

Международный научно-исследовательский журнал

«Прогрессивная экономика»

№ 11 / 2025 [https://progressive-economy.ru/vypusk\\_1/sovershenstvovanie-organizaczii-dorozhnogo-dvizheniya-v-gorodskoj-srede-kompleksnyj-podhod-na-osnove-dannyh-i-imitacionnogo-modelirovaniya/](https://progressive-economy.ru/vypusk_1/sovershenstvovanie-organizaczii-dorozhnogo-dvizheniya-v-gorodskoj-srede-kompleksnyj-podhod-na-osnove-dannyh-i-imitacionnogo-modelirovaniya/)

Научная статья / Original article

Шифр научной специальности ВАК: 5.2.6

УДК 656.13

DOI: 10.54861/27131211\_2025\_11\_246



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ: КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД НА ОСНОВЕ ДАННЫХ И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Касько И.М., магистрант, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия*  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3890-4107>

*Рубцов А.М., магистрант, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия*  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3448-372X>

**Аннотация.** В статье исследуется актуальная проблема хронической перегрузки улично-дорожной сети (УДС) мегаполисов, ведущей к значительным экономическим потерям, ухудшению экологической обстановки и снижению качества жизни населения. Целью исследования является разработка и апробация комплексного подхода к оптимизации организации дорожного движения (ОДД), позволяющего проактивно оценивать эффективность управленческих решений до их реализации. Научная новизна работы заключается в адаптации методологии агентного имитационного моделирования к специфике российских городов с интеграцией эмпирических данных натурных наблюдений. Методология основана на применении гибридного подхода, включающего сбор данных о транспортных потоках, построение и верификацию детализированной агентной модели в среде AnyLogic, а также проведение оптимизационных экспериментов. Основные результаты получены на примере перекрестка ул. Бабушкина и ул. Чернова в Санкт-Петербурге: оптимизация режима светофорного регулирования позволила повысить пропускную способность узла на 16,3% и сократить среднее время прохождения на 24,3%. Практическая значимость заключается в том, что предложенные решения обладают низкой капиталоемкостью, демонстрируют универсальность и потенциал для масштабирования на другие проблемные участки УДС для повышения эффективности городской логистики. Перспективы исследований связаны с применением подхода для оптимизации сети смежных перекрестков.



**Ключевые слова:** организация дорожного движения, транспортные потоки, имитационное моделирование, оптимизация, городская логистика, AnyLogic, светофорное регулирование.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Каско И.М., Рубцов А.М. Совершенствование организации дорожного движения в городской среде: комплексный подход на основе данных и имитационного моделирования // Прогрессивная экономика. 2025. № 11. С. 246–262.  
[https://doi.org/10.54861/27131211\\_2025\\_11\\_246](https://doi.org/10.54861/27131211_2025_11_246).

Статья поступила в редакцию: 28.10.2025 г. Одобрена после рецензирования: 19.11.2025 г. Принята к публикации: 20.11.2025 г.

## IMPROVING ROAD TRAFFIC MANAGEMENT IN THE URBAN ENVIRONMENT: A COMPREHENSIVE DATA-BASED AND SIMULATION-BASED APPROACH

*Kasko I.M., Master's student, St. Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, Russia*

*ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3890-4107>*

*Rubtsov A.M., Master's student, St. Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, Russia*

*ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3448-372X>*

**Abstract.** The article addresses the pressing issue of chronic congestion in the urban road network (URN) of megacities, which leads to significant economic losses, environmental degradation, and reduced quality of life. The study aims to develop and test a comprehensive approach to optimizing traffic management (TM), enabling a proactive assessment of management decisions before their real-world implementation. The scientific novelty lies in adapting the agent-based simulation methodology to the specifics of Russian cities, integrating empirical data from field observations. The research methodology is based on a hybrid approach, including the collection of traffic flow data, the development and validation of a detailed agent-based model in the AnyLogic environment, and the conduction of optimization experiments. The key results, obtained using the case study of the intersection of Babushkina St. and Chernova St. in St. Petersburg, show that optimizing the traffic light control mode increased the intersection's capacity by 16.3% and reduced the average crossing time by 24.3%. The practical significance is that the proposed solutions are low-cost, versatile, and have the potential for scaling to other problematic URN sections to improve urban transportation logistics. Future research perspectives involve applying the approach to optimize a network of adjacent intersections.

**Keywords:** traffic management, traffic flows, simulation modeling, optimization, urban logistics, AnyLogic, traffic light control



*JEL classification: R41, R42, C63, O39.*

**Conflict of interest.** The authors declare that there is no conflict of interest.

**For citation:** Kasko I.M., Rubtsov A.M. (2025) Improving Traffic Management in Urban Environments: A Comprehensive Approach Based on Data and Simulation Modeling. *Progressivnaya ekonomika [Progressive Economy]*, 11, 246–262, [https://doi.org/10.54861/27131211\\_2025\\_11\\_246](https://doi.org/10.54861/27131211_2025_11_246) (In Russ., abstract in Eng.)

The article was submitted to the editorial office: 28/10/2025. Approved after review: 19/11/2025. Accepted for publication: 20/11/2025.

## Введение

Современный этап урбанизации характеризуется опережающим ростом уровня автомобилизации, что приводит к хронической перегрузке улично-дорожных сетей крупных городов. Следствием этого являются не только значительные экономические издержки, связанные с ростом временных и топливных издержек, но и снижение качества жизни населения, ухудшение экологической обстановки и повышение аварийности. По данным международных рейтингов [1], экономический ущерб от заторов в 2023 году достиг 81 млрд долларов в США и 100 млрд евро в странах Европы. В России уровень автомобилизации к 2023 году составил более 330 автомобилей на 1000 жителей, создав значительную нагрузку на инфраструктуру, исторически не приспособленную к таким нагрузкам.

В условиях сложившейся городской застройки физическое расширение дорог часто невозможно, что актуализирует поиск интенсивных методов повышения эффективности использования существующей инфраструктуры. На первый план выходят решения, основанные на интеллектуальном управлении транспортными потоками и применении цифровых технологий.

В контексте управления городской мобильностью, транспортный поток представляет собой сложную динамическую систему, характеризуемую такими параметрами, как интенсивность, скорость, плотность и состав. Эффективное управление им требует учета фундаментальной зависимости между этими показателями, известной как фундаментальная диаграмма транспортного потока. При этом ключевой задачей является поддержание коэффициента загрузки участков УДС в диапазоне 0,3-0,45, что способствует наиболее устойчивому состоянию потока с практически неограниченной сменой полос. Превышение значения 0,8 свидетельствует о практическом исчерпании пропускной способности и ведет к формированию заторов [2].

Целью данного исследования является разработка и апробация комплексного подхода к оптимизации ОДД, основанного на интеграции методов сбора данных натуральных наблюдений и инструментов агентного имитационного моделирования. Такой подход позволяет перейти от реактивного к проактивному управлению, оценивая эффективности и



экономическую целесообразность предлагаемых мероприятий в виртуальной среде до их внедрения. Научная новизна работы заключается в разработке методики, адаптированной к специфике российских мегаполисов и интегрирующей логистические аспекты управления потоками в городской среде. В качестве объекта для апробации предлагаемого подхода в исследовании выбран Санкт-Петербург как один из наиболее показательных примеров мегаполиса с хронической перегрузкой УДС.

### Обзор литературы

Проблема оптимизации транспортных потоков в крупных городах остается крайне актуальной на фоне постоянного роста числа автомобилей и связанных с этим экономических и экологических вызовов городской мобильности. В современных исследованиях классические методы моделирования, работающие с усредненными потоками, все чаще заменяются агентно-ориентированным подходом. Его преимущество – в способности детально воспроизводить поведение каждого участника движения: водителей, пешеходов и общественного транспорта.

Как показал систематический обзор Mehdizadeh M. и соавт. [3; 4], агентное моделирование позволяет анализировать сложные сценарии взаимодействия на дороге и точно оценивать последствия управленческих решений для устойчивости транспортной системы. Схожие выводы содержатся в мета-анализе Mishra S. и др. [5], где подчеркивается потенциал этого подхода для точной оценки эффектов от новых правил и изменений инфраструктуры. Среди наиболее развитых направлений в этой области – моделирование перераспределения потоков в мегаполисах, детальный анализ перекрестков с помощью симуляторов (таких как VISSIM и AnyLogic), а также изучение смешанного и приоритетного движения [6; 7]. Перспективы развития связывают с повышением масштабируемости моделей, автоматизацией сбора данных и интеграцией с искусственным интеллектом.

Значительное внимание уделяется и социально-экологическим аспектам. Например, Xu S. и соавт. [8; 9] с помощью панельных моделей продемонстрировали прямую связь между дорожными заторами и уровнем загрязнения воздуха в городах, что доказывает экологический потенциал оптимизации дорожного движения. Несмотря на прогресс, сохраняются и серьезные вызовы. К ним относятся сложности валидации моделей на реальных данных, унификация подходов к моделированию поведения в разных странах и учет сложных социально-экономических последствий транспортной политики. Lam J. C. K. и коллеги [10; 11; 12] отмечают проблему разработки единых стандартов для переноса результатов моделирования в реальную городскую среду.

Данное исследование развивает существующий научный задел, фокусируясь на создании гибридной модели для адаптивного управления перекрестками крупного города. Подход в этом исследовании интегрирует



полевые наблюдения, калибровку модели и оптимизационные алгоритмы. Вклад работы заключается в тестировании новых сценариев управления светофорами с учетом неоднородности транспортных потоков и в разработке методики оценки эффективности решений до их внедрения. В целом, для российских мегаполисов остается актуальным недостаток масштабных проверок агентных моделей на реальных данных, а также недостаточная изученность влияния погодных, социальных и поведенческих факторов. Слабо проанализированы и возможности интеграции таких моделей с интеллектуальными транспортными системами, работающими в реальном времени.

### **Анализ ключевых проблем организации дорожного движения в мегаполисах**

Проблема заторов носит глобальный характер. Анализ российской и зарубежной практики выявляет общий набор проблем: высокий уровень автомобилизации, недостаточная пропускная способность УДС, низкая степень адаптивности систем управления движением.

Мировой опыт демонстрирует, что даже города с развитой транспортной инфраструктурой, такие как Лондон и Париж, сталкиваются с хроническими заторами. В Лондоне, несмотря на внедрение системы платного въезда (Congestion Charge), средняя скорость движения в центральных районах составляет около 14 км/ч [1]. Аналогичные обстоятельства характерны и для Санкт-Петербурга, где географическое положение на островах дельты Невы с более чем 300 мостами, около 20 из которых являются разводными, создает уникальные инфраструктурные ограничения и «узкие места». Разводка мостов в ночное время в период навигации существенно ограничивает связность городских районов, перенаправляя и концентрируя транспортные потоки на альтернативных маршрутах, что приводит к росту нагрузки на них.

В контексте Санкт-Петербурга эти проблемы усугубляются уникальными географическими и инфраструктурными особенностями: наличием многочисленных мостов и развязок, пересечениями с железнодорожными путями, плотной исторической застройкой центральных районов. Ключевые проблемы города включают:

- перегрузку основных магистралей (Невский проспект, Московский проспект) в часы пик;
- ограниченную пропускную способность мостов и переездов;
- недостаточную оптимизацию светофорного регулирования (только 35% светофоров оснащены системами адаптивного управления [14]);
- слабое развитие инфраструктуры для альтернативных видов мобильности (пешеходной, велосипедной, средств индивидуальной мобильности).

Проблема управления усугубляется фрагментарным подходом, при котором управление зачастую осуществляется локально на уровне отдельного



перекрестка без учета его влияния на смежные участки транспортной сети. В сфере управления дорожным движением наблюдается принципиальное противоречие между локальным и системным подходами. Оптимизация работы изолированного перекрестка, будучи эффективной на местном уровне, способна негативно отразиться на транспортной ситуации в прилегающей зоне. Это связано с тем, что любые корректировки в режиме работы одного узла неизбежно влияют на параметры потоков на смежных участках сети. Современные исследования и практика показывают, что наибольшую результативность демонстрирует комбинированная стратегия, интегрирующая заранее подготовленные схемы координации («библиотеки» программ) с оперативной адаптацией к изменяющимся условиям в реальном времени [2].

Анализ состояния улично-дорожной сети часто выявляет парадоксальную ситуацию: при формально допустимых значениях коэффициента загрузки в диапазоне 0,3–0,45 [13] на отдельных участках регулярно возникают заторы. Это указывает на то, что корень проблемы лежит не столько в общей перегруженности магистралей, сколько в структурных недостатках организации движения. К последним относятся неэффективные алгоритмы работы светофоров и наличие конфликтных точек пересечения транспортных потоков на перекрестках.

#### **Методология комплексного подхода к оптимизации ОДД**

Методологической основой данного исследования выбран метод имитационного моделирования. А.А. Бочкарев определяет его как процесс замещения исходного объекта его концептуальным аналогом (моделью) с последующим изучением свойств оригинала через анализ этого аналога [14]. Применительно к задачам городской мобильности, данный метод выступает ключевым инструментом, позволяющим проводить комплексный анализ, осуществлять оптимизацию и планирование дорожного движения. Его использование дает возможность заблаговременно прогнозировать возникновение заторов, объективно оценивать пропускную способность элементов инфраструктуры и разрабатывать обоснованные мероприятия по управлению трафиком.

Для практической реализации моделирования в данном исследовании был выбран программный комплекс AnyLogic [15]. Его ключевым преимуществом является поддержка агентного (англ. Agent-based) подхода, который позволяет воспроизводить поведение децентрализованных активных объектов – транспортных средств и пешеходов – и анализировать, как их индивидуальные решения формируют общую картину транспортного потока. Гибкость и мощь библиотеки дорожного движения в AnyLogic позволяют создавать детализированные и адекватные модели городских перекрестков, что и определило его выбор в качестве основного инструмента.

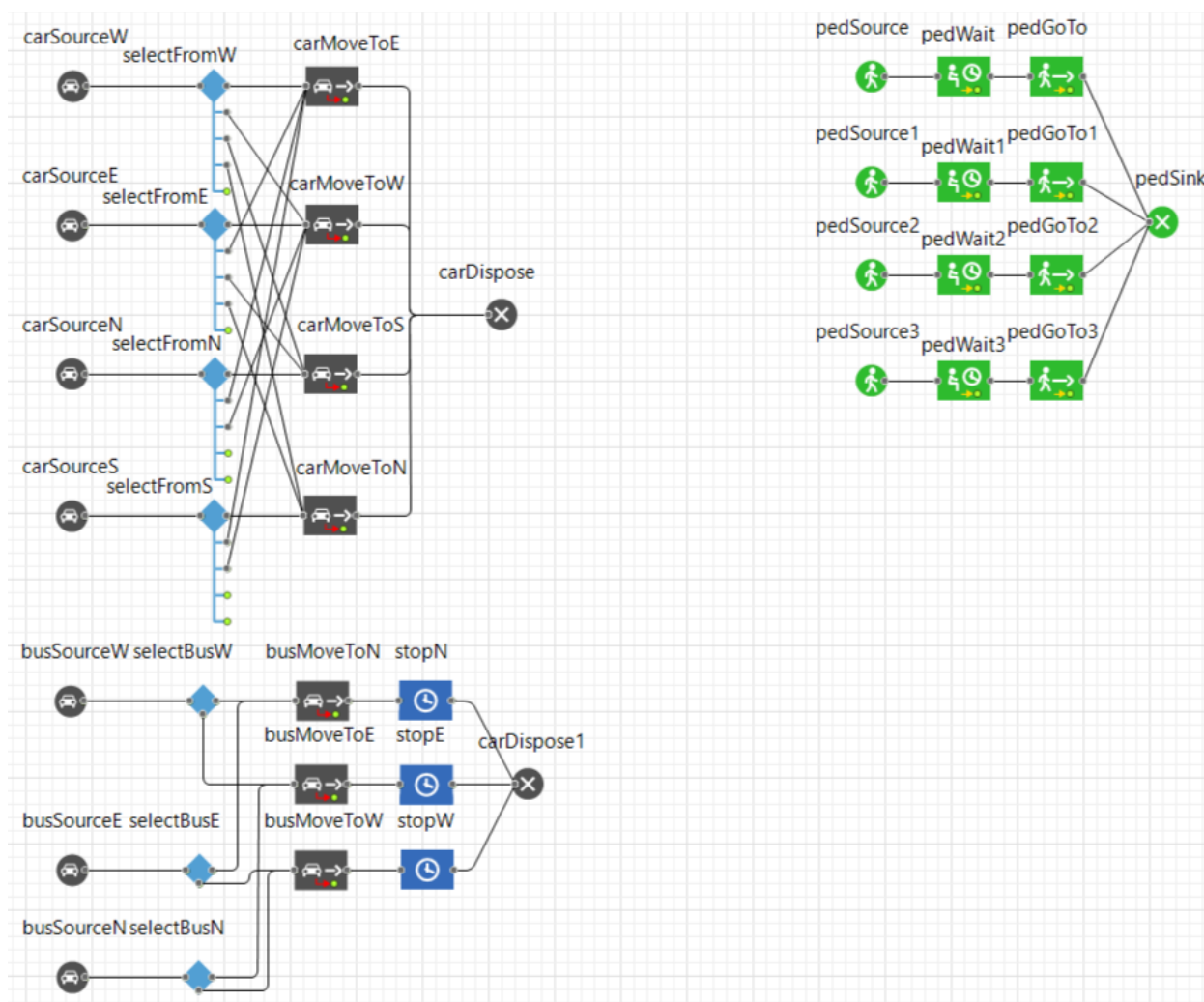


Предлагаемый подход к оптимизации организации дорожного движения реализуется в виде последовательного исследовательского цикла. На первом этапе осуществляется сбор и анализ исходных данных, включая проведение натуральных наблюдений за выбранным участком УДС. В ходе наблюдений фиксируются интенсивность и состав транспортного потока, режим работы светофорных объектов, а также выявляются ключевые конфликтные точки. После этого выполняется расчет нормативных показателей, а именно – определение пропускной способности участка и коэффициентов загрузки, что позволяет дать количественную оценку текущего состояния ОДД.

Основу методологии составляет этап построения и верификации имитационной модели. В программном комплексе AnyLogic создается детализированная агентная модель, адекватно воспроизводящая геометрию участка, логику поведения транспортных средств и пешеходов и алгоритмы работы светофоров. Адекватность модели обеспечивается путем верификации – сравнения ее выходных параметров с данными, полученными в ходе натуральных наблюдений.

Следующим шагом является проведение оптимизационных экспериментов с использованием встроенных средств AnyLogic. Целью экспериментов является поиск наилучших параметров управления, таких как длительность светофорных фаз и фазировка, по заданным критериям оптимизации: минимизации среднего времени в системе и максимизации пропускной способности. На завершающем этапе проводится оценка экономического и операционного эффекта от предложенных изменений. Анализируются результаты моделирования, рассчитывается достигнутая эффективность, и формулируются конкретные рекомендации для органов управления транспортным комплексом.

Выбор агентного подхода к моделированию в среде AnyLogic был обусловлен его способностью адекватно воспроизводить поведение децентрализованных агентов (транспортных средств и пешеходов) и то, как это поведение определяет функционирование системы в целом. Моделирование трафика относится к классу имитационных микромоделей, которое воспроизводит динамику движения транспортных потоков с учетом поведения и условий движений каждого транспортного средства [16]. В рамках созданной модели были определены типы агентов (легковые автомобили, автобусы, пешеходы), заданы правила их появления (`carSource`, `pedSource`), логика выбора направления движения (`selectFromX`, `carMoveTo`) и завершения «жизненного цикла» (`carDispose`, `pedSink`).



**Рис. 1. Логическая схема модели перекрестка в AnyLogic**

*Источник: составлено авторами*

**Fig. 1. Logic diagram of the intersection model in AnyLogic**

*Source: compiled by the authors*

Ключевым элементом модели является объект `trafficLight`, отвечающий за режим светофорного регулирования. Для визуализации заторов использовался элемент `roadNetworkDescriptor`, который динамически окрашивает участки дороги в зависимости от средней скорости движения (зеленый – свободно, красный – загружено). Трехмерная анимация модели, пример которой представлен на рисунке 2, повышает наглядность и позволяет визуально идентифицировать проблемные зоны.

Ключевым преимуществом подхода является возможность многократного воспроизведения различных сценариев управления без рисков и затрат, связанных с натуральными экспериментами.





**Рис. 2. 3D-анимация симуляции модели перекрестка в AnyLogic**

*Источник: составлено авторами*

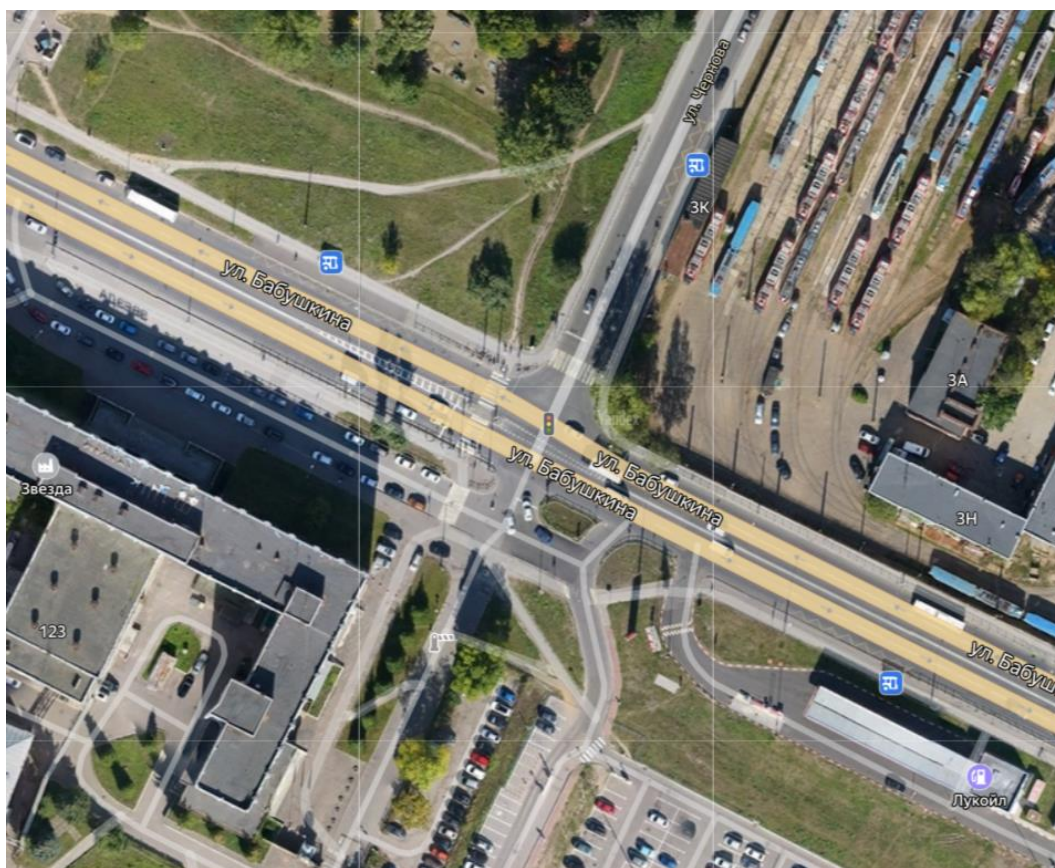
**Fig. 2. 3D animation of a traffic intersection model simulation in AnyLogic**

*Source: compiled by the authors*

### **Апробация подхода на примере перекрестка ул. Бабушкина и ул. Чернова в Санкт-Петербурге**

В качестве объекта для апробации был выбран проблемный перекресток в Невском районе Санкт-Петербурга – пересечение ул. Бабушкина и ул. Чернова. Данный перекресток представляет собой типичный узел в спальном районе с высокой интенсивностью движения, обслуживающий как жилую застройку, так и прилегающую промышленную территорию с гипермаркетом. Четырехполосная ул. Бабушкина является одной из основных магистралей левобережной части Невского района, а двухполосная ул. Чернова связывает ее со станцией метро «Пролетарская». Особенностью организации движения является наличие светофорного регулирования с трехфазным циклом длительностью 126 секунд, включающим отдельную пешеходную фазу.





**Рис. 3. Спутниковый снимок и схематичное изображение перекрестка ул. Бабушкина и ул. Чернова**

*Источник: составлено авторами*

**Fig. 3. Satellite image and schematic diagram of the intersection of Babushkina Street and Chernova Street**

*Source: compiled by the authors*

На основе собранных эмпирических данных была разработана детализированная агентная модель в AnyLogic, учитывающая все полосы движения, направления, светофорную логику (3-фазовый цикл длительностью 126 секунд) и потоки транспорта.

**Таблица 1**

**Интенсивности транспортного потока на перекрестке (в приведенных ед./ч)**

**Table 1**

**Traffic flow intensity at the intersection (in units/h)**

Направление	Утро	День	Вечер	В среднем
Прямое по ул. Бабушкина (WE + EW)	1779	1778	1482	1679,7
Левый поворот с ул. Бабушкина (WN)	140	250	226	205,3
Итого по перекрестку	2753	2820	2342	2638

Примечание: в итоговое значение включены все направления транспортных потоков на перекрестке.

*Источник: составлено авторами*

*Source: compiled by the authors*



Анализ данных выявил структурный дисбаланс: значительная часть транспорта (в среднем 205 приведенных ед./ч в пиковые периоды) совершает левый поворот с ул. Бабушкина на ул. Чернова (маневр WN). Этот поток конфликтует со встречным прямым движением по ул. Бабушкина (направление EW), что создает «узкое место» и приводит к образованию заторов даже при формально допустимом уровне загрузки перекрестка в целом. Расчет пропускной способности и коэффициента загрузки ( $Z$ ) показал, что формально перекресток не перегружен: средний  $Z$  варьировался от 0,31 (вечер) до 0,38 (день) при норме до 0,8. Однако натурные наблюдения выявили тенденцию к образованию заторов в часы пик, в основном из-за конфликта между левоповоротным потоком с ул. Бабушкина (WN) и встречным прямым потоком (EW).

Для решения проблемы было смоделировано и сравнено три сценария организации движения на перекрестке:

1. Базовый сценарий: существующая трехфазовая схема светофорного регулирования с циклом 126 секунд. Данный сценарий используется как эталон сравнения;

2. Эксперимент №1 (оптимизация длительности тактов): оптимизация длительности основных светофорных тактов ( $f1$  – движение по ул. Бабушкина,  $f2$  – движение по ул. Чернова) в рамках существующих трехфазовой логики. Желтые сигналы и пешеходная фаза остались неизменными;

3. Эксперимент №2 (оптимизация фазировки): комплексная оптимизация с изменением последовательности и количества фаз. Была внедрена четырехфазная схема (такты  $f1$ - $f4$ ), позволившая разделить конфликтующие потоки в пространстве и времени, что потребовало изменения фазировки.

Эффективность эксперимента 1 и эксперимента 2 оценивалась в сравнении с базовым сценарием.

### Результаты и обсуждение

Результаты оптимизационных экспериментов и их последующих валидации представлены в таблице 2.

В ходе валидации модели было выявлено расхождение между расчетным количеством автомобилей, проезжающих перекресток по данным натурных наблюдений, и результатами симуляции. Количество агентов в модели оказалось примерно в 2-2,5 раза меньше. Данное расхождение может быть объяснено рядом объективных причин, связанных с упрощением модели по сравнению со сложностью дорожного движения:

– упрощение геометрии и правил: в модели могли не быть учтены второстепенные поведенческие аспекты, такие как движение «в шеренгу» для

объезда препятствий или максимальное сокращение интервалов в условиях плотного потока, что наблюдается в реальности;

– консервативность модельных параметров: модель использует стандартизированные и безопасные дистанции и интервалы между транспортными средствами, тогда как реальные водители в условиях затора склонны их минимизировать;

– агрессивность вождения: некоторые маневры, характерные для пиковых нагрузок не были формализованы в модели в целях обеспечения сценарной чистоты эксперимента.

**Таблица 2**

**Сравнительные результаты оптимизации (сводные показатели)**

**Table 2**

**Comparative optimization results (summary indicators)**

Показатель/ Модель	Без оптимизации	Версия 1 (оптим.)	Версия 2 (оптим.)
Среднее время в системе, с	86,1	65,2 (-24,3%)	68,8 (-20,1%)
Макс. время в системе, с	635,4	446,5 (-29,7%)	367,9 (-25,9%)
Пропускная способность, авт./ч	1155,3	1343,7 (+16,3%)	1271,3 (+10,0%)

*Источник: составлено авторами*

*Source: compiled by the authors*

Несмотря на это расхождение в абсолютных значениях, созданная модель адекватно фиксирует ключевые тенденции и, локацию проблемных точек и относительную динамику изменений. Именно корректное отражение относительного улучшения ключевых показателей (пропускной способности и времени задержки) после оптимизации является основной целью применения имитационного моделирования в данном исследовании.

Наибольшую эффективность показала версия 1 оптимизации. В таблице 2 представлены результаты для дневного периода, где наблюдается рост пропускной способности на 16,3% и сокращение среднего времени на 24,3%. Для получения обобщенной оценки эффективности решения были усреднены показатели по всем исследуемым периодам (утро, день, вечер). В усредненном выражении это позволило достичь следующих результатов:

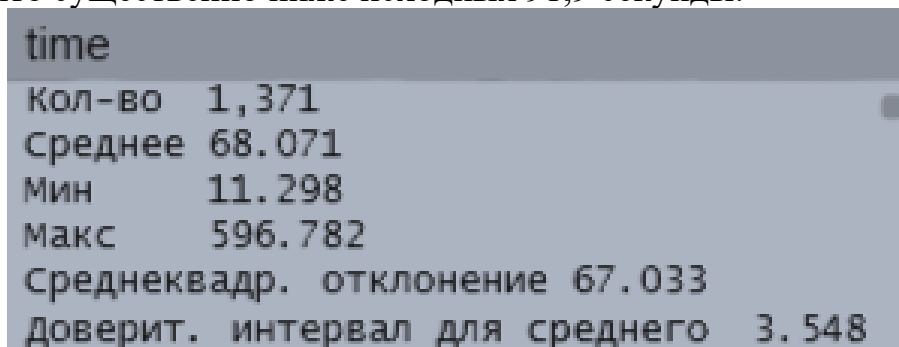
- увеличение пропускной способности перекрестка на 16,3%;
- сокращение среднего времени прохождения перекрестка на 24,3%;
- сокращение максимального времени прохождения на 29,7%.

Версия 2 также показала положительный эффект (рост пропускной способности на 10,0%, сокращение времени на 20,1%), однако ее реализация требует более сложных изменений в логике светофорного регулирования. Таким образом, с точки зрения соотношения сложности внедрения и достигаемого эффекта, версия 1 является предпочтительной.

Для наглядной демонстрации работы оптимизированной модели на рисунке 4 представлены результаты валидационной симуляции для утреннего



периода. Окно статистики в среде AnyLogic фиксирует ключевые показатели, в частности, среднее время прохождения перекрестка, составившее 68,1 секунды, что существенно ниже исходных 91,9 секунды.



time	
Кол-во	1,371
Среднее	68.071
Мин	11.298
Макс	596.782
Среднеквадр. отклонение	67.033
Доверит. интервал для среднего	3.548

**Рис. 4. Окно результатов симуляции с оптимизированными параметрами (эксперимент «1 версия, утро»)**

*Источник: составлено авторами*

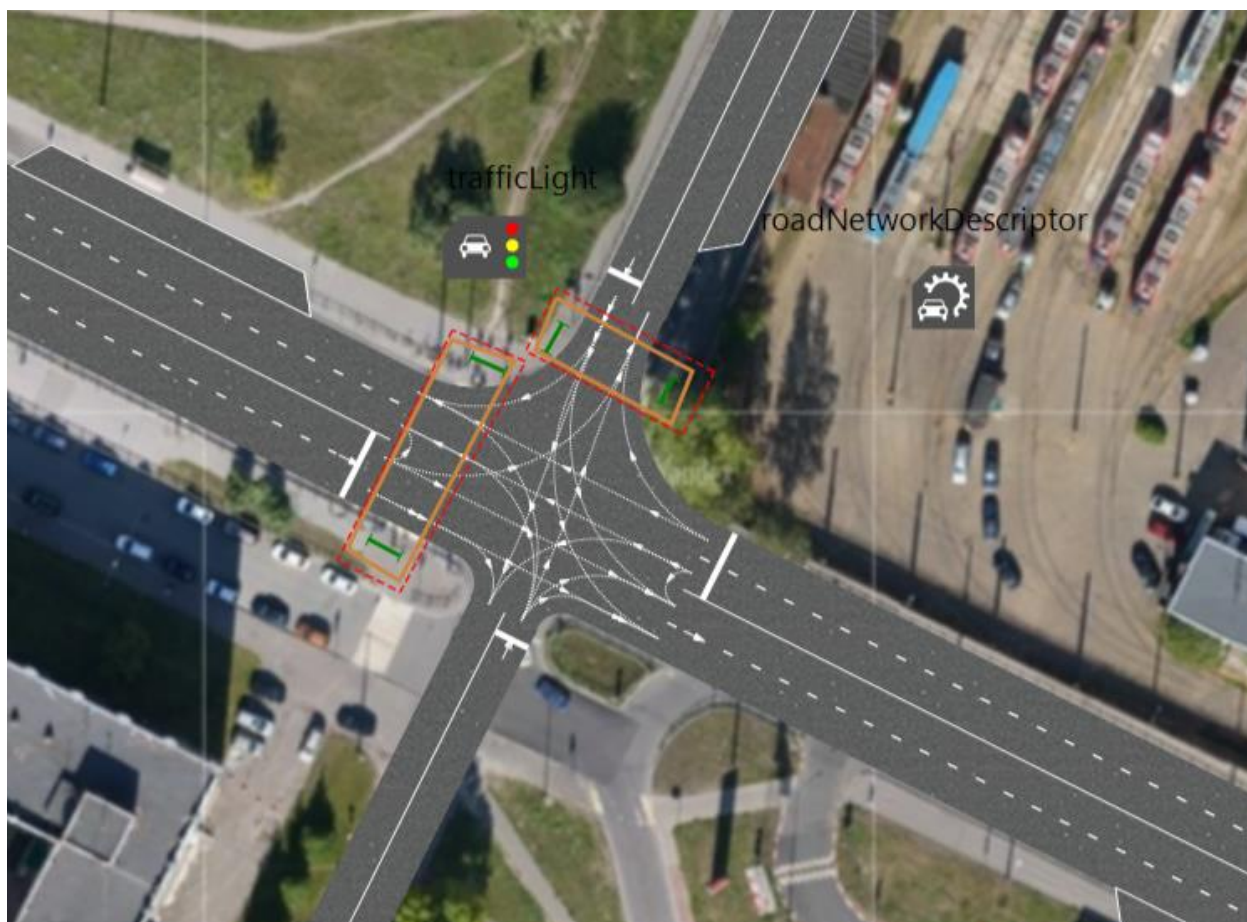
**Fig.4. Simulation results window with optimized parameters (experiment «1 version, morning»)**

*Source: compiled by the authors*

Более того, визуализация дорожной сети в момент симуляции позволяет наблюдать распределение транспортных потоков в новом режиме. Отсутствие участников, окрашенных в красный цвет (что свидетельствует о заторах), и преобладание зеленых участков (свободное движение) подтверждает, что оптимизация режима светофорного регулирования позволила устранить «узкие места» и обеспечить устойчивую работу перекрестка даже в период пиковой нагрузки.

Полученные результаты имеют не только операционное, но и выраженное социально-экономическое значение. Сокращение времени прохождения перекрестка ведет к снижению расхода топлива и уменьшению вредных выбросов в атмосферу. Повышение пропускной способности и предсказуемости времени в пути снижает уровень стресса у экономически активного населения и косвенно способствует росту валового регионального продукта за счет сокращения непроизводительных потерь времени. Выделение отдельной пешеходной фазы, сохраненное в оптимизированных сценариях, способствует повышению безопасности дорожного движения для самой уязвимой категории участников.

Также полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что даже при формально нормативном уровне загрузки перекрестка причиной заторов может являться структурный дисбаланс в организации движения, который может быть эффективно устранен путем относительно простой корректировки временных параметров работы светофорного объекта.



**Рис. 5. Визуализация транспортных потоков на модели перекрестка в режиме оптимизированного светофорного регулирования**

*Источник: составлено авторами*

**Fig. 5. Visualization of traffic flows on a model of an intersection in the mode of optimized traffic light control**

*Source: compiled by the authors*

### **Заключение**

Разработанный в исследовании комплексный подход, интегрирующий методы полевых исследований и имитационного моделирования, доказал свою эффективность для решения задач оптимизации ОДД в условиях мегаполиса. Апробация подхода на конкретном объекте УДС Санкт-Петербурга позволила разработать конкретные управленческие решения по корректировке режима светофорного регулирования, обеспечивающие значительное улучшение ключевых показателей эффективности работы перекрестка.

Перспективой дальнейших исследований является применение данного подхода для оптимизации не изолированного перекрестка, а целого коридора или сети смежных перекрестков. Это позволит реализовать принципы координированного («зеленая волна») и системного адаптивного управления, что потенциально может привести к синергетическому эффекту и



существенному улучшению транспортной ситуации в целом районе. Разработанная методика обладает свойством универсальности и может быть адаптирована для других городов России с учетом их локальной специфики.

### Литература

1. TomTom Traffic Index 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tomtom.com/traffic-index/> (дата обращения: 14.09.2025)
2. Булавина Л.В. Расчет пропускной способности магистралей и узлов. Учебное электронное текстовое пособие, ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, Екатеринбург. 2009. 44 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://goo.su/iRUQCyU> (дата обращения: 16.09.2025).
3. Mehdizadeh M., Maggi E., Vallino E. A systematic review of the agent-based modelling/ microsimulation approach to urban friendship and passenger mobility // *Research in Transportation Economics*. 2022. Vol. 90. P. 101218.
4. Munawar A., Tibbi R., Hasan A. Centralized agent-based model for efficient dispatching of autonomous taxis // *Expert Systems with Applications*. 2025. Vol. 233. P. 120038.
5. Mishra S., Wang S., Katris C., Jabarullah N. H., Kumari S. Agent-based modeling: Insights into consumer behavior, systems analysis and energy transition // *Energy Reports*. 2025. Vol. 11. P. 164–183.
6. Gonzalez-Cuevas A., Gamboa-Rosales N.K., Pascual J.L. Agent-Based Modeling of Urban Traffic Scenarios for Traffic Flow Optimization // *Systems*. 2024. Vol. 12 (2). P. 95–110.
7. Su Y., Liu Y., Chen Y. The role of traffic simulation in shaping effective and sustainable urban freight systems: A review // *Transportation Research Part E*. 2024. Vol. 180. P. 103567.
8. Xu S., Wang T., Huang J. Road congestion and air pollution - Analysis of spatial and temporal patterns in urban China // *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 376. P. 139559.
9. Nianogo R.A., Arah O.A. Agent-based modeling of noncommunicable diseases: A systematic review // *American Journal of Public Health*. 2015. Vol. 105 (3). P. 20–31.
10. Lam J.C.K., Jarvis S., Maguire S. Agent-based modelling in active commuting research // *Journal of Transport & Health*. 2025. Vol. 30. P. 101578.
11. Angulo-García, D. et al. Agent-based modeling in urban human mobility // *Urban Science*. 2023. Vol. 7(4). P. 291–310.
12. Hager K., Wellner M., Sanders U. Agent-based Modeling of Traffic Behavior in Growing Urban Areas // *Transportation Research Procedia*. 2015. Vol. 12. P. 156–165.
13. Комплексная схема организации дорожного движения Санкт-Петербурга. Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL:



[https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2025/02/12/13/КСОДД\\_2\\_тома.pdf](https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2025/02/12/13/КСОДД_2_тома.pdf) (дата обращения: 19.09.2025).

14. Бочкарев А.А. Моделирование в среде AnyLogic: Учеб. пособие. СПб.: СПбГИЭУ, 2012. 87 с.

15. Официальный сайт Anylogic [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 21.09.2025).

16. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения [Электронный ресурс]. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/10/9519> (дата обращения: 24.09.2025).

### References

1. TomTom Traffic Index 2023. URL: <https://www.tomtom.com/traffic-index/> (Date of access: 14.09.2025). (In Eng.)

2. Bulavina L. V. Raschet propusknoy sposobnosti magistraly i uzlov. Uchebnoe elektronnoe tekstovoe posobie [Calculation of throughput of highways and junctions. Electronic educational manual]. Ekaterinburg: UGTU-UPI, 2009. 44 p. URL: <https://goo.su/iRUQCyU> (Date of access: 16.09.2025). (In Russ.)

3. Mehdizadeh M., Maggi E., Vallino E. A systematic review of the agent-based modelling/microsimulation approach to urban friendship and passenger mobility. *Research in Transportation Economics*. 2022. Vol. 90. P. 101218. (In Eng.)

4. Munawar A., Tibbi R., Hasan A. Centralized agent-based model for efficient dispatching of autonomous taxis. *Expert Systems with Applications*. 2025. Vol. 233. P. 120038. (In Eng.)

5. Mishra S., Wang S., Katris C., Jabarullah N. H., Kumari S. Agent-based modeling: Insights into consumer behavior, systems analysis and energy transition. *Energy Reports*. 2025. Vol. 11. P. 164–183. (In Eng.)

6. Gonzalez-Cuevas A., Gamboa-Rosales N. K., Pascual J. L. Agent-Based Modeling of Urban Traffic Scenarios for Traffic Flow Optimization. *Systems*. 2024. Vol. 12 (2). P. 95–110. (In Eng.)

7. Su Y., Liu Y., Chen Y. The role of traffic simulation in shaping effective and sustainable urban freight systems: A review. *Transportation Research Part E*. 2024. Vol. 180. P. 103567. (In Eng.)

8. Xu S., Wang T., Huang J. Road congestion and air pollution: Analysis of spatial and temporal patterns in urban China. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 376. P. 139559. (In Eng.)

9. Nianogo R. A., Arah O. A. Agent-based modeling of noncommunicable diseases: A systematic review. *American Journal of Public Health*. 2015. Vol. 105 (3). P. 20–31. (In Eng.)

10. Lam J. C. K., Jarvis S., Maguire S. Agent-based modelling in active commuting research. *Journal of Transport & Health*. 2025. Vol. 30. P. 101578. (In Eng.)



11. Angulo-García D. et al. Agent-based modeling in urban human mobility. *Urban Science*. 2023. Vol. 7 (4). P. 291–310. (In Eng.)
12. Hager K., Wellner M., Sanders U. Agent-based modeling of traffic behavior in growing urban areas. *Transportation Research Procedia*. 2015. Vol. 12. P. 156–165. (In Eng.)
13. Kompleksnaya skhema organizatsii dorozhnogo dvizheniya Sankt-Peterburga [Comprehensive traffic management scheme of St. Petersburg]. URL: [https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2025/02/12/13/КСОДД\\_2\\_тома.pdf](https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2025/02/12/13/КСОДД_2_тома.pdf) (Date of access: 19.09.2025). (In Russ.)
14. Bochkarev A. A. *Modelirovanie v srede AnyLogic: uchebnoe posobie* [Modeling in AnyLogic environment]. St. Petersburg: SPbGIEU, 2012. 87 p. (In Russ., abstract in Eng.)
15. Ofitsial'nyy sayt AnyLogic. URL: <https://www.anylogic.ru/> (Date of access: 21.09.2025). (In Russ.)
16. Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke i realizatsii meropriyatiy po organizatsii dorozhnogo dvizheniya. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/10/9519> (Date of access: 24.09.2025). (In Russ.)

© Касько И.М., Рубцов А.М., 2025 г.

