

## ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЕСТКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Т.А. Кузнецов

tima.kuznetsov1507@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Задача анализа загруженности улично-дорожной сети города в настоящее время очень актуальна. Активный рост городов России определяет увеличение нагрузки на существующие в них транспортные системы, что требует своевременных и точных решений по развитию дорожной инфраструктуры. Методы транспортного моделирования позволяют проводить аналитические исследования изменения плотности потока транспортных средств на участках транспортной системы города с целью определения ее загруженности и повышения эффективности ее работы. В статье рассмотрен метод имитационного транспортного моделирования и выполнено моделирование движения транспортных средств на регулируемом перекрестке улично-дорожной сети города Москвы. С помощью оптимизационного эксперимента получены значения оптимальных длительностей работы фаз светофора на регулируемом перекрестке.

### Ключевые слова

Имитационное моделирование, агентное моделирование, моделирование транспортного потока, транспортная система, организация движения, оптимизация, цифровой двойник города

Поступила в редакцию 30.06.2022

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

---

**Введение.** Существование современного города невозможно представить без успешно функционирующей транспортной системы. Горожане используют транспорт ежедневно для удовлетворения потребности в перемещении; логистические цепочки, выстроенные благодаря транспортной сети, определяют экономическое благополучие города. Развитие городов влечет за собой повышение нагрузки на транспортную систему: обуславливает увеличение загруженности улично-дорожной сети, рост численности автомобильного парка. Эти факторы определяют необходимость поиска успешных стратегий организации дорожного движения, а также оптимальных решений по проектированию дорожной инфраструктуры. Для минимизации затрат на модернизацию транспортной системы города необходимы исследования закономерностей ее развития. Потребность в анализе городских транспортных потоков определила развитие математического транспортного моделирования.

По данным аналитического агентства «Автостат» с 2010 по 2020 г. российский автопарк вырос почти на треть (с 43,9 млн единиц до 58,7 млн) [1]. Отме-

тим, что средний уровень обеспеченности легковыми автомобилями на 1000 жителей в РФ в период с 2020 по 2022 г. вырос с 308 до 318 единиц [2, 3]. При этом уровень обеспеченности легковыми автомобилями в Москве ниже среднего по РФ: 287 машин на 1000 жителей [3]. Однако размер парка легковых автомобилей в Москве остается крупнейшим в России: в 2020 г. он насчитывал примерно 3,6 млн единиц. Таким образом, с ростом уровня автомобилизации транспортная система Москвы испытывает повышенную нагрузку, а значит, представляет особый интерес для проведения исследований транспортного потока города.

**Литературный обзор.** Существует множество методов моделирования транспортных потоков. Авторы [4] предлагают классификацию моделей по двум основным признакам: уровню детализации и методу моделирования. Таким образом можно подразделить модели транспортных потоков на три основные группы: макроскопические, мезоскопические, микроскопические [4]. Микроскопические модели получили широкое развитие после появления соответствующих вычислительных мощностей. Они позволяют моделировать движение каждого транспортного средства как отдельного элемента транспортной системы. К микроскопическим моделям авторы относят модели следования за лидером и модели клеточных автоматов. Исследователи в статье [5] относят имитационные модели к группе микроскопических моделей по уровню детализации. В статье [6] автор отмечает, что для имитационных моделей исходными параметрами являются усредненное значение плотности потока и распределение по направлениям движения. Авторы пособия [7] утверждают, что в перечень исходных параметров также входят количество полос движения и их ширина, допустимая скорость движения, матрица межрайонных корреспонденций. Они определяют основные выходные параметры имитационных моделей: длина очереди на перекрестке, среднее время задержки транспортных средств, средняя скорость движения, анимационное изображение участка транспортной сети. Именно имитационное агентное моделирование было использовано в настоящем исследовании. Агентное моделирование позволяет делать вывод о поведении системы на основе исследования поведения децентрализованных агентов системы (в данном исследовании агентами являются транспортные средства). Этот метод моделирования легко интерпретируется и обладает высоким уровнем масштабируемости, поэтому его все чаще применяют в транспортных исследованиях.

Существуют различные подходы к построению имитационных моделей: дискретные (событий подход, подход сканирования активностей, процессно-ориентированный подход) и непрерывные (подход с использованием дифференциальных уравнений первого порядка, подход с использованием разностных уравнений). Автор [8] реализует современный способ программирования визуальной модели с реализацией процессно-ориентированного подхода ими-

тационного моделирования. В настоящем исследовании был выбран процессно-ориентированный подход имитационного моделирования.

С помощью имитационного моделирования можно определить уровень загруженности и пропускной способности участков улично-дорожной сети (УДС), оценить допустимый уровень интенсивности транспортного потока на участке УДС, получить данные о среднем времени проезда транспортными средствами участка УДС. Результаты моделирования служат опорной информацией для принятия решений в проектах транспортного планирования.

Авторы статьи [9] применяют имитационное агентное моделирование для решения задачи создания цифрового двойника Западного скоростного диаметра (ЗСД) города Санкт-Петербурга. Авторами выполнен анализ пропускной способности ЗСД с помощью программного обеспечения Anylogic [10]. В результате удалось выделить «узкое» место развязки с учетом увеличения интенсивности транспортного потока в будущем. В сообщении [11] имитационное моделирование в AnyLogic применяется для решения проблемы безопасности на пешеходных переходах. С помощью агентной модели авторы смогли оценить изменения показателей плотности транспортного потока и вероятности ДТП в случае появления светофора на пешеходном переходе. Доклад [12] посвящен исследованиям с помощью имитационного моделирования в AnyLogic и статистического анализа, его авторы получили математическую модель зависимости времени проезда автомобилем участка дороги от длительности фаз светофора. Авторы статьи [13] успешно оптимизировали время работы регулируемого перекрестка, применяя имитационное моделирование в AnyLogic. В упомянутых исследованиях не учитывается движение общественного транспорта на анализируемом участке транспортной сети. В настоящем исследовании моделируемая транспортная система включает в себя наземный маршрутный общественный транспорт.

Целью данного исследования является оптимизация длительности фаз светофора регулируемого перекрестка Новоясеневского проспекта, улицы Паустовского и Литовского бульвара города Москвы.

**Методология. Обследование объекта моделирования и сбор данных.** В данном исследовании моделируется движение транспортных средств на регулируемом перекрестке Новоясеневского проспекта, улицы Паустовского и Литовского бульвара города Москвы. Для определения направлений движения, организованных на перекрестке, был проведен анализ спутниковых снимков в Google Earth [14]. Полученные изображения являлись основой для расположения дорожного полотна при создании имитационной модели. Отметим, что данный перекресток является важным звеном транспортной сети исследуемого административного района города.

Как было упомянуто в литературном обзоре, для создания имитационной модели необходимы следующие входные данные: ширина полос движения на

участке улично-дорожной сети, скорость и интенсивность движения транспортно-го потока , распределение потока по направлениям движения, организованным на перекрестке. В настоящем исследовании были проведены полевые исследования в целях определения входных параметров. Исследования проводили в течение пяти дней (понедельник — пятница) во временном промежутке с 8:30 до 9:30 утра. В результате натурных обследований были получены входные параметры для имитационной модели движения (табл. 1 и 2). Схема перекрестка показана на рис. 1. Отметим, что на всех исследуемых участках улично-дорожной сети ширина полосы движения составляет 3,5 м, а скорость движения автомобилей принималась равной максимально допустимой, т. е. 60 км/ч.

Таблица 1

## Исходные данные

Улица	Количество полос основного движения, шт.	Количество полос встречного движения, шт.	Интенсивность потока, шт./ч
Паустовского ул.	3	2	normal(123, 496)
Литовский бул.	3	2	normal(39, 516)
Новоясеневский пр-т (восток)	3	3	normal(74, 454)
Новоясеневский пр-т (запад)	3	3	normal(78, 774)

Таблица 2

## Матрица распределения движения по направлениям

Направление	Новоясеневский пр-т (запад)	Паустовского ул.	Новоясеневский пр-т(восток)	Литовский бул.
Новоясеневский пр-т (запад)	0,09	0,300	0,370	0,24
Паустовского	0,32	0,009	0,190	0,48
Новоясеневский пр-т (восток)	0,40	0,360	0,009	0,23
Литовский бул.	0,10	0,690	0,190	0,02

Интенсивность транспортного потока в табл. 1 представлена нормальным законом распределения. На основе статистического анализа экспериментальных данных был сделан вывод о том, что интенсивность прибытия транспортных средств соответствует нормальному закону распределения, что соответствует

эмпирическому представлению о распределении данной случайной величины. Далее были определены значения математического ожидания и дисперсии. Полученное представление интенсивности прибытия ТС является входным параметром для имитационной модели.

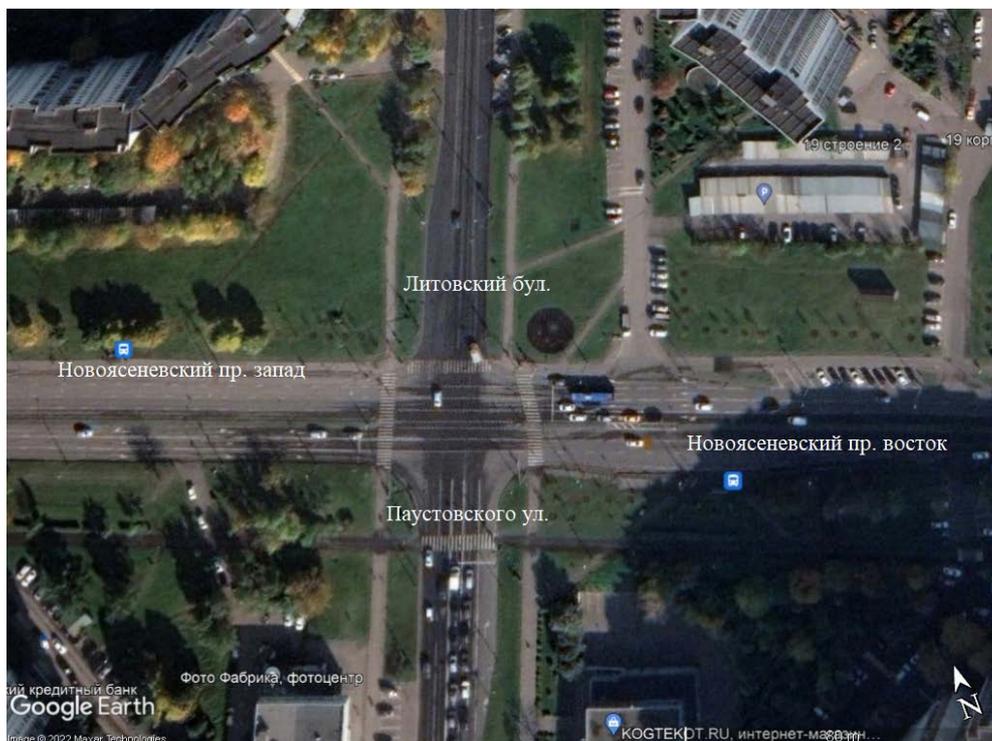


Рис. 1. Исследуемый регулируемый перекресток. Источник: [13]

В табл. 2 отражено распределение транспортного потока по направлениям движения, организованным на регулируемом перекрестке. Строкам соответствует название улицы, откуда прибывает поток, столбцам — направление следования после перекрестка.

**Создание имитационной модели в программе AnyLogic.** Для создания имитационной модели движения в программном продукте AnyLogic 8.7 Personal Learning Edition используется библиотека дорожного движения. Первоначально была создана логика движения легковых автомобилей с помощью следующих блоков:

1) CarSource (англ. *ресурс создания автомобиля*) — блок генерирует агенты (автомобили) с заданной интенсивностью прибытия (шт/ч). В модели используется четыре блока CarSource по четырем направлениям прибытия автомобилей;

2) SelectOutput (англ. *выбрать выход*) — блок реализует выбор направления движения агентов на перекрестке в соответствии с заданным распределением

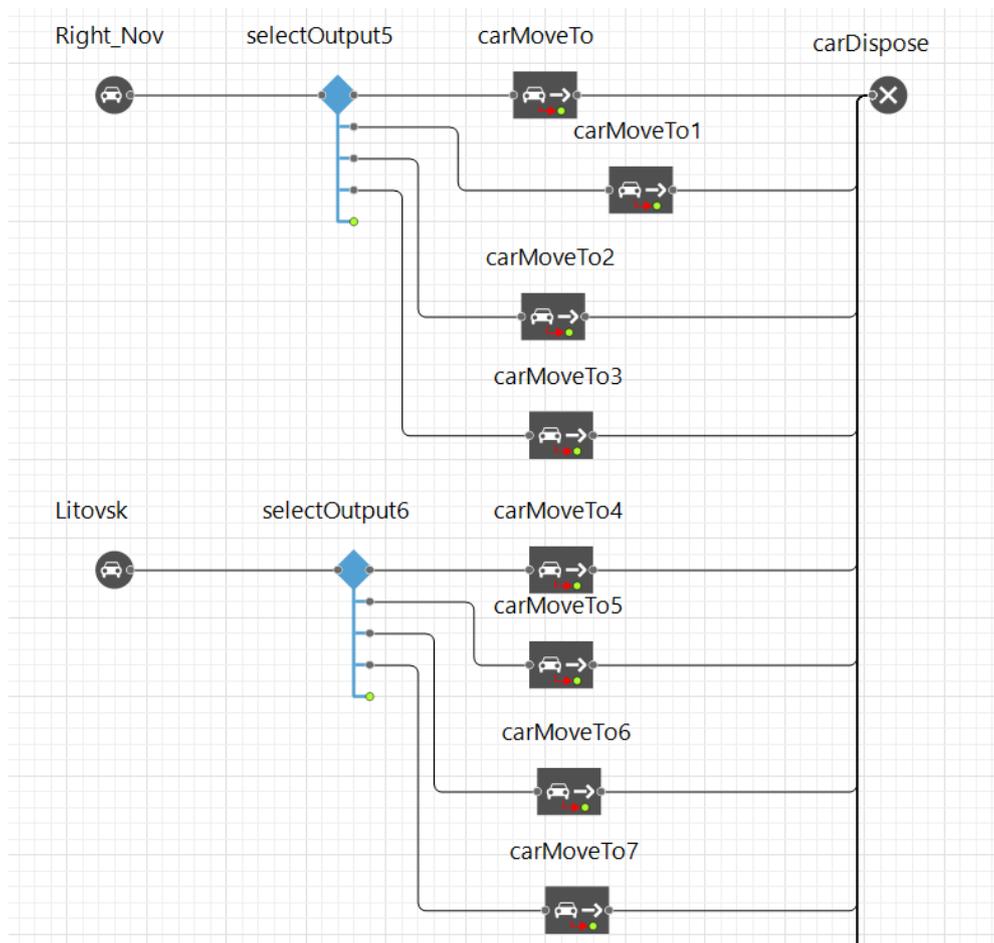
потока по направлениям движения. Выходы блока соответствуют направлениям движения агента;

3) CarMoveTo (англ. *автомобиль следует по направлению*) — блок реализует движение агента к заданной цели (конец дорожного участка);

4) CarDispose (англ. *удаление автомобиля*) — блок реализует удаление агентов из системы.

В системе используются два типа агентов: для легковых автомобилей и для общественного транспорта.

Блок логики движения представлен на рис. 2.



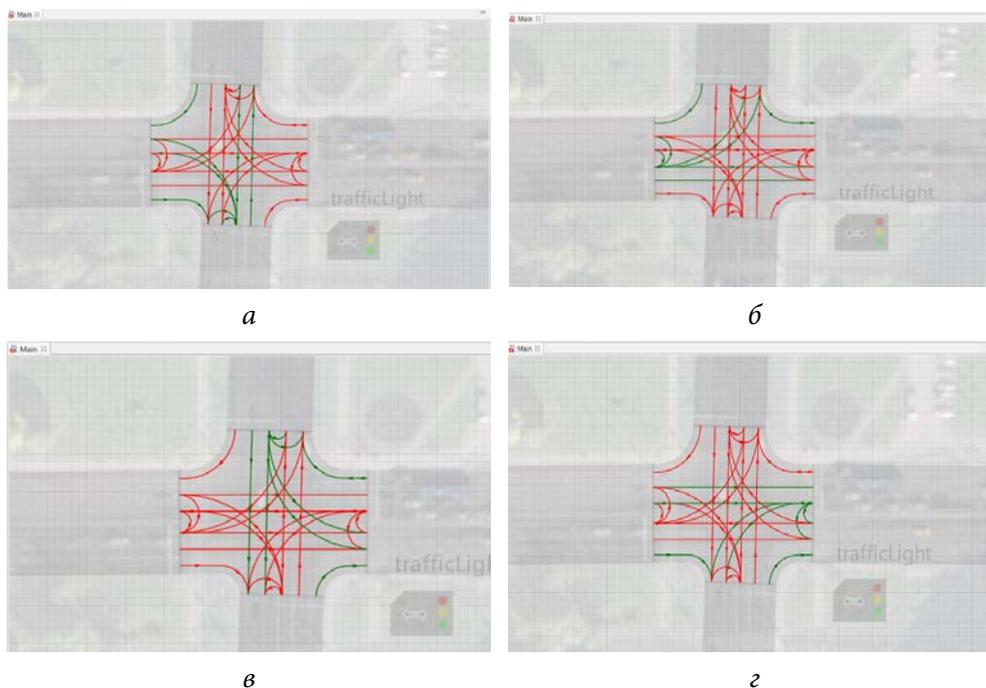
**Рис. 2.** Блоки логики движения легковых автомобилей:

Right\_Nov — обозначение для направления движения по Новоясеневскому проспекту (восток),

Litovsk — обозначение для движения по Литовскому бульвару

Движение на регулируемом перекрестке моделируется с помощью блока TrafficLight. Определяющими параметрами являются длительности фаз свето-

фора и разрешенные траектории движения. Полученные схемы движения во время работы фаз светофора представлены на рис. 3.



**Рис. 3.** Фазы работы светофора:

*а* — 1-я; *б* — 2-я; *в* — 3-я; *г* — 4-я

В процессе натурных наблюдений установлены длительности фаз светофора. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Исходные длительности фаз светофора**

Фаза	Обозначение	Длительность, с
1-я фаза	p1	30
2-я фаза	p2	20
3-я фаза	p3	30
4-я фаза	p4	20
Переключение между фазами	p5	5

Далее была создана логика движения общественного транспорта. В модель добавлены маршруты автобусов: 769, 165, 262, 651, 264, 642, 648, Т81. Интенсивность движения автобусов установлена с помощью портала «Московский транспорт» [15]. Для определения логики использовались следующие блоки:

1) CarSource (англ. *ресурс создания автомобиля*) — блок генерирует агентов (автобусы) с заданной интенсивностью;

2) BusStop (англ. *автобусная остановка*) — объект библиотеки дорожного движения, обозначающий автобусную остановку на маршруте движения автобуса;

3) BusRoute (англ. *маршрут автобуса*) — агент, с помощью которого реализовано перемещение автобусов по маршруту;

4) CarMoveTo (англ. *автомобиль следует по направлению*) — блок реализует движение агента к заданной цели (конец дорожного участка);

5) CarDispose (англ. *удаление автомобиля*) — блок реализует удаление агентов из системы.

Блок логики движения автобусов показан на рис. 4. Работа системы в режиме реального времени представлена на рис. 5.

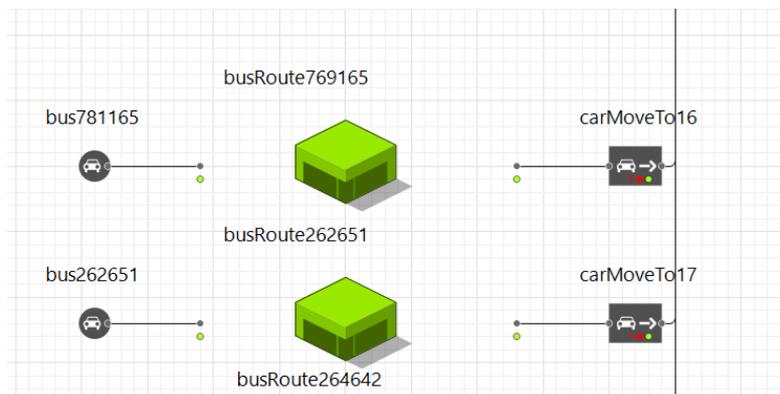


Рис. 4. Логика движения автобусов

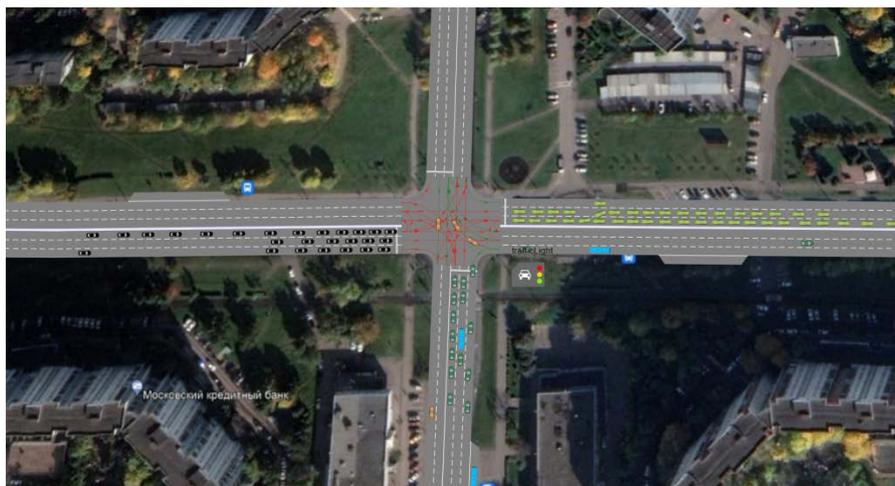


Рис. 5. Работа системы в режиме реального времени

**Оптимизационный эксперимент.** После определения логики движения всех агентов системы был проведен оптимизационный эксперимент стандартными средствами программы AnyLogic. В рамках оптимизационного эксперимента методом подбора определяются оптимальные значения параметров, при которых достигается минимум целевой функции. В данном исследовании целевой функцией является среднее время нахождения агента в системе (время проезда транспортным средством моделируемого участка дорожной сети). Оптимизируемые параметры — длительности фаз зеленого света светофора (фазы 1–4). Таким образом, в результате оптимизации ожидается получить длительности фаз, соответствующие минимуму целевой функции. Исходные значения параметров приведены в табл. 3. Для эксперимента был определен интервал поиска значений 15...35 с. Шаг в эксперименте 3 с. Время моделирования 10 мин. Количество итераций 500.

**Результаты и обсуждение.** Результаты оптимизационного эксперимента представлены на рис 6.

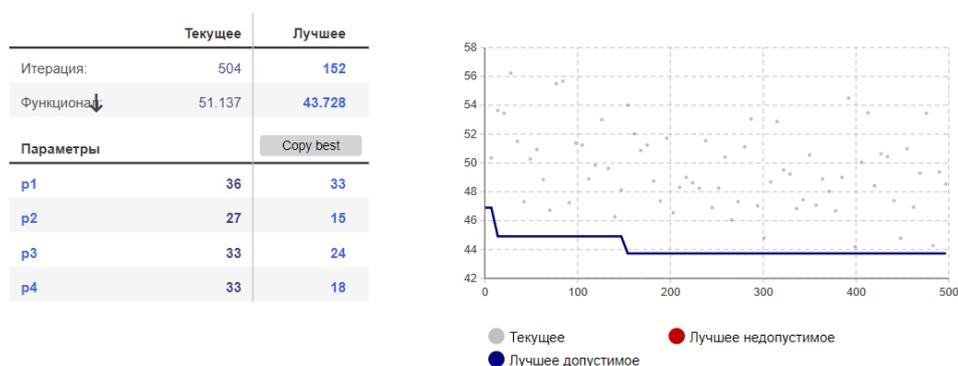


Рис. 6. Результаты эксперимента

Далее имитационная модель движения на перекрестке была запущена с обновленными значениями длительностей фаз зеленого света светофора с целью сбора статистики о транспортном потоке для последующего сравнения. Время моделирования 1 ч (60 мин) (максимально допустимое модельное время в AnyLogic). В результате была составлена табл. 4, в которой представлены характеристики транспортного потока на регулируемом перекрестке, соответствующие 1 ч моделирования.

Диаграмма распределения времени, проведенного агентами в системе, представлена на рис. 7.

Как видно из табл. 4, после проведения оптимизации удалось снизить среднее время пребывания в системе на 13,5 с, что соответствует уровню снижения среднего времени на 10 %. Процент оставшихся в системе агентов (процент затора) был снижен на 1,88 %. Можно заключить, что в результате эксперимента удалось повысить пропускную способность регулируемого перекрестка.

**Параметры транспортного потока после проведения  
оптимизационного эксперимента**

Параметр	До оптимизации	После оптимизации
Фаза р1, с	30	33
Фаза р2, с	20	15
Фаза р3, с	30	24
Фаза р4, с	20	18
ТС прибыло, шт.	2103	2107
ТС выпущено, шт.	1865	1908
ТС в системе (затор), %	11,32	9,44
Среднее время в системе, с	134,88	121,31
Максимальное время в системе, с	1282,61	1484,78
Минимальное время в системе, с	1,22	1,07
Дисперсия, с	234,549	226,54
Доверительный интервал среднего	5,132	4,89

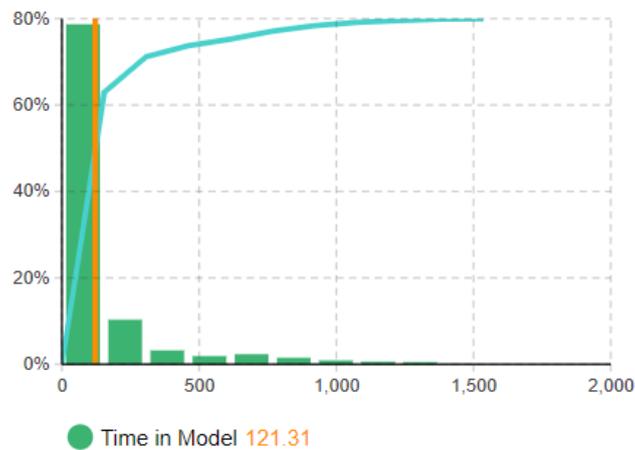


Рис. 7. Диаграмма распределения времени, проведенного агентами в системе

**Заключение.** Транспортное моделирование является важной и перспективной научной областью, которая определяет развитие транспортных систем современных городов. В частности, с помощью имитационного моделирования можно анализировать динамику загруженности улично-дорожной сети, определять среднее время проезда дорожного участка, моделировать изменения поведения участников дорожного движения. В данной работе рассмотрена проблема нахождения оптимальной длительности фаз зеленого света светофора на регу-

лируемом перекрестке. С помощью полевых исследований определены входные параметры для имитационной модели (интенсивность транспортного потока, распределение потока по направлениям движения, исходные длительности фаз светофора, разрешенные направления движения на перекрестке). Затем с помощью программного продукта AnyLogic построена имитационная много-агентная модель движения. Далее был проведен оптимизационный эксперимент, в результате которого получены новые значения длительности фаз светофора. В процессе последующего запуска модели с обновленными показателями длительности установлено, что в результате эксперимента удалось уменьшить время пребывания транспортных средств в пределах перекрестка на 13,5 с, снизить объем затора затора на 1,88 %.

### Литература

- [1] Лобода В. Парк транспортных средств в России: как он изменился за 10 лет? URL: <https://www.autostat.ru/infographics/43122/> (дата обращения: 27.04.2022).
- [2] Тимерханов А. В России на 1000 жителей приходится 318 легковых автомобилей. *autostat.ru: веб-сайт*. URL: <https://www.autostat.ru/news/51098/> (дата обращения: 27.04.2022).
- [3] Тимерханов А. Обеспеченность автомобилями в крупнейших городах России. *autostat.ru: веб-сайт*. URL: <https://www.autostat.ru/press-releases/46332/> (дата обращения: 27.04.2022).
- [4] Потапова И.А., Бояршинова И.Н., Исмагилов Т.Р. Методы моделирования транспортного потока. *Фундаментальные исследования*, 2016, № 10-2, с. 338–342.
- [5] Недяк А.В., Рудзейт О.Ю., Зайнетдинов А.Р. Классификация методов моделирования транспортных потоков. *Вестник Евразийской науки*, 2019, т. 11, № 6. URL: <https://esj.today/PDF/87SAVN619.pdf>
- [6] Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков. *Автоматика и телемеханика*, 2003, № 11, с. 3–46.
- [7] Жанказиев С.В., ред. Имитационное моделирование в проектах ИТС. М., МАДИ, 2016.
- [8] Zudina OV. Process-oriented approach into Rao X simulation modeling system. In: *IFTOMM WC 2019*. Springer, 2019, pp. 531–536. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9_53)
- [9] Свистунова А.С., Хасанов Д.С., Кравец Д.М. Построение цифрового двойника западного скоростного диаметра Санкт-Петербурга на основе имитационного моделирования. ИММОД-2021. Тр. конф. СПб., АО ЦТСС, 2021, с. 382–388.
- [10] Официальный сайт программы AnyLogic. URL: <https://www.anylogic.ru> (дата обращения: 27.04.2022)
- [11] Макарова И.В., Давлетшин Д.Ф., Бойко А.Д. Применение имитационного моделирования для решения проблемы безопасности на пешеходных переходах. *ИММОД-2017. Тр. конф.* СПб., Изд-во НОИМ, 2017, с. 469–473.
- [12] Холкин А.В., Павлов А.Д. Имитационное и математическое моделирование автомобильного движения средствами Anylogic и Statistica. *V Межд. науч.-практ. конф.*

- САПР и Моделирование в современной электронике*. Барнаул, Новый формат, 2021, с. 175–178.
- [13] Malim M.R., Halim F.A., Abd Rahman S.S. Optimizing traffic flow at a signalized intersection using simulation. *MJoC*, 2019, vol. 4, no. 2, pp. 261–269.
- [14] Google Earth. *google.com: веб-сайт*. URL: <https://www.google.com/intl/ru/earth/> (дата обращения: 27.04.2022).
- [15] *Московский транспорт: веб-сайт*. URL: <https://transport.mos.ru/> (дата обращения: 27.04.2022).

**Кузнецов Тимофей Александрович** — студент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Зудина Ольга Владимировна, старший преподаватель кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Кузнецов Т.А. Оптимизация движения транспортного потока на регулируемом перекрестке с использованием имитационного моделирования. *Политехнический молодежный журнал*, 2022, № 07(72). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-07-808>

## TRAFFIC FLOW OPTIMIZATION AT A REGULATED INTERSECTION USING SIMULATION MODELING

T.A. Kuznetsov

tima.kuznetsov1507@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

The task of analyzing the traffic congestion of urban street and road network is currently very urgent. The active growth of Russian cities determines the increasing load on their existing transport systems, which requires timely and accurate decisions on the development of road infrastructure. Transport modeling methods make it possible to conduct analytical studies of changes in the density of traffic flow in the sections of the urban transport system in order to determine its load and improve its performance. The article deals with the method of transport simulation modeling and simulation of traffic at a regulated intersection of the street and road network of Moscow. Using the optimization experiment, the values of optimum durations of traffic light phases at a regulated intersection were obtained.

### Keywords

Simulation modeling, agent-based simulation, traffic flow modeling, transport system, traffic management, optimization, digital twin city

Received 30.06.2022

© Bauman Moscow State Technical University, 2022

---

### References

- [1] Loboda V. Park transportnykh sredstv v Rossii: kak on izmenilsya za 10 let? URL: <https://www.autostat.ru/infographics/43122/> (accessed: 27.04.2022).
- [2] Timerkhanov A. V Rossii na 1000 zhitel'ey prikhoditsya 318 legkovykh avtomobiley [In Russia 318 light vehicles are accounted for 1000 people]. *autostat.ru: website* (in Russ.). URL: <https://www.autostat.ru/news/51098/> (accessed: 27.04.2022).
- [3] Timerkhanov A. Obespechennost avtomobilyami v krupneyshikh gorodakh Rossii [Vehicle provision in largest Russian cities]. *autostat.ru: website* (in Russ.). URL: <https://www.autostat.ru/press-releases/46332/> accessed: 27.04.2022).
- [4] Potapova I.A., Boyarshinova I.N., Ismagilov T.R. Methods of traffic flows modeling. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Research], 2016, no. 10-2, pp. 338–342 (in Russ.).
- [5] Nedyak A.V., Rudzeyt O.Yu., Zaynetdinov A.R. Classification of methods for modeling traffic flows. *Vestnik Evraziyskoy nauki* [The Eurasian Scientific Journal], 2019, vol. 11, no. 6. URL: <https://esj.today/PDF/87SAVN619.pdf> (in Russ.).
- [6] Shvetsov V.I. Mathematical modeling of traffic flows. *Avtomatika i telemekhanika*, 2003, no. 11, pp. 3–46 (in Russ.). (Eng. version: *Autom. Remote. Control.*, 2003, vol. 64, no. 11, pp. 1651–1689. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1027348026919>)
- [7] Zhankaziev S.V., ed. Imitatsionnoe modelirovanie v proektakh ITS [Simulation modeling in TS projects]. Moscow, MADI Publ., 2016 (in Russ.).

- 
- [8] Zudina O.V. Process-oriented approach into Rao X simulation modeling system. In: *IFTToMM WC 2019*. Springer, 2019, pp. 531–536.  
DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9_53)
- [9] Svistunova A.S., Khasanov D.S., Kravets D.M. [Building a digital twin of the western high-speed diameter of St. Petersburg based on simulation simulations]. *IMMOD-2021. Tr. konf.* [IMMOD-2021. Proc. Conf.]. Sankt-Petersburg, AO TsTSS, 2021, pp. 382–388 (in Russ.).
- [10] AnyLogic software official website. URL: <https://www.anylogic.ru> (accessed: 27.04.2022) (in Russ.).
- [11] Makarova I.V., Davletshin D.F., Boyko A.D. Application of simulation modeling for solving safety issues in pedestrian crosswalk. *IMMOD-2017. Tr. konf.* [IMMOD-2017. Proc. Conf.]. Sankt-Petersburg, Izd-vo NOIM, 2017, c. 469–473 (in Russ.).
- [12] Kholkin A.V., Pavlov A.D. [Simulation and mathematical modeling of automobile traffic by means of Anylogic and Statistica]. *Mezhd. nauch.-prakt. konf. SAPR i Modelirovanie v sovremennoy elektronike* [Int. Sci.-Pract. Conf. SAPR and Simulation in Modern Electronics]. Barnaul, Novyy format Publ., 2021, pp. 175–178 (in Russ.).
- [13] Malim M.R., Halim F.A., Abd Rahman S.S. Optimizing traffic flow at a signalized intersection using simulation. *MJoC*, 2019, vol. 4, no. 2, pp. 261–269.
- [14] Google Earth. *google.com: website* (in Russ.). URL: <https://www.google.com/intl/ru/earth/> (accessed: 27.04.2022).
- [15] Moskovskiy transport [Moscow transport]: website (in Russ.).  
URL: <https://transport.mos.ru/> (accessed: 27.04.2022).

**Kuznetsov T.A.** — Student, Department of Computer Systems of Manufacture Automation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Zudina O.V., Senior Lecturer, Department of Computer Systems of Manufacture Automation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Kuznetsov T.A. traffic flow optimization at a regulated intersection using simulation modeling. *Politekhnikheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2022, no. 07(72).  
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-07-808.html> (in Russ.).