

Научная статья

DOI: 10.15593/24111678/2024.01.05

УДК 656.1

М.Г. Бояршинов^{1,2}, А.С. Вавилин¹¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Российская Федерация²Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации,
Пермь, Российская Федерация

ВЕРИФИКАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАТОРА НА Т-ОБРАЗНОМ РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕСЕЧЕНИИ

Представлены результаты исследования введенного авторами количественного показателя транспортного затора и критерия формирования заторной ситуации на примере Т-образного пересечения, характерного для улично-дорожной сети г. Перми. Для построения показателя используется операция осреднения с использованием «скользящего окна» продолжительности движения отдельных автомобилей в случайном потоке транспорта, детерминированные характеристики случайной величины – продолжительности движения отдельных автомобилей транспортного потока между рубежами контроля. Исходные данные для статистической обработки получены с помощью аппаратно-программных комплексов фиксации нарушений правил дорожного движения, установленных на рассматриваемом участке городской улично-дорожной сети. Установлены рациональные параметры «скользящего окна» (ширина и сдвиг), обеспечивающие приемлемое структурирование изучаемой функции – показателя транспортного затора. Наблюдение за транспортным потоком, рассматриваемом на Т-образном перекрестке, выполнялось в течение января-февраля 2023 г. Это позволило с использованием предложенного авторами критерия образования транспортных заторов выявить проблемные направления с точки зрения опасности образования заторных ситуаций в период наблюдения. Определены особенности эволюции предзаторных ситуаций. Предложенный количественный показатель транспортного затора целесообразно использовать для оценки эффективности светофорного регулирования на улично-дорожной сети г. Перми.

Ключевые слова: транспортный затор, транспортный поток, продолжительность движения.

M.G. Boyarshinov^{1,2}, A.S. Vavilin¹¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation²Perm Military Institute of the National Guard Troops, Perm, Russian Federation

VERIFICATION OF THE TRAFFIC CONGESTION INDICATOR AT THE T-SHAPED REGULATED INTERSECTION

This paper presents the results of a study of the traffic congestion indicator introduced by the authors and the criterion for the formation of a congestion situation on the example of an X-shaped intersection characteristic of the Perm city road network. To construct the indicator, an averaging operation is used using a "sliding window" of the movement duration of individual cars in a random flow of transport deterministic characteristics of a random variable – the movement duration of individual cars of the traffic flow between the control points. The initial data for statistical processing were obtained using hardware and software complexes for fixing of the traffic rules violations placed on the considered section of the urban road network. Rational parameters of the "sliding window" (width and shift) have been determined, providing an acceptable structuring of the studied function – the traffic congestion indicator. Monitoring of the traffic flow at the considered X-shaped intersection was carried out during February and March 2023. This made it possible, using the criterion of traffic congestion formation proposed by the authors, to identify a few of congestion's hypothetical situations during the observation period. The duration of mentioned situations and the features of the evolution of congestion may be determined. It is possible to use the proposed traffic congestion indicator to assess the effectiveness of traffic light regulation on the Perm city road network.

Keywords: traffic congestion, traffic flow, movement duration.

Введение

Причинами образования транспортных заторов являются общий рост числа автомобилей [1], дорожно-транспортные происшествия [2], уменьшение пропускной способности дороги [3], повышение плотности автомобилей на участке дороги [4], увеличение грузового автомобильного парка и объема перевозок [5], наличие нерегулируемых пересечений, въездов и пешеходных переходов [6], установка светофоров с большим количеством фаз [7], строительные-ремонтные работы [8], человеческий фактор [9] и другие.

Предварительные исследования потоков автомобилей на улично-дорожной сети крупного города [10; 11] показали целесообразность исследования транспортных заторов с использованием аппарата математической статистики. В настоящей работе с использованием методики [12; 13] выполняется проверка количественного показателя транспортного затора, использующая детерминированную оценку случайных величин продолжительности движения отдельных автомобилей в случайном транспортном потоке между рубежами контроля. Исходными данными для настоящего исследования является информация, поступающая с аппаратно-программных комплексов фиксации нарушений правил дорожного движения, установленных на улично-дорожной сети.

Для определения продолжительности движения отдельных автомобилей в транспортном потоке между двумя рубежами контроля используется операция осреднения со «скользящим окном» шириной Δ и сдвигом на заданный шаг δ по времени наблюдения:

$$T_{cpj} = T_{cp}(t_j) = \frac{1}{n} \sum_{\tau \in [t_j - \Delta/2, t_j + \Delta/2]} T_d(\tau), \quad (1)$$

где $t_j, t_{j+1} = t_j + \delta$ – два последовательных момента времени, зафиксированных на начальном рубеже; Δ – интервал осреднения; δ – шаг по времени сдвига окна осреднения; n – количество автомобилей, зафиксированных за период $[t_j - \Delta/2, t_j + \Delta/2]$.

По слагаемым временного ряда T_{cpj} , определяемым в течение всего времени наблюдения, определяются установившаяся (для данного участка дороги) средняя продолжительность движения

$$T_{cp}^{уст} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m T_{cpj} \quad (2)$$

и среднеквадратичное отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (T_{cpj} - T_{cp}^{уст})^2} \quad (3)$$

величин T_{cpj} от среднего значения $T_{cp}^{уст}$ на промежутке времени наблюдения за движением потока автомобилей между рубежами контроля.

Величины, определенные соотношениями (2) и (3), применяются для выявления этапов формирования транспортного затора:

$T_{cpj}(t) \leq T_{cp}^{уст} + \sigma$ – транспортный затор отсутствует;

$T_{cp}^{уст} + \sigma < T_{cpj}(t) \leq T_{cp}^{уст} + 2\sigma$ – существует опасность формирования транспортного затора;

$T_{cp}^{уст} + 2\sigma < T_{cpj}(t) \leq T_{cp}^{уст} + 3\sigma$ – необходимо принимать меры по предупреждению (ликвидации) транспортного затора;

$T_{cpj}(t) > T_{cp}^{уст} + 3\sigma$ – транспортный затор сформировался.

Результаты обработки данных натуральных наблюдений

На рис. 1 изображено Т-образное регулируемое пересечение улицы Крупской и улицы Уральской (г. Пермь). Наблюдения за движением транспорта проводились в период с 15 января по 22 февраля 2023 г.: направление движения 1 – «Северная дамбы – улица Крупской»; 2 – «улица Уральская» (от Северной дамбы до улицы Землячки); 3 – «улица Уральская» (от улицы Землячки до Северной дамбы), направление 4 – «улица Землячки – улица Крупской», направление 5 – «улица Крупской – улица Землячки», направление 6 – «улица Крупской – Северная дамба».

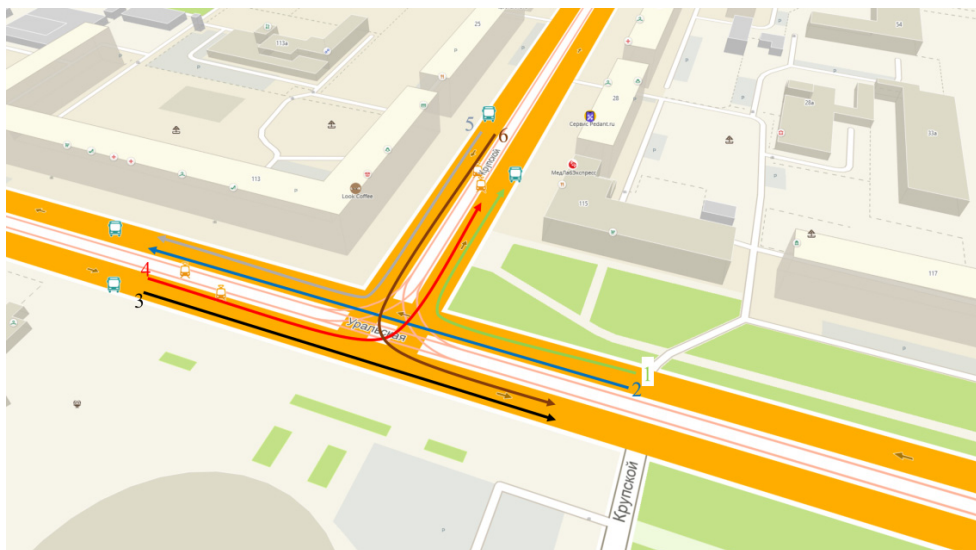


Рис. 1. Т-образное регулируемое пересечение улицы Крупской и улицы Уральской (г. Пермь); стрелками и цифрами указаны анализируемые направления движения; разработано с использованием ресурсов 2GIS¹

На рис. 2 представлены результаты вычисления зависимости осредненных продолжительностей T_{cpj} движения транспортных средств от времени t , вычисленных с разными интервалами Δ осреднения и временном сдвиге $\delta = 1$ мин, при движении в направлении 3 «улица Уральская» (от улицы Землячки до Северной дамбы, см. рис. 1) по данным за 16 февраля 2023 г.

Распределения осредненных значений продолжительности T_{cpj} движения автомобилей в транспортном потоке на Т-образном пересечении при интервале осреднения, равном 1 мин, показывает, что распределение анализируемой величины T_{cpj} выглядит хаотично (см. рис. 2, а), изменяясь в течение суток в диапазоне от 59 до 3081 с. Среднее суточное значение $T_{cp}^{уст} = 193,1$ с, среднеквадратичное отклонение $\sigma = 293,7$ с. Структура распределения осредненной продолжительности T_{cpj} хаотична, не выявляется. Количество значений T_{cpj} , превышающих пороговую величину $T_{cp}^{уст} + \sigma$, составляет 1,9 %, выше $T_{cp}^{уст} + 2\sigma$ расположены 1,2 % значений T_{cpj} , и выше $T_{cp}^{уст} + 3\sigma$ – менее 0,8 % всех расчетных значений T_{cpj} .

Увеличение интервала осреднения до 5 мин (см. рис. 2, б) приводит к незначительному сужению диапазона значений $T_{cpj} \in [63, 3081]$. Распределение анализируемой величины в меньшей степени хаотично, однако структура распределения T_{cpj} выявляется неудовлетворительно. Среднее суточное значение $T_{cp}^{уст} = 214,4$ с, среднеквадратичное отклонение $\sigma = 317,4$ с. Количество значений T_{cpj} , превышающих пороговую величину $T_{cp}^{уст} + \sigma$, составляет 2,3 %, выше

¹ 2GIS [Электронный ресурс] // ООО «ДубльГИС». – URL: <https://2gis.ru/perm> (дата обращения: 20.02.2023).

$T_{\text{ср}}^{\text{уст}} + 2\sigma$ расположены 1,2 % значений $T_{\text{ср}j}$, и выше $T_{\text{ср}}^{\text{уст}} + 3\sigma$ – не более 0,6 % всех расчетных значений $T_{\text{ср}j}$.

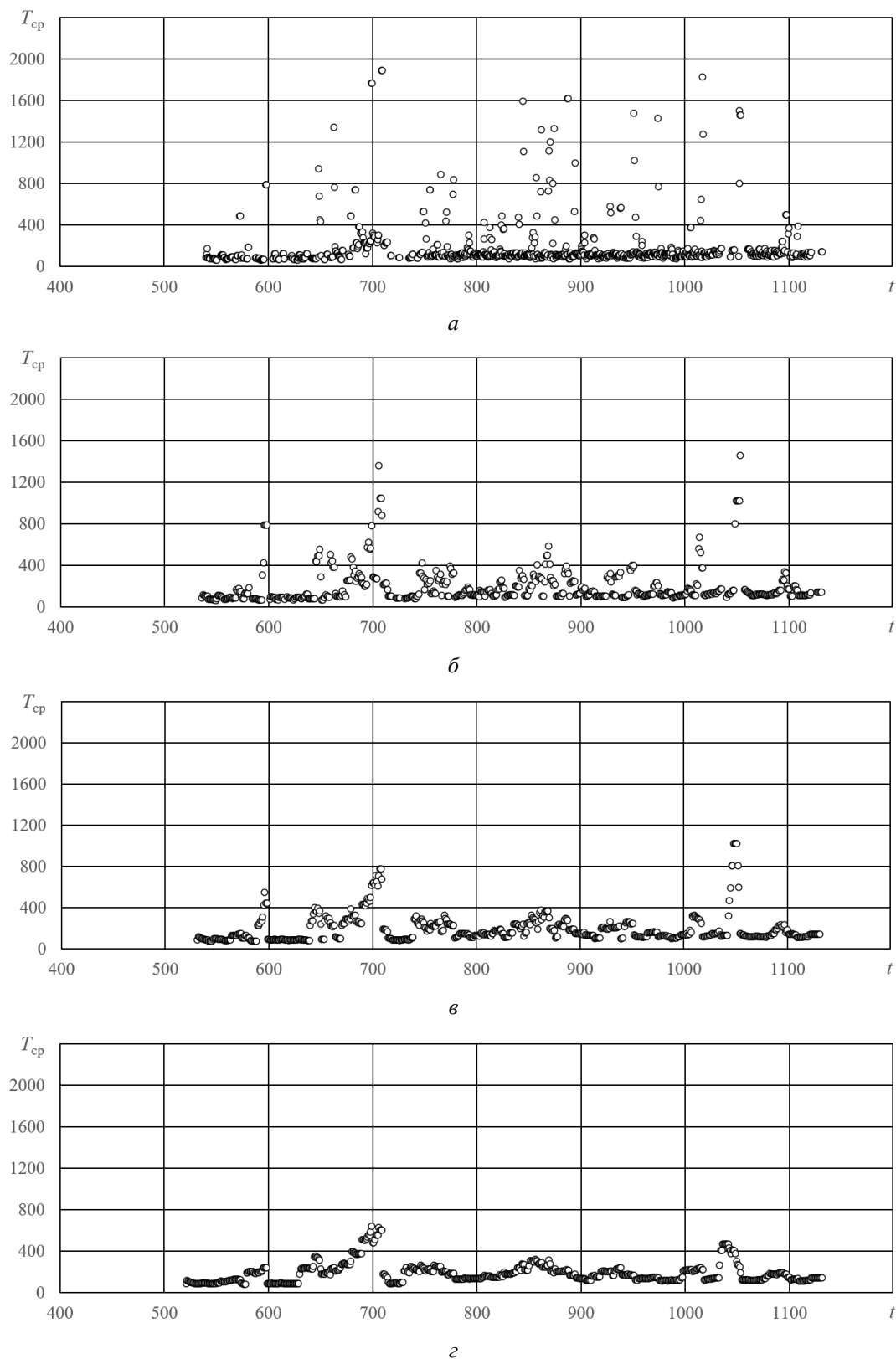


Рис. 2. Продолжительности $T_{\text{ср}}$ (с) движения автомобилей с интервалами осреднения $\Delta = 1$ мин (а), $\Delta = 5$ мин (б), $\Delta = 10$ мин (в) и $\Delta = 20$ мин (г); направление 3 – «улица Уральская» (от улицы Землячки до Северной дамбы) (см. рис. 1); период наблюдения 16 февраля 2023 г.

Интервал осреднения 10 мин (см. рис. 2, в) сокращает диапазон значений, $T_{cpj} \in [71; 3081]$. Распределение анализируемой величины структурируется, среднее суточное значение $T_{cp}^{уст}$ и среднеквадратичное отклонение σ увеличиваются до 237,1 и 391,5 с соответственно. Количество значений T_{cpj} , превышающих пороговую величину $T_{cp}^{уст} + \sigma$, составляет 2,1 %, выше $T_{cp}^{уст} + 2\sigma$ расположены 0,9 % значений T_{cpj} , и выше $T_{cp}^{уст} + 3\sigma$ – также 0,8 % всех расчетных значений T_{cpj} .

Интервал осреднения 20 мин (см. рис. 2, г) дополнительно сужает диапазон значений до $T_{cpj} \in [81; 3081]$. Распределение анализируемой величины хорошо структурировано, среднее суточное значение $T_{cp}^{уст} = 280,4$ с и среднеквадратичное отклонение $\sigma = 516,6$ с. Количество значений T_{cpj} , превышающих пороговую величину $T_{cp}^{уст} + \sigma$, составляет 1,9 %, выше $T_{cp}^{уст} + 2\sigma$ расположены 1,7 % значений T_{cpj} , и выше $T_{cp}^{уст} + 3\sigma$ – менее 1,6 % всех расчетных значений T_{cpj} .

Поскольку во всех случаях, представленных на рис. 2, критериальное значение $T_{cp}^{уст} + 3\sigma$ превышают не более 1,7 % значений T_{cpj} , следует сделать вывод, что 16 февраля 2023 г. на рассматриваемом Т-образном пересечении дорог по направлению 3 «улица Уральская» (от улицы Землячки до Северной дамбы) транспортный затор отсутствует.

Анализ осредненных продолжительностей T_{cpj} движения транспортных средств (см. рис. 2) показывает, что увеличение интервала осреднений с 1 до 20 мин приводит к незначительному сокращению суточного диапазона изменения T_{cpj} с $[59; 3081]$ до $[81; 3081]$. В то же время увеличение интервала осреднения позволяет выявить структуру зависимости от времени наблюдения распределения осредненных значений продолжительности T_{cpj} движения автомобилей в транспортном потоке. Результаты проведенного анализа для выполнения исследования этапов транспортного затора показывают, что при проведении расчетов следует использовать промежуточный интервал Δ осреднения, равный 10 мин.

На рис. 3 показаны зависимости от времени t наблюдения осредненных продолжительностей T_{cpj} движения автомобилей в транспортном потоке на Т-образном пересечении «улица Уральская – улица Крупской» (см. рис. 1) по направлению 1 «Северная дамба – улица Крупской», направлению 2 «улица Уральская» (от Северной дамбы до улицы Землячки) и направлению 3 «улица Уральская» (от улицы Землячки до Северной дамбы) в течение периода наблюдения 22 февраля 2023 года. На рис. 4 представлены зависимости от времени t наблюдения осредненных продолжительностей T_{cpj} на том же Т-образном пересечении по направлению 4 «улица Землячки – улица Крупской», направлению 5 «улица Крупской – улица Землячки» и направлению 6 «улица Крупской – Северная дамба» за тот же период наблюдения.

Изучение и анализ данных на рис. 3 и 4 показывают, что на рассмотренном регулируемом пересечении для направления движения 1 распределение осредненных продолжительностей T_{cpj} является неструктурированным (хаотичным, рис. 3, а) и слабоструктурированным на направлениях 4, 5 и 6 (см. рис. 4). На направлениях 2 и 3 (см. рис. 3, б и в) распределения осредненных продолжительностей структурированы отчетливо.

Диапазоны T_{cp}^{\min} и T_{cp}^{\max} изменения значений T_{cpj} в течение суток наблюдения, средние суточные значения $T_{cp}^{уст}$, среднеквадратичные отклонения σ от средних значений, а также показатели относительного количества значений T_{cpj} , превышающих пороговые величины $T_{cp}^{уст} + \sigma$, $T_{cp}^{уст} + 2\sigma$ и $T_{cp}^{уст} + 3\sigma$, приведены в таблице.

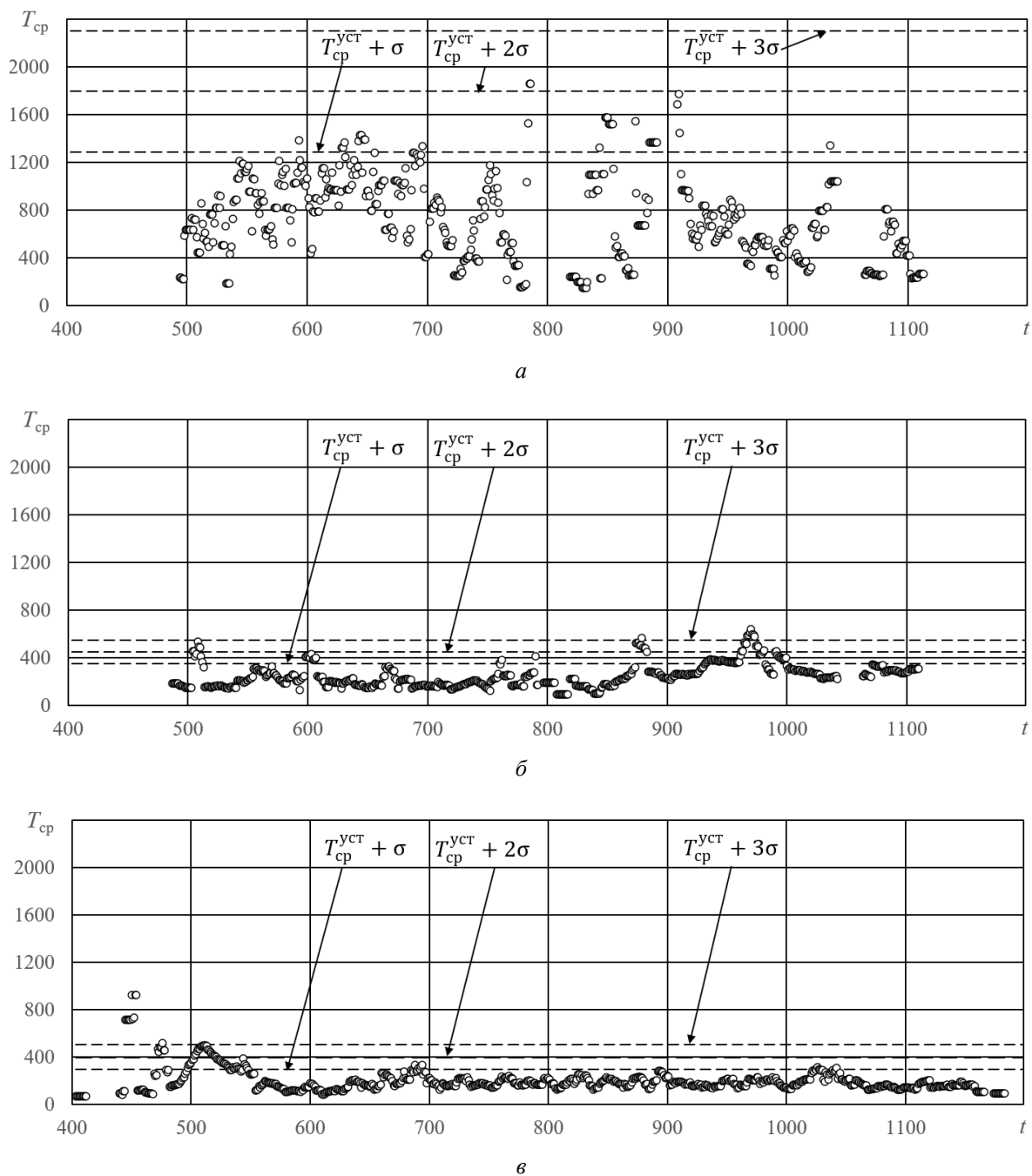


Рис. 3. Осредненные продолжительности T_{cpj} (с) движения автомобилей;
 а – направление движения 1 «Северная дамба – улица Крупской»; б – направление движения 2
 «улица Уральская» (от Северной дамбы до улицы Землячки); в – направление движения 3
 «улица Уральская» (от улицы Землячки до Северной дамбы) (см. рис. 1);
 период наблюдения 22 февраля 2023 г.

Минимальные величины осредненных продолжительностей T_{cpj} движения автомобилей в случайном транспортном потоке принимают значения от 67 с («улица Уральская», от улицы Землячки до Северной дамбы) до 273 с («улица Крупской – Северная дамба»), максимальные величины T_{cpj} заключены в пределах от 641 с («улица Уральская», от Северной дамбы до улицы Землячки) до 3569 с («улица Землячки – улица Крупской»). Средние суточные величины $T_{cp}^{уст}$ для временных рядов T_{cpj} принимают значения от 194,3 с («улица Уральская», от улицы Зем-

лячки до Северной дамбы) до 778,6 с («Северная дамба – улица Крупской»), среднеквадратичные отклонения σ заключены в пределах от 99,1 с («улица Уральская», от Северной дамбы до улицы Землячки) до 508,0 с («Северная дамба – улица Крупской»).

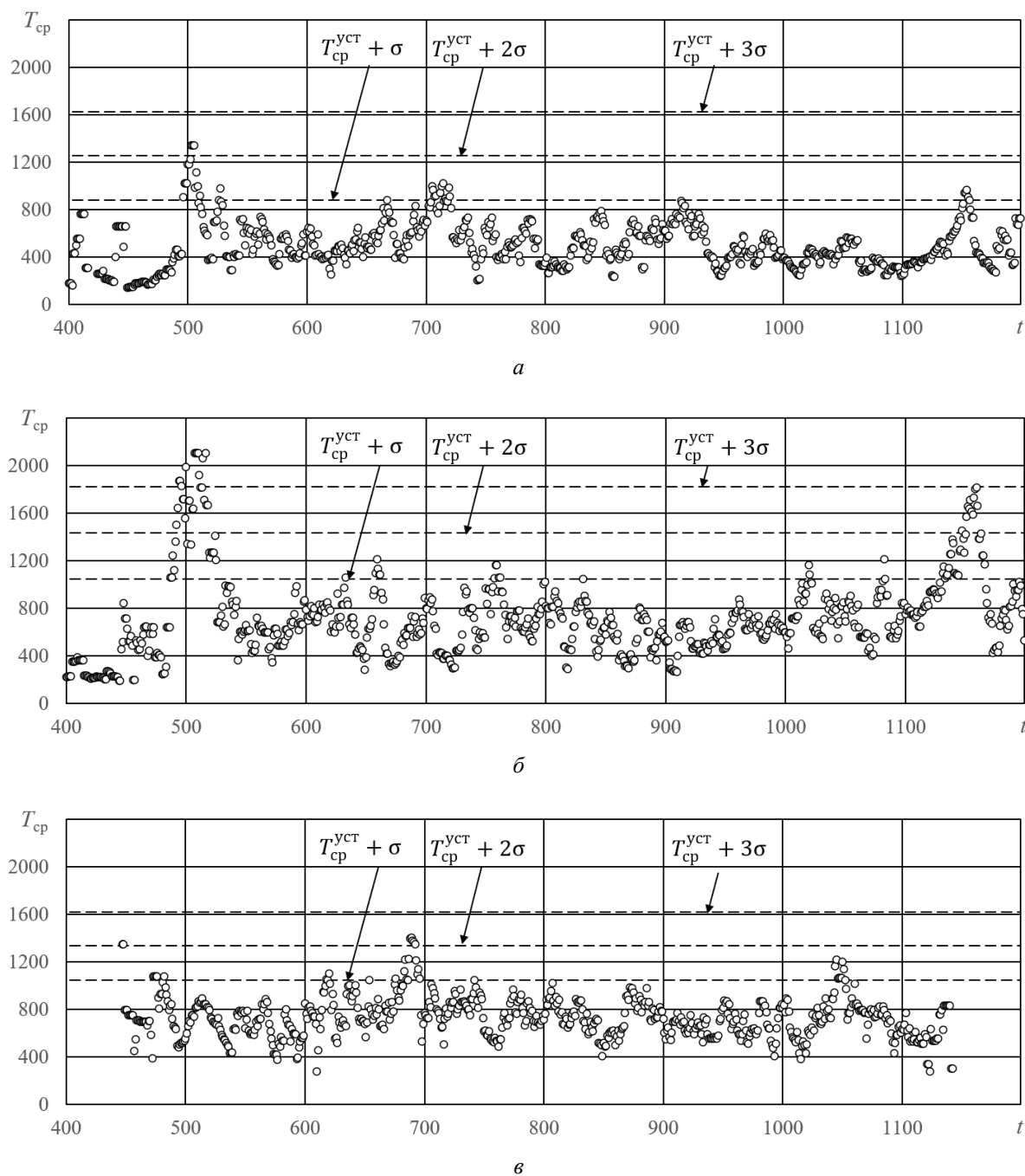


Рис. 4. Осредненные продолжительности T_{cp} (с) движения автомобилей;
 а – направление движения 4 «улица Землячки – улица Крупской»; б – направление движения 5 «улица Крупской – улица Землячки»; в – направление движения 6 «улица Крупской – Северная дамба» (см. рис. 2, в); период наблюдения 22 февраля 2023 г.

Показатели осредненных продолжительностей T_{cpj} движения автомобилей в транспортных потоках на Т-образном пересечении улицы Уральской и улицы Крупской (г. Пермь) 22 февраля 2023 г.

Направление	Пересечение улиц	T_{cp}^{min} , с	T_{cp}^{max} , с	$T_{cp}^{уст}$, с	σ , с	Превышение критерия, %		
						$T_{cp}^{уст} + \sigma$	$T_{cp}^{уст} + 2\sigma$	$T_{cp}^{уст} + 3\sigma$
1	Северная дамба – улица Крупской	143	3540	778,6	508,0	3,9	1,3	1,2
2	«улица Уральская» (от Северной дамбы до улицы Землячки)	90	641	249,5	99,1	7,7	2,7	0,7
3	«улица Уральская» (от улицы Землячки до Северной дамбы)	67	924	194,3	102,5	5,8	2,9	0,9
4	улица Землячки – улица Крупской	121	3569	511,4	371,1	5,6	2,3	1,3
5	улица Крупской – улица Землячки	116	2309	661,4	386,0	10,5	4,8	1,3
6	улица Крупской – Северная дамба	273	2681	759,3	286,5	3,6	1,4	0,8

Первое пороговое значение $T_{cp}^{уст} + \sigma$ не превышает 10,5 % от всех значений T_{cpj} , определенных для каждого из рассматриваемых направлений движения. Второе пороговое значение $T_{cp}^{уст} + 2\sigma$ превышает не более 4,8 % от всех значений осредненных продолжительностей T_{cpj} для каждого из направлений движения. Превышение третьего порогового значения $T_{cp}^{уст} + 3\sigma$ зафиксировано не более чем у 1,3 % от всех значений T_{cpj} на каждом из направлений движения на Т-образном пересечении.

Анализ рис. 3 и 4 показывает, что практически для всех направлений движения пиковые значения осредненных продолжительностей T_{cpj} не превышают критического значения $T_{cp}^{уст} + 3\sigma$ (за исключением показанных на рис. 3, б, в, и рис. 4, б). Поскольку на направлениях 2 и 5 (см. рис. 3, б и рис. 4, б) осредненные продолжительности T_{cpj} принимают значения, достигающие и незначительно превышающие критические значения $T_{cp}^{уст} + 3\sigma$, имеют локальный (кратковременный) характер, эти факты не означают длительных задержек движения значительного количества автомобилей и, по-видимому, не должны быть квалифицированы как транспортные заторы. Следовательно, на Т-образном пересечении улицы Уральской и улицы Крупской заторная ситуация 22 февраля 2023 г. не зафиксирована.

Заключение

Данные стационарных программно-аппаратных комплексов фото- и видеofиксации нарушений правил дорожного движения, установленные на городской улично-дорожной сети, позволяют получать достоверную информацию о параметрах движения каждого автомобиля в случайном транспортном потоке в режиме реального времени. Начало формирования заторной ситуации сопровождается увеличением осредненной продолжительности движения транспортных средств на исследуемом участке. Выполнен анализ этого показателя на Т-образном регулируемом пересечении, характерном для г. Перми. Значительный объем данных позволил провести проверку работоспособности показателя и критерия образования заторов автомобилей, который может явиться основой для разработки механизма предупреждения диспетчеров дорожных служб в режиме реального времени о возможном воз-

никновении заторной ситуации на дорогах и необходимости принятия оперативных мер по предотвращению и устранению скопления транспорта. Использование предложенного критерия заторной ситуации показывает удовлетворительные условия функционирования рассмотренного регулируемого пересечения.

Представляется перспективным использование разработанного подхода для разработки научно обоснованных средств прогнозирования и долгосрочного планирования, обоснования и принятия управленческих решений о превентивных мерах по устранению условий образования транспортных заторов.

Список литературы

1. Обследование городской транспортной сети с применением измерительного комплекса / А.С. Евтеева, К.П. Андреев, А.В. Шемякин, В.В. Терентьев // Транспортное дело России. – 2018. – № 1. – С. 132–134.
2. Kumar, P. Smart and Safety Traffic System for the Vehicles on the Road / P. Kumar, S.V. Kumar, L. Priya // IoT with Smart Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies. Springer, Singapore. – 2023. – Vol. 312. – DOI: 10.1007/978-981-19-3575-6_51.
3. Корнев, А.В. Транспортные заторы. Варианты решения проблемы / А.В. Корнев, С.С. Шабуров // Молодежный вестник ИРГТУ. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 58–63.
4. Black, W.R. Transportation: A geographical analysis / W.R. Black. – New York: The Guilford Press, 2003. – 408 p.
5. Sathiyaraj, R. An efficient intelligent traffic light control and deviation system for traffic congestion avoidance using multiagent system / R. Sathiyaraj, A. Bharathi // Transport. – 2020. – Vol. 35, no. 3. – P. 327–335. – DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11115>.
6. Басков, В.Н. Зависимость риска возникновения транспортного затора от параметров транспортного потока / В.Н. Басков, А.В. Игнатов // Концепт: научно-методический электронный журнал. – 2015. – № Т35. – С. 1–5.
7. Андронов, Р.В. Понятие затора и формирование очередей на регулируемом пересечении в условиях плотного транспортного потока / Р.В. Андронов, Б.П. Елькин, Д.А. Гензе // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 1. – С. 39–41.
8. Modelling urban route transport network parameters with traffic, demand and infrastructural limitations being considered / A. Kazhaev, Z. Almetova, V. Shepelev, K. Shubenkova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – 177. – 012018. – DOI: 10.1088/1755-1315/177/1/012018.
9. Басков, В.Н. Влияние поведенческого фактора водителя на образование транспортного затора / В.Н. Басков, Д.А. Красникова, Е.И. Исаева // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17, № 4 (83). – С. 272–281.
10. Boyarshinov, M.G. The deterministic component of the traffic flow intensity / M.G. Boyarshinov, A.S. Vavilin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Conference: Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2020) 27th-29th October 2020, Saint-Petersburg, Russian Federation. – 2021. – Vol. 1111. – P. 012013 (10 p). – DOI: 10.1088/1757-899X/1111/1/012013.
11. Бояршинов, М.Г. Использование комплекса фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения для выделения детерминированной и стохастической составляющих интенсивности транспортного потока / М.Г. Бояршинов, А.С. Вавилин, А.Г. Шумков // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 3. – С. 61–71. – DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-61.
12. Бояршинов, М.Г. Характеристики транспортного затора на основе данных системы фото- и видеофиксации / М.Г. Бояршинов, А.С. Вавилин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 3. – С. 83–106. DOI: 10.25198/2077-7175-2023-3-83.
13. Бояршинов, М.Г. Верификация показателя транспортного затора на X-образном регулируемом пересечении / М.Г. Бояршинов, А.С. Вавилин // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 4. – С. 25–42. DOI: 10.15593/24111678/2023.04.03.

References

1. Evteeva A.S. et al. *Obsledovanie gorodskoj transportnoj seti s primeneniem izmeritel'nogo kompleksa* [Survey of the urban transport network using a measuring complex] // *Transportnoe delo Rossii*. – 2018. – N1. – Pp. 132-134.
2. Kumar P. *Smart and Safety Traffic System for the Vehicles on the Road* / P. Kumar, V. Kumar S., L. Priya // *IoT with Smart Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies*. Springer, Singapore. – 2023. – Vol. 312. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3575-6_51.
3. Kornev A.V., Shaburov S.S. *Transportnye zatory. Varianty resheniya problemy* [Traffic congestion. Solutions to the problem] // *Molodezhnyj vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. – 2021. – Vol. 11. – N1. – Pp. 58-63.
4. Black W.R. *Transportation: A geographical analysis* / W.R. Black. – New York: The Guilford Press, 2003. – 408 p.
5. Sathiyaraj R., Bharathi A. *An efficient intelligent traffic light control and deviation system for traffic congestion avoidance using multiagent system* // *Transport*. – 2020. – Vol.35, No.3. – Pp. 327–335. – DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11115>.
6. Baskov V.N., Ignatov A.V. *Zavisimost' riska vozniknoveniya transportnogo zatora ot parametrov transportnogo potoka* [Dependence of the risk of traffic congestion on the parameters of the traffic flow] // *Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal Koncept*. – 2015. – Vol.35. – Pp. 1-5.
7. Andronov R.V., El'kin B.P., Genze D.A. *Ponyatie zatora i formirovanie ocheredej na reguliruemom peresechenii v usloviyah plotnogo transportnogo potoka* [The concept of congestion and the formation of queues at a regulated intersection in conditions of dense traffic flow] // *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya*. – 2015. – N1. – Pp. 39-41.
8. Kazhaev A. et al. *Modelling urban route transport network parameters with traffic, demand and infrastructural limitations being considered* // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2018. – 177. – 012018. – DOI: [10.1088/1755-1315/177/1/012018](https://doi.org/10.1088/1755-1315/177/1/012018).
9. Baskov V.N., Krasnikova D.A., Isaeva E.I. *Vliyanie povedencheskogo faktora voditelya na obrazovanie transportnogo zatora* [The influence of the driver's behavioral factor on the formation of traffic congestion] // *Mir transporta*. – 2019. – Vol.17. – N4 (83). – Pp. 272-281.
10. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S. *The deterministic component of the traffic flow intensity* // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Conference: Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2020) 27th-29th October 2020, Saint-Petersburg, Russian Federation*. – 2021. – 1111. – 012013 (10 p). – DOI: [10.1088/1757-899X/1111/1/012013](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1111/1/012013).
11. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S., Shumkov A.G. *Ispol'zovanie kompleksa fotovideofiksacii narushenij pravil dorozhnogo dvizheniya dlya vydeleniya determinirovannoj i stohasticheskoj sostavlyayushchih intensivnosti transportnogo potoka* [The use of a complex of photovideofixation of traffic violations to identify deterministic and stochastic components of traffic flow intensity] // *Intellekt. Innovacii. Investicii*. 2021. N3. P. 61 71. – DOI: [10.25198/2077-7175-2021-3-61](https://doi.org/10.25198/2077-7175-2021-3-61).
12. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S. *Harakteristiki transportnogo zatora na osnove dannyh sistemy foto- i videofiksacii* [Characteristics of the traffic jam based on the data of the photo and video recording system] // *Intellekt. Innovacii. Investicii*. – 2023. – N3. – Pp. 83-106. – DOI: doi.org/10.25198/2077-7175-2023-3-83.
13. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S. *Verifikaciya pokazatelya transportnogo zatora na X-obraznom reguliruemom peresechenii* [Verification of the traffic congestion indicator at a X-shaped regulated intersection] // *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. – 2023. – N4. – Pp. 25-42. – DOI: [10.15593/24111678/2023.04.03](https://doi.org/10.15593/24111678/2023.04.03).

Об авторах

Бояршинов Михаил Геннадьевич (Пермь, Российская Федерация) – доктор технических наук, профессор, почетный работник ВПО РФ, действительный член РАТ, профессор кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета; профессор кафедры «Общественные дисциплины» Пермского военного института войск Национальной гвардии РФ (Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: mgboyarshinov@pstu.ru), SPIN: 5958-2345, AuthorID: 79853, ORCID: 0000-0003-4473-6776, ResearcherID: ACE-0166-2022, ColabID: R-38610-17352-TA83O, SC: 6506008407, Google Scholar: Y4AT3SUA AAAJ.

Вавилин Александр Сергеевич (Пермь, Российская Федерация) – аспирант кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vavilin@tbdd.ru), AuthorID: 566592, ORCID: 0000-0003-4473-6792.

About the authors

Mikhail G. Boyarshinov (Perm, Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor, Honorary education-
alist of the higher professional education of the Russian Federation, full member of the Russian Academy of Transport, professor of the department «Automobiles and Technological Machines» of Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: mgboyarshinov@pstu.ru); professor of the department «General Engineering Disciplines» of the Perm Military Institute of the National Guard of the Russian Federation, SPIN:

5958-2345, AuthorID: 79853, ORCID: 0000-0003-4473-6776, ResearcherID: ACE-0166-2022, ColabID: R-38610-17352-TA83O, SC: 6506008407, Google Scholar: Y4AT3SUAAAAJ

Alexander S. Vavilin (Perm, Russian Federation) – postgraduate student of the department «Automobiles and Technological Machines» of Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: vavilin@tbdd.ru), AuthorID: 566592, ORCID: 0000-0003-4473-6792

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад автора равноценен.

Поступила: 20.12.2023

Одобрена: 27.12.2023

Принята к публикации: 17.05.2024

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Бояршинов, М.Г. Верификация показателя транспортного затора на Т-образном регулируемом пересечении / М.Г. Бояршинов, А.С. Вавилин // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2024. – № 1. – С. 52–62. DOI: 10.15593/24111678/2024.01.05

Please cite this article in English as: Boyarshinov M.G., Vavilin A.S. Verification of the traffic congestion indicator at the T-shaped regulated intersection. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2024, no. 1, pp. 52-62. DOI: 10.15593/24111678/2024.01.05