. 36–42.
11. Жанказиев С. В., Власов В. М. Научные подходы к формированию государственной стратегии развития интеллектуальных транспортных систем // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 7. – С. 2–10.
12. Колесов В. И., Морозов В. В. О связи занятости полосы с плотностью транспортного потока // Транспортные и Транспортно-технологические системы: материалы Международ. науч.-практ. конф. (Тюмень, 20 апреля 2017 г.). – Тюмень, 2017. – С. 243–256.
13. Лагерева Р. Ю., Михайлов А. Ю., Лагерева С. В. Методика предупреждения сетевых транспортных заторов // Вестник НИЦ БЖД. – 2010. – № 5. – С. 82–88.
14. Михеева Т. И., Михеев С. В., Богданова И. Г. Модели транспортных потоков в интеллектуальных транспортных системах // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 216
15. Морозов В. В., Ярков С. А. Влияние занятости полосы на интенсивность движения транспортных средств // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 12. – С. 25–29.
16. Морозов В. В., Ярков С. А. Проблема транспортных заторов и существующие методы их решения // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Всерос. науч.-практич. конф. (Тюмень, 5–7 ноября 2014 г.). – Тюмень, 2014. – Т. 2. – С. 83–89.
17. Морозов В. В., Бобров Д. В., Подлесных С. В., Смолин С. В. Пространственные и временные показатели концентрации транспортного потока в задачах управления дорожным движением // Организация и безопасность дорожного движения: материалы XI международ. науч.-практич. конф. (Тюмень, 15 марта 2018 г.). – Тюмень, 2018. – Т. 1. – С. 333–335.
18. Петров В. В., Петров Е.А. Оценка эффективности АСУ дорожным движением // Омский научный вестник. – 2011. – № 1 (22). – С. 194–195.
19. Селиверстов С. А., Селиверстов, Я. А. О методе оценки эффективности организации процесса дорожного движения мегаполиса // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 2 (50). – С. 91–96.
20. Хегай Ю. А. Проблемы автомобильного транспорта в России // Теория и практика общественного развития. – 2014. – № 8. – С. 122–125.
21. Ховавко И. Ю. Экономический анализ московских пробок // Государственное управление. Электронный вестник. – 2014. – № 43. – С. 121–134.

References

1. Banks, J. H. (1989) Freeway Speed-Flow Concentration Relationships: More Evidence and Interpretations. *Transportation Research Record*, 1225, TRB, NRC, Washington, DC, pp. 53–60.
2. Hall, F. L., Gunter, M. A. (1986) Further Analysis of the Flow-Concentration Relationship. *Transportation Research Record* 1091, TRB, NRC, Washington, DC, pp. 1–9.
3. Hall, F. L., Hurdle, V. F., Banks, J. H (1992) Synthesis of Recent Work on the Nature of Speed-Flow and Flow-Occupancy (Or Density) Relationships on Freeways. *Transportation Research Record* 1365, TRB, National Research Council, Washington, DC, pp. 12–18.
4. Larin, O. N., Dosenko, V. A (2014) Use of a Phase Transition Concept for Traffic Flow Condition Estimation, *Transport and Telecommunication*, Vol. 15, No. 4, pp. 315–321. (In Engl.)
5. Pushkar, A., Hall, F. L., Acha-Daza, J. A. (1994) Estimation of Speeds from Single-Loop Freeway Flow and Occupancy Data Using the Cusp Catastrophe Theory Model. *Transportation Research Record* 1457, TRB, NRC, Washington, DC, pp. 149–157. (In Engl.)
6. Robert, L., Gordon, P. E., Warren, Tighe P. E. (2005) *Traffic Control Systems Handbook*. Washington, DC, 367 p.
7. Ahmadinurov, M. M., Zavalishin, D. S., Timofeeva, G. A. (2011) *Matematicheskie modeli upravleniya transportnymi potokami* [Mathematical models of traffic control]. Yekaterinburg: Ural State University of Railway Transport, 120 p.
8. Badalyan, A. M., Eremin, V. M. (2004) [Simulation modeling of car movement for estimation of road capacity and coefficients of reduction of cars of different types to a passenger car]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*. [Transport: science, technology, management. Scientific information]. Vol. 1. pp. 18. (In Russ).
9. Baskov, V. N., Ignatov, A. V. (2010) [To the question of regulation of traffic flow by optimization of delays on the street-road network]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah* [Mathematical methods in engineering and technologies]. Vol. 4 (63), pp. 108–110. (In Russ).
10. Brodskij, G. S., Kashkin, M. Y., Ajvazov, A.R., Rykunov, V.V. (2006) [Work of transport detectors on the Moscow road and street network] *Pribory* [Devices]. Vol. 7, pp. 36–42. (In Russ).
11. Zhankaziev, S. V., Vlasov, V. M. (2010) [Scientific approaches to the formation of the state strategy for the development of intelligent transport systems]. *Avtotransportnoe predpriyatie* [Motor transport enterprise]. Vol. 7, pp. 2–10. (In Russ).

12. Kolesov, V. I., Morozov, V. V. (2017) [About the link between the employment of the strip and the density of traffic flow]. *Transportnye i Transportno-tekhnologicheskie sistemy: materialy Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf.* [Transport and Transport-technological systems: materials of the International scientific-practical Conf.]. Tyumen: TIU, pp. 243–256. (In Russ).
13. Lagerev, R. Y., Mihajlov, A. Y., Lagereva, S. V. (2010) [Methods of prevent network traffic problems]. *Vestnik NC BZHD* [Bulletin of the Scientific center for life safety]. Vol. 5, pp. 82–88. (In Russ).
14. Miheeva, T. I., Miheev, S. V., Bogdanova, I. G. (2013) [Models of transport flows in intelligent transport systems]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. Vol. 6, pp. 216. (In Russ).
15. Morozov, V. V., Iarkov, S. A. (2017) [Influence of the employment of the strip on the flow rate]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intelligence. Innovations. Investment]. Vol. 12, pp. 25–29. (In Russ).
16. Morozov, V. V., Iarkov, S. A. (2014) [The Problem of traffic congestion and existing methods of their solution]. *Problemy funkcionirovaniya sistem transporta: materialy Vseros. nauch.-praktich. konf.* [Problems of functioning of transport systems: materials of the all-Russian scientific and practical Conf.]. Tyumen: TIU, Vol. 2, pp. 83–89. (In Russ).
17. Morozov, V. V., Bobrov, D. V., Podlesnyh, S. V., Smolin, S. V. (2018) [Spatial and temporal indicators of traffic flow concentration in traffic control problems]. *Organizaciya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: materialy XI mezhdunarod. nauch.-praktich. konf.* [Organization and safety of road traffic: materials of the XI international scientific and practical Conf.]. Tyumen: TIU, Vol. 1, pp. 333–335. (In Russ).
18. Petrov, V. V., Petrov, E. A. (2011) [Evaluation of efficiency of automated traffic control systems]. *Omskij nauchnyj vestnik* [Omsk scientific Bulletin]. Vol. 1 (22), pp. 194–195. (In Russ).
19. Seliverstov, S. A., Seliverstov, Y. A. (2015) [About method of evaluating the efficiency of the organization of traffic of the metropolis]. *Vestnik transporta Povolzh'ya* [Bulletin of transport of the Volga region]. Vol. 2 (50), pp. 91–96. (In Russ).
20. Hegaj, Y. A. (2014) [Problems of road transport in Russia]. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya* [Theory and practice of social development] Vol. 8, pp. 122–125. (In Russ).
21. Hovavko, I. Y. (2014) [Economic analysis of Moscow traffic jams]. *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyj vestnik*. [Stateadministration. Electronic Bulletin]. Vol. 43, pp. 121–134. (In Russ).

Информация об авторах:

Вячеслав Валерьевич Морозов, ассистент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
e-mail: morozov1990_72@mail.ru

Владимир Николаевич Карнауков, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
e-mail: karnauhovvn@tyuiu.ru

Сергей Александрович Ярков, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
e-mail: jarkovsa@tyuiu.ru

Статья поступила в редакцию 14.10.2019; принята в печать 22.01.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Vyacheslav Valerievich Morozov, Assistant, Department of Automobile Transport Operation, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia
e-mail: morozov1990_72@mail.ru

Vladimir Nikolaevich Karnaukhov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of automobile transport operation, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia
e-mail: karnauhovvn@tyuiu.ru

Sergei Aleksandrovich Iarkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of automobile transport operation, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia
e-mail: jarkovsa@tyuiu.ru

The paper was submitted: 14.10.2019.

Accepted for publication: 22.01.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.