

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНОЙ АВТОТРАНСПОРТНОЙ ОЧЕРЕДИ НА ПРОЦЕСС ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ГОРОДСКИХ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ

Г. Н. Морозов¹, В. В. Морозов², А. А. Фадюшин², Ш. М. Мерданов²

¹ ООО «Дорожный консалтинг», Екатеринбург, Россия

² Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

INFLUENCE OF RESIDUAL VEHICLE QUEUE ON THE PROCESS OF VEHICLE TRAFFIC AT URBAN REGULATED INTERSECTIONS

Georgiy N. Morozov¹, Viacheslav V. Morozov², Alexey A. Fadyushin², Shakhbuba M. Merdanov²

¹ LLC "Road Consulting", Ekaterinburg, Russia

² Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В работе продолжается изучение методов канализирования поворотных автотранспортных потоков на городских регулируемых пересечениях. Авторы провели математическое моделирование процесса формирования левоповоротной автотранспортной очереди на основе существующих зависимостей, а также показателя «остаточной автотранспортной очереди». В результате изучения рассматриваемых процессов, существующих математических моделей, описывающих формирование автотранспортной очереди на регулируемом пересечении, а также дальнейшего моделирования процесса в зависимости от параметра «остаточной автотранспортной очереди» было выдвинуто предположение о виде математической модели, описывающей процесс. Для подтверждения предположений проведены исследования на городских регулируемых

Abstract. This paper continues to investigate methods for separating turning vehicle flows at urban light-controlled intersections. The authors carried out mathematical modelling of the process of left-turn transport queue formation on the basis of existing dependencies, as well as the indicator of "residual motor transport queue". After studying the processes and existing mathematical models describing the formation of a vehicle queue at a light-controlled intersection, as well as modelling of the process depending on the "residual vehicle queue" parameter, we made an assumption about the type of mathematical model describing the process. To confirm the assumptions, we carried out studies of urban light-controlled intersections in Russian cities. Based on passive experiment, it was found that the value of the residual vehicle queue obeyed the exponential distribution law of a random

пересечениях в городах Российской Федерации. На основе пассивного эксперимента установлено, что величина остаточной автотранспортной очереди подчиняется экспоненциальному закону распределения случайной величины. Длина формирующейся на пересечении очереди из автотранспортных средств зависит от показателя остаточной автотранспортной очереди. Зависимость описывается линейной математической моделью. Установлено, что для среднестатистического городского регулируемого пересечения необходимая вместимость поворотной-накопительной полосы составляет 9 и 5 автомобилей при коэффициенте загрузки больше и меньше 1 соответственно. При увеличении остаточной автотранспортной очереди с 5 до 50 автомобилей величина очереди из автотранспортных средств на регулируемом пересечении в левоповоротном направлении увеличивается в 5 раз. Полученные результаты исследования могут применяться для корректирования режимов работы городских регулируемых пересечений, а также для оценки длины поворотной-накопительных полос.

Ключевые слова: поворотная-накопительная полоса, транспортная очередь, канализирование транспортных потоков, регулируемое пересечение, улично-дорожная сеть

Для цитирования: Влияние остаточной автотранспортной очереди на процесс движения автомобилей на городских регулируемых пересечениях / Г. Н. Морозов, В. В. Морозов, А. А. Фадюшин, Ш. М. Мерданов. – DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-89-97. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2024. – № 1 (107). – С. 89–97.

For citation: Morozov, G. N., Morozov, V. V., Fadyushin, A. A., & Merdanov, Sh. M. (2024). Influence of residual vehicle queue on the process of vehicle traffic at urban regulated intersections. *Architecture, Construction, Transport*, (1(107)), pp. 89-97. (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2024-1-89-97.

1. Введение

Направление потоков, осуществляющих движение по улично-дорожной сети (УДС), оказывает благоприятное влияние на пропускную способность и уровень безопасности дорожного движения. Организацию движения автотранспортных средств (АТС) по наиболее благоприятным траекториям возможно осуществлять за

variable. The length of the vehicle queue formed at the intersection depends on the residual vehicle queue parameter. A linear mathematical model describes the dependence. It was found that for an average urban regulated intersection, the required rotary-accumulative lane capacity was 9 and 5 automobiles with loading factor more than and less than 1, respectively. When the residual vehicle queue increases from 5 to 50 vehicles, the size of the vehicle queue at the regulated intersection in the left-turn direction increases in 5 times. The results of the study can be used to adjust the modes of operation of urban light-controlled intersections, as well as to estimate the length of turn-accumulative lanes.

Key words: turn-accumulative lane, traffic queue, separating of traffic flows, traffic light-controlled intersection, street and road network

счет относительно недорогих мероприятий [1, 2]. Например, за счет нанесения дорожной разметки и установки знаков.

Нередко на городских регулируемых пересечениях применяются полосы для канализирования левоповоротного автотранспортного потока. При проведении обследований городских УДС России было установлено, что количество

регулируемых перекрестков с такой полосой находится в диапазоне от 14 до 39 % (таблица 1).

Таблица 1/ Table 1
Регулируемые пересечения с применением левоповоротных полос в городах России
Regulated intersections with left-turn lanes in Russian cities

Населенный пункт	Количество регулируемых пересечений		Доля пересечений с левоповоротной полосой, %
	общее количество	с левоповоротной полосой	
Белгород	238	93	39
Екатеринбург	708	214	30
Тюмень	431	65	15
Новокузнецк	225	32	14

Вопросами организации дорожного движения (ОДД), в том числе с применением методов разделения транспортных и пешеходных потоков в пространстве, занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Профессор М. С. Фишельсон указывал на необходимость наличия трех полос при подходе к пересечению [3]. Профессор Г. И. Клинковштейн рассматривал в своих трудах методы канализирования движения автотранспортных потоков на пересечениях, однако не говорил об увеличении числа полос как самостоятельном виде совершенствования ОДД [4]. Профессор Ю. А. Кременец указывал на то, что при интенсивности поворотного потока более 120 автомобилей в час необходимо применение дополнительных методов ОДД [5, 6]. В американском руководстве Highway Capacity Manual 2010 имеется указание на положительные эффекты при применении поворотных полос, выражающиеся в снижении автотранспортных задержек и повышении безопасности дорожного движения [7]. Однако в результате проведенного анализа литературы установлено, что данные работы не учитывают показатель остаточной автотранспортной очереди (АТО). На необходимость учета длины остаточной АТО впервые указал американский ученый Д. Дрю [8, 9]. По его мнению, появление

АТО является показателем неэффективной ОДД. Необходимость измерения и учета показателя длины АТО отмечается в работах отечественных ученых А. В. Гасникова и А. Г. Левашева [10, 11]. Также было установлено, что отсутствуют методики по определению параметров поворотно-накопительной полосы (ПНП) и по организации светофорного регулирования на пересечениях с применением ПНП [12, 13, 14].

В ранее проведенных исследованиях для мероприятия по канализированию поворотных автотранспортных потоков авторами было разработано понятие поворотно-накопительной полосы – дополнительной полосы перед перекрестком, выделенной конструктивно или посредством разметки и предназначенной для обслуживания поворотных автотранспортных потоков [15, 16, 17].

В ходе проведения исследований предполагалось, что для уменьшения влияния левоповоротного потока на движение других участников дорожного движения необходимо организовать процесс разделения потоков из АТС таким образом, чтобы ПНП могла вмещать формирующуюся АТО. В противном случае это приводит к нежелательным перестроениям в автотранспортном потоке (рис. 1). Происходит появление дополнительных автотранспортных задержек.

Целью исследования является обеспечение доступности передвижения по транспортной сети в городе за счет снижения автотранспортных задержек посредством совершенствования организации дорожного движения на основе канализирования автотранспортных потоков на городских регулируемых пересечениях.

Новизна представленного исследования заключается в установлении зависимостей, позволяющих корректировать цикл светофорного регулирования с учетом левоповоротных очередей из АТС и такого элемента УДС, как ПНП.

2. Материалы и методы

Статья посвящена исследованию процесса формирования очередей из автотранспортных средств на городских регулируемых пересечениях.

При проведении исследования применялись такие методы, как: системный подход, мето-

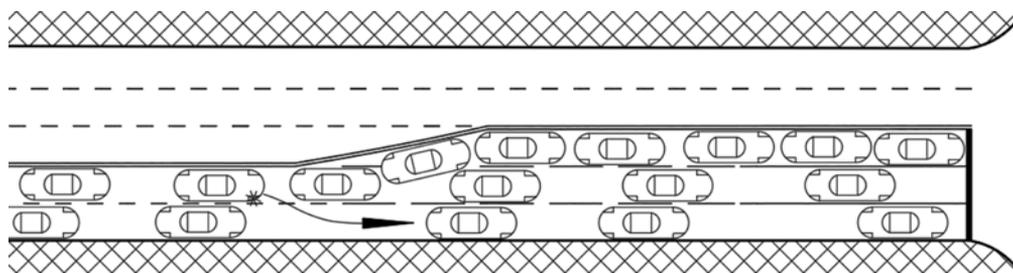


Рис. 1. Маневр перестроения АТС в потоке, связанный с объездом АТО
 Fig. 1. Maneuver of rearrangement of vehicles in the traffic flow due to bypassing the vehicle queue

ды математической статистики, корреляционно-регрессионный анализ.

3. Результаты и обсуждение

В ходе анализа ранее выполненных работ было установлено, что наиболее часто для описания длины формирующейся АТО применяют выражение [8–10]:

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (1)$$

где Q – средняя длина формирующейся АТО, прив. легк. АТС;

Q_1 – первая составляющая длины АТО, прив. легк. АТС;

Q_2 – вторая составляющая длины АТО, прив. легк. АТС.

Первая часть выражения описывает длину АТО, формирующуюся при равномерном прибытии автомобилей:

$$Q_1 = \frac{\frac{N_n \cdot C}{3600} \left(1 - \frac{g}{C}\right)}{1 - \left[\min\left(1, Z_n\right) \frac{g}{C}\right]}, \quad (2)$$

где N_n – интенсивность потока из АТС, приходящаяся на поворотное направление, прив. легк. АТС/час;

C – длительность цикла регулирования, с;

g – длительность разрешающего сигнала, с;

Z_n – уровень загрузки полосы.

Вторая часть выражения (1) учитывает случайные прибытия АТС:

$$Q_2 = 0.25 P_n T \left[(Z_n - 1) + \sqrt{(Z_n - 1)^2 + \frac{8k_p Z_n}{P_n T}} \right], \quad (3)$$

где P_n – пропускная способность полосы (рассматриваемой группы полос), прив. легк. АТС/час;
 T – длительность исследуемого периода, ч;
 k_p – дополнительный коэффициент приведения.

При этом правая часть формулы (2) может быть обозначена коэффициентом F :

$$F = \frac{\left(1 - \frac{g}{C}\right)}{1 - \left[\min\left(1, Z_n\right) \frac{g}{C}\right]}. \quad (4)$$

Формула (2) после преобразований выполненных выше принимает следующий вид:

$$Q_1 = \frac{N_n \cdot C}{3600} F. \quad (5)$$

Левая часть формулы (5) является средним количеством АТС, приходящимся на цикл светофорного регулирования, поэтому справедливо следующее выражение:

$$Q_1 = \frac{N_n}{n_u} F, \quad (6)$$

где n_u – количество циклов светофорного регулирования.

Интенсивность потока из АТС возможно разложить на две составляющие. Для этого запишем выражение:

$$N_n = N_{pco} + N_{ocm}, \quad (7)$$

где N_{pco} – количество автомобилей, обслуживаемых за время работы разрешающего сигнала светофора, прив. легк. АТС/час;

N_{ocm} – количество автомобилей, остающееся после окончания цикла светофорного регулирования, прив. легк. АТС/час.

Формулу (6) с учетом формулы (7) запишем в новом виде:

$$Q_1 = \frac{N_{ocm}}{n_u} F + \frac{N_{pco}}{n_u} F. \quad (8)$$

После проведенных преобразований формулу (1) запишем в следующем виде:

$$Q = \frac{N_{ocm}}{n_u} F + \frac{N_{pco}}{n_u} F + Q_2. \quad (9)$$

Среднюю остаточную очередь из автомобилей, приходящуюся на цикл светофорного регулирования, запишем следующим образом:

$$Q_{ocm.och} = \frac{N_{ocm}}{n_u}, \quad (10)$$

где $Q_{ocm.och}$ – средняя остаточная очередь, прив. легк. АТС.

В соответствии с формулой (7) предполагается, что имеется значение длины АТО, которое может быть обслужено за цикл светофорного регулирования. Данное предположение можно записать в виде следующего выражения:

$$Q_0 = \frac{N_{pco}}{n_u} F + Q_2. \quad (11)$$

В итоге выражение (9) принимает вид:

$$Q = Q_0 + FQ_{ocm.och}. \quad (12)$$

Значения Q_0 и F тесно связаны с параметрами светофорного регулирования. Поэтому Q_0 и F будут являться постоянными для изучаемого пересечения. Таким образом, было выдвинуто предположение, что длина формирующейся очереди из автомобилей в зависимости от остаточной АТО описывается линейной математической моделью вида:

$$Q = b + aQ_{ocm.och}. \quad (13)$$

С целью подтверждения выдвигаемых предположений был проведен пассивный экспери-

мент. Для этого были отобраны пересечения с наличием левоповоротных автотранспортных потоков, не пересекающихся с потоком прямого, встречного движения в фазе светофорного регулирования. Сбор данных проводился в пиковые периоды нагрузки на УДС. Суммарно изучалось более 20 пересечений в Тюмени, Вологде, Челябинске, Уфе и других городах.

Первоначально полученные данные были разделены в зависимости от коэффициента загрузки (таблица 2).

Таблица 2/ Table 2

*Предварительные результаты
обработки полученных данных
Preliminary results of data processing*

Коэффициент загрузки Z	Количество измерений
Z > 1	207
Z < 1	299

В процессе анализа полученных данных было установлено, что показатель остаточной АТО подчиняется экспоненциальному закону распределения случайной величины (рис. 2).

На основе метода наименьших квадратов установлена закономерность изменения длины формирующейся АТО под влиянием остаточной АТО (рис. 3).

В таблице 3 представлены численные значения параметров и статистические характеристики для полученных математических моделей.

Анализ полученных результатов показал, что кратковременное изменение спроса на перемещение в течение наблюдаемого времени в период пиковых нагрузок не приводит к исчезновению остаточных автотранспортных очередей и интенсивному уменьшению длины формирующейся АТО. При снижении интенсивности автотранспортного потока по левоповоротному направлению величина формирующейся АТО стремится первоначально к значению пропускной способности за цикл, тем самым минимальная длина ПНП должна соответствовать минимальной закладываемой пропускной способности светофорного объекта в левоповоротном направлении.

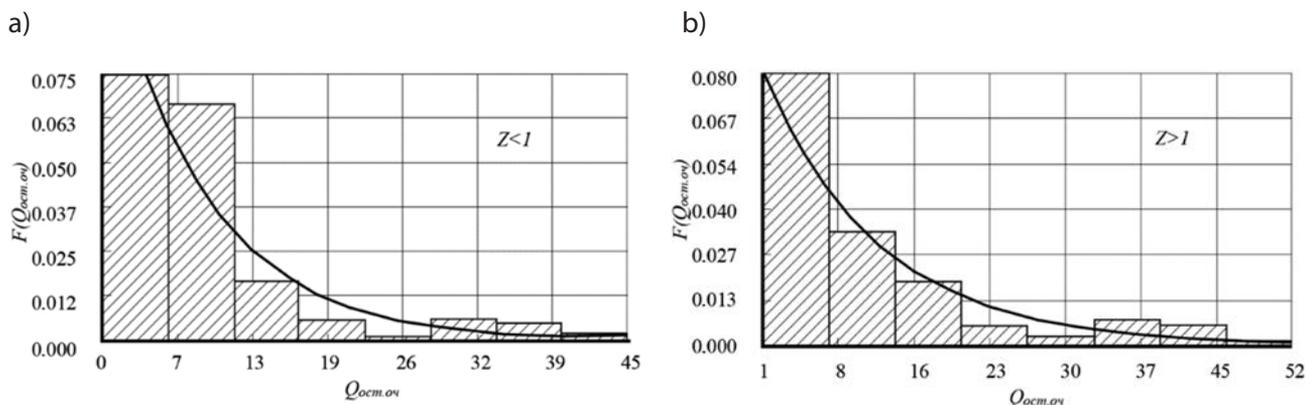


Рис. 2. Гистограммы и кривые распределения остаточной АТО при: а) $Z < 1$; б) $Z > 1$
 Fig. 2. Histograms and distribution curves of residual vehicle queue at: а) $Z < 1$; б) $Z > 1$

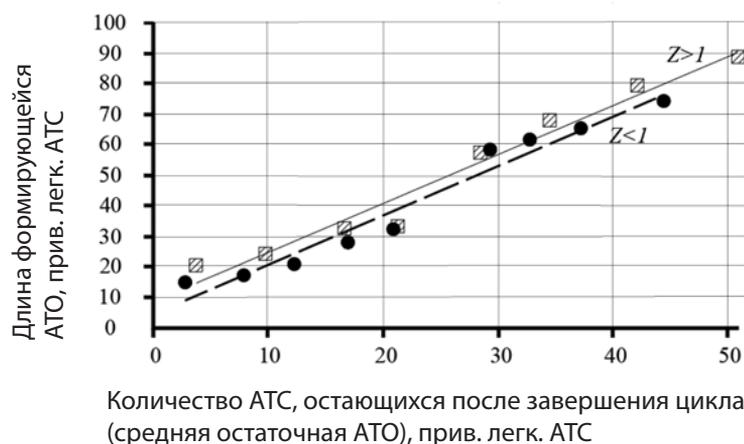


Рис. 3. Закономерность изменения длины формирующейся АТО под влиянием остаточной АТО
 Fig. 3. Regularity of change in the length of the forming queue of cars under the influence of the residual queue of cars

Таблица 3 / Table 3

Параметры модели и статистические характеристики
 Model parameters and statistical characteristics

Коэффициент загрузки	Параметры модели		Коэффициент корреляции r	Коэффициент детерминации R^2	Табличное значение критерия Стьюдента t_p	Фактическое значение критерия Стьюдента $t_{факт}$	Расчетное значение критерия Фишера F	Табличное значение критерия Фишера $F_{0.9}$
	a_1	b_1						
$Z > 1$	1.59	8.57	0.98	0.97	1.63	15.34	25.84	5.31
$Z < 1$	1.62	4.39	0.98	0.96	1.39	13.47	28.01	5.12

4. Заключение

В результате анализа полученных в ходе экспериментальных исследований более 20 регулируемых пересечений в городах РФ данных о длинах очередей из автотранспортных средств (таблицы 1–3, рис. 2, 3), установлено следующее:

1) для среднестатистического городского регулируемого пересечения минимальная необходимая вместимость ПНП составляет 9 и 5 автомобилей при коэффициенте загрузки больше и меньше 1 соответственно. Утверждение экспериментально подтверждено при условии, что доля левоповоротного транспортного потока находится в диапазоне от 8 до 21 % от общего количества транспортных средств в попутном направлении движения;

2) при увеличении остаточной АТО с 5 до 50 автомобилей величина очереди из автотранспортных средств на регулируемом пересечении в левоповоротном направлении увеличивается в 5 раз.

Установлена зависимость влияния величины остаточной АТО на процесс формирования левоповоротной очереди из автомобилей на городских регулируемых пересечениях.

Полученные результаты позволяют прогнозировать формирование очередей из АТС, что необходимо в процессе расчета циклограмм для светофорных объектов, определения требуемой длины ПНП, корректировки режимов светофорного регулирования в зависимости от существующих ПНП, применяемых на пересечениях со светофорным регулированием.

Библиографический список

1. Кадасев, Д. А. Повышение скорости движения автотранспортных потоков при оптимизации работы светофорной сигнализации методами имитационного моделирования / Д. А. Кадасев, А. И. Петросянц. – DOI 10.53015/23049235_2021_3_46. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2021. – № 3 (46). – С. 46–53.
2. Власов, А. А. Методика формирования многопрограммного управления изолированным перекрестком / А. А. Власов, И. А. Пильгейкина, И. А. Скорикова. – DOI 10.20537/2076-7633-2021-13-2-295-303. – Текст : непосредственный // Компьютерные исследования и моделирование. – 2021. – Т. 13, № 2. – С. 295–303.
3. Фишельсон, М. С. Городские пути сообщения / М. С. Фишельсон. – Москва : Высшая школа, 1980. – 296 с. – Текст : непосредственный.
4. Клишковштейн, Г. И. Организация дорожного движения : учебник для вузов / Г. И. Клишковштейн. – Москва : Транспорт, 2001. – 246 с. – Текст : непосредственный.
5. Morozov, V. Formation of the traffic flow rate under the influence of traffic flow concentration in time at controlled intersections in Tyumen, Russian Federation / V. Morozov, S. Iarkov. – DOI 10.3390/su13158324. – Текст : непосредственный // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, No. 15. – P. 8324.
6. Кременец, Ю. А. Технические средства организации дорожного движения / Ю. А. Кременец. – Москва : ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с. – Текст : непосредственный.
7. Shobha, B. S. Deep learning assisted active net segmentation of vehicles for smart traffic management / B. S. Shobha, R. Deepu. – DOI 10.1016/j.gltp.2021.08.024. – Текст : непосредственный // Global Transitions Proceedings. – 2021. – Vol. 2, No. 2. – P. 282–286.
8. Дрю, Д. Р. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Р. Дрю ; пер. с англ. Е. Г. Коваленко, Г. Д. Шермана. – Москва : Транспорт, 1972. – 424 с. – Текст : непосредственный.
9. A comparative simulator study of reaction times to yellow traffic light under manual and automated driving / R. Rossi, M. Gastaldi, F. Orsini [et al.]. – DOI 10.1016/j.trpro.2021.01.032. – Текст : непосредственный // Transportation Research Procedia. – 2021. – Vol. 52. – P. 276–283.
10. Введение в математическое моделирование транспортных потоков : учебное пособие / А. В. Гасников, С. Л. Кленов, Е. А. Нурминский [et al.] ; под ред. А. В. Гасникова. – Изд 2-е, испр. и доп. – Москва : МЦНМО, 2013. – 426 с. – ISBN 978-5-4439-0040-7. – Текст : непосредственный.
11. Левашов, А. Г. Уточнение коэффициентов приведения к легковому автомобилю для расчетов режимов регулирования / А. Г. Левашов, А. Ю. Михайлов. – Текст : непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2005. – № 1. – С. 138–143.

12. Модель Хермана-Пригожина в задачах управления дорожным движением / В. И. Колесов, А. О. Санник, Д. М. Новоселов [и др.]. – Текст : непосредственный // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 12. – С. 21–23.
13. Heterogeneous data aggregation schemes to determine traffic flow parameters in regional intelligent transportation systems / A. Sysoev, E. Khabibullina, D. Kadasev, N. Voronin. – DOI 10.1016/j.trpro.2020.03.063. – Текст : непосредственный // Transportation Research Procedia, Rome, 23–24 сентября 2019 года. – Rome, 2020. – P. 507–513.
14. Кадасев, Д. А. Повышение эффективности работы перекрестка города моделированием светофорной сигнализации / Д. А. Кадасев, К. В. Панкратова. – Текст : непосредственный // Альтернативные транспортные технологии. – 2018. – № 1 (8). – С. 110–114.
15. Морозов, Г. Н. Результаты имитационного моделирования локального расширения проезжей части в различных условиях дорожного движения / Г. Н. Морозов. – Текст : непосредственный // Организация и безопасность дорожного движения : материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Тюмень, 19 марта 2020 года. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2020. – С. 461–464.
16. Морозов, Г. Н. Определение требуемой вместимости поворотных накопительных полос в зависимости от параметра остаточной транспортной очереди / Г. Н. Морозов, В. В. Морозов. – DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-5-109-115. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – № 5 (94). – С. 109–115.
17. Морозов, Г. Н. Определение необходимой вместимости поворотных накопительных полос на городских регулируемых пересечениях / Г. Н. Морозов, В. В. Морозов. – DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-117. – Текст : непосредственный // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 1. – С. 117–125.

References

1. Kadasev, D. A., & Petrosyants, A. I. (2021). Increasing the road traffic flow speed as a result of optimizing the traffic light signaling operation by simulation methods. *Vestnik LSTU*, (3(46)), pp. 46-53. (In Russian). DOI 10.53015/23049235_2021_3_46.
2. Vlasov, A. A., Pilgeikina, I. A., & Skorikova, I. A. (2021). Method of forming multiprogram control of an isolated intersection. *Computer Research And Modeling*, 13(2), pp. 295-303. (In Russian). DOI 10.20537/2076-7633-2021-13-2-295-303.
3. Fishel'son, M. S. (1980). *Gorodskie puti soobshcheniya*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 296 p. (In Russian).
4. Klinkovshcheyn, G. I. (2001). *Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya*. Moscow, Transport Publ., 246 p. (In Russian).
5. Morozov, V., & Iarkov, S. (2021). Formation of the traffic flow rate under the influence of traffic flow concentration in time at controlled intersections in Tyumen, Russian Federation. *Sustainability*, 13(15), 8324. (In English). DOI 10.3390/su13158324.
6. Kremenets, Yu. A. (2005). *Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya*. Moscow, Akademkniga Publ., 279 p. (In Russian).
7. Shobha, B. S., & Deepu, R. (2021). Deep learning assisted active net segmentation of vehicles for smart traffic management. *Global Transitions Proceedings*, 2(2), pp. 282-286. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666285X21000522?via%3Dihub> (accessed 10.10.2023). (In English). DOI 10.1016/j.gltpr.2021.08.024.
8. Drew, D. R. (1968). *Traffic flow theory and control*. New York, St. Louis, San Francisco, Toronto, London, Sydney, Publ. MvGraw-Hill book company, 467 p. (In English).
9. Rossi, R., Gastaldi, M., Orsini, F., De Cet, G., & Meneguzzer, C. (2021). A comparative simulator study of reaction times to yellow traffic light under manual and automated driving. *Transportation Research Procedia*, 52, pp. 276-283. (In English). DOI 10.1016/j.trpro.2021.01.032.
10. Gasnikov, A. V., Klenov, S. L., Nurminskiy, E. A., Kholodov, Ya. A., & Shamray, N. B. (2013). 2nd edition, revised. Moscow, MTsNMO Publ., 426 p. (In Russian).
11. Levashov, A. G., & Mikhaylov, A. Yu. (2005). Utochnenie koeffitsientov privedeniya k legkovomu avtomobilyu dlya raschetov rezhimov regulirovaniya. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*, (1), pp. 138-143. (In Russian).
12. Kolesov, V. I., Sannik, A. O., Novoselov, D. M., Gulyaev, M. L., & Morozov, V. V. (2016). Model' Khhermana-Prigozhina v zadachakh upravleniya dorozhnym dvizheniem. *Avtotransportnoe predpriyatie*, (12), pp. 21-21. (In Russian).
13. Sysoev, A., Khabibullina, E., Kadasev, D., & Voronin, N. (2020). Heterogeneous data aggregation schemes to determine traffic flow parameters in regional intelligent transportation systems. *Transportation Research*

Procedia, Rome, Septemder, 23-24, 2019. Rome, Publ. Elsevier B. V., pp. 507-513. (In English). DOI 10.1016/j.trpro.2020.03.063.

14. Kadasev, A. D., & Pankratova, K. V. (2018). Increase of efficiency of work of city cross-cutting modeling of light-phone signaling. *Al'ternativnye transportnye tekhnologii*, (1(8)), pp. 110-114. (In Russian).
15. Morozov, G. N. (2020). Rezul'taty imitatsionnogo modelirovaniya lokal'nogo rasshireniya proezzhey chasti v razlichnykh usloviyakh dorozhnogo dvizheniya. *Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya : materialy XIII Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*, Tyumen, March, 19, 2020. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., pp. 461-464. (In Russian).
16. Morozov, G. N., & Morozov, V. V. (2022). Determination of the required volume of turn-accumulative lanes depending on the parameter of the residual transport queue. *Bulletin of Civil Engineers*, (5(94)), pp. 109-115. (In Russian). DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-5-109-115.
17. Morozov, G. N., & Morozov, V. V. (2022). Determining the required capacity of turn-storage lanes at urban controlled intersections. *Intellect. Innovations. Investments*, (1), pp. 117-125. (In Russian). DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-117.

Сведения об авторах

Морозов Георгий Николаевич, канд. техн. наук, главный инженер-проектировщик ООО «Дорожный консалтинг», e-mail: morgn11@yandex.ru

Морозов Вячеслав Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры транспортных и технологических систем, Тюменский индустриальный университет, e-mail: morozov1990_72@mail.ru. ORCID 0000-0001-6840-1247

Фадюшин Алексей Александрович, канд. техн. наук, ассистент кафедры эксплуатация автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, e-mail: fadyush72@gmail.com. ORCID 0000-0001-7276-4315

Мерданов Шахбуба Магомедкеримович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой транспортных и технологических систем, Тюменский индустриальный университет, e-mail: merdanovsm@tyuiu.ru

Information about the authors

Georgiy N. Morozov, Cand. Sc. in Engineering, Chief Engineer of LLC "Road Consulting", e-mail: morgn11@yandex.ru

Viacheslav V. Morozov, Cand. Sc. in Engineering, Associate Professor at the Department of Transport and Technological Systems, Industrial University of Tyumen, e-mail: morozov1990_72@mail.ru. ORCID 0000-0001-6840-1247

Alexey A. Fadyushin, Cand. Sc. in Engineering, Assistant at the Department of Road Transport Operation, Industrial University of Tyumen, e-mail: fadyush72@gmail.com. ORCID 0000-0001-7276-4315

Shakhbuba M. Merdanov, D. Sc. in Engineering, Professor, Head at the Department of Transport and Technological Systems, Industrial University of Tyumen, e-mail: merdanovsm@tyuiu.ru