

ТРАНСПОРТ

УДК 656.1

DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-61

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

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия
e-mail: atm@pstu.ru

Аннотация. *Актуальность работы обусловлена необходимостью обработки и анализа информации, накапливаемой комплексами фотовидеофиксации нарушений ПДД, что позволит в дальнейшем разрабатывать математические, вычислительные и имитационные модели движения автомобильного транспорта, решать задачи оптимизации и управления транспортными потоками, принимать управленческие решения для снижения количества заторов и уменьшения антропогенной нагрузки на окружающую среду.*

В качестве объекта изучения выбран участок трёхполосной дороги с интенсивным односторонним движением, оборудованный программно-техническим комплексом, позволяющим измерять основные характеристики транспортного потока (скорости автомобилей, в том числе средние значения на контролируемом участке дороги, время проезда участка и проч.). Предмет исследования – интенсивность транспортного потока в течение 7-дневного временного периода (с понедельника по воскресенье).

Анализ получаемых зависимостей позволил сформулировать гипотезу о наличии детерминированной и стохастической составляющих в интенсивности транспортного потока как случайной функции времени, проверка которой является целью настоящего исследования.

В качестве теоретико-методического подхода используется статистическая обработка полученных данных, а также допущение, что интенсивность транспортного потока может быть представлена суммой детерминированной и стохастической составляющих. Разработанный подход с использованием процедуры сглаживания позволил выделить обе составляющие, что является научной новизной выполненного анализа.

В результате исследования показано, что детерминированная составляющая интенсивности транспортного потока для рабочих дней качественно отличается от детерминированной составляющей для выходных дней. Определены статистические показатели вероятностных распределений интенсивностей потоков транспорта и выделенных из них случайных составляющих. Получены оценки соответствия выделенных кривых нормальному закону распределения вероятностей с использованием критериев Колмогорова и Пирсона, противоречащие друг другу.

Практическая значимость заключается в использовании детерминированной составляющей для прогнозирования транспортных потоков, управления работой светофорных объектов, мониторинга работы оборудования, при реконструкции, проектировании и строительстве дорог и дорожных объектов.

Направление дальнейшего исследования – получение, статистическая обработка и обобщение данных об интенсивности транспортных потоков на других участках улично-дорожной сети.

Ключевые слова: *интенсивность движения автомобилей, транспортный поток, детерминированная и стохастическая составляющие, вероятностные показатели потока автомобилей.*

Для цитирования: Бояршинов М. Г., Вавилин А. С., Шумков А. Г. Использование комплекса фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения для выделения детерминированной и стохастической составляющих интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 3. – С. 61–71. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-61.

USING THE COMPLEX OF PHOTO AND VIDEO RECORDING OF TRAFFIC VIOLATIONS TO IDENTIFY DETERMINISTIC AND STOCHASTIC COMPONENTS OF THE TRAFFIC FLOW INTENSITY

M. G. Boyarshinov, A. S. Vavilin, A. G. Shumkov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

e-mail: atm@pstu.ru

Abstract. The **relevance** of the manuscript is due to the need to process and analyze the information accumulated by the complexes of photo-video recording of traffic violations, which will further develop mathematical, computational and simulation models of road transport, solve problems of optimization and management of traffic flows, make management decisions to reduce the number of congestion and reduce the anthropogenic load on the environment.

The **object** of the study is a part of a three-lane road with heavy one-way traffic, equipped with a software and technical complex that allows measuring the main characteristics of the traffic flow (vehicle speeds, including the average values on the controlled road part, driving time, etc.). The **subject** of the study is the traffic flow intensity during a 7-day time (from Monday to Sunday).

The analysis of the obtained dependences allowed us to formulate a hypothesis about the presence of deterministic and stochastic components in the traffic flow intensity, which is a random function of time, and the verification of which is the **purpose** of this study.

Statistical processing of the obtained data is used as a **theoretical and methodological approach**, as well as the assumption that the traffic flow intensity can be represented by the sum of deterministic and stochastic components. The developed approach using the smoothing procedure allowed us to select both components, and this is a **scientific novelty** of the analysis performed.

As a **result of the study**, it is shown that the deterministic component of the traffic flow intensity for working days is qualitatively different from the deterministic component for weekends. Statistical indicators of probabilistic distributions of traffic flow intensities and random components selected from them are determined. Estimates of the correspondence of the selected curves to the normal law of probability distribution are obtained using the Kolmogorov and Pearson criteria, which contradict each other.

Practical significance consists in the use of a deterministic component for predicting traffic flows, controlling the operation of traffic lights, monitoring the operation of equipment, as well as in the reconstruction, design and construction of roads and road objects.

The **direction of further research** is to obtain, statistically process and generalize data on the traffic flows intensity in other parts of the road network.

Key words: car traffic intensity, traffic flow, deterministic and stochastic components, probabilistic indicators of car traffic.

Cite as: Boyarshinov, M. G., Vavilin, A. S., Shumkov, A. G. (2021) [Using the complex of photo and video recording of traffic violations to identify deterministic and stochastic components of the traffic flow intensity]. *Intellect. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 3, pp. 61–71. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-61.

Введение

В отечественных и зарубежных исследованиях для анализа транспортных потоков традиционно используются экспериментально определяемые равномерность [9] и скорость движения [8] автомобильного транспорта, загруженность улично-дорожной сети [12, 13, 19], а также показатель интенсивности движения [2, 7, 15, 18] – количество автомобилей, проезжающих через условное сечение участка дороги, за единицу времени. Для получения требуемой информации активно используются спутниковый мониторинг [16, 26], квадрокоптеры [25], регистраторы акустического излучения автомобилей [20] и другие технические средства. Благодаря внедрению технических средств фотовидеофиксации событий на улично-дорожной сети имеется возможность практически в режиме реального времени собирать

и анализировать значительные объемы информации об эволюции характеристик транспортных потоков для различных временных интервалов, на отдельных участках дорог и их пересечений, формировать матрицы корреспонденций и проч.

Внедрение новейших транспортных технологий (беспилотные автомобили, каналы коммуникации между автомобилями, автоматизированные системы управления дорожным движением) требует постановки и решения новых задач в области управления транспортными потоками и обеспечения безопасности дорожного движения [3, 22, 23], что, в свою очередь, определяет научную проблему, связанную с разработкой, апробацией и внедрением новых методов и способов обработки значительных объемов информации, поступающих с программно-технических комплексов, в режиме реального времени.

Актуальность решения указанной проблемы обусловлена необходимостью проведения глубокого анализа значительных объемов данных наблюдений и измерений, их обобщения, подготовки базы для разработки математических, вычислительных, имитационных и регрессионных моделей [21] движения автомобильного транспорта по дорогам [17], распределения интервалов следования автомобилей [10], состояние улично-дорожных сетей [4], при использовании программных пакетов вычислительного и имитационного моделирования «PTV VISUM» [5, 14], «AnyLogic» [21] и др.

Необходимо отметить, что объемы информации, накопленные в течение многих лет применения программно-технических комплексов видефиксации нарушений правил дорожного движения, практически не используются для решения практически важных задач. Практическое использование данных программно-технических комплексов, накопленных за прошедшие годы и по-

лучаемых в режиме реального времени, позволит формулировать и решать задачи оптимизации [24] и управления [1, 11] транспортными потоками, принимать управленческие решения для снижения количества заторов на улично-дорожных сетях, уменьшения антропогенной экологической нагрузки на окружающую среду.

Целью настоящего исследования как начального этапа работы по анализу накопленных данных является проверка гипотезы о наличии детерминированной составляющей в интенсивности транспортного потока, проявляющей свойства случайной функции времени.

Данные, полученные с использованием программно-технического комплекса

В настоящей работе выполняется анализ зависимости от времени интенсивности потока автомобилей на одной из оживленных дорог города Перми.

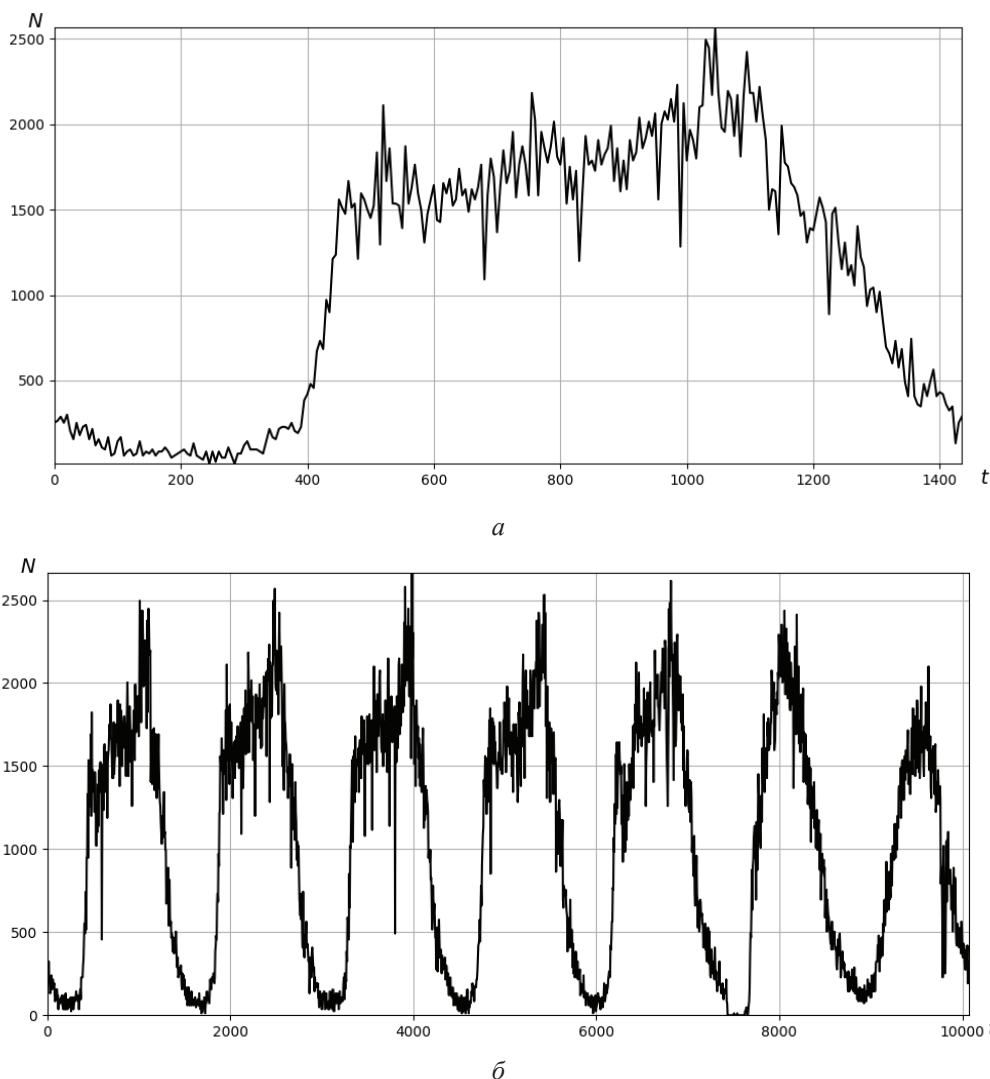


Рисунок 1. Зависимости от времени t (мин) интенсивности N (авт/ч) транспортного потока суточная (понедельник, а) и недельная (с понедельника по воскресенье, б)

Источник: разработано авторами

Выбранный участок трёхполосной дороги с односторонним движением оборудован программно-техническим комплексом «Азимут 3»¹, который позволяет измерять скорость транспортных средств в зоне контроля комплекса, их среднюю скорость, время проезда участка и др.

На рисунке 1 показаны зависимости от времени суточной и недельной интенсивности транспортного потока на выбранном участке дороги, полученные в результате обработки поступающих данных. Рисунок 1а показывает, что суточная интенсивность транспортного потока является случайным процессом. В то же время рисунок 1б указывает на то, что кривые интенсивности транспортного потока, полученные за несколько суток подряд, являются подобными. Зависимости интенсивности транспортного потока для рабочих дней (понедельник-пятница) имеют два пиковых значения (ориентировочно, с 7:00 до 9:00 и с 16:30 до 18:30) и один пик в выходные дни (суббота-воскресенье, ориентировочно, с 13:00 до 18:00).

Основная гипотеза исследования

Представляет интерес анализ зависимостей от времени суточных интенсивностей транспортного потока и выделение для представленных кривых подобных детерминированных составляющих. Для этого делается предположение, что в каждый момент времени интенсивность N транспортного потока можно представить в виде суммы $N = N_D + N_S$, где

N_D – детерминированная (сглаженная) составляющая интенсивности транспортного потока;
 N_S – отклонение интенсивности транспортного

потока от сглаженной кривой (стохастическая составляющая).

Статистическая обработка данных об интенсивности транспортного потока

Первоначально рассматривается интенсивность транспортного потока в течение первых суток наблюдения (понедельник, рисунок 1а). Рассматривается гипотеза о нормальном законе распределения данных временного ряда. Результаты статистического анализа приведены в таблице 1.

Для количественной оценки допустимости принятия гипотезы о нормальном законе распределения интенсивности транспортного потока на рассматриваемом участке дороги определены значения статистик критериев Колмогорова

$$D_m = \max_{k=1, M} |F_M(N_k) - F(N_k)|$$

и Пирсона $\chi^2 = \sum_{k=1}^m (v_k - MP_k)^2 / MP_k$,

где

$F_M()$, $F()$ – эмпирическая и гипотетическая функции распределения. В приведенных выражениях использованы обозначения: N_k – значения элементов временного ряда (рисунок 1); P_k – вероятности попадания в соответствующий интервал группировки, определяемые по гипотетической плотности распределения; v_k – частоты попадания точек выборки в соответствующие интервалы группировки;

m – количество интервалов, $\sum_{k=1}^m v_k = M$.

Таблица 1. Статистические показатели интенсивности транспортного потока (на примере понедельника)

Показатель	Значение для N	Значение для N_S
Среднее значение, авт./час	1119,20	-0,75
Медиана, авт./час	1428,0	-10,00
Среднеквадратичное отклонение, авт./час	762,78	162,77
Коэффициент вариации, %	0,68	-214,65
Асимметрия	-0,20	-0,12
Экцесс	-1,50	2,82
Статистика Пирсона	3696,37	24,22
Статистика Колмогорова	1,0	0,52

На рисунке 2 показаны гистограмма, относительные частоты (частоты), экспериментальная и теоретическая кривые распределения вероятности P и ее

плотности p . Экспериментальные и теоретические функции распределения вероятности и ее плотности существенно различаются (рисунок 2в и г).

¹ КИПТ «Азимут 3» [Электронный ресурс]. Технологии безопасности дорожного движения URL: <https://tbdd.ru/node/224> (дата обращения: 11.11.2020).

Статистика Пирсона для рассматриваемого временного ряда дает значение 3696,37, при этом уровню значимости 0,01 соответствует $\chi_{0,01}^2 = 43,0$; это означает, что гипотеза о нормальном распределении интенсивности транспортного потока должна быть отвергнута. Статистика Колмогорова для того

же временного ряда дает значение 1,0, при этом уровню значимости 0,01 соответствует критическое значение $t_{0,01} = 0,317$, то есть гипотеза о нормальном распределении интенсивности транспортного потока также должна быть отвергнута.

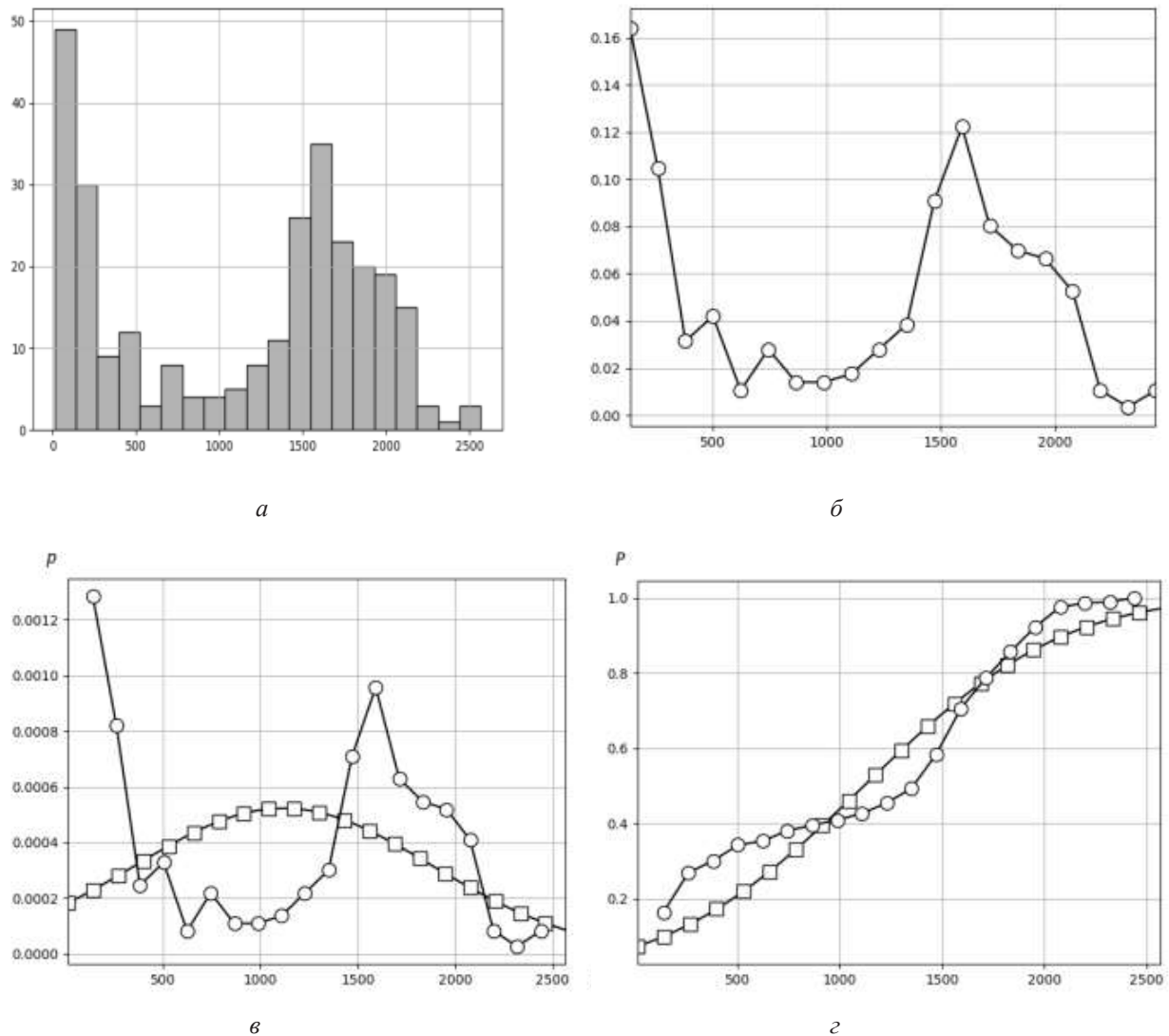


Рисунок 2. Статистические показатели интенсивности N транспортного потока в рабочий день (понедельник): а – гистограмма, б – частоты, в – экспериментальная (—○—) и теоретическая (гауссова, —□—) кривые плотности p распределения вероятности, г – экспериментальная (—○—) и теоретическая (—□—) кривые распределения вероятности P

Источник: разработано авторами

Выделение детерминированной составляющей интенсивности транспортного потока

Для построения детерминированной составляющей интенсивности транспортного потока используется процедура сглаживания методом скользящей средней [6]. Сглаженная кривая интенсивности транспортного потока показана на рисунке 3а.

Зависимость от времени отклонения N_s интенсивности транспортного потока N от сглаженной

кривой N_D показана на рисунке 3б, ее статистические показатели приведены в таблице 1. На рисунке 4 представлены гистограмма, относительные частоты, экспериментальная и теоретическая кривые распределения P вероятности и ее плотности p для отклонения N_s .

Статистика Пирсона для временного ряда N_s дает величину 24,22, при том же значении $\chi_{0,01}^2 = 43,0$, что подтверждает гипотезу о нор-

мальном распределении отклонения N_s интенсивности транспортного потока от сглаженной кривой. Статистика Колмогорова для этого же временного ряда равна 0,52, при критическом значении $t_{0,01} = 0,317$, что требует отвергнуть гипотезу о нормальном распределении отклонения N_s интенсивности транспортного потока от сглаженной кривой.

На рисунке 5 показаны детерминированные составляющие интенсивности транспортных потоков в рабочие и выходные дни, построенные с использованием изложенного выше подхода. Пред-

ставленные на этом рисунке результаты показывают, что детерминированные составляющие N_D в рабочие дни (рисунок 5а) близки между собой, и в то же время качественно отличаются от детерминированных составляющих для выходных дней (рисунок 5б), причем последние подобны друг другу. Полученные кривые детерминированных составляющих могут быть использованы при анализе и прогнозировании интенсивности движения автомобильного транспорта на городских улично-дорожных сетях.

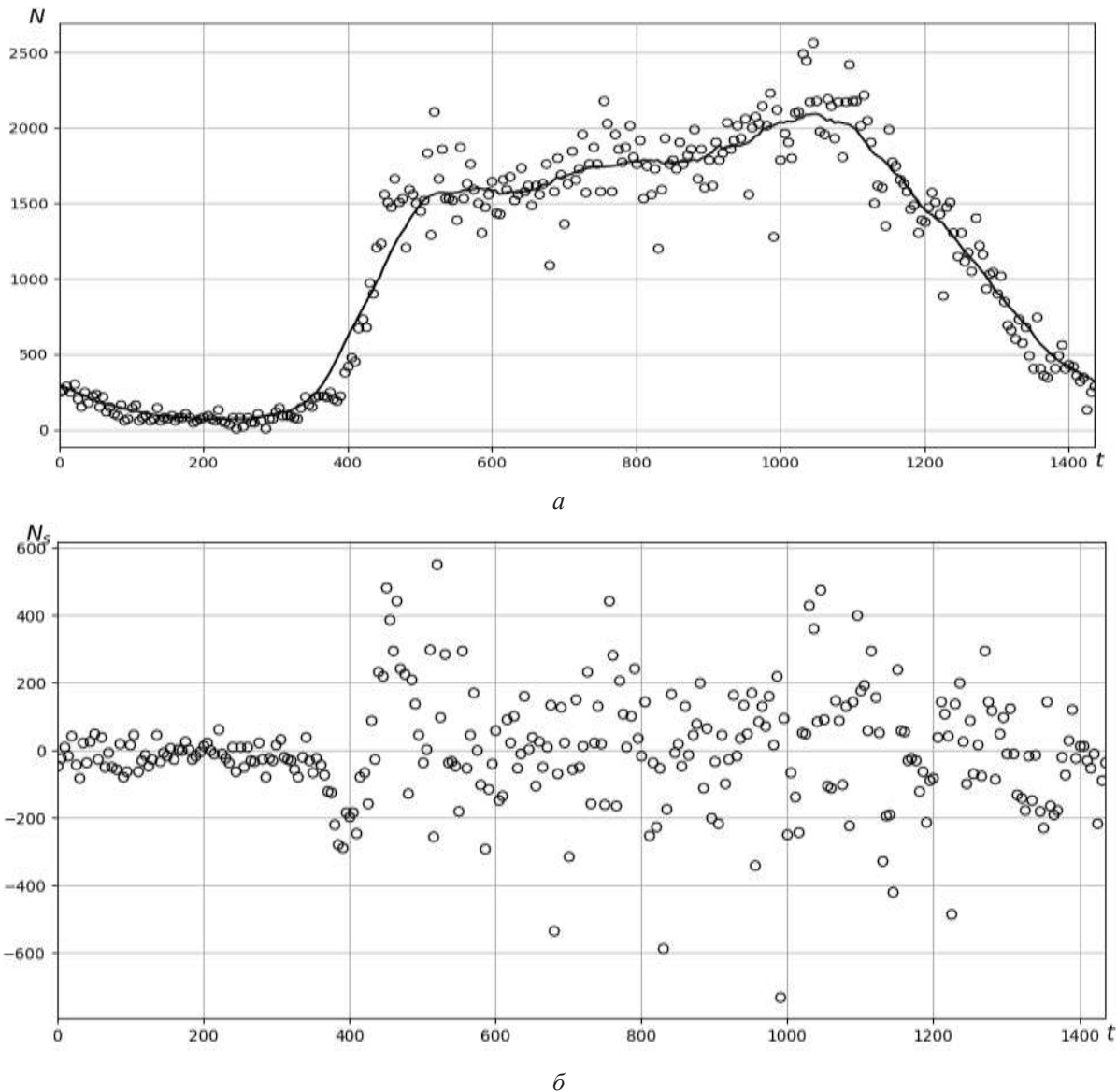


Рисунок 3. Зависимость от времени t интенсивности N (а, маркеры «о», авт./ч) транспортного потока (рабочий день, понедельник), сглаженной (детерминированной) составляющей интенсивности (а, сплошная кривая) и отклонения N_s интенсивности от сглаженной кривой (б, маркеры)

Источник: разработано авторами

Заключение

Данные, полученные с использованием программно-технического комплекса «Азимут 3», по-

зволили определить зависимости от времени интенсивности транспортного потока на протяжении недели. Предложен подход к выделению в интен-

сивности потока автомобилей детерминированной и стохастической составляющих (рисунки 3, 4, и 5), имеющих близкие характеристики в рабочие и выходные дни недели.

Во всех рассмотренных случаях распределения случайных составляющих не могут быть признаны соответствующими нормальному закону распределения.

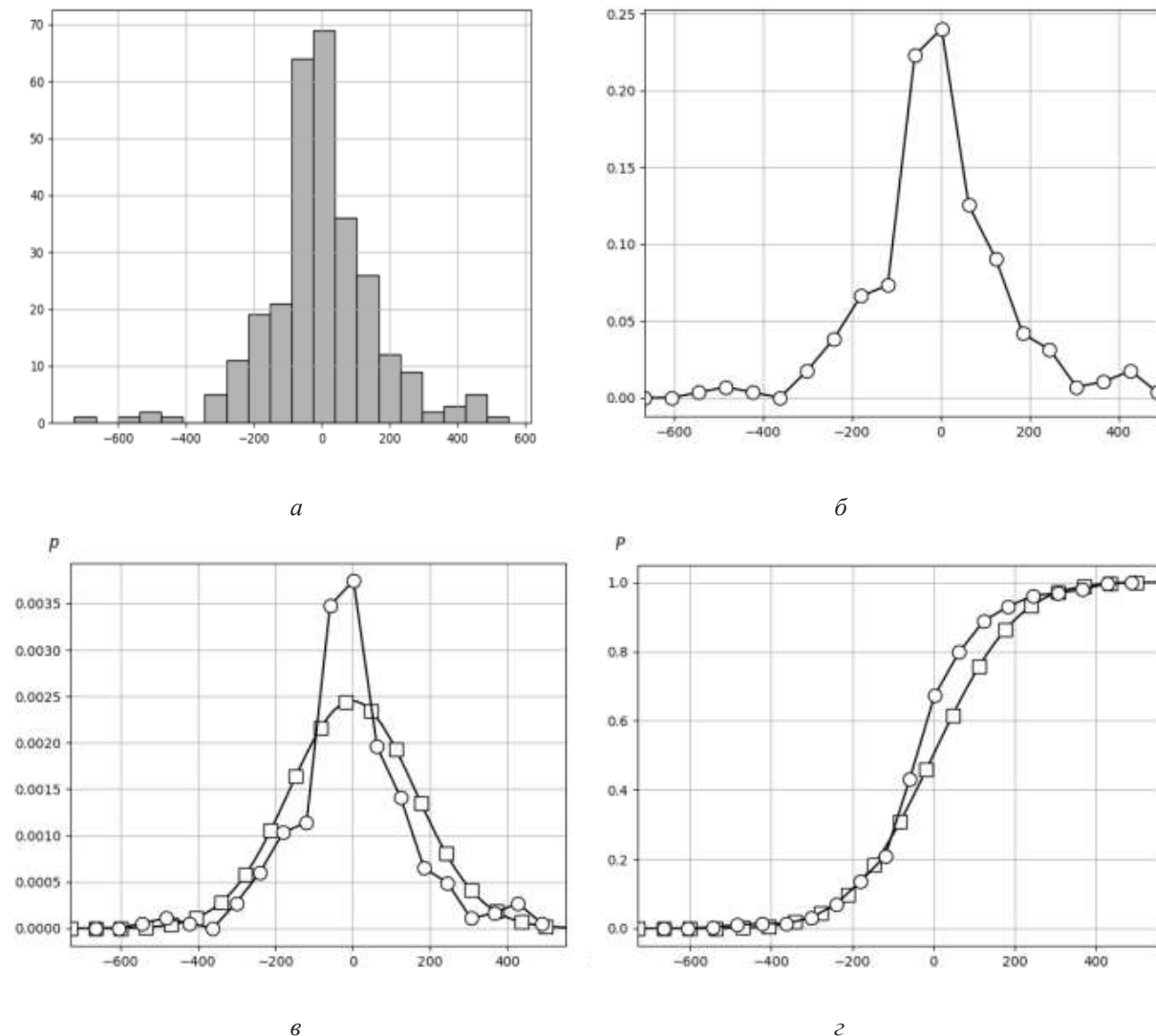


Рисунок 4. Статистические показатели отклонения N_s интенсивности от сглаженной кривой в рабочий день (понедельник): а – гистограмма, б – частоты, в – экспериментальная (—○—) и теоретическая (—□—) кривые плотности p распределения вероятности, з – экспериментальная (—○—) и теоретическая (—□—) кривые распределения вероятности P

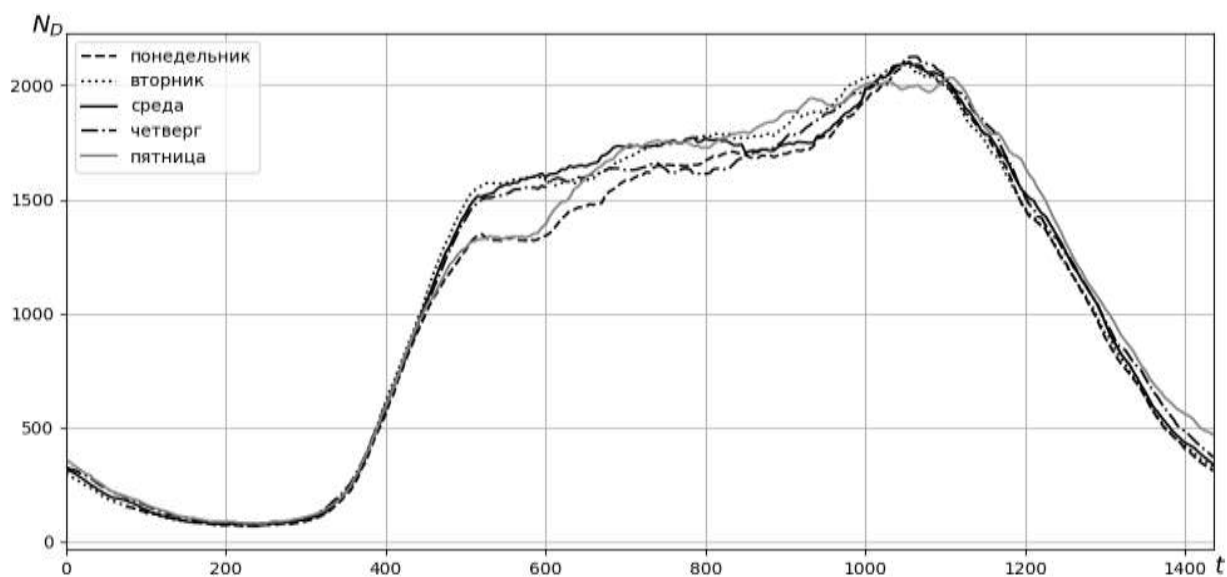
Источник: разработано авторами

Определены статистические показатели распределений как самих интенсивностей, так и выделенных из них случайных составляющих. Показано, что в рабочие дни детерминированные составляющие интенсивности транспортных потоков близки по форме и расположению максимальных и минимальных значений.

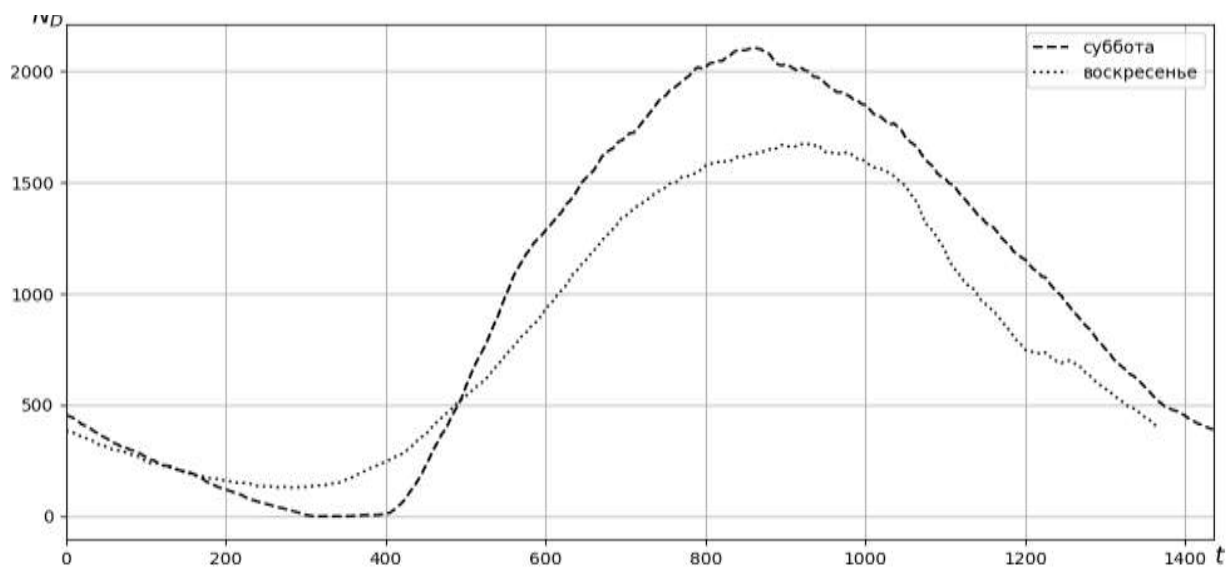
Детерминированную составляющую целесообразно использовать для прогнозирования интенсивности транспортных потоков, управления алгоритмами работы светофорных объектов, выявления

аномалий в работе оборудования, можно рассматривать в качестве исходных данных при реконструкции, проектировании и строительстве дорог и дорожных объектов.

Научная новизна выполненного исследования состоит в установлении факта существования детерминированной составляющей случайной функции интенсивности транспортного потока, зависящей от времени; предложен подход, позволяющий выделять детерминированную составляющую интенсивности транспортного потока.



а



б

Рисунок 5. Детерминированные составляющие интенсивности N транспортных потоков в рабочие (а) и выходные (б) дни

Источник: разработано авторами

Направление дальнейшего исследования – получение, статистическая обработка и обобщение данных об интенсивности транспортных потоков на других участках улично-дорожной сети для уточне-

ния стохастических характеристик отклонения интенсивности транспортного потока от сглаженной кривой (стохастической составляющей интенсивности транспортного потока).

Литература

1. Абдулгасис У. А., Билялова Л. Р., Ситшаева З. З. Управление движением автотранспортных потоков на регулируемом пересечении с учетом динамических и вероятностных параметров // Ученые записки КИПУ. – 2019. – № 3 (65). – С. 248–251.
2. Андронов Р. В. [и др.] // Определение интенсивности транспортных потоков при помощи системы баллов карт пробок. – Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 4. – С. 5–12.
3. Вахрамеева М. В., Чуприкова З. В. Направления статистического изучения развития транспортных экосистем // Транспортное дело в России. – 2020. – № 4. – С. 60–62.

4. Ветрогон А. А., Крипак М. Н. Транспортное моделирование как инструмент для эффективного решения задач в области управления транспортными потоками // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.* – 2018. – № 3 (59). – С. 82–91.
5. Ву Д. М. [и др.] Распределение потоков индивидуального автотранспорта в городских сетях на основе задержек на перекрестках // *Автомобильный транспорт.* – 2020. – Вып. 46. – С. 47–62.
6. Грешилов А. А., Стакун В. А., Стакун А. А. Математические методы построения прогнозов. – М.: Радио и связь, 1997. – 112 с.
7. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 423 с.
8. Макаричев А. В. [и др.] // Распределение скорости движения автомобилей перед стоп-линией городского регулируемого перекрёстка. – *Вісник ХНАДУ.* – 2019. – Вып. 85. – С. 107–116.
9. Медрес Е. Е., Голов Е. В., Бабенко Т. И. Факторы, влияющие на равномерность движения автомобильного транспорта в условиях насыщенных транспортных потоков // *Транспортное дело в России.* – 2017. – № 2. – С. 89–90.
10. Михайлов А. Ю., Попова Е. Л. Анализ математических моделей расчета интервалов следования в главных потоках на преобладающих дорожных условиях Российской Федерации // *Вестник СибАДИ.* – 2020. – 17 (6). – С. 714–725.
11. Михеев С. В. Сетевое управление на основе микро- и макромоделей транспортных потоков // *Программные продукты и системы.* – 2018. – 1 (31). – С. 19–24.
12. Нестеренко Д. Х. Исследование влияния структуры автотранспортного потока на эффективность использования участка улично-дорожной сети // *Интеллект. Инновации. Инвестиции.* – 2019. – № 1. – С. 90–96.
13. Павлов С. Н., Грешенштейн А. П. Совершенствование методики оценки целесообразности введения выделенной полосы в крупных городах // *Вестник СГУПС.* – 2020. – № 4 (55). – С. 19–25.
14. Пиров Ж. Т., Михайлов А. Ю. Влияние распределения транспортных потоков на скорость сообщения на сегментах городских улиц с регулируемым движением // *Интеллект. Инновации. Инвестиции.* – 2020. – № 2. – С. 115–124.
15. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
16. Тестешев А. А., Микеладзе Т. Г. Исследование транспортных потоков на улицах с нерегулярным движением методом дистанционного спутникового мониторинга // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология.* – 2019. – № 4. – С. 51–57.
17. Углова Е. В., Саенко С. С. Распределение транспортных потоков по полосам движения на автомагистралях // *Вестник МАДИ.* – 2017. – Вып. 1 (48). – С. 98–105.
18. Углова Е. В. [и др.] Оценка годового распределения параметров транспортного потока // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология.* – 2018. – № 3. – С. 87–95.
19. Фоменко Н. А., Нагуманова А. В., Алексиков С. В. Анализ транспортных потоков основных магистралей г. Волгограда // *Вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура.* – 2018. – Вып. 54 (73). – С. 121–131.
20. Францев С. М. Алгоритм вычисления интенсивности транспортного потока на основе фиксации амплитудной величины акустического излучения автомобиля // *Инженерный вестник Дона.* – 2017. – № 2. – 6 с.
21. Шамлицкий Я. И., Охота А. С., Мироненко С. Н. Моделирование транспортных потоков в среде AnyLogic // *Программные продукты и системы.* – 2018. – 3 (31). – С. 632–635.
22. Ghiasi A. et al. A mixed traffic capacity analysis and lane management model for connected automated vehicles: A Markov chain method // *Transportation Research. Part B.* 2017. – 106. – pp. 266–292.
23. Hu G. et al Analytical approximation for macroscopic fundamental diagram of urban corridor with mixed human and connected and autonomous traffic // *IET Intelligent Transport Systems.* – 2021. – 15. – pp. 261–272.
24. Wang S., Ahmed N. U., Yeap T. H. Optimum Management of Urban Traffic Flow Based on a Stochastic Dynamic Model // *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems.* – 2019. – Vol. 20. – № 12. – pp. 4377–4389.
25. Yakimov M. R. Technologies for restoring the OD matrix elements based on the results of processing video materials obtained from the quadcopters // *International Journal of Engineering & Technology.* – 2018. – 7 (2.28). – pp. 230–233.
26. Fornalchyk Ye. et al. // Improvement of Methods for Assessing the Effectiveness of Dedicated Lanes for Public Transport. – *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2021. – 1/3 (109). – pp. 29–37.

References

1. Abdulgazis, U. A., Bilyalova L. R., Sitshaeva Z. Z. (2019) [Traffic flow control at a controlled intersection, taking into account dynamic and probabilistic parameters]. *Uchenye zapiski KIPU [KIPU Scientific Notes]*. Vol. 3 (65), pp. 248–251. (In Russ.).

2. Andronov, R. V. et al (2019) [Determining the intensity of transport flows using the system of points of traffic jams maps]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport facilities. Ecology]. Vol. 4, pp. 5–12. – DOI 10.15593/24111678/2019.04.01. (In Russ.).
3. Vahrameeva, M. V., Chuprikova, Z. V. (2020) [Directions of statistical study of the development of transport ecosystems]. *Transportnoe delo v Rossii* [Transport business in Russia]. Vol. 4, pp. 60–62. (In Russ.).
4. Vetrogon, A. A., Kripak, M. N. (2018) [Transport modeling as a tool for effective solution of problems in the field of traffic flow management]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling]. Vol. 3 (59), pp. 82–91. – DOI: 10.26731/1813-9108.2018.1(57). (In Russ.).
5. Vu, D. M. et al. (2020) [Distribution of individual motor transport flows in urban networks on the basis of delays at intersections]. *Avtomobil'nij transport* [Automobile transport]. – Iss. 46, pp. 47–62. – DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2020.46.0.47. (In Russ.).
6. Greshilov, A. A., Stakun, V. A., Stakun, A. A. (1997) *Matematicheskie metody postroeniya prognozov* [Mathematical methods of forecasts making]. Moscow: Radio and Connection, 112 p. (In Russ.).
7. Drew, D. (1972) *Teoriya transportnyh potokov i upravlenie imi* [Theory of transport flows and their management]. Moscow: Transport, 423 p. (In Russ.).
8. Makarichev, A.V. et al. (2019) [Distribution of the speed of movement of cars before the stop line of the city regulated intersection]. *Vestnik HNADU* [Herald of KHNADU]. Iss. 85, pp. 107–116. – DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.107. (In Russ.).
9. Medres, E. E., Golov, E. V., Babenko, T. I. (2017) [Factors influencing the uniformity of the movement of road transport in conditions of saturated transport flows]. *Transportnoe delo v Rossii* [Transport business in Russia]. Vol. 2, pp. 89–90. (In Russ.).
10. Mihajlov, A. Yu., Popova, E. L. (2020) [Analysis of mathematical models for calculating the intervals of following in the main flows for the prevailing road conditions of the Russian Federation]. *Vestnik SibADI* [Herald of SibADI]. Vol. 17 (6), pp. 714–725. (In Russ.).
11. Miheev, S. V. (2018) [Setecentric management based on micro-and macromodels of transport flows]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software products and systems]. Vol. 1 (31), pp. 19–24. (In Russ.).
12. Nesterenko, D. H. (2019) [Investigation of the influence of the structure of road traffic flow on the efficiency of the use of a section of the road network]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intelligence. Innovations. Investment]. Vol. 1, pp. 90–96. (In Russ.).
13. Pavlov, S. N., Grefenshtejn, A. P. (2020) [Improving the methodology for assessing the feasibility of introducing a dedicated lane in large cities]. *Vestnik SGUPS* [Herald of SGUPS]. Vol. 4 (55), pp. 19–25. (In Russ.).
14. Pirov, Zh. T., Mihajlov, A. Yu. (2020) [Influence of the distribution of traffic flows on the speed of communication on segments of city streets with regulated traffic]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intelligence. Innovation. Investment]. Vol. 2, pp. 115–124. (In Russ.).
15. Sil'yanov, V. V. (1977) *Teoriya transportnyh potokov v proektirovanii dorog i organizacii dvizheniya* [Theory of traffic flows in road design and traffic management]. Moscow: Transport, 303 p. (In Russ.).
16. Testeshev, A. A., Mikeladze, T. G. (2019) [Investigation of traffic flows on streets with irregular traffic by remote satellite monitoring method]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport facilities. Ecology]. Vol. 4, pp. 51–57. (In Russ.).
17. Uglova, E. V., Saenko, S. S. (2017) [Distribution of traffic flows by traffic lanes on motorways]. *Vestnik MADI* [Herald of MADI]. Iss. 1 (48), pp. 98–105. (In Russ.).
18. Uglova, E. V. et al. (2018) [Estimation of the annual distribution of transport flow parameters]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport facilities. Ecology]. Vol. 3, pp. 87–95. (In Russ.).
19. Fomenko, N. A., Nagumanova, A. V., Aleksikov, S. V. (2018) [Analysis of transport flows of the main highways of Volgograd]. *Vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arhitektura* [Herald of VGASU. Construction and architecture]. Iss. 54 (73), pp. 121–131. (In Russ.).
20. Francev, S. M. (2017) [Algorithm for calculating the intensity of the traffic flow based on fixing the amplitude value of the acoustic radiation of the car]. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. Vol. 2, 6 p. (In Russ.).
21. Shamlickij, Ya. I., Ohota A. S., Mironenko S. N. (2018) [Modeling of transport flows in the AnyLogic environment]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software products and systems]. – 3 (31). – pp. 632–635. (In Russ.).
22. Ghiasi A. et al/ (2017) A mixed traffic capacity analysis and lane management model for connected automated vehicles: A Markov chain method. *Transportation Research. Part B*. 106, pp. 266–292. (In Engl.).
23. Hu, G. et al. (2021) Analytical approximation for macroscopic fundamental diagram of urban corridor with mixed human and connected and autonomous traffic. *IET Intelligent Transport Systems*. Vol. 15, pp. 261–272. (In Engl.).

24. Wang, S., Ahmed, N. U., Yeap, T. H. (2019) Optimum Management of Urban Traffic Flow Based on a Stochastic Dynamic Model. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*. Vol. 20. No. 12, pp. 4377–4389. (In Engl.).

25. Yakimov, M. R. (2018) Technologies for restoring the OD matrix elements based on the results of processing video materials obtained from the quadcopters. *International Journal of Engineering & Technology*. Vol. 7 (2.28), pp. 230–233. (In Engl.).

26. Fornalchuk, Ye. et al. (2021) Improvement of Methods for Assessing the Effectiveness of Dedicated Lanes for Public Transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 1/3 (109), pp. 29–37. (In Engl.).

Информация об авторах:

Михаил Геннадьевич Бояршинов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобилей и технологических машин, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия
e-mail: atm@pstu.ru

Александр Сергеевич Вавилин, аспирант, направление подготовки 23.06.01 Техника и технологии наземного транспорта, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Арсений Геннадьевич Шумков, аспирант, направление подготовки 15.06.01 Машиностроение, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Статья поступила в редакцию: 27.03.2021; принята в печать: 31.05.2021.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Mikhail Gennadyevich Boyarshinov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Automobiles and Technological Machines», Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
e-mail: atm@pstu.ru

Alexander Sergeevich Vavilin, post-graduate student, training program 23.06.01 «Equipment and technologies of ground transport», Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia.

Arseniy Gennadyevich Shumkov, post-graduate student, training program 15.06.01 «Mechanical engineering», Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia.

The paper was submitted: 27.03.2021.

Accepted for publication: 31.05.2021.

The authors have read and approved the final manuscript.