

DOI: 10.34220/2311-8873-2022-73-84



УДК 656.052

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ НА МАГИСТРАЛЬНОЙ УЛИЦЕ Г. ВОРОНЕЖ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ANY LOGIC

✉¹**Дорохин Сергей Владимирович**

д.т.н., доц., декан автомобильного факультета Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ
e-mail: dsvvrn@yandex.ru

Лихачев Дмитрий Валериевич

к.т.н., доц. заместитель декана автомобильного факультета по учебной работе Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Артемов Александр Юрьевич

аспирант автомобильного факультета Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Марусин Алексей Вячеславович

к.т.н., доц. кафедры технической эксплуатации транспортных средств Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета; доцент департамента транспорта Инженерной академии РУДН, РФ

Аннотация.

При проведении каких-либо мероприятий, связанных с организацией дорожного движения, направленных в первую очередь на повышение эффективности функционирования улично-дорожной сети, немало важным является оценка принятых или принимаемых мероприятий на стадии проектирования. В таких случаях, специалистам довольно часто приходится применять различного рода имитационные продукты, особенно часто их использование происходит при оценке методов или режимов управления транспортными потоками. Несмотря на большое количество существующих сегодня продуктов имитационного моделирования, особой популярностью пользуется

SIMULATION OF THE TRAFFIC PROCESS ON THE MAIN STREET OF VORONEZH IN THE ANY LOGIC SOFTWARE ENVIRONMENT

✉¹**Dorokhin Sergey Vladimirovich**

doctor of Technical Sciences, associate professor, dean of the automotive faculty of the Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, RF
e-mail: dsvvrn@yandex.ru

Likhachev Dmitry Valerievich

ph.d., assoc. deputy dean of the automotive faculty for academic affairs of the Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, RF

Artemov Alexander Yurievich

postgraduate student of the automotive department of the Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, RF

Marusin Alexey Vyacheslavovich

ph.d., assoc. department of technical operation of vehicles of the St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; Associate Professor of the Transport Department of the RUDN Engineering Academy, RF

Annotation.

When carrying out any activities related to the organization of traffic, aimed primarily at improving the efficiency of the road network, it is very important to evaluate the measures taken or being taken at the design stage. In such cases, specialists quite often have to use various kinds of simulation products, especially often their use occurs when evaluating methods or modes of traffic control. Despite the large number of simulation products that exist today, the Any Logic simulation package is especially popular. To determine the main blocks used to perform the procedure under consideration and evaluate the effectiveness of the main street of Voronezh -

имитационный пакет Any Logic. Для определения основных блоков, используемых для выполнения рассматриваемой процедуры и оценки эффективности магистральной улицы г. Воронеж – Ленинский проспект, в рамках статьи выполнена процедура моделирования и оценена эффективность применяемого продукта по результату сравнения показателя транспортного потока.

Ключевые слова: МОДЕЛИРОВАНИЕ, ANY LOGIC, МАГИСТРАЛЬНАЯ УЛИЦА, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ТРАНСПОРТНАЯ ЗАДЕРЖКА.

Leninskiy Prospekt, within the framework of the article, a modeling procedure was performed and the effectiveness of the product used was evaluated based on the result of comparing the traffic flow indicator.

Keywords: MODELING, ANY LOGIC, MAIN STREET, EFFICIENCY, TRANSPORT DELAY.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Имитационное моделирование движения транспортных потоков, это одно из направлений способствующее оценке эффективности различных мероприятий на стадии проектирования – «до непосредственного внедрения». Применению различного рода продуктов имитационного моделирования сегодня посвящено большое количество научных трудов [1-8], основанных в первую очередь на оценке эффективности того или иного продукта. Немаловажным в данном случае является процесс адаптации моделируемого участка к реальным условиям для движения [9-14]. Сегодня в транспортной практике известны такие продукты как Transyt, Aimsun и другие, но с недавнего времени в виду доступности и простоты использования хорошо зарекомендовал себя продукт Any Logic, который применяется для моделирования различных технологических процессов, в том числе и транспортных.

Интерфейс продукта понятный и доступный и позволяет осуществить моделирование отдельного (изолированного участка), так и магистральной улице или же целой сети. Для определения возможностей рассматриваемого продукта и оценки его эффективности, в рамках данного исследования осуществлено моделирование процесса движения на магистральной улице г. Воронеж – Ленинский проспект и осуществлено сравнение показателей задержек транспортных средств в модели и на объекте с оценкой математических показателей.

2 Материалы и методы

В качестве материала для исследования определен имитационный продукт Any Logic, который сегодня широко используется для моделирования процессов дорожного движения на различных уровнях, в том числе и макро моделирования. В основу продукта заложена теория массового обслуживания, в зависимости от вида изменения исследуемой величины возможно установить закон ее распределения с использованием имеющихся в модели функций распределения.

Средства рассматриваемого продукта позволяют создать имитационную модель, в том числе и координированного участка, в состав которого входят три регулируемых перекрестка, в таблицах 1-3 определены основные объекты рассматриваемого участка – Ленинский проспект, управление на котором является координированным. Протяженность координируемого участка 840 м, в координации находятся 3 перекрестка – Ленинский пр. – ул. Циолковского (перекресток № 1), Ленинский пр. – ул. Полины Осипенко (перекресток № 2), Ленинский пр. – Ольховый пер. (перекресток № 3).







Первоначальным используемым блоком является блок Car Source, который создает автомобили и пытается поместить их в указанное место дорожной сети. В виду того, что на перекрестке из одного въездного направления движения осуществляются как прямо, так и








налево и направо, в программной среде применяют блок Select Output, классический блок имеет два выхода, позволяющий направить транспортные средства в двух направлениях, но в классическом четырёхстороннем перекрестке, движение осуществляется как минимум в трех направлениях, в данном случае применяется блок Select Output5, который позволяет распределить до 5 направлений движения. Заключительным блоком для моделирования процесса движения на перекрестке № 1 является блок Car Move To, это блок который управляет движением автомобиля. Автомобиль может ехать, только когда он находится в блоке CarMoveTo. Автомобиль пытается рассчитать путь от своего текущего места до указанного места назначения, когда поступает в блок CarMoveTo.

Для регулирования движения на координированном участке применяются светофорные объекты, в модели установка светофора осуществляется с помощью блока Traffic Light, это элемент библиотеки дорожного движения, который может контролировать движение транспорта на указанных перекрестках или стоп-линиях.

Для моделирования перекрестка № 1 было использовано 13 блоков (табл. 1) из которых 4 блока для определения направлений движения, 4 распределителя, 4 блока для выхода из зоны пересечения и один блок светофорного объекта.

Таблица 1 – Основные блоки и их обозначения для создания координируемого участка для перекрестка № 1

№ п/п	Вид блока	Обозначение блока в среде Any Logic	Обозначение	Описание
перекресток № 1				
1	ВН_1 	Car Source	Въездное направление 1 (ВН_1)	Направления движения по Ленинскому проспекту в сторону перекрестка №1 (направления движения N1, N2, N3, N4, N5 в соответствии с рис. 4)
2	ВН_2 	Car Source	Въездное направление 2 (ВН_2)	Направления движения по Ленинскому проспекту в сторону перекрестка №1 (направления движения N6, N7, N8, N9, N10 в соответствии с рис. 5)
3	ВН_3 	Car Source	Въездное направление 3 (ВН_3)	Направления движения по ул. Циолковского в сторону перекрестка №1 (направления движения N11, N12, N13 в соответствии с рис. 6)
4	ВН_4 	Car Source	Въездное направление 4 (ВН_4)	Направления движения по ул. Циолковского в сторону перекрестка №1 (направления движения N14, N15, N16 в соответствии с рис. 7)
5	распределитель_ВН_1 	Select Output5	Распределить_ВН_1	Позволяет распределить интенсивность движения в прямом, левоповоротном и правоповоротном направлении на первом въездном направлении ВН_1 на перекрестке №1
6	распределитель_ВН_2 	Select Output5	Распределить_ВН_2	Позволяет распределить интенсивность движения в прямом, левоповоротном и правоповоротном направлении на втором въездном направлении ВН_2 на перекрестке №1

№ п/п	Вид блока	Обозначение блока в среде Any Logic	Обозначение	Описание
перекресток № 1				
7	<p>распределитель_ВН_3</p> 	Select Output5	Распределитель_ВН_3	Позволяет распределить интенсивность движения в прямом, левоповоротном и правоповоротном направлении на третьем въездном направлении ВН_3 на перекрестке №1
8	<p>распределитель_ВН_4</p> 	Select Output5	Распределитель_ВН_4	Позволяет распределить интенсивность движения в прямом, левоповоротном и правоповоротном направлении на четвертом въездном направлении ВН_4 на перекрестке №1
9	<p>выход_ВН_1</p> 	CarMoveTo	Выездное направление для ВН_1 (выход_ВН_1)	Блок управления направлениями движения для ВН_1 с учетом распределителя ВН_1
10	<p>выход_ВН_2</p> 	CarMoveTo	Выездное направление для ВН_2 (выход_ВН_2)	Блок управления направлениями движения для ВН_2 с учетом распределителя ВН_2
11	<p>выход_ВН_3</p> 	CarMoveTo	Выездное направление для ВН_3 (выход_ВН_3)	Блок управления направлениями движения для ВН_3 с учетом распределителя ВН_3
12	<p>выход_ВН_4</p> 	CarMoveTo	Выездное направление для ВН_4 (выход_ВН_4)	Блок управления направлениями движения для ВН_4 с учетом распределителя ВН_4
13	<p>светофор_перекресток_1</p> 	Traffic Light	Светофорный объект на перекрестке №1	Светофорный объект, который позволяет установить определенную длительность фаз на перекрестке №1

При моделировании перекрестка № 2 было использовано 10 блоков (табл. 2) из которых 3 блока для определения направлений движения, 3 распределителя, 3 блока для выхода из зоны пересечения. В виду специфичности данного участка (Т-образный перекресток), был использован распределить движения Select Output, имеющий два выхода для обозначения вероятностей распределения на направлении ул. Полины Осипенко. Для сохранения координированности рассматриваемого участка был использован блок светофорного объекта.

Аналогичным образом, как и в случае перекрестка № 1 для перекрестка № 3 было использовано 13 блоков (табл. 3) из которых 4 блока для определения направлений движения, 4 распределителя, 4 блока для выхода из зоны пересечения и один блок светофорного объекта.

Заключительным блоком, позволяющим удалять автомобили из модели, по результату проезда моделируемого участка – Ленинского проспекта, является блок CarDispose (табл. 3).

Таблица 2 – Основные блоки и их обозначения для создания координируемого участка для перекрестка № 2





















№ п/п	Вид блока	Обозначение блока в среде Any Logic	Обозначение	Описание
перекресток №2				
1	ВН_5 	Car Source	Въездное направление 5 (ВН_5)	Направления движения по Ленинскому проспекту в сторону перекрестка №2 (направления движения N1, N2, N3, N4, N5 в соответствии с рис. 13)
2	ВН_6 	Car Source	Въездное направление 6 (ВН_6)	Направления движения по Ленинскому проспекту в сторону перекрестка №2 (направления движения N6, N7, N8, N9, N10 в соответствии с рис. 14)
3	ВН_7 	Car Source	Въездное направление 7 (ВН_7)	Направления движения по ул. Полины Осипенко в сторону перекрестка №2 (направления движения N11, N12 в соответствии с рис. 15)
4	распределитель_ВН_5 	Select Output5	Распределитель_ВН_5	Позволяет распределить интенсивность движения в прямом, правоповоротном и разворотном направлении на пятом въездном направлении ВН_5 на перекрестке №2
5	распределитель_ВН_6 	Select Output5	Распределитель_ВН_6	Позволяет распределить интенсивность движения в прямом, левоповоротном и разворотном направлении на шестом въездном направлении ВН_6 на перекрестке №2
6	распределитель_ВН_7 	Select Output	Распределитель_ВН_7	Позволяет распределить интенсивность движения в левоповоротном и правоповоротном направлении на седьмом въездном направлении ВН_7 на перекрестке №2
7	выход_ВН_5 	CarMoveTo	Выездное направление для ВН_5 (выход_ВН_5)	Блок управления направлениями движения для ВН_5 с учетом распределителя ВН_5
8	выход_ВН_6 	CarMoveTo	Выездное направление для ВН_6 (выход_ВН_6)	Блок управления направлениями движения для ВН_6 с учетом распределителя ВН_6
9	выход_ВН_7 	CarMoveTo	Выездное направление для ВН_7 (выход_ВН_7)	Блок управления направлениями движения для ВН_7 с учетом распределителя ВН_7
10	светофор_перекресток_2 	Traffic Light	Светофорный объект на перекрестке №2	Светофорный объект, который позволяет установить определенную длительность фаз на перекрестке №2

Таблица 3 – Основные блоки и их обозначения для создания координируемого участка для перекрестка № 3

№ п/п	Вид блока	Обозначение блока в среде Any Logic	Обозначение	Описание
перекресток № 3				
1	ВН_8 	Car Source	Въездное направление 8 (ВН_8)	Направления движения по Ленинскому проспекту в сторону перекрестка №3 (направления движения N1, N2, N3, N4, N5 в соответствии с рис. 21)
2	ВН_9 	Car Source	Въездное направление 9 (ВН_9)	Направления движения по Ленинскому проспекту в сторону перекрестка №3 (направления движения N6, N7, N8, N9, N10 в соответствии с рис. 22)
3	ВН_10 	Car Source	Въездное направление 10 (ВН_10)	Направления движения по Ленинскому проспекту в сторону перекрестка №3 (направления движения N14, N15, N16 в соответствии с рис. 24)
4	ВН_11 	Car Source	Въездное направление 11 (ВН_11)	Направления движения по Ленинскому проспекту в сторону перекрестка №3 (направления движения N11, N12, N13 в соответствии с рис. 23)
5	распределитель_ВН_8 	Select Output5	Распределить_ВН_8	Позволяет распределить интенсивность движения в прямом, правоповоротном и левоповоротном направлении на восьмом въездном направлении ВН_8 на перекрестке №3
6	распределитель_ВН_9 	Select Output5	Распределитель_ВН_9	Позволяет распределить интенсивность движения в прямом, правоповоротном и левоповоротном направлении на девятом въездном направлении ВН_9 на перекрестке №3
7	распределитель_ВН_10 	Select Output5	Распределитель_ВН_10	Позволяет распределить интенсивность движения в прямом, правоповоротном и левоповоротном направлении на десятом въездном направлении ВН_10 на перекрестке №3
8	распределитель_ВН_11 	Select Output5	Распределитель_ВН_11	Позволяет распределить интенсивность движения в прямом, правоповоротном и левоповоротном направлении на десятом въездном направлении ВН_11 на перекрестке №3
9	выход_ВН_8 	CarMoveTo	Выездное направление для ВН_8 (выход_ВН_8)	Блок управления направлениями движения для ВН_8 с учетом распределителя ВН_8
10	выход_ВН_9 	CarMoveTo	Выездное направление для ВН_9 (выход_ВН_9)	Блок управления направлениями движения для ВН_9 с учетом распределителя ВН_9

№ п/п	Вид блока	Обозначение блока в среде Any Logic	Обозначение	Описание
перекресток № 3				
11		CarMoveTo	Выездное направление для VH_10 (выход_VH_10)	Блок управления направлениями движения для VH_10 с учетом распределителя VH_10
12		CarMoveTo	Выездное направление для VH_11 (выход_VH_11)	Блок управления направлениями движения для VH_11 с учетом распределителя VH_11
13		Traffic Light	Светофорный объект на перекрестке №3	Светофорный объект, который позволяет установить определенную длительность фаз на перекрестке №3
14		CarDispose	CarDispose	Удаление автомобилей по результату проезда координируемого участка

Используемые блоки позволяют построить модель работы рассматриваемого участка, но для оценки эффективности и в целом работы моделируемого участка, необходимо применение определенных блоков, в частности для оценки времени задержки, длины очереди, скорости движения и иных характеристик транспортного потока [15-18].

3 Результаты исследований

Для оценки эффективности работы рассматриваемого участка, в рамках выполненного исследования выполнен анализ задержек на каждом рассмотренном направлении движения, что представлено в таблице 4. В программной среде AnyLogic данный показатель возможно оценить с помощью использования новых блоком из библиотеки моделирования, таких как:

1 TimeMeasureStart, который задает начальную точку, он запоминает момент времени, в который агент проходит через этот блок.

2 TimeMeasureEnd вычисляет для каждого поступившего в него агента разность между текущим моментом времени и моментом, запомненным блоком TimeMeasureStart, на который ссылается этот блок.

В результате добавления данных блоков схема работы рассматриваемого координируемого участка принимает вид, представленный на рисунке 1.

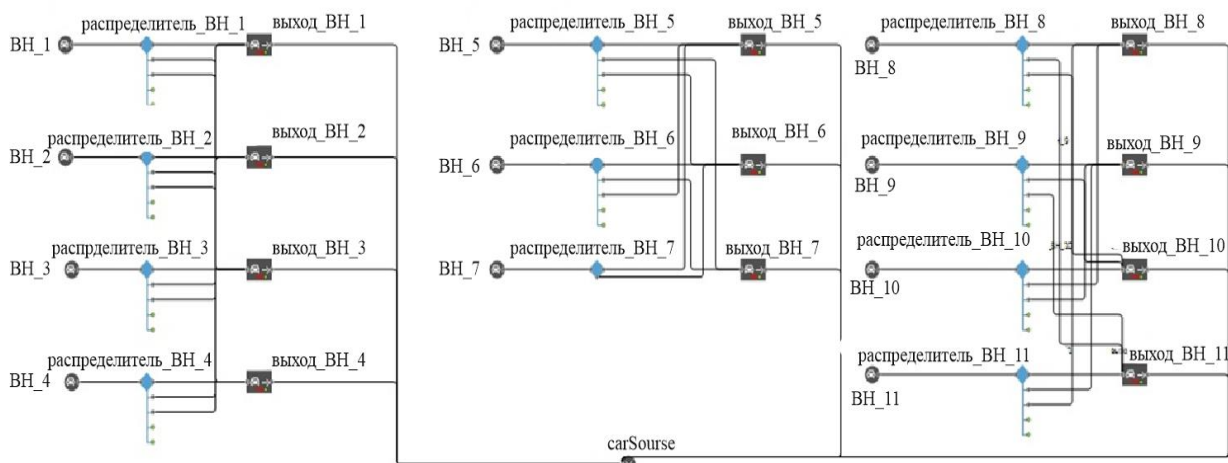


Рисунок 1 – Схема работы координируемого участка с учетом мониторинга изменения величины задержки в программной среде AnyLogic

В результате моделирования с учетом заданных значений интенсивности на каждом рассматриваемом моделируемой магистральной улице – Ленинский проспект, были определены средние значения величины задержки транспортных средств для пикового периода в утреннее время с 8:00-09:00, что представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Данные по величине задержки по результату имитационного моделирования в программной среде AnyLogic

Обозначение направлений	Наименование улиц	N, ед./ч	t, с
ВН1	Ленинский пр.	5064	99,24
ВН2	Ленинский пр.	5636	31,74
ВН3	ул. Циолковского	1530	73,49
ВН4	ул. Циолковского	1174	166,64
ВН5	Ленинский пр.	5942	114,93
ВН6	Ленинский пр.	4948	146,34
ВН7	ул. Полины Осипенко	1000	131,03
ВН8	Ленинский пр.	6394	36,63
ВН9	Ленинский пр.	5606	96,53
ВН10	пер. Ольховый	1174	107,12
ВН11	пер. Ольховый	1310	151,24

Для оценки адекватности, моделирования с использованием рассматриваемого продукта осуществлена процедура сравнения существующего значения величины задержки, полученная с детекторов транспорта, установленных на рассматриваемой магистральной улице с системными показателями, определенными в утреннее время (08:00-09:00) (табл. 5).

Таблица 5 – Значения времени задержек на рассматриваемом участке при моделировании и детектировании

Обозначение направлений	t (model), с	t (object), с	Δt
ВН1	99,24	111,15	11,91
ВН2	31,74	32,69	0,95
ВН3	73,49	80,10	6,61
ВН4	166,64	183,30	16,66
ВН5	114,93	125,27	10,34
ВН6	146,34	175,61	29,27
ВН7	131,03	142,82	11,79
ВН8	36,63	39,56	2,93
ВН9	96,53	111,01	14,48
ВН10	107,12	119,97	12,85
ВН11	151,24	158,80	7,56

С использованием формулы (1), был определена величина разности полученных значений:

$$\Delta t = t(object) - t(model), \quad (1)$$

где Δt – величина разности рассматриваемого показателя – времени задержки, с $t(object)$ – время задержки наблюдаемое (детектируемое) на объекте, с; $t(model)$ – время задержки наблюдаемое в модели, с.

4 Обсуждение и заключение

Выполненные расчеты с использованием пакета описательной статистики в Excel, в доверительном интервале 95 %, что отражено в таблице 6, показали что разность на рассматриваемых направлениях изменялась в среднем от 1 до 30 секунд (рис. 2).

Таблица 6 – Результаты математического анализа величины задержки в модели и на исследуемом объекте

Показатель	t (model), с	t (object), с
Среднее	104,9936	116,3909
Стандартная ошибка	13,33709	15,03169
Медиана	107,12	119,9744
Стандартное отклонение	44,23411	49,85447
Дисперсия выборки	1956,657	2485,468
Экссесс	-0,62132	-0,55405
Асимметричность	-0,45492	-0,47859
Интервал	134,9	150,6118
Минимум	31,74	32,6922
Максимум	166,64	183,304
Сумма	1154,93	1280,3
Счет	11	11
Уровень надежности(95 %)	29,71688	33,49269

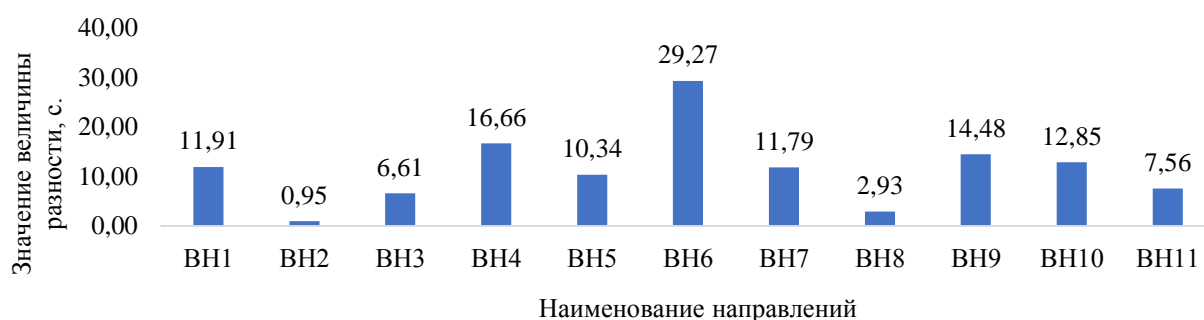


Рисунок 2 – Гистограмма изменения величины разности времени задержки по результату детектирования и моделирования на магистральной улице г. Воронеж – Ленинский проспект

Установлено, что в процентном соотношении полученная величина разности в большинстве случаев (рассмотренных направлений) не превышала 10 %, что подтверждает определенную адекватность полученной модели с использованием рассмотренных блоков (табл. 1 – табл. 3). Таким образом, при оценке работы нескольких регулируемых участков, применение рассматриваемого продукта является возможным.

Благодарности

Статья публикуется по результатам проведения научно-исследовательской работы, проводимой в рамках конкурса грантов на выполнение научно-исследовательских работ научно-педагогическими работниками СПбГАСУ1 в 2022 году.

Список литературы

- 1 Изюмский, А. А. Применение имитационного моделирования в сфере моделирования транспортных потоков / А. А. Изюмский, С. Л. Надирян, И. С. Сенин // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 1. – С. 52-54.
- 2 Юсупова, Ю. Х. Имитационное моделирование транспортных потоков на кольцевых пересечениях / Ю. Х. Юсупова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – № 2(65). –

С. 11-13.

3 Басков, В. Н. Энтропия как модель прогноза загруженности транспортной сети / В. Н. Басков, Е. И. Исаева // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – № 4(55). – С. 111-117.

4 Фатхутдинов, А. Ф. Применение имитационного моделирования для оптимизации дорожного движения / А. Ф. Фатхутдинов // Вестник современных исследований. – 2018. – № 12.15(27). – С. 265-271.

5 Novikov, A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city / A. Novikov, I. Novikov, A. Shevtsova // Journal of Applied Engineering Science. – 2019. – Vol. 17. – № 2. – P. 175-181. – DOI 10.5937/jaes17-18117.

6 Definition of perspective scheme of organization of traffic using methods of forecasting and modeling / V. M. Vlasov, A. N. Novikov, I. A. Novikov, A. G. Shevtsova // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering : Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment, Tomsk, 04-06 декабря 2017 года. Vol. 327, 4. – Tomsk : Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 042116. – DOI 10.1088/1757-899X/327/4/042116.

7 Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model / A. Novikov, S. Glagolev, I. Novikov, A. Shevtsova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering, ICI2AE 2019, Irkutsk, 27 мая – 01 2019 года. Vol. 632. – Irkutsk : Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012052. – DOI 10.1088/1757-899X/632/1/012052.

8 The Dynamic Traffic Modelling System / S. V. Dorokhin, D. V. Likhachev, A. Yu. Artemov [et al.] // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 402 LNNS. – P. 1586-1594. – DOI 10.1007/978-3-030-96380-4_175.

9 Некрасова, Е. Е. Основные критерии оценки эффективности функционирования перекрестков / Е. Е. Некрасова, А. Г. Шевцова // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика. – 2015. – Т. 3. – № 4-1(15-1). – С. 363-366. – DOI 10.12737/13967.

10 Бурлуцкая, А. Г. Параметры для проверки адекватности моделирования / А. Г. Бурлуцкая, Ю. В. Семикопенко, А. Г. Шевцова // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта : Материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции, Тула, 22-23 декабря 2016 года. Том Выпуск 1. – Тула : Тульский государственный университет, 2017. – С. 279-283.

11 Adaptation Capacity of the Traffic Lights Control System (TSCS) as to Changing Parameters of Traffic Flows Within Intellectual Transport Systems (ITS) / A. Novikov, I. Novikov, A. Katunin, A. Shevtsova // Transportation Research Procedia : 12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in Large Cities", SPbOTSIC 2016, Saint-Petersburg, 28-30 сентября 2016 года. Vol. 20. – Saint-Petersburg : Elsevier B.V., 2017. – P. 455-462. – DOI 10.1016/j.trpro.2017.01.074.

12 Зырянов, В. В. Методы оценки адекватности результатов моделирования / В. В. Зырянов // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2(25). – С. 132.

13 Зырянов, В. В. Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий / В. В. Зырянов // Инженерный вестник Дона. – 2011. – № 4(18). – С. 548-551.

14 Зырянов, В. В. Применение информационных технологий при повышении мобильности и обеспечении транспортной безопасности / В. В. Зырянов, Е. Ю. Семчугова, А. М. Скрынник // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4-1(22). – С. 118.

15 Новиков, И. А. Влияние изменения задержек транспортных средств на количество режимов работы светофорного объекта / И. А. Новиков, А. Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 4(35). – С. 62-68.

16 Боровской, А. Е. Влияние времени реакции водителя на пропускную способность автомобильной дороги / А. Е. Боровской, А. Г. Шевцова // Вестник развития науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 24-30.

17 Mathematical Modeling of Working Operations for the Road-Building Machines Based on Performance Factors / E. A. Volkov, I. A. Novikov, N. A. Shchetinin [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2018. – Vol. 13. – № 6. – P. 2353-2357.

18 Improvement of the current version of road traffic regulations of the Russian federation as a promising approach to road safety / V. A. Zelikov, G. A. Denisov, S. V. Dorokhin [et al.] // Studies in Computational Intelligence. – 2019. – Vol. 826. – P. 1081-1088. – DOI 10.1007/978-3-030-13397-9_111.

References

1 Izyumsky, A. A., Nadiryanyan S. L., Senin I. S. Application of simulation modeling in the field of traffic flow modeling // Nauka. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). – 2016. – № 1. – S. 52-54.

2 Yusupova, Yu. Kh. Simulation of traffic flows at roundabouts / Yu. Kh. Yusupova // Science and technology in the road industry. – 2013. – № 2 (65). – S. 11-13.

3 Baskov, V. N. Entropy as a model for predicting the congestion of the transport network / V. N. Baskov, E. I. Isaeva // World of Transport and Technological Machines. – 2016. – № 4 (55). – S. 111-117.

4 Fatkhutdinov, A. F. Application of simulation modeling for traffic optimization / A. F. Fatkhutdinov // Bulletin of modern research. – 2018. – № 12.15(27). – S. 265-271.

5 Novikov, A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city / A. Novikov, I. Novikov, A. Shevtsova // Journal of Applied Engineering Science. – 2019. – Vol. 17. – № 2. – P. 175-181. – DOI 10.5937/jaes17-18117.

6 Definition of perspective scheme of organization of traffic using methods of forecasting and modeling / V. M. Vlasov, A. N. Novikov, I. A. Novikov, A. G. Shevtsova // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering : Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment, Tomsk, December 04-06, 2017. Vol. 327, 4. – Tomsk : Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 042116. – DOI 10.1088/1757-899X/327/4/042116.

7 Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model / A. Novikov, S. Glagolev, I. Novikov, A. Shevtsova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering, ICI2AE 2019, Irkutsk, May 27 – 01, 2019. Vol. 632. – Irkutsk : Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012052. – DOI 10.1088/1757-899X/632/1/012052.

8 The Dynamic Traffic Modeling System / S. V. Dorokhin, D. V. Likhachev, A. Yu. Artemov [et al.] // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 402 LNNs. – P. 1586-1594. – DOI 10.1007/978-3-030-96380-4_175.

9 Nekrasova, E. E. The main criteria for evaluating the effectiveness of the functioning of intersections / E. E. Nekrasova, A. G. Shevtsova // Actual directions of scientific research of the XXI century : theory and practice. – 2015. – T. 3. – № 4-1 (15-1). – S. 363-366. – DOI 10.12737/13967.

10 Burlutskaya, A. G. Parameters for testing the adequacy of modeling / A. G. Burlutskaya, Yu., Tula, December 22-23, 2016. Volume Issue 1. – Tula : Tula State University, 2017. – S. 279-283.

11 Adaptation Capacity of the Traffic Lights Control System (TSCS) as to Changing Parameters of Traffic Flows Within Intellectual Transport Systems (ITS) / A. Novikov, I. Novikov, A. Katunin, A. Shevtsova // Transportation Research Procedia : 12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in Large Cities", SPbOTSIC 2016, Saint-Petersburg, September 28-30, 2016. Vol. 20. – Saint-Petersburg : Elsevier B.V., 2017. – P. 455-462. – DOI 10.1016/j.trpro.2017.01.074.

12 Zyryanov, V. V. Methods for assessing the adequacy of modeling results / V. V. Zyryanov // Engineering Bulletin of the Don. – 2013. – № 2 (25). – S. 132.

13 Zyryanov, V. V. Modeling for the transport service of mega-events / V. V. Zyryanov // Engineering Bulletin of the Don. – 2011. – № 4(18). – S. 548-551.

14 Zyryanov V. V., Semchugova E. Yu., and Skrynnik A.M., Use of information technologies to increase mobility and ensure transport security, Inzhenernyi Bulletin of the Don. – 2012. – № 4-1 (22). – S. 118.

15 Novikov, I. A., Shevtsova, A. G. Influence of changes in vehicle delays on the number of operating modes of a traffic light object // World of Transport and Technological Machines. – 2011. – № 4 (35). – S. 62-68.

16 Borovskoy, A. E., Shevtsova, A. G., Influence of the driver's reaction time on the traffic capacity of a highway, Vestnik razvitiya nauki i obrazovaniya. – 2014. – № 2. – S. 24-30.

17 Mathematical Modeling of Working Operations for the Road-Building Machines Based on Performance Factors / E. A. Volkov, I. A. Novikov, N. A. Shchetinin [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2018. – Vol. 13. – № 6. – P. 2353-2357.

18 Improvement of the current version of road traffic regulations of the Russian federation as a promising approach to road safety / V. A. Zelikov, G. A. Denisov, S. V. Dorokhin [et al.] // Studies in Computational Intelligence. – 2019. – Vol. 826. – P. 1081-1088. – DOI 10.1007/978-3-030-13397-9_111.

© Дорохин С.В., Лихачев Д.В., Артемов А.Ю., Марусин А.В., 2022