

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ВМЕСТИМОСТИ ПОВОРОТНО-НАКОПИТЕЛЬНЫХ ПОЛОС НА ГОРОДСКИХ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ

Г. Н. Морозов<sup>1</sup>, В. В. Морозов<sup>2</sup>

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

<sup>1</sup> e-mail: goga.post@yandex.ru

<sup>2</sup> e-mail: morozov1990\_72@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время в ходе мероприятий по организации дорожного движения в городах широко применяется метод канализирования лево- и правоповоротных транспортных потоков. Данный метод заключается в устройстве дополнительных лево- и правоповоротных накопительных полос движения на улично-дорожной сети, в особенности – на регулируемых пересечениях. Однако в современной отечественной и зарубежной научной и нормативно-технической литературе отсутствуют четкие научно-обоснованные рекомендации по применению метода канализирования транспортных потоков. Цель данной работы заключается в повышении эффективности организации дорожного движения путем канализирования транспортных потоков в поворотных направлениях на городских регулируемых пересечениях. Научная новизна исследования заключается в разработке теоретических положений о формировании транспортных очередей, определяющих вместимость переходно-накопительных полос, применяемых на городских регулируемых пересечениях для канализирования левоповоротных транспортных потоков. Также авторами предложена имитационная математическая модель, отображающая совместное влияние работы регулируемого пересечения и коэффициента загрузки в рассматриваемом направлении движения. Для получения исходных данных коэффициента загрузки применялся метод моделирования «преобразование Бокса – Муллера», в результате чего был получен необходимый диапазон значений коэффициентов загрузки при различном среднеквадратическом отклонении.

Результат обработки экспериментальных данных показал, что процесс изменения длины поворотных полос под влиянием светофорного регулирования и коэффициента загрузки описывается линейной моделью.

Разработанная модель позволит корректировать длительность светофорного регулирования в зависимости от вместимости поворотных полос таким образом, чтобы обеспечивать нахождение всех ТС, накапливающихся за общую продолжительность светофорного цикла и ожидающих движения, а также производить расчёты на стадии создания проектов организации дорожного движения (далее ОДД).

Полученные результаты также позволили определить перспективы и направления дальнейших исследований: 1) проведение натурного эксперимента для подтверждения полученных результатов исследования. Подтверждение гипотезы о подчинении коэффициента загрузки нормальному закону распределения случайной величины; 2) изучение прочих факторов, оказывающих влияние на вместимость поворотных полос: интенсивности встречного потока транспортных средств, геометрических размеров перекрестка, погодных условий и т. д.

**Ключевые слова:** поворотно-накопительная полоса, канализирование транспортных потоков, организация дорожного движения, регулируемые пересечения, коэффициент загрузки.

**Для цитирования:** Морозов Г. Н., Морозов В. В. Определение необходимой вместимости поворотно-накопительных полос на городских регулируемых пересечениях // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 1. – С. 117–125, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-1-117>.

## DETERMINING THE REQUIRED CAPACITY OF TURN-STORAGE LANES AT URBAN CONTROLLED INTERSECTIONS

G. N. Morozov<sup>1</sup>, V. V. Morozov<sup>2</sup>

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>1</sup> e-mail: goga.post@yandex.ru

<sup>2</sup> e-mail: morozov1990\_72@mail.ru

**Abstract.** Currently, in the course of measures to organize traffic in cities, the method of canalization of left- and right-turn traffic flows is widely used. This method consists in the construction of additional left- and right-turn storage lanes on the road network, especially at regulated intersections. However, in modern domestic and foreign scientific and regulatory literature, there are no clear scientifically based recommendations on the use

of the method of canalization of traffic flows. The purpose of this work is to improve the efficiency of traffic management by channeling traffic flows in turning directions at urban regulated intersections. The scientific novelty of the study lies in the development of theoretical provisions on the formation of traffic queues that determine the capacity of transition-accumulation lanes used at urban regulated intersections for canalization of left-turn traffic flows. The authors also proposed a simulation mathematical model that displays the combined effect of the work of the controlled intersection and the load factor in the considered direction of movement. To obtain the initial load factor data, the Box-Muller transformation modeling method was used, as a result of which the required range of load factor values was obtained for different standard deviations.

The result of processing the experimental data showed that the process of changing the length of the turning lanes under the influence of traffic lights and the load factor is described by a linear model.

The developed model will make it possible to adjust the duration of traffic light control depending on the capacity of the turning lanes in such a way as to ensure the presence of all vehicles that accumulate over the total duration of the traffic light cycle and are waiting for traffic, as well as to make calculations at the stage of creating traffic management projects (hereinafter referred to as RTD).

The results obtained also made it possible to determine the prospects and directions for further research: 1) conducting a full-scale experiment to confirm the results of the study. Confirmation of the hypothesis about the subordination of the load factor to the normal law of the distribution of a random variable; 2) the study of other factors that affect the capacity of headlands: the intensity of the oncoming flow of vehicles, the geometric dimensions of the intersection, weather conditions, etc.

**Key words.** local extension of the roadway, turn-accumulative line, traffic channeling, organization of road traffic, signaled crossing, road capacity, load factor.

**Cite as:** Morozov, G. N., Morozov, V. V. (2022) [Determining the required capacity of turn-storage lanes at urban controlled intersections]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 1, pp. 117–125, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-1-117>.

### Введение

Улично-дорожная сеть (далее УДС) городов Российской Федерации эксплуатируется в условиях повышенной загрузки, постоянно образующихся транспортных заторов и существенных транспортных задержек. Причинами сложившейся ситуации во многом являются высокий уровень автомобилизации, низкая адаптированность УДС по отношению к реальному транспортному спросу и несовершенство применяемых методов ОДД.

Для наиболее эффективного распределения транспортных потоков по направлениям при подходе к уличным пересечениям требуется обустройство как минимум по одной самостоятельной полосе в каждом направлении движения. В противном случае, движение транспортных средств (далее ТС)

в поворотных направлениях существенно снижает скорость движения всего потока в целом. Это вызвано тем, что у ТС, совершающих поворотный манёвр, зачастую возникает конфликтная ситуация со встречными ТС. В результате чего, процесс движения может прекратиться полностью. При этом, численное значение ТС, выполняющих поворотный манёвр в общем потоке, как правило, существенно ниже, чем ТС, движущихся в прямом направлении. Поэтому выделять отдельную полноценную полосу для движения ТС в лево- и правоповоротных направлениях зачастую нецелесообразно [12, 14, 21, 22]. Для более рациональной схемы ОДД на УДС городов возможно применение поворотно-накопительных полос (далее ПНП), пример использования которых представлен на рисунке 1.

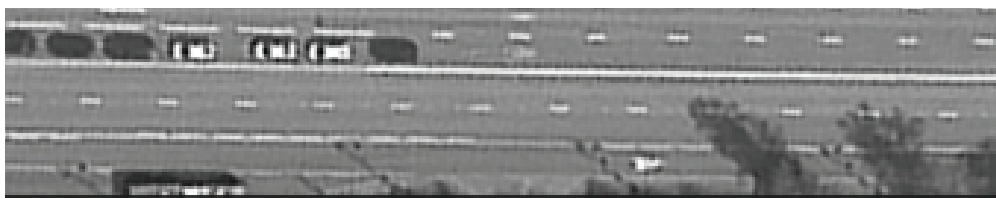


Рисунок 1. Пример организации дорожного движения с применением ПНП на регулируемом пересечении ул. Республики и ул. Холодильная в г. Тюмени

Источник: разработано Г. Н. Морозовым на основе сайта Яндекс. Карты<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Яндекс.Карты – URL: [https://yandex.ru/maps/geo/tyumen/53159416/?l=sat%2Cskl%2Cstv%2Csta&ll=65.562904%2C57.141557&p.anorama%5Bdirection%5D=118.508677%2C0.000000&panorama%5Bfull%5D=true&panorama%5Bpoint%5D=65.562667%2C57.141580&panorama%5Bspan%5D=118.556947%2C60.000000&utm\\_source=main\\_stripe\\_big&z=19](https://yandex.ru/maps/geo/tyumen/53159416/?l=sat%2Cskl%2Cstv%2Csta&ll=65.562904%2C57.141557&p.anorama%5Bdirection%5D=118.508677%2C0.000000&panorama%5Bfull%5D=true&panorama%5Bpoint%5D=65.562667%2C57.141580&panorama%5Bspan%5D=118.556947%2C60.000000&utm_source=main_stripe_big&z=19) (дата обращения: 06.11.2021).

В ранее проведённых исследованиях было выявлено, что в научно-технической литературе и нормативной документации в настоящий момент отсутствуют методики для применения ПНП [12, 14, 18, 19, 20, 23]. Поэтому в связи с вышеописанными проблемами, возникающими при организации движения на регулируемых пересечениях, актуальной является задача по определению вместимости ПНП.

#### Анализ состояния вопроса

Вопросами канализирования транспортных потоков на регулируемых пересечениях занимались многие отечественные и зарубежные авторы: М. С. Фишельсон, Г. И. Клинковштейн, Ю. А. Кременец, А. Г. Левашев, И. Н. Пугачёв, Д. Дрю, В. Kerner, F.V. Webster и др.

Описание представленного метода канализирования поворотных потоков приведена в Highway Capacity Manual 2010: «...левоповоротные полосы на перекрёстках необходимо применять для уменьшения задержек транспортных средств, осуществляющих движение в прямом направлении, а также для увеличения безопасности. Левоповоротные полосы обеспечивают место для транспортных средств, ожидающих необходимого интервала для поворота...». Тем не менее данный источник, как и другие, не содержит конкретных рекомендаций по расчёту оптимальных параметров для поворотных полос.

Необходимо отметить, что по результатам анализа научной, нормативно-правовой и нормативно-технической литературы авторам данной статьи не удалось установить однозначной трактовки этого термина. Также не установлен терминологический аппарат применительно к выделенному канализированному транспортному потоку на регулируемых пересечениях, не выявлены чёткие указания по определению параметров ПНП. В данной работе под ПНП авторами понимается дополнительная полоса перед перекрёстком, выделенная конструктивно (направляющими островками, ограждениями, расширением проезжей части и т. п. способами) или посредством разметки, и предназначенная для канализирования и накопления поворотных транспортных потоков [12, 13]. Главное назначение ПНП состоит в том, чтобы отделить поворотные транспортные потоки от потока прямого направления. Технологический эффект от применения таких по-

лос будет заключаться в том, что ТС, ожидающие возможности выполнения поворотного манёвра, будут размещены в своего рода отдельный накопитель и не будут препятствовать движению ТС в прямом направлении. В результате чего, значительно снизятся транспортные потери на перемещении по УДС. Аналогичные ситуации возникают при недостаточной вместимости ПНП, где часть автомобилей, не сумевшая разместиться в накопителе, препятствует движению ТС по основной полосе. Более подробный анализ состояния вопроса был проведён авторами и представлен в [12, 14].

#### Определение целевой функции и факторного пространства

На данном этапе исследования целесообразно предположить, что минимальная длина ПНП на городских регулируемых пересечениях должна обеспечивать нахождение всех ТС, накапливающихся за общую продолжительность светофорного цикла регулирования и ожидающих движения. При ненасыщенных транспортных потоках ПНП будет обладать резервом за счёт того, что интенсивность движения ТС не будет превышать пропускной способности регулируемого пересечения. Однако при значениях интенсивности транспортных потоков, стремящихся к величине потока насыщения, ПНП не сможет обеспечить необходимый уровень обслуживания всего поворотного потока. В результате чего, после каждого светофорного цикла регулирования будут оставаться ТС, которые не успели осуществить движения за отведённое время работы разрешающего сигнала светофора. Как следствие, пользователи городской УДС будут вынуждены совершать дополнительные манёвры по перестроению ТС, вызванные необходимостью объезда образовавшейся транспортной очереди, сформировавшейся вследствие недостаточной вместимости ПНП. В конечном итоге это приведёт к дополнительному росту транспортной задержки ТС, проезжающих через регулируемое пересечение. Предполагается, что правильно определённая вместимость ПНП должна предотвращать вероятность появления таких манёвров по перестроению, и, следовательно, сокращать транспортные потери.

Таким образом, целевую функцию данного исследования можно определить следующим образом:

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где

$d$  – суммарное время средней задержки всех ТС, проезжающих через регулируемое пересечение, с;

$d_1$  – время задержки всех ТС, вызванное влиянием работы светофорного регулирования, с;

$d_2$  – время задержки ТС, вызванное необходимостью перестроения ТС для объезда транспортной очереди, сформировавшейся вследствие недостаточной вместимости ПНП, с;

$d_3$  – время задержки ТС, вызванное влиянием прочих факторов, с.

В связи с малой изученностью такого показателя, как вместимость ПНП, для дальнейшего проведения исследования авторы считают необходимым ввести ряд корректных ограничений:

1) предполагается, что схема ОДД, очередность движения ТС и пешеходов, а также длительности сигналов светофорного цикла на рассматриваемых регулируемых пересечениях разработаны оптимально и обеспечивают минимально возможную задержку ТС;

2) исключается влияние таких факторов, как наличие дорожно-транспортных происшествий (далее ДТП), проведение дорожно-строительных работ, неудовлетворительные погодные условия и т.п. событий, вследствие которых рассматриваемый участок УДС может быть выведен из полноценной эксплуатации [9].

Также при определении требуемой вместимости ПНП вводится условие: длина транспортной очереди, характеризующая вместимость, не должна быть больше длины перегона (длины участка УДС между уличными пересечениями) [1, 6, 7, 15, 16].

### Определение необходимой вместимости ПНП

Для дальнейшего определения пропускной способности полосы в сечении «стоп-линии» на регулируемом пересечении представляется возможным использовать методику, отражённую в работах М. С. Фишельсона [13]:

$$P_c = 3600 \cdot \frac{t_3 - t_{\Delta}}{t_{II} \cdot T_{II}}, \quad (2)$$

где

$P_c$  – пропускная способность полосы в сечении «стоп-линии» на регулируемом пересечении, прив. легк. ТС;

$t_3$  – продолжительность разрешающего сигнала в светофорном цикле для рассматриваемого направления движения, с;

$t_{\Delta}$  – время между включением разрешающего сигнала светофора и пересечением «стоп-ли-

нии» первым ТС, с;

$t_{II}$  – средний интервал движения ТС при пересечении ими «стоп-линии», с;

$T_{II}$  – продолжительность светофорного цикла регулирования, с.

В случае упрощения задачи и рассмотрения исследуемого процесса в рамках одного светофорного цикла регулирования и одной полосы для движения ТС (2) будет иметь следующий вид:

$$P_c = \frac{t_3 - t_{\Delta}}{t_{II}}, \quad (3)$$

Так как в самом идеальном варианте вместимость ПНП должна стремиться к значению про-

пускной способности регулируемого пересечения, то также справедливо выражение:

$$L_{ПНП} = P_c, \quad (4)$$

где

$L_{ПНП}$  – вместимость ПНП, прив. легк. ТС

Анализируя (4), необходимо отметить, что ПНП с такой вместимостью будет эффективно работать только лишь при ненасыщенных потоках, т.е. в случаях, когда транспортный спрос не превышает пропускной способности регулируемого пересечения. Данная ситуация характерна для межпикового времени, которое обычно не является проблемным, поскольку имеется резерв неиспользуемого времени для проведения корректировки светофорного цикла.

В течение так называемого «часа пик» резерв для корректировки зачастую отсутствует. Поэтому

не всегда представляется возможным скорректировать длительность светофорного цикла. Кроме того, кардинальный пересмотр цикла не всегда целесообразен, т.к. транспортные потоки, движущиеся в поворотных направлениях движения, как правило, составляют не более 20–30% от суммарного числа ТС [3, 8, 10, 14]. В связи с этим, количество подъезжающих ТС в течение светофорного цикла регулирования будет больше, чем вместимость ПНП. Следовательно, требуется увеличить вместимость ПНП на такое количество ТС, которое не будет успевать осуществить движения в течение разрешающего сигнала светофора:

$$L_{ПНП} = P_c + \Delta l \quad (5)$$

где

$\Delta l$  – изменение длины очереди, прив. лег. ТС.

Для того, чтобы оценить количество ТС, не успевающих проехать за время разрешающего сигнала

светофора, представляется возможным использовать коэффициент загрузки, рассчитанный для цикла светофорного регулирования:

$$K_3 = \frac{N}{P_c}, \tag{6}$$

где  $N$  – интенсивность движения ТС в течение цикла светофорного регулирования, прив. легк. ТС. Коэффициент загрузки в удельной форме показывает использование ресурса пропускной способ-

ности, в том числе, регулируемого пересечения. Следовательно, представляется возможным определить количество ТС, не успевающих проехать за время разрешающего сигнала светофора, следующим образом:

$$\Delta l = P_c \cdot (K_3 - 1) \tag{7}$$

Выражение (7) позволяет определить изменение длины очереди в рамках одного светофорного цикла регулирования. Однако явление «час пик» характеризуется наличием высоких значений интенсивности ТС в течение длительного времени.

При этом, как было установлено ранее, значение коэффициента загрузки может изменяться с каждым циклом. Таким образом, для изучения нескольких светофорных циклов справедливо выражение:

$$\sum_{i=1}^{n_u} \Delta l_i = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots + \Delta l_{n_u}, \tag{8}$$

где  $n_u$  – количество циклов, при которых существует затор.

математическая модель вместимости ПНП под влиянием работы регулируемого пересечения и коэффициента загрузки будет иметь следующий вид:

На основании (5) и (6) в совокупности с (7) и (8)

$$L_{ПНП} = \frac{t_3 - t_{\Delta}}{t_{\Pi}} + \sum_{i=1}^{n_u} \Delta l_i \tag{9}$$

**Экспериментальные исследования**

Для проведения дальнейших экспериментальных исследований авторы предлагают рассмотреть (9) в качестве имитационной математической модели и провести эксперимент на основании имитационных данных о коэффициенте загрузки ПНП. Для этого необходимо понимание типа распределения исследуемой величины.

случае её можно лишь спрогнозировать, но никогда невозможно знать точно, какое количество ТС подъедет к регулируемому пересечению в том или ином направлении.

В (6) и связанной с ней (9) величина  $P_c$  носит детерминированный характер, так как её значения всегда предопределены и точно вычисляемы для определённого периода суток и дней недели. По крайней мере это справедливо для регулируемых пересечений, работающих в жёстких и жёстко-координированных режимах, т.е. без динамичного и постоянного изменения длительностей сигналов светофоров, что характерно для адаптивных режимов работы светофорного регулирования.

В конечном итоге, величина  $K_3$  является вероятностной и будет характеризоваться тем или иным законом распределения. В большинстве практических случаев распределение случайной величины описывается нормальным законом [4], что характерно для большинства технических измерений [5]. Аналогично, в ряде работ приводятся результаты исследований, подтверждающие нормальное распределение величины интенсивности движения ТС [11, 17]. Следовательно, можно предположить, что распределение величины  $K_3$  также подчиняется нормальному закону. Поэтому для моделирования её значений представляется возможным применить метод «преобразование Бокса-Мюллера» [2]. Таким образом, распределение значений коэффициента загрузки будет иметь вид:

В свою очередь, величина  $N$  является стохастической, т.е. отчасти вероятностной, т.к. в лучшем

$$K_3 = (\sqrt{-2 \ln v} \cdot \text{Cos} 2\pi u) \cdot \sigma_{K_3} + \overline{K_3}, \tag{10}$$

где  $\overline{K_3}$  – математическое ожидание коэффициента загрузки;

$\sigma_{K_3}$  – среднеквадратическое отклонение. Результаты, получаемые при моделирования величины  $K_3$ , представлены на рисунке 2.

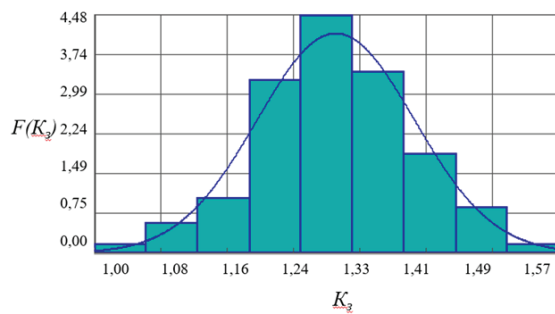


Рисунок 2. Распределение значений коэффициента загрузки при коэффициенте вариации  $V_x = 0,07$   
 Источник: разработано Г. Н. Морозовым

На основании полученных исходных данных, а также с учётом (8) и (9) был проведён имитационный эксперимент, результаты которого представлены на рисунке 3. В данном случае моделировалась ситуация, при которой ПНП эксплуатируется

в условиях повышенной нагрузки во время «часа пик», в течение которой транспортная очередь формируется на протяжении 23 циклов при различных вариантах длительностей сигналов светофорного регулирования и  $K_3$  с дисперсией  $\sigma = 0,1$ .

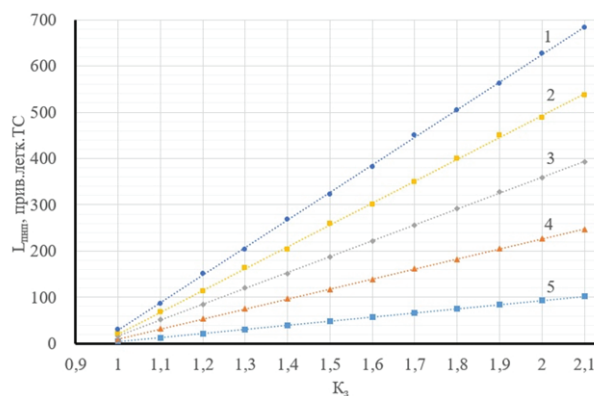


Рисунок 3. Вместимость ПНП в зависимости от различных значений коэффициентов загрузки и длительностей сигналов светофорного цикла регулирования, где: 1 –  $P_c = 26$  прив. легк. ТС, 2 –  $P_c = 20$  прив. легк. ТС, 3 –  $P_c = 15$  прив. легк. ТС, 4 –  $P_c = 9$  прив. легк. ТС, 5 –  $P_c = 4$  прив. легк. ТС

Источник: разработано Г. Н. Морозовым

Результат обработки экспериментальных данных показал, что процесс изменения длины ПНП под влиянием светофорного регулирования и коэффициента загрузки описывается линейной моделью со значением коэффициента детерминации  $R^2 = 0,99$ .

На представленном графике  $K_3$  описывает нагрузку, приходящуюся на ПНП, из расчёта на определённую пропускную способность светофора за один светофорный цикл регулирования. В связи с этим, одному и тому же значению  $K_3$  при различных вариантах светофорного регулирования соответствует разный прирост транспортной очереди. Например, при  $K_3 = 2$  и светофорном регулировании, пропускная способность которого за один светофорный цикл составляет 4 и 26 ТС, превышение пропускной способности составит 8 и 52 ТС соответственно.

На основе полученной математической модели (9) возможно повысить эффективность ОДД на основе определения необходимой вместимости ПНП или корректирования циклограммы светофорного

регулирования.

### Заключение

Научная ценность данного исследования заключается в разработке и экспериментальном подтверждении математической модели, позволяющей определять необходимую вместимость ПНП в зависимости от различных значений коэффициента загрузки на городских регулируемых пересечениях.

Полученные результаты исследования могут быть использованы для совершенствования проектирования регулируемых пересечений на городской УДС, корректировки длительностей светофорного цикла регулирования, а также создания алгоритмического обеспечения работы автоматизированных систем управления дорожным движением.

Полученные результаты также позволили определить перспективы и направления дальнейших исследований:

1) проведение натурного эксперимента для подтверждения полученных результатов исследова-

ния. Подтверждение гипотезы о подчинении коэффициента загрузки нормальному закону распределения случайной величины;

2) изучение прочих факторов, оказывающих

влияние на вместимость поворотных полос: интенсивность встречного потока транспортных средств, геометрические размеры перекрестка, погодные условия и т. д.

### Литература

1. Блинкин М. Я., Воробьев А. Н. Городское движение и планировка городов // Городские исследования и практики. – 2018. – № 2. – С. 7–26.
2. Богомолова О. И., Галимянова А. И., Якупова В. Т. Сравнительный анализ производительности программ генерации гауссовых последовательностей // Научно-технический вестник Поволжья. – 2021. – № 10. – С. 95–97.
3. Власов А. А., Пильгейкина И. А., Скорикина И. А. Методика формирования многопрограммного управления изолированным перекрестком // Компьютерные исследования и моделирование. – 2021. – № 2. – С. 295–303.
4. Захаров Н. С. О целевой функции в прикладных диссертационных исследованиях // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы международной научно-технической конференции, Тюмень, 16 апреля 2015 г. – Тюмень, 2015. – С. 113–114.
5. Захаров Н. С., Ильяхин А. В. Распределение количества поступающих заявок в систему экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий // Организация и безопасность дорожного движения: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, Тюмень, 12 марта 2015 года. – Тюмень, 2015. – С. 104–106.
6. Колесов В. И. Безопасность дорожного движения в метрике обобщенного золотого сечения // Организация и безопасность дорожного движения: материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием, Тюмень, 13 мая 2021 г. – Тюмень, 2021. – С. 190–193.
7. Колесов В. И., Петров А. И. Модель динамики автомобилизации в задачах прогноза показателей безопасности дорожного движения // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2016. – № 1. – С. 33–36.
8. Левашев А. Г., Михайлов А. Ю. Уточнение терминологии в области теории транспортных потоков // Транспортное планирование и моделирование. Цифровое будущее управления транспортом: сборник трудов III Международной научно-практической конференции, Москва, 24–25 мая 2018 г. – Москва, 2018. – С. 77–83.
9. Машина для растепления снежной массы / В. А. Костырченко [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2(29). – С. 100.
10. Михайлов А. Ю., Попова Е. Л., Гайворонский И. Л. Анализ методик расчета пропускной способности пересечений в одном уровне // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – № 12. – С. 231–238.
11. Морозов В. В., Захаров Д. А., Ярков С. А. Закономерности изменения характеристик транспортных потоков: монография – Тюмень: Тюменский индустриальный университет – 2020. – 166 с.
12. Морозов Г. Н., Эртман С. А. Влияние локального сужения проезжей части перед регулируемым перекрестком на его пропускную способность // Организация и безопасность дорожного движения: материалы Международной научно-практической конференции, Тюмень, 16 марта 2017 г. – Тюмень, 2017. – С. 248–252.
13. Морозов Г. Н., Эртман С. А., Эртман Ю. А. Канализирование левоповоротных транспортных потоков на перекрестках со светофорным регулированием // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 8. – С. 153–164.
14. Оценка пропускной способности направлений движения на регулируемых перекрестках / А. С. Кашталинский [и др.] // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: сборник научных трудов национальной научно-практической конференции, Омск, 19–20 апреля 2018 г. – Омск, 2018. – С. 300–303.
15. Совершенствование методики проектирования улично-дорожных сетей российских городов / С. Е. Преловская [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 9. – С. 109–116.
16. Транспортное планирование в российских городах: перспективы актуализации классификации и подхода к проектированию городских улиц / С. Е. Преловская [и др.] // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2017. – № 6. – С. 113–119.
17. Morozov V. V., Yarkov S. A. Formation of the traffic flow rate under the influence of traffic flow concentration in time at controlled intersections in Tyumen, Russian federation. *Sustainability*. 2021. Vol. 13.

No 15. <https://doi.org/10.3390/su13158324>.

18. Li Chen et al. Short-term traffic flow prediction: From the perspective of traffic flow decomposition. *Neurocomputing*. 2020. Vol. 413, pp. 444–456.

19. Riccardo Rossi et al. A comparative simulator study of reaction times to yellow traffic light under manual and automated driving. *Transportation Research Procedia*. 2021. Vol. 52, pp. 276–283.

20. Shobha B. S., Deepu R. Deep learning assisted active net segmentation of vehicles for smart traffic management. *Global Transitions Proceedings*. 2021. Vol. 2, pp. 282–286.

21. Wanjing Maa et al. Increasing the capacity of signalized intersections with left-turn waiting areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2017. Vol. 105, pp. 181–196.

22. Xinguo Jiang et al. Safety evaluation of signalized intersections with left-turn waiting area in China. *Accident Analysis & Prevention*. 2016. Vol. 95, pp. 461–469.

23. Yun Yuan et al. Macroscopic traffic flow modeling with physics regularized Gaussian process: A new insight into machine learning applications in transportation. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2021. Vol. 146, pp. 88–110.

### References

1. Blinkin, M. Ya., Vorobiev, A. N. (2018) [Urban traffic and urban planning]. *Gorodskie issledovaniya i praktiki* [Urban Studies and Practices]. Vol. 2, pp. 7–26. (In Russ.).

2. Bogomolova, O. I., Galimyanova, A. I., Yakupova, V. T. (2021) [Comparative analysis of the performance of Gaussian sequence generation programs]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik povolzh'ya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga region]. Vol. 10, pp. 95–97. (In Russ.).

3. Vlasov, A. A., Pilgeikina, I. A., Skorikova, I. A. (2021) [Methodology for the formation of multi-program management of an isolated intersection]. *Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie* [Computer research and modeling]. Vol. 2, pp. 295–303. (In Russ.).

4. Zakharov, N. S. (2015) [About the objective function in applied dissertation research]. *Transportnye i transportno-tehnologicheskie sistemy: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* [Transport and transport-technological systems: Proceedings of the international scientific and technical conference]. Tyumen: Industrial University of Tyumen, pp. 113–114. (In Russ.).

5. Zakharov, N. S., Ilyukhin, A. V. (2015) [distribution of the number of incoming applications to the system of expert analysis of road traffic accidents]. *Organizaciya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya Materialy VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Organization and road safety Proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference]. Tyumen, pp. 104–106. (In Russ.).

6. Kashtalinsky, A. S. et al (2018) [Estimating the capacity of traffic directions at controlled intersections]. *Obrazovanie. Transport. Innovacii. Stroitel'stvo. sbornik nauchnykh trudov nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Education. Transport. Innovation. Construction. collection of scientific papers of the national scientific and practical conference]. Omsk: Siberian State Automobile and Road University, pp. 300–303. (In Russ.).

7. Kolesov, V. I. (2021) [Road safety as measured by the generalized golden ratio]. *Organizaciya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya. materialy XIV Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [Organization and road safety. materials of the XIV National Scientific and Practical Conference with International Participation]. Tyumen: Industrial University of Tyumen, pp. 190–193. (In Russ.).

8. Kolesov, V. I., Petrov, A. I. (2016) [The dynamics model of motorization in the tasks of forecasting traffic safety indicators]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij* [Safety and Emergency Issues]. Vol. 1, pp. 33–36. (In Russ.).

9. Kostyrchenko, V. A. et al (2014) [Machine for melting snow mass]. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. Vol. 2 (29), p. 100. (In Russ.).

10. Levashev, A. G., Mikhailov, A. Yu. (2018) [Clarification of terminology in the theory of traffic flows]. *Transportnoe planirovanie i modelirovanie. Cifrovoe budushchee upravleniya transportom: sbornik trudov III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Transport planning and modeling. The Digital Future of Transport Management: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference]. Moscow: Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University, pp. 77–83. (In Russ.).

11. Mikhailov, A. Yu., Popova, E. L., Gaivoronsky, I. L. (2018) [Analysis of methods for calculating intersection throughput at one level]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University.]. Vol. 12, pp. 231–238. (In Russ.).

12. Morozov, V. V., Zaharov, D. A., Yarkov, S. A. (2020) *Zakonomernosti izmeneniya harakteristik transportnyh potokov* [Patterns of changes in the characteristics of traffic flows]. Tyumen: Industrial University of Tyumen, 166 p.

13. Morozov, G. N., Ertman S. A. (2017) [The influence of local narrowing of the roadway in front of



an adjustable crossroads on its capacity]. *Organizaciya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii* [Organization and traffic safety: materials of the International scientific-practical conference]. Tyumen: Industrial University of Tyumen, pp. 248–252. (In Russ.).

14. Morozov, G. N., Ertman, S. A., Ertman, Yu. A. (2019) [Channeling left-turn traffic flows at intersections with traffic light regulation]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 8, pp. 153–164. (In Russ.).

15. Prelovskaya, S. E. et al (2017) [Improving the design methodology of road networks in Russian cities]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction.]. Vol. 9, pp. 109–116. (In Russ.).

16. Prelovskaya, S. E. et al (2017) [Transport planning in Russian cities: prospects for updating the classification and approach to the design of city streets]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University]. Vol. 6, pp. 113–119. (In Russ.).

17. Morozov, V. V., Yarkov, S. A. (2021) Formation of the traffic flow rate under the influence of traffic flow concentration in time at controlled intersections in Tyumen, Russian federation. *Sustainability*. Vol. 13. No 15. – DOI 10.3390/su13158324. (In Eng.).

18. Li Chen et al (2020) Short-term traffic flow prediction: From the perspective of traffic flow decomposition. *Neurocomputing*. Vol. 413, pp. 444–456. (In Eng.).

19. Riccardo Rossi et al (2021) A comparative simulator study of reaction times to yellow traffic light under manual and automated driving. *Transportation Research Procedia*. Vol. 52, pp. 276–283. (In Eng.).

20. Shobha, B. S., Deepu, R. (2021) Deep learning assisted active net segmentation of vehicles for smart traffic management. *Global Transitions Proceedings*. Vol. 2, pp. 282–286. (In Eng.).

21. Wanjing Maa et al (2017) Increasing the capacity of signalized intersections with left-turn waiting areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Vol. 105, pp. 181–196. (In Eng.).

22. Xinguo Jiang et al (2016) Safety evaluation of signalized intersections with left-turn waiting area in China. *Accident Analysis & Prevention*. Vol. 95, pp. 461–469. (In Eng.).

23. Yun Yuan et al (2021) Macroscopic traffic flow modeling with physics regularized Gaussian process: A new insight into machine learning applications in transportation. *Transportation Research Part B: Methodological*. Vol. 146, pp. 88–110. (In Eng.).

#### **Информация об авторах:**

**Георгий Николаевич Морозов**, аспирант, направление подготовки 23.06.01 Техника и технологии наземного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия  
e-mail: goga.post@yandex.ru

**Вячеслав Валерьевич Морозов**, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**Researcher ID:** ABE-2600-2021, **Scopus Author ID:** 57207114091  
e-mail: morozov1990\_72@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 10.12.2021; принята в печать: 09.02.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

#### **Information about the authors:**

**Georgy Nikolaevich Morozov**, postgraduate student, training program 23.06.01 Technique and technology of land transport, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia  
e-mail: goga.post@yandex.ru

**Viacheslav Valerievich Morozov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Motor Transport Operation, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Researcher ID:** ABE-2600-2021, **Scopus Author ID:** 57207114091  
e-mail: morozov1990\_72@mail.ru

The paper was submitted: 10.12.2021.

Accepted for publication: 09.02.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.