

Статистические показатели транспортного затора на городской улично-дорожной сети*

Бояршинов М.Г., Вавилин А.С.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
г. Пермь, Российская Федерация
mgboyarshinov@pstu.ru

Аннотация. До введения понятие транспортного затора, определенного стандартом, как российские, так и зарубежные исследователи пытались самостоятельно сформулировать количественные показатели этого явления, что, возможно, является следствием отсутствия научно-обоснованных количественных критериев, позволяющих объективно описывать эволюцию транспортного затора на участке улично-дорожной сети. В настоящей работе предлагается количественная оценка (опирающаяся на формализованное определение) формирования и эволюции транспортного затора, использующая детерминированные характеристики случайной величины – продолжительности движения отдельных автомобилей транспортного потока между рубежами контроля: среднее значение, моду, медиану, дисперсию, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации, показатели асимметрии и эксцесса. Исходные данные получены с помощью аппаратно-программных комплексов фиксации нарушений правил дорожного движения, установленных на городской улично-дорожной сети. Установлено, что для одного и того же участка дороги характер эволюции перечисленных детерминированных показателей продолжительности движения между двумя рубежами контроля существенно различается при свободном движении автомобильного транспорта и в случае образования транспортного затора. Выполненное исследование может служить основой разработки механизма оценки в режиме реального времени вероятности образования транспортных заторов, а также использоваться для выработки рекомендаций по оперативному реагированию транспортных служб для их предотвращения и ликвидации.

Ключевые слова: транспортный затор, транспортный поток, продолжительность движения, детерминированные показатели случайных величин.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема транспортных заторов является приоритетной для транспортной системы [1, 2, 3]. Причинами образования транспортных заторов являются общий рост числа автомобилей [4], дорожно-транспортные происшествия [5], уменьшение пропускной способности дороги [6, 7, 8], повышение плотности автомобилей на участке дороги [9], увеличение грузового автомобильного парка и объема перевозок [10, 11], наличие нерегулируемых пересечений, въездов и пешеходных переходов [12], установка светофоров с большим количеством фаз [13], несогласованность их работы [14], строительные-ремонтные работы [15], нерациональная организация работы пунктов взимания платы за проезд [16], человеческий фактор [12, 17, 18] и другие.

Транспортные заторы ведут к снижению скорости движения и увеличению времени в пути [19], повышению расхода топлива и стоимости перевозок [20, 21], увеличению

загрязняющих выбросов в окружающую среду, аварийности и уровня шума, опасностям для здоровья [21], снижению производительности труда и качества транспортного обслуживания, снижают безопасность участников дорожного движения [21, 22], ухудшению психологического состояния водителей и пассажиров и проч.

В связи с тем, что до недавнего времени определение транспортного затора не было определено и юридически закреплено, как российские, так и зарубежные исследователи предлагали собственные определения этого понятия, позволяющие исследовать и анализировать факторы, получающие количественные показатели транспортных заторов, обуславливающие их формирование, эволюцию и ликвидацию. Как результат, отсутствовало общепринятое определение, позволяющее корректно устанавливать количественные показатели загруженности автомобильных дорог. В [22] представлен обзор имеющихся определений понятия «транспортный затор», а также предлагается их классификация на группы, связанные с пропускной способностью дороги, с задержками во времени движения и с экономическими потерями от простоев.

Определение транспортного затора как создание помех автомобилями друг другу вследствие зависимости между скоростями их движения и высокой интенсивностью потока в условиях, когда пропускная способность дороги близка к предельному значению, дано в [9]; предлагается под транспортным затором понимать такие условия движения, при которых транспортные средства постоянно останавливаются и начинают движение; плотность транспортных средств настолько высока, что скорость потока низкая. В [23] утверждается, что транспортный затор на дороге возникает, когда спрос на поездки превышает существующую пропускную способность.

В отечественных публикациях также имеются попытки определения транспортного затора. Согласно [24], затор на дороге – это повышение плотности автомобилей в результате поступления потока машин, превышающего ее пропускную способность, или снижения пропускной способности дороги. По мнению [25] – это скопление на дороге транспортных средств, движущихся со средней скоростью, значительно меньшей, чем нормальная скорость для данного участка дороги. Автор [26] определяет затор как полное или почти полное прекращение движения транспорта на участке в результате превышения его фактической пропускной способности над теоретическим (расчетным) значением. В [13] предлагается транспортный затор на регули-

* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг", <https://icie-rus.org>

руемом пересечении определять как состояние транспортного потока, при котором транспортные средства, подошедшие за время (одного) цикла светофора, не успевают полностью проехать его за его разрешающую фазу.

Следует отметить, что у всех авторов имеется общее понимание состояния транспортного затора: повышение плотности транспортных средств на дороге, снижение скорости движения или полная остановка автомобилей, снижение пропускной способности участка дороги и проч. Встречаются указания на специфические значения некоторых характеристик движения автомобилей, например, «скорость ниже нормальной».

Возможно, нормальная скорость, нормальная интенсивность транспортного потока, нормальная плотность автомобилей должны подразумевать некоторые конкретные значения, характерные для конкретного участка дороги, ниже (или выше) которых можно считать эти величины ненормальными или, другими словами, характеризующими (предсказывающими) образование транспортного затора. Тем не менее сформулированные определения не позволяют определить количественные характеристики, описывающие формирование (ликвидацию) транспортного затора. Понятно, что нормальные, или пороговые, значения каждого из перечисленных параметров транспортного потока не являются универсальными, и для каждого конкретного участка дороги должны определяться индивидуально. Это связано с особенностями устройства проезжей части, ограничениями скорости, общим количеством и наличием выделенных полос движения, метеорологическими показателями, сезонными условиями и прочими факторами.

Очевидно, что корректное определение понятия «транспортный затор» должно позволить определять его количественные показатели, выявлять и принимать во внимание основные причины появления затора (дорожно-транспортное происшествие, нарушение скоростного режима или правил дорожного движения, ремонт проезжей части, спонтанный или случайный характер и так далее), его эволюцию и ликвидацию (исчезновение), определять методические основы моделирования транспортного затора и, на этом фундаменте, прогнозирование его появления и принятие ответственными лицами превентивных мер по его предупреждению или своевременной ликвидации.

Методика исследования транспортного затора

В настоящее время в РФ понятие транспортного затора закреплено стандартом [27]: "Затор (traffic impediment): скопление транспортных средств, вынужденных существенно снижать скорость движения вплоть до полного его прекращения в пределах одной или нескольких полос движения из-за каких-либо помех движению".

Следует ожидать, что при формировании, эволюции и ликвидации транспортного затора в результате дорожно-транспортного происшествия, ремонта проезжей части, нарушения скоростного режима или правил дорожного движения, причин случайного (спонтанного) характера или вследствие иных обстоятельств основные показатели транспортного потока принимают специфические (критические) значения, отличающие их от «нормальных» значений, уникальных для каждого конкретного участка дорожно-транспортной сети. Оперативное обнаружение таких специфических значений позволит операторам служб

контроля дорожного движения своевременно принимать обоснованные решения и осуществлять оптимальные действия по управлению транспортными потоками для исключения негативных последствий транспортных заторов.

Для корректного определения специфических значений транспортного потока, указывающих на формирование (эволюцию, ликвидацию) транспортного затора, необходимо:

- собрать данные о «нормальных» показателях транспортного потока на исследуемом участке (плотность, интенсивность и скорость потока транспорта, время проезда и другие показатели, характерные для свободного движения автомобилей);
- определить аномальные (критические) значения основных параметров транспортного потока при формировании, эволюции и ликвидации транспортного затора, когда наблюдается затрудненное движение транспорта;
- выполнить сопоставление и анализ показателей транспортного потока при свободном движении автомобильного транспорта и в случае транспортного затора;
- сформировать критерии выявления аномальных значений показателей транспортного потока для оценки вероятности образования транспортного затора.

В настоящей работе с использованием определения [27] предлагается подход к количественной оценке формирования и эволюции транспортного затора, использующий детерминированные оценки случайных величин продолжительности движения отдельных автомобилей транспортного потока между рубежами контроля: среднее значение, моду, медиану, дисперсию, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации, показатели асимметрии и эксцесса. В качестве исходных данных для настоящего исследования использовалась информация, получаемая с помощью аппаратно-программных комплексов фиксации нарушений правил дорожного движения, установленных на улично-дорожной сети города, население которого превышает 1 миллион человек.

Предварительными исследованиями [28, 29, 30, 31, 32] амплитудно-частотных и статистических характеристик движения транспортных потоков установлено, что для одного и того же участка дороги показатели случайных величин различаются при свободном движении автомобильного транспорта и в случае образования транспортного затора. Представляется необходимым детальное исследование эволюции статистических показателей транспортного потока на стадиях формирования, развития и ликвидации (исчезновения) транспортного затора.

В качестве основной гипотезы принято, что формирование транспортного затора на участке улично-дорожной сети можно отслеживать по изменению времени движения автомобиля между рубежами контроля. Наличие программно-аппаратных комплексов фото- и видеофиксации, способных распознавать государственные регистрационные знаки, позволяет фиксировать время t_i^H появления каждого автомобиля на начальном пункте и время t_i^K достижения им конца контрольного участка. Продолжительность T_i движения i -го автомобиля между рубежами контроля вычисляется как разность

$$T_i = t_i^K - t_i^H.$$

Множество всех значений T_j , полученных за время наблюдения, образует временной ряд случайных величин. Статистическая обработка позволяет определять детерминированные характеристики временного ряда:

- среднее значение случайной величины T_j (продолжительность движения между рубежами контроля);
- дисперсия (рассеяние) случайной величины T_j ;
- среднее квадратичное отклонение;
- коэффициент вариации (характеристика относительного рассеивания случайной величины T_j);
- мода (значение дискретной случайной величины T_j , имеющее наибольшую относительную частоту (частость) появления случайной величины T_j);
- медиана (такая величина T_j , что половина всего множества случайных значений не меньше, а другая половина не больше неё);
- показатель асимметрии, отражающий неравномерность распределения случайной величины;
- показатель эксцесса (характеристики большего или меньшего подъема графика по сравнению с кривой нормального распределения);

Целью настоящего исследования является определение основных детерминированных характеристик распределения случайной величины T_j , соответствующих суточному режиму наблюдения за движением автомобильного транспорта, в том числе периодам времени свободного движения и формирования и ликвидации транспортного затора.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЯ

Для исследования выбран участок дороги длиной 2,2 км, свободный от перекрестков. Для выбранного участка характерно спонтанное образование транспортного затора, имеющее место, как правило, во второй половине дня.

На рис. 1 показана зависимость продолжительности T_j движения между рубежами контроля отдельных автомобилей от момента времени t (мин) их появления в начале участка в период с 0:00 до 24:00. Резкое возрастание продолжительности движения автомобилей в период с 20:00 до 22:00 отражает образование транспортного затора на дороге.

На рис. 2 показаны средние продолжительности T_{cp} движения автомобилей по исследуемому участку дороги в течение суток в зависимости от времени их появления t на начальном рубеже. Осреднение проводилось по 10-минутным временным интервалам с последовательным сдвигом этих интервалов на 1 минуту («скользящий» интервал осреднения).

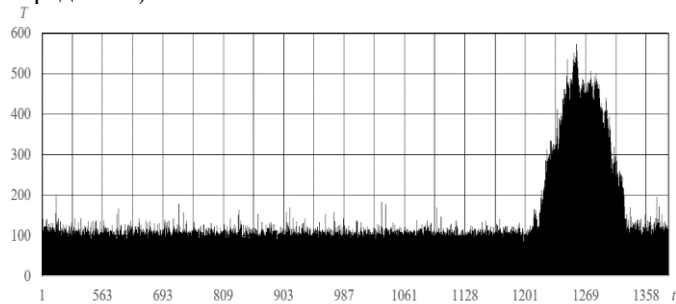


Рис. 1. Зависимость продолжительности T_j (с) движения отдельных автомобилей 9 мая 2022 года от момента времени t (мин) их появления в начале участка в течение суток 0:00-24:00

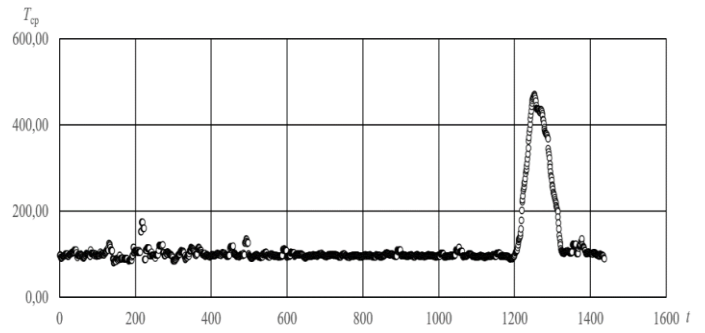


Рис. 2. Осредненные продолжительности T_{cp} (с) движения автомобилей в зависимости от момента времени t (мин) их появления в начале участка (9 мая 2022 года)

Аналогичные зависимости средней продолжительности T_{cp} движения автомобилей на том же участке дороги зафиксированы 9 мая 2021 года, 3 мая, 16 мая и 27 мая 2022 года. Начало образования транспортных заторов (с 15 до 20 часов по местному времени) и их продолжительности (от 1 часа 15 минут до 3 часов 20 минут) оказались различными.

Формирование транспортного затора обнаруживается по быстрому росту средней продолжительности T_{cp} движения автомобилей между рубежами контроля. Ликвидация транспортного затора также может быть зафиксирована по возвращению продолжительности движения автомобилей к установившемуся среднему значению, характерному для этого участка дороги. Статистическая обработка временного ряда (рис. 1), позволила определить основные детерминированные характеристики распределения случайной величины – продолжительности движения автомобилей между рубежами контроля: среднее значение, моду, медиану, дисперсию, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации, показатели асимметрии и эксцесса (табл. 1).

Таблица 1

Статистические характеристики распределения продолжительности движения автомобилей по участку дороги для различных периодов наблюдения

Статистические показатели	Периоды наблюдения		
	00:00-24:00	00:00-20:00	20:00-22:00
Среднее значение T_{cp} , с	130,81	95,62	317,48
Мода $T_{мод}$, с	96,00	94,50	435,50
Медиана $T_{мед}$, с	98,53	95,21	332,78
Дисперсия D , с ²	9038,57	162,07	15742,24
Среднее квадратичное отклонение s , с	95,07	12,73	125,47
Коэффициент вариации v , %	72,68	13,31	39,52
Асимметрия α	2,60	0,29	-0,30
Эксцесс ϵ	5,62	0,23	-1,11

Детерминированные характеристики периода наблюдения от 0 часов до 20 часов (свободное движение) существенно отличаются от аналогичных характеристик периода от 20 до 22 часов (транспортный затор).

На рис. 3 показаны экспериментальное и теоретическое (нормальное) распределения плотности p вероятности и вероятности P продолжительности T_j движения всех автомобилей между рубежами контроля в период наблюдения с 0:00 до 20:00 (рис. 2).

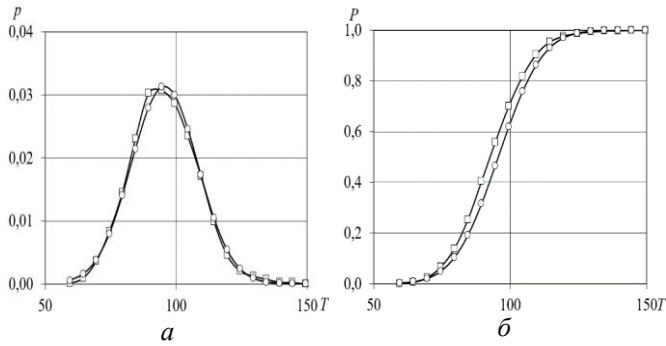


Рис. 3. Экспериментальное (–□–) и теоретическое (–○–) распределения плотности p (с^{-1}) вероятности (а) и вероятности P (б) продолжительности T_i (с) движения автомобилей по исследуемому участку 9 мая 2022 года в период наблюдения 0:00-20:00

За этот период наблюдения экспериментальные и теоретические функции распределения плотности p вероятности и вероятности P продолжительности T_i движения автомобилей между рубежами контроля согласуются удовлетворительно.

Показатели асимметрии и эксцесса в этом случае принимают сравнительно низкие значения (табл. 1), что также отражает близость полученных кривых. Это позволяет предположить, что распределения случайных значений продолжительности T_i движения автомобилей при отсутствии транспортного затора близко нормальному закону распределения. В то же время необходимо отметить, что детальное изучение распределений функций p и P с использованием критериев Колмогорова и Пирсона не позволяют принять гипотезу о нормальном распределении рассматриваемой случайной величины.

На рис. 4 показаны экспериментальное и теоретическое (нормальное) распределения плотности p вероятности и вероятности P продолжительности T_i движения всех автомобилей между рубежами контроля в период наблюдения с 20:00 до 22:00 (рис. 2). Характер кривой эмпирического распределения функции плотности p вероятности продолжительности T_i движения автомобилей между рубежами контроля при наличии транспортного затора демонстрирует осциллирующий характер, что существенно отличает ее от соответствующей кривой теоретического (нормального) распределения.

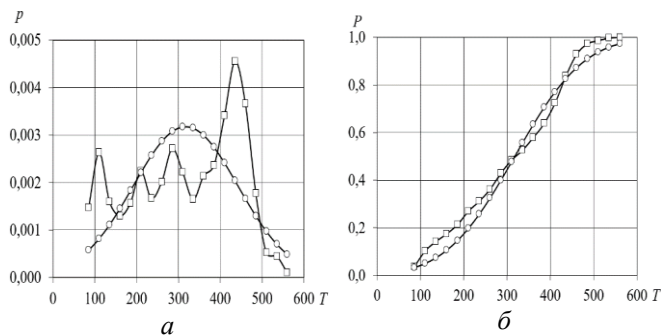


Рис. 4. Экспериментальное (–□–) и теоретическое (–○–) распределения плотности p (с^{-1}) вероятности (а) и вероятности P (б) продолжительности T_i (с) движения автомобилей по исследуемому участку 9 мая 2022 года в период наблюдения 20:00-22:00

Кривая эмпирического распределения функции P вероятности продолжительности T_i движения автомобилей между рубежами контроля в том же периоде наблюдения также существенно отличается от соответствующей кривой нормального распределения.

Показатели асимметрии и эксцесса для рассматриваемого периода наблюдения (табл. 1) также свидетельствуют о существенном различии эмпирических и теоретических кривых.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ продолжительности движения автомобилей по исследуемому участку при наличии дорожного затора и при его отсутствии показал значительное различие кривых экспериментальных и теоретических распределений вероятностей и их плотностей. Данные, приведенные в табл. 1, позволили сравнить основные показатели распределения случайной величины продолжительности T_i движения автомобилей между рубежами контроля при наличии и отсутствии транспортного затора на выбранном для наблюдения участке дороги:

- среднее значение продолжительности движения автомобилей при наличии затора увеличилось в 3,32 раза по сравнению с движением автомобилей при его отсутствии;
- мода возросла в 4,61 раза;
- медиана изменилась в 3,50 раза;
- дисперсия увеличилась в 97,13 раза;
- среднеквадратичное отклонение возросло в 9,86 раза;
- коэффициент вариации изменился в 2,97 раза;
- показатель асимметрии эволюционировал с 0,29 до –0,30;
- показатель эксцесса уменьшился с 0,23 до –1,11.

Таким образом, все детерминированные показатели распределения случайного значения продолжительности движения автомобилей при наличии дорожного затора существенно изменились по сравнению с теми же показателями при отсутствии транспортного затора.

Целесообразно использовать следующий алгоритм регистрации возможного начала образования транспортного затора:

1. С помощью программно-технических комплексов фото- и видеofиксации определяется установившаяся (для данного участка дороги) средняя продолжительность $T_{\text{ср}}^{\text{уст}}$ их движения между контрольными рубежами при отсутствии транспортного затора с использованием «скользящего» интервала осреднения длительностью 10 с (или иной).

2. Превышение наблюдаемым текущим значением $T_{\text{ср}}$ установившегося значения средней продолжительности $T_{\text{ср}}^{\text{уст}}$ может свидетельствовать о возможном образовании транспортного затора и являться сигналом для принятия превентивных мер по его предотвращению. Определение критического порога превышения значением $T_{\text{ср}}$ установившегося значения $T_{\text{ср}}^{\text{уст}}$ целесообразно с использованием правила "трех σ ", применяемого в теории математической статистики.

Если рассматривать множество значений $T_{\text{ср}}$ (рис. 2) как случайные величины, можно определить среднеквадратичное отклонение σ величины $T_{\text{ср}}$ от среднего значения $T_{\text{ср}}^{\text{уст}}$ на интервале времени отсутствия транспортного затора.

Например, для данных, представленных на рис. 2, получены значения $T_{cp}^{уст} = 98,9$ с и $\sigma = 36,1$ с. На интервале времени от 0:00 до 20:00 при отсутствии транспортного затора за пределы границы $T_{cp}^{уст} + \sigma$ попадает 0,999% значений T_{cp} , за пределы границы $T_{cp}^{уст} + 2\sigma$ – соответственно, 0,499% значений и за пределы границы $T_{cp}^{уст} + 3\sigma$ попадает 0,333% значений T_{cp} .

В качестве критерия превышения значением T_{cp} установленного значения $T_{cp}^{уст}$, указывающего на необходимость принятия мер по предотвращению образования транспортного затора возможно использовать величины σ , 2σ и 3σ , определяемые в ходе мониторинга транспортного потока:

$T_{cp} \in T_{cp}^{уст} + \sigma$ – транспортный затор отсутствует;

$T_{cp} \in T_{cp}^{уст} + 2\sigma$ – существует опасность формирования транспортного затора;

$T_{cp} \in T_{cp}^{уст} + 3\sigma$ – необходимо предпринимать меры по предупреждению транспортного затора;

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

Выводы

Результаты обработки данных, полученных с помощью аппаратно-программных комплексов фото- и видеофиксации нарушений правил дорожного движения позволяют получать в режиме реального времени важную и достоверную информацию о состоянии транспортного потока. Сопоставление детерминированных показателей распределения случайной величины продолжительности движения автомобилей между рубежами контроля показало существенные различия между средними значениями этой случайной величины при наличии и отсутствии транспортного затора на выбранном для наблюдения участке дороги.

Предложенный подход может оказаться полезным для предупреждения и оперативного выявления условий формирования транспортных заторов при движении автомобильного транспорта по улично-дорожным сетям современных мегаполисов, может служить основой разработки механизма оценки в режиме реального времени вероятности образования транспортных заторов, а также для выработки рекомендаций по оперативному реагированию транспортных служб для их предотвращения или ликвидации. Представляется перспективным использование предложенного подхода с точки зрения разработки научно-обоснованных средств прогнозирования и перспективного планирования, обоснования и принятия управленческих решений по превентивным мерам ликвидации условий формирования транспортных заторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров С.Н. Транспортные заторы в условиях мегаполиса // Известия МГТУ МАМИ. – 2014. – Т.3. – №1(19). – С. 77-84.
2. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. – М.: Транспорт, 1990. – 239 с.
3. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
4. Евтеева А.С. 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.

5. 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: 10.1007/978-981-19-3575-6_51.

6. Корнев А.В. Транспортные заторы. Варианты решения проблемы / А.В. Корнев, С.С. Шабуров // Молодежный вестник ИРГТУ. – 2021. – Т.11. – №1. – С. 58-63.

7. Щеголева Н.В. Образование заторов в транспортном потоке / Н.В. Щеголева, В.А. Гусев, М.А. Ворожейкин // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2016. – №5(19). – С. 25-28.

8. Xomidov A. Eliminating congestion on internal roads / A. Xomidov, M. Tursunboyev // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2022. – 2(95). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13079>. Accessed 20 November 2022.

9. Black W.R. Transportation: A geographical analysis. – New York: The Guilford Press, 2003. – 408 p.

10. Шамлицкий Я.И. Сравнение адаптивного и жесткого алгоритмов управления дорожным движением на базе имитационной модели в среде ANYLOGIC / Я.И. Шамлицкий, А.С. Охота, С.Н. Мироненко // Программные продукты и системы. – 2018. – №2. – С. 403-408.

11. 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: 10.3846/transport.2019.11115.

12. Басков В.Н., Зависимость риска возникновения транспортного затора от параметров транспортного потока / В.Н. Басков, А.В. Игнатов // Научно-методический электронный журнал Концепт. – 2015. – №35. – С. 1-5.

13. 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.

14. Власов А.А. Управление светофорными объектами в условиях транспортных заторов / А.А. Власов, А.М. Горелов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2014. – №3(38). – С. 112-117.

15. Kazhaev A. 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.

16. Ласкин М.Б. Оценка плотности транспортного потока на основе имитационного моделирования пункта взимания платы / М.Б. Ласкин, А.Ю. Талавирия // Материалы 10 Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021), 20–22 октября 2021 г., Санкт-Петербург. – СПб, 2021. – С. 272-278.

17. 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.

18. Shepelev V. The use of multi-sensor video surveillance system to assess the capacity of the road network / V. Shepelev, S. Aliukov, K. Nikolskaya, A. Das, I. Slobodin // Transport and Telecommunication. – 2020. – 21(1). – P. 15–31. DOI: 10.2478/tj-2020-0002.

19. Aftabuzzaman Md. Measuring Traffic Congestion – A Critical Review / Md. Aftabuzzaman // Proceedings of the 30th Australasian Transport Research Forum, China, February 2007. 16 p. URL: https://australasiantransportresearchforum.org.au/wp-content/uploads/2022/03/2007_Aftabuzzaman.pdf. Accessed 10 November 2022.

20. Ананьева Е.Ю. Информационные транспортные сервисы: инструмент преодоления заторов / Е.Ю. Ананьева // Мир дорог. – 2021. – №139. – С. 102-104.

21. Shepelev V. A study of the travel time of intersections by vehicles using computer vision/ V. Shepelev, A. Glushkov, Z. Almetova, V. Mavrin. // Proceedings of the 6th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems. iMLTrans. – 2020. – Vol.1. – P. 653-658. DOI: 10.5220/0009806206530658.

22. Yasir R.M. Traffic Congestion Prediction Using Machine Learning Techniques / R.M. Yasir, N. Nower, M. Shoyaib // arXiv:2206.10983 [cs.LG]. – 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2206.10983.

23. Rosenbloom S. Peak-period traffic congestion: A state-of-the-art analysis and evaluation of effective solutions // Transportation. – 1978. – Vol.7. – P. 157-168.

24. Дорожный затор // Википедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 25.05.2022).

25. Значение словосочетания «автомобильная пробка». – URL: <https://kartaslov.ru/карта-словосочетания/толкование/автомобильная+пробка> (дата обращения: 25.05.2022).

26. Брамаш М.А. Теоретические основы ликвидации дорожных пробок в Москве. – URL: <http://barmash.ru/ru.htm> (дата обращения: 13.11.2022).

27. ГОСТ Р 55691-2013/ISO/TS 15624:2001. Системы управления и информации на транспорте. Системы оповещения о дорожных происшествиях (TIWS). Требования к системе. – Москва, Стандартинформ, 2014. – 24 с.

28. 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. – 1111. – 012013(10 p). – DOI:10.1088/1757-899X/1111/1/012013.

29. 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.

30. Бояршинов М.Г. Фурье-анализ интенсивности транспортного потока / М.Г. Бояршинов, А.С. Вавилин, А.Г. Шумков // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – №4. – С. 46-59. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-4-46

31. Бояршинов М.Г. Применение показателя Хёрста для исследования интенсивности транспортного потока / М.Г. Бояршинов, А.С. Вавилин, Е.В. Васькина // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №2. С. 68-81. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-68

32. Бояршинов М.Г. Применение вейвлет-анализа для исследования интенсивности транспортного потока / М.Г. Бояршинов, А.С. Вавилин, Е.В. Васькина // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №4. – С. 72-87. DOI: doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-72

DOI: 10.24892/RIJIE/20230301

Statistical Indicators of Traffic Congestion on the Urban Road Network

Boyarshinov M.G., Vavilin A.S.

Department of automobile and technological machines
Perm National Research Polytechnic University

Perm, Russian Federation

mgboyarshinov@pstu.ru

Abstract. Prior to the introduction of the concept of traffic congestion defined by the standard, both Russian and foreign researchers tried to independently formulate quantitative indicators of this phenomenon, which may be a consequence of the lack of scientifically based quantitative criteria that allow objectively describing the evolution of traffic congestion on a section of the road network. Authors propose a quantitative assessment (based on a formalized definition) of the formation and evolution of traffic congestion, using deterministic characteristics of the random duration of the movement of individual vehicles of the traffic flow between the control boundaries: mean value, mode, median, variance, standard deviation, coefficient of variation, indicators of asymmetry and excess. The initial data were obtained with the help

of hardware and software complexes for fixing the traffic rules violations installed on the urban road network. It is established that for the same road section, the nature of the evolution of the listed deterministic indicators of the duration of movement between the two control lines differs significantly in the free movement of cars and in the case of traffic congestion. The completed study can serve as the basis for the development of a mechanism for assessing the likelihood of traffic congestion in real time, as well as be used to develop recommendations for the preventive response of transport services to eliminate them.

Keywords: traffic congestion, traffic flow, duration of movement, deterministic indicators of random variables.