

УДК 656.13

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-726-735>

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АДАПТАЦИИ МОДЕЛИ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕРЕСЕЧЕНИЯ

И.А. Новиков, А.Г. Шевцова*, А.А. Кравченко, А.Г. Бурлуцкая
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия
*shevcova-anastasiya@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена разработке алгоритма проверки оценки адекватной работы транспортной модели и применению данного алгоритма на практике. Проведены исследования на регулируемом пересечении в г. Белгороде, определены основные параметры, необходимые для создания транспортной модели. Создана транспортная модель исследуемого пересечения, выполнена оценка адекватной работы модели, предложены мероприятия, повышающие пропускную способность исследуемого участка улично-дорожной сети.

Методы и материалы. Основное внимание уделено использованию программного обеспечения, позволяющего моделировать транспортные процессы на начальных стадиях проведения мероприятий, связанных с организацией или реорганизацией дорожного движения. Моделирование является быстрым, удобным и экономически выгодным способом оценки эффективности организации дорожного движения. Процесс моделирования помогает выбрать наиболее оптимальное решение для транспортной инфраструктуры.

Результаты. Авторами разработан алгоритм проверки адаптации модели регулируемого перекрестка в программной среде Aimsun, предложен новый план координации для пересечения.

Заключение. Сделан вывод о необходимости использования программных продуктов, предназначенных для моделирования транспортных систем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: организация дорожного движения, имитационное моделирование, транспортное моделирование, оценка адекватности, ковариация, интенсивность.

Поступила 05.10.20, принята к публикации 25.12.2020.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: И.А. Новиков, А.Г. Шевцова, А.А. Кравченко, А.Г. Бурлуцкая. Разработка методики адаптации модели регулируемого пересечения. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (6): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-726-735>

© Новиков И.А., Шевцова А.Г., Кравченко А.А., Бурлуцкая А.Г.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-726-735>

DEVELOPMENT OF A PROCEDURE FOR ADAPTING A MODEL OF ADJUSTABLE INTERSECTION

Ivan A. Novikov, Anastasia G. Shevtsova*, Andrey A. Kravchenko, Alina G. Burlutskaya
V.G. Shukhov Belgorod State Technological University
*shevcova-anastasiya@mail.ru
Belgorod, Russia

ABSTRACT

Introduction. The article is devoted to the development of an algorithm for checking the assessment of the adequate operation of the transport model and the application of this algorithm in practice. The research has been carried out at a regulated intersection in Belgorod, the main parameters necessary for creating a transport model have been determined. A transport model of the investigated intersection was created, an assessment of the adequate operation of the model was made, measures were proposed to increase the capacity of the investigated section of the road network.

Methods and materials. The main attention is paid to the use of the software that allows simulating transport processes at the initial stages of activities related to the organization or reorganization of road traffic. Simulation is a fast, convenient and cost-effective way to assess the effectiveness of traffic management. The modeling process helps to select the most optimal solution for the transport infrastructure.

Results. The authors have developed the algorithm for checking the adaptation of the controlled crossing model in the Aimsun software environment, and proposed a new coordination plan for crossing.

Conclusion. It is concluded that it is necessary to use the software products intended for modeling transport systems.

KEYWORDS: traffic management, simulation, traffic simulation, adequacy assessment, covariance, intensity.

Submitted 05.10.20, revised 25.12.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Ivan A. Novikov, Anastasia G. Shevtsova*, Andrey A. Kravchenko, Alina G. Burlutskaya. Development of a procedure for adapting a model of adjustable intersection. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (6): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-726-735>

© Novikov I.A., Shevtsova A.G., Kravchenko A.A., Burlutskaya A.G.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Дорожное движение, в котором участвует практически все население государства и миллионы автомобилей, играет важную роль в жизни современного общества. Управление дорожным движением невозможно без технических средств организации дорожного движения и обустройства автомобильных дорог. С каждым годом автомобильный парк растет большими темпами, дороги и дорожные пересечения не всегда способны пропускать большое количество транспорта. В связи с этим перед человечеством возникают проблемы, связанные с предупреждением аварийных ситуаций и одновременным обеспечением высоких скоростей движения.

Нельзя проводить эффективные мероприятия по организации дорожного движения без их технико-экономического обоснования. Перед тем как приступить к проведению конкретных работ на улично-дорожной сети, создаются имитационные модели пересечений. Моделирование позволяет оценить и выбрать наиболее оптимальное мероприятие по организации дорожного движения. Создание имитационных моделей реального объекта облегчает труд проектировщиков, сокращает расходы и время на проектирование реальных транспортных объектов.

Главным условием при создании моделей является необходимость соответствия параметров модели и параметров реального объекта. Необходимо построить модель с такими параметрами дорог, автомобилей, средств ОДД, чтобы они соответствовали фактическим данным. Для этого существует такое понятие, как адекватность модели и оценка адекватности.

Для проведения исследований по оценке адекватности возникает вопрос о необходимости разработки методики адаптации транспортной модели перекрестка. Данная методика позволит определить, по каким параметрам лучше всего оценивать адекватную работу модели и при каком коэффициенте адекватности можно проводить работы по организации дорожного движения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Существует большое количество программных компонентов, предназначенных для моделирования (Aimsun, IndorCAD, VISSIM, CORSIM). Программы моделируют транспортные потоки на макро-, мезо- и микроуровнях, благодаря чему можно смоделировать транспортные потоки как целого города или отдель-

ных районов, так и конкретно взятого пересечения УДС.

При моделировании транспортных систем важным условием является адекватная работа модели. Адекватность характеризует точность получившейся модели. Для оценки адекватности существует три метода сравнения расчетных и экспериментальных данных. Для оценки адекватности используем первый метод: Коэффициент U – статистики Зейла (корреляционный анализ), который заключается в использовании второго критерия – коэффициента ковариации [1,7,8].

Для оценки адекватной работы модели необходимо определиться, по каким параметрам будет производиться сравнение модели и реального объекта. Для оценки адекватности смоделированного пересечения сравним такие параметры, как интенсивность, скорость, время задержки и длина очереди. Сравнив при помощи корреляционного метода параметры модели и реального пересечения, сделаем вывод о наличии адекватной работы моделируемого объекта.

Объектом данного исследования является процесс движения на участке улично-дорожной сети г. Белгорода пересечение ул. Николая Чумичова – Белгородский пр. (рисунок 1). Пересечение находится в центре города и имеет большое количество точек притяжения, высокую интенсивность и является одним из значимых участков УДС в городе [2,3].

После создания транспортной модели необходимо выполнить оценку адекватности. Адекватность показывает, насколько точно транспортная модель соответствует реальной дорожной ситуации. Моделируемый объект должен иметь такие параметры, в результате которых модель будет схожа с реальными условиями. На основании изученной литературы [10, 11, 12,13] были определены основные входные и выходные параметры: интенсивность, скорость транспортных средств, задержка, длина очереди. Возникает вопрос, по какому параметру лучше производить оценку моделируемого пересечения. Для определения данного параметра используем метод корреляционного анализа – Коэффициент U – статистики Зейла. Коэффициент доли ковариации оценивает остаточную ошибку:

$$U^c = \frac{2(1-r)*s * s^{obs}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n} \quad (1)$$

где r – корреляция между экспериментальными и расчетными данными (диапазон -1;+1).

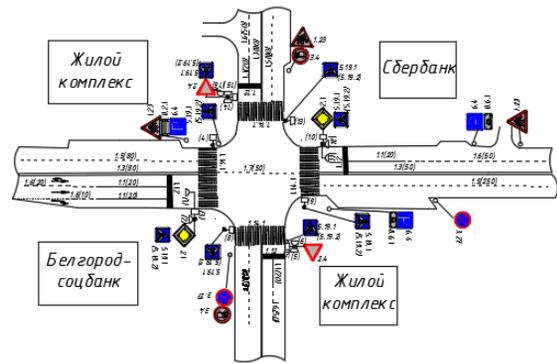


Рисунок 1 – Локализация исследуемого участка

Figure 1 – Localization of the researched area

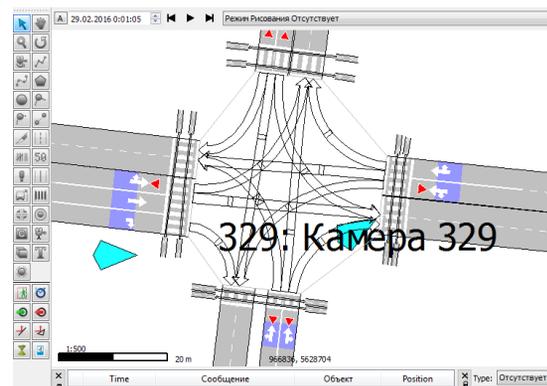
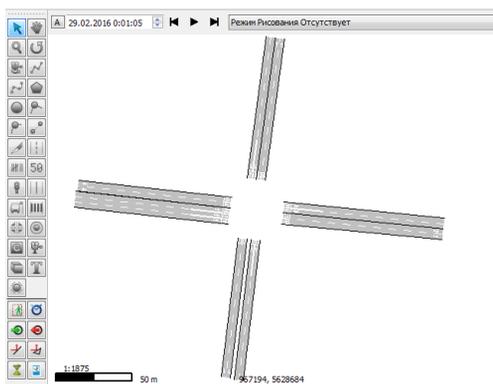


Рисунок 2 – Этапы создания транспортной модели в программном обеспечении Aimsun

Figure 2 – Stages of creating a transport model in Aimsun software

Коэффициент корреляции показывает статистическую зависимость между двумя числовыми переменными. Коэффициент корреляции – показатель, характеризующий отношение экспериментальных и расчетных данных. Коэффициент оценивает остаточную ошибку, а именно погрешность между параметрами модели и реального объекта [9]. Для определения данного коэффициента необходимо провести сравнительный анализ параметров исследуемого объекта: существующие и моделируемые параметры (рисунок 3).

Определив значения параметров исследуемого объекта, существующих и моделируемых, становится возможным выполнить расчет значений коэффициентов корреляции, оценивающих интенсивность, скорость, максимальную длину очереди, задержки транспортных средств [6]. Расчетные значения представлены в таблице 1.

Параметр интенсивности является наиболее подходящим параметром для оценки

адекватности транспортной модели, так как коэффициент корреляции параметра близок к единице. Оценим адекватную работу транспортной модели при помощи метода корреляционного анализа – Коэффициент U – статистики Зейла, это позволяет использовать ее для проведения работ по реорганизации дорожного движения на данном пересечении.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Определив оптимальные параметры для проверки оценки адекватности моделирования и выявив рациональный подход, в рамках данного исследования мы разработали алгоритм проверки адекватности, который позволяет проверить соответствие работы моделируемого объекта и существующего объекта УДС на основании комплексного подхода с учетом ряда характеристик транспортного потока (интенсивность, скорость, максимальная длина очереди и время задержки).

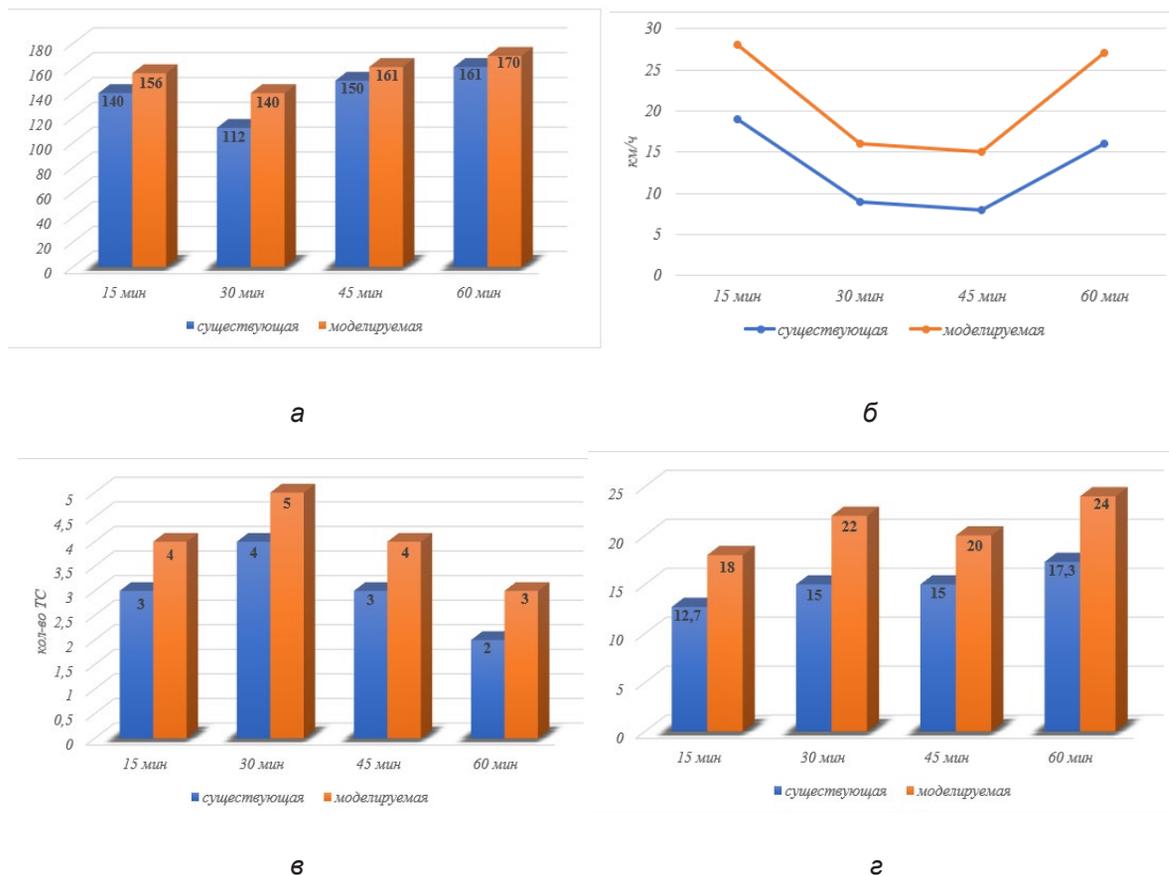


Рисунок 3 – Параметры существующие и моделируемые: а – интенсивность, б – скорость, в – длина очереди, г – задержки

Figure 3 – Parameters existing and simulated: a – intensity, b – speed, c – queue length, d – delays

Таблица 1
Параметры регулирования

Table 1
Control parameters

Параметр	15 мин	30 мин	45 мин	60 мин
Временной ряд				
Интенсивность (существующая)	140	112	150	161
Интенсивность модели	156	140	161	170
Коэффициент корреляции ρ	0,89	0,80	0,93	0,95
Скорость ТС (существующая)	19	9	8	16
Скорость ТС (модели)	28	16	15	27
Коэффициент корреляции ρ	0,67	0,56	0,53	0,63
Максимальная длина очереди (существующая)	3	4	4	2
Максимальная длина очереди (модели)	4	5	4	3
Коэффициент корреляции ρ	0,75	0,8	0,75	0,68
Задержки ТС (существующая)	12,7	15	15	17,3
Задержки ТС (модели)	18	22	20	24

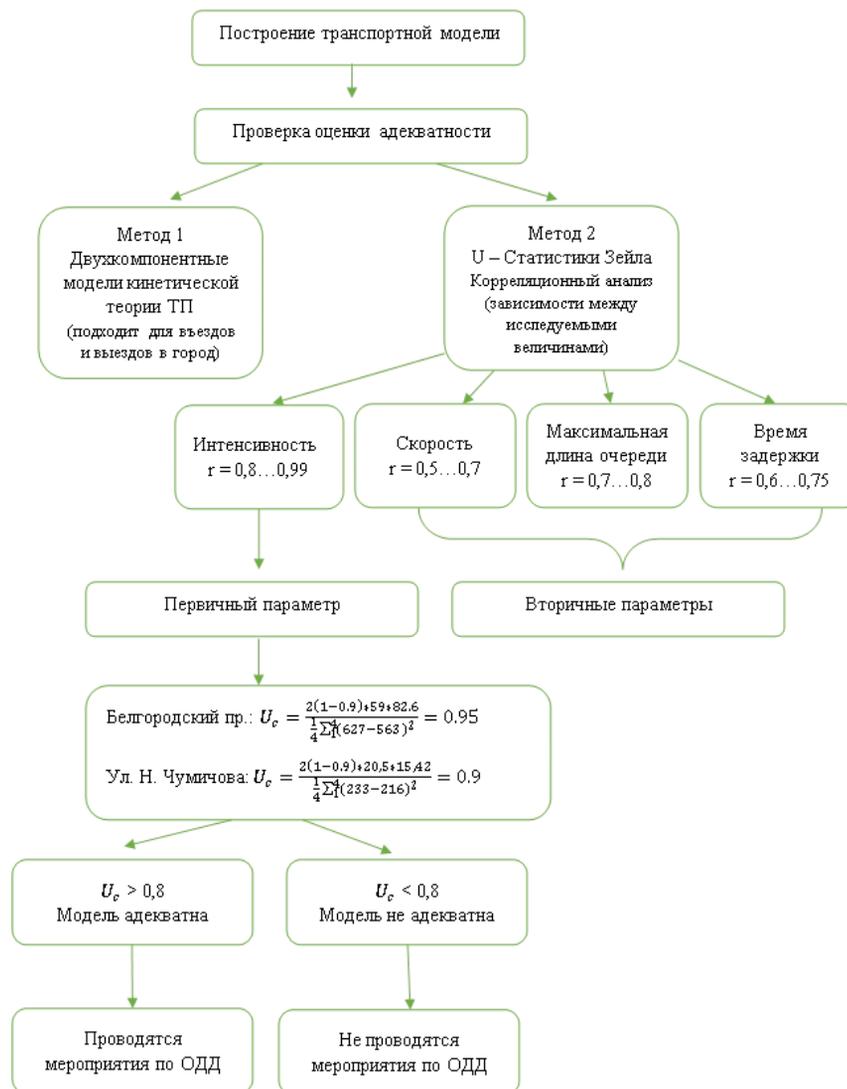


Рисунок 4 – Алгоритм проверки оценки адекватности транспортной модели

Figure 4 – Algorithm for checking the adequacy of the transport model

Ранее существующие методы оценки адекватности моделирования основывались на рассмотрении интенсивности, но разработанный алгоритм позволяет производить оценку по вторичным параметрам, что ранее не предусматривалось (рисунок 4).

Разработанный алгоритм проверки оценки адекватности транспортной модели включает несколько последовательно связанных этапов.

Построение модели в программном продукте, моделирующем транспортные потоки (в нашем случае использовался Aimsun).

Из двух предложенных методов выбрать наиболее подходящий и выполнить оценку адекватности. Метод 1 (Двухкомпонентные модели кинетической теории транспортных потоков) подходит для пересечений, находя-

щихся на въездах и выездах в город. Метод 2 (U – статистика Зейла (корреляционный анализ)), заключается в исследовании зависимостей между величинами. Так как пересечение Белгородский пр. – ул. Н. Чумичова находится в центре города, для оценки моделируемого пересечения нам подходит метод 2.

Для метода корреляционного анализа исследуем следующие величины: интенсивность ТП, скорость ТС, время задержки и максимальную длину очереди. Наибольшая корреляция наблюдается у параметра интенсивность $r = 0,8...0,99$, у остальных параметров $r = 0,5...0,8$. Следовательно, для дальнейших расчетов рационально использовать интенсивность как первичный параметр, а скорость ТС, время задержки и максимальную длину очереди как вторичные параметры.

Таблица 2
Улучшенный режимы работы светофорного объекта
на перекрестке Белгородский пр. – ул. Н. Чумичова

Table 2
Improved operating modes of a traffic light object
at Belgorodsky pr. – st. N. Chumichova crossroads

Дни недели	Время включения режима работы							
	00.00 – 5.00	5.00 – 8.00	8.00 – 12.00	12.00 – 14.00	14.00 – 16.00	16.00 – 18.00	18.00 – 22.00	22.00 – 00.00
Понедельник	ЛР	ПК1	ПК2	ПК3	ПК4	ПК3	ПК2	ПК1
Вторник	ЛР	ПК1	ПК2	ПК3	ПК4	ПК3	ПК2	ПК1
Среда	ЛР	ПК1	ПК2	ПК3	ПК4	ПК3	ПК2	ПК1
Четверг	ЛР	ПК1	ПК2	ПК3	ПК4	ПК3	ПК2	ПК1
Пятница	ЛР	ПК1	ПК2	ПК3	ПК4	ПК3	ПК2	ПК1
Суббота	ЛР	ПК1	ПК1	ПК1	ПК1	ПК1	ПК1	ПК1
Воскресенье	ЛР	ПК1	ПК1	ПК1	ПК1	ПК1	ПК1	ПК1

Определив первичный параметр, найдем коэффициент доли ковариации, который оценивает остаточную ошибку, по формуле (2):

для Белгородского пр.

$$U_c = \frac{2(1-0.9)*59*82.6}{\frac{1}{4}\sum_1^4(627-563)^2} = 0.95; \tag{2}$$

для ул. Н. Чумичова

$$U_c = \frac{2(1-0.9)*20,5*15,42}{\frac{1}{4}\sum_1^4(233-216)^2} = 0.9.$$

Модель считается адекватной, если $U_c > 0,8$. На данном пересечении по обоим направлениям $U_c > 0,8$, что соответствует условию.

Транспортная модель является адекватной в работе, следовательно, на ней можно проверять эффективность предлагаемых мероприятий по организации и реорганизации дорожного движения.

В случае получения коэффициента меньшего соответствующего адекватному состоянию, необходимо выполнение проверки по вторичным параметрам, таким как скорость, максимальная длина очереди и время задержки, а также по рассматриваемым направлениям, что позволяет выполнить более точную оценку.

ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве мероприятий по реорганизации движения изменим план координации пересечения Белгородский пр. – ул. Н. Чумичова.

Благодаря данному мероприятию уменьшатся задержки транспортных средств, что улучшит ситуацию на перекрестке.

В зависимости от дня недели и времени суток происходит смена режимов работы светофорного объекта (таблица 2).

ЛР (локальный режим) – режим «желтого мигания», который согласно п.6.2. ПДД РФ разрешает движение и информирует о наличии нерегулируемого перекрестка или пешеходного перехода; ПК 1 – программа координации, цикл составляет 78 с; ПК 2 – программа координации, цикл составляет 82 с; ПК 3 – программа координации, цикл составляет 80 с; ПК 4 – программа координации, цикл составляет 84 с [4,5].

На пересечении до начала работ по реорганизации дорожного объекта светофор работал в двух режимах программной координации. После проведения мероприятий на перекрестке работа светофора осуществляется при помощи четырех режимов программ координации. Увеличив количество программ координации, на пересечении уменьшилось число задержек [14,15]. Средняя существующая задержка на Белгородском пр. с 20 с уменьшилась до 16 с, на ул. Н. Чумичова средняя существующая задержка составляла 15 с, после реорганизации – 11 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование транспортных систем является одним из этапов при проведении мероприятий по организации дорожного движения [16,17,18,19,20, 21]. Организация дорожного

движения – мероприятия, связанные с проведением определенных работ на дорогах с целью улучшения транспортной ситуации [22, 23, 24,25].

В результате выполненного исследования был разработан алгоритм проверки адекватности моделирования транспортного процесса, который позволяет проверить соответствие работы моделируемого объекта и существующего объекта УДС на основании комплексного подхода с учетом ряда характеристик транспортного потока (интенсивность, скорость, максимальная длина очереди и время задержки).

Ранее существующие методы оценки адекватности моделирования основывались на рассмотрении интенсивности, но разработанный алгоритм позволяет производить оценку по вторичным параметрам, что ранее не предусматривалось. В результате произведенных расчетов авторским коллективом получены значения корреляционных коэффициентов для рассматриваемых величин в рамках анализируемого объекта исследования, которые при отклонении положительного ответа по первичному параметру (модель не адекватна по интенсивности движения) будут использованы в качестве анализируемых параметров, что позволит комплексно оценить процесс моделирования.

В дальнейшем реализация разработанного алгоритма позволит производить более точную комплексную оценку или же определять ряд первичных или вторичных параметров по результату полученного коэффициента корреляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zyryanov V.V., Keridi P.G., Mirotin LB, Golenitsky Yu.V. Modeling of traffic flows as a method of logistic management of transport processes in megalopolises and a method for rational planning of the road network in cities // *Transport Bulletin*. 2008. No. 1. Pp. 37-44.
2. Vlasov V.M., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Definition of perspective scheme of organization of traffic using methods of forecasting and modeling // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 11. Ser. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 - Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment" 2018. Pp. 042116.
3. Шевцова А.Г., Новиков И.А., Боровской А.Е. Современный подход к управлению светофорным объектом // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 2-й Международной научно-практической конференции. 2016. С. 366-370.
4. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffic lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffic flows within intellectual transport systems (ITS) // *Transportation Research Procedia* 2017. Pp. 455-462.
5. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Методика выбора рационального режима работы светофорного объекта на автомобильном транспорте // *Транспорт: наука, техника, управление*. 2012. № 6. С. 50-53.
6. Бурлуцкая А. Г., Семикопенко Ю. В., Шевцова А. Г. Параметры для проверки адекватности моделирования // *Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: сборник статей*. Вып.1. Тула: Изд-во ТулГУ. 2017. С. 444.
7. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков // *Автоматика и Телемеханика*. 2003. № 11. С. 3-46.
8. Gazis D.C., Herman R., Potts R. B. Car-Following Theory of Steady - State Traffic Flow // *Operations Research*. 1959. Vol. 7, № 4. Pp. 499-505.
9. Lighthill M.J., Whitham F.R.S. On kinetic waves II. A theory of traffic flow on crowded roads // *Proc. of the Royal Society Ser. A*. 1955. Vol. 229. № 1178. Pp. 317-345.
10. Зырянов В.В. Методы оценки адекватности результатов моделирования // *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 2. 132 с.
11. Буслаев А.П., Новиков А.В., Приходько В.М., Таташев А.Г., Яшина М.В. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения. Москва, Мир. 2003. 368 с.
12. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов. Москва, Логос. 2013. С. 21-23.
13. Боровской А.Е., Воля П.А., Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Анализ работы и расчет регулируемых перекрестков. Белгород, 2017. 117 с.
14. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Study of the impact of type and condition of the road surface on parameters of signalized intersection //: *Transportation Research Procedia*. 2018. С. 548-555.
15. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city / *Journal of Applied Engineering Science*. 2019. T. 17. № 2. С. 175-181.
16. Хорошилова Е.С., Витвицкий Е.Е. Математическое моделирование автотранспортных систем перевозок грузов в городах // *Динамика систем, механизмов и машин*. 2016. № 2. С. 375-380.
17. Vitvitskiy E.E., Fedoseenkova E.S. Descriptive model of functioning in aggregate of auto transportation system dispatch of freight by vehicles in cities // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering, IPDME 2018. *Transportation of Mineral Resources*. 2018. Pp. 072013.
18. Зырянов В.В. Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий // *Инженерный вестник Дона*. 2011. № 4 (18). С. 548-551.
19. Zyryanov V., Keridi P., Guseynov R. Traffic modelling of network level system for large event // 16th ITS World Congress. 16. 2009.

20. Зырянов В.В., Криволапова О.Ю. Моделирование и анализ спроса на объекты совершенствования транспортной сети // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4-1 (22). 117 с.

21. Novikov A., Glagolev S., Novikov I., Shevtsova A. Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2019. 632. Pp. 012052.

22. Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Поздняков М.Н. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения // Транспорт Российской Федерации. 2011. № 1 (32). С. 54-59.

23. Шевцова А.Г., Кущенко Л.Е., Захаров В.М. Обзор различных видов организации дорожного движения на пересечении // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 6-1. С. 39-44.

24. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Адаптационный период при проведении мероприятий по организации дорожного движения // Наука в центральной России. 2013. № 10. С. 11-17.

25. Стельмашук Е.Е., Шевцова А.Г. Особенности разработки и применения КСОДД при решении проблем организации дорожного движения // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2017). 2017. С. 210-212.

REFERENCES

1. Zyryanov V.V., Keridi P.G., Mirotin LB, Golenitsky Yu.V. Modeling of traffic flows as a method of logistic management of transport processes in megapolises and a method for rational planning of the road network in cities // Transport Bulletin. 2008;1: 37-44.

2. Vlasov V.M., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Definition of perspective scheme of organization of traffic using methods of forecasting and modeling. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 11. Ser. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 – Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment"* 2018. 042116.

3. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskaya A.E. Sovremennyy podhod k upravleniju svetofornym obektom [A modern approach to managing a traffic light object]. *In the collection: Information technologies and innovations in transport, materials of the 2nd International Scientific and Practical Conference.* 2016. 366-370. (in Russian)

4. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffic lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffic flows with intellectual transport systems (ITS). *Transportation Research Procedia* 2017. 455-462.

5. Borovskaya A.E., Shevtsova A.G. Metodika vybora racional'nogo rezhima raboty svetofornogo ob'ekta na avtomobil'nom transporte [Methodology for choosing a rational mode of operation of a traffic light object in road transport]. *Transport: science, technology, management.* 2012; 6: 50-53. (in Russian)

6. Burlutskaya A.G., Semikopenko Yu.V., Shevtsova A.G. Parameters for checking the adequacy of modeling. *Problems of research of systems and means of motor transport: collection of articles.* 2017; 1: 444. (in Russian)

7. Shvetsov V.I. Matematicheskoe modelirovanie transportnyh potokov [Mathematical modeling of traffic flows]. *Automation and Telemekhanics.* 2003; 11: 3-46. (in Russian)

8. Gazis D.C., Herman R., Potts R.B. Car-Following Theory of Steady – State Traffic Flow. *Operations Research.* 1959; 7 (4): 499-505.

9. Lighthill M.J., Whitham F.R.S. On kinetic waves II. A theory of traffic flow on crowded roads. *Proc. of the Royal Society Ser. A.* 1995; 229 (1178): 317-345.

10. Zyryanov V.V. Методы оценки адекватности результатов моделирования [Methods for assessing the adequacy of modeling results]. *Engineering Bulletin of the Don.* 2013; 2: 132. (in Russian)

11. Buslaev A.P., Novikov A.V., Prikhodko V.M., Tatashev A.G., Yashina M.V. Veroyatnostnye i imitacionnye podhody k optimizacii avtodorozhного dvizhenija [Probabilistic and Simulation Approaches to Optimization of Road Traffic]. Moscow, Mir, 2003. 368 p. (in Russian)

12. Yakimov M.R. Transportnoe planirovanie: sozдание transportnyh modelej gorodov [Transport planning: creating transport models of cities]. Moscow, Logos, 2013. 21-23. (in Russian)

13. Borovskaya A.E., Volya P.A., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Analiz raboty i raschet reguliruemym perekrestkov [Analysis of work and calculation of controlled intersections]. Belgorod, 2017. 117 p. (in Russian)

14. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Study of the impact of type and condition of the road surface on parameters of signalized intersection. *In the collection: Transportation Research Procedia.* 2018. 548-555.

15. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city. *Journal of Applied Engineering Science.* 2019; 17 (2): 175-181.

16. Khoroshilova E.S., Vitvitskiy E.E. Matematicheskoe modelirovanie avtotransportnyh sistem perevozok грузов v gorodah [Mathematical modeling of road transport systems for the transportation of goods in cities]. *Dynamics of systems, mechanisms and machines.* 2016; 2: 375-380. (in Russian)

17. Vitvitskiy E.E., Fedoseenkova E.S. Descriptive model of functioning in aggregate of auto transportation system dispatch of freight by vehicles in cities. *In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering, IPDME 2018. Transportation of Mineral Resources.* 2018. 072013.

18. Zyryanov V.V. Modelirovanie pri transportnom obsluzhivании mega-sobytij [Modeling in the transport service of mega-events]. *Engineering Bulletin of the Don.* 2011; 4 (18): 548-551. (in Russian)

19. Zyryanov V., Keridi P., Guseynov R. Traffic modeling of network level system for large event. *In the*

collection: 16th ITS World Congress. 16. 2009.

20. Zyryanov V.V., Krivolapova O.Yu. Modelirovanie i analiz sprosа na ob#ekty sovershenstvovaniya transportnoj seti [Modeling and analysis of demand for objects of improving the transport network]. *Engineering Bulletin of the Don*. 2012; 4-1 (22): 117. (in Russian)

21. Novikov A., Glagolev S., Novikov I., Shevtsova A. Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model. *IOP Conf. Ser, Mater. Sci. Eng.* 2019; 632: 012052.

22. Zyryanov V.V., Kocherga V.G., Pozdnyakov M.N. Sovremennye podhody k razrabotke kompleksnyh shem organizacii dorozhnogo dvizheniya [Modern approaches to the development of integrated schemes for the organization of road traffic]. *Transport of the Russian Federation*. 2011; 1 (32): 54-59. (in Russian)

23. Shevtsova A.G., Kushchenko L.E., Zakharov V.M. Obzor razlichnyh vidov organizacii dorozhnogo dvizheniya na peresechenii [Review of various types of traffic management at the intersection]. *Bulletin of the Tula State University. Technical science*. 2015; 6-1: 39-44. (in Russian)

24. Borovskaya A.E., Shevtsova A.G. Adaptacionnyj period pri provedenii meroprijatij po organizacii dorozhnogo dvizheniya [The adaptation period when carrying out activities to organize traffic]. *Science in Central Russia*. 2013; 10S: 11-17. (in Russian)

25. Stelmashuk E.E., Shevtsova A.G. Osobennosti razrabotki i primeneniya KSODD pri reshenii problem organizacii dorozhnogo dvizheniya [Features of the development and application of KSODD in solving problems of traffic management]. In the collection: *Modern automotive materials and technologies (CA-MIT-2017). Collection of articles of the IX International Scientific and Technical Conference. Executive editor*. 2017. 210-212. (in Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Новиков И.А. Постановка цели и задач исследования.

Шевцова А.Г. Выполнение исследований на реальных объектах, разработка нового алгоритма проверки адаптации модели регулируемого перекрестка.

Кравченко А.А. Анализ параметров для создания транспортной модели.

Бурлуцкая А.Г. Анализ результатов полученных данных в ходе выполнения натурных исследований.

AUTHORS CONTRIBUTION

Ivan A. Novikov Goal and objectives of the study statement.

Anastasia G. Shevtsova Research on real objects, development of a new algorithm for checking the adaptation of the controlled intersection model.

Andrei A. Kravchenko Parameters to create a transport model analysis.

Alina G. Burlutskaia Results of the obtained data in the course of carrying out field studies analysis.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Новиков Иван Алексеевич – д-р. техн. наук, доц., директор транспортно-технологического института, заведующий кафедрой «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID ID 0000-0001-5322-9640 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В. Г. Шухова), e-mail: ooows@mail.ru.

Шевцова Анастасия Геннадьевна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID 0000-0001-8973-9271 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В. Г. Шухова), e-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru.

Кравченко Андрей Алексеевич – заместитель начальника УГИБДД УМВД России по Белгородской области, подполковник полиции, аспирант кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID 0000-0002-0398-8734 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В. Г. Шухова), e-mail: 31.gibdd.dn@mail.ru.

Бурлуцкая Алина Геннадьевна – аспирант кафедры «Механическое оборудование и технологии машиностроения» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID ID 0000-0002-9892-7183 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В. Г. Шухова), e-mail: alinabur1995@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivan A. Novikov (Belgorod, Russia) – Dr. of Sci., Associate Professor, Director of the Transport and Technological Institute, Head of the Operation and Organization of Vehicle Traffic Department, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University, ORCID ID 0000-0001-5322-9640 (308012, Belgorod, Kostiuikova St., 46, V.G. Shukhov BSTU), e-mail: ooows@mail.ru.

Anastasia G. Shevtsova – Cand. of Sci., Associate Professor of the Traffic Operation and Organization Department, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University (308012, Belgorod, 46, Kostiuikova St., e-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru).

Andrei A. Kravchenko – Deputy Head of the State Traffic Safety Inspectorate of the Russian MIA Administration for the Belgorod Region, Police Lieutenant Colonel, Postgraduate Student of the Operation and Organization of Motor Transport Traffic Department, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University, ORCID 0000-0002-0398-8734 (308012, Belgorod, Kostiuikova st., 46, V.G. Shukhov BSTU), e-mail: 31.gibdd.dn@mail.ru.

Alina G. Burlutskaia – Postgraduate of the Mechanical Equipment and Engineering Technology Department, V.G. Shukhov Belgorod State Technological University (308012, Belgorod, 46, Kostiuikova St., e-mail: alinabur1995@mail.ru).