

# ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ КРУПНОГО ГОРОДА

## DISCRETE-EVENT SIMULATION OF TRANSPORT FLOWS OF A LARGE CITY

**V. Raduta  
A. Viktorov  
A. Garib'janc**

*Summary.* In this article, theoretical aspects of simulation modeling are considered. Features of discrete-event modeling as one of simulation approaches are described. The possibilities of optimization of transport streams with the use of simulation models on the example of the transport network of St. Petersburg are analyzed.

*Keywords:* simulation modeling, discrete-event modeling, transport networks, AnyLogic, models.

**Радута Валерия Павловна**

Аспирант, Балтийский федеральный университет  
имени Иммануила Канта  
lerchik63@mail.ru

**Викторов Андрей Александрович**

Аспирант, Балтийский федеральный университет  
имени Иммануила Канта

**Гарибьянц Ашот Артурович**

Аспирант, Балтийский федеральный университет  
имени Иммануила Канта

*Аннотация.* В данной статье рассматриваются теоретические аспекты имитационного моделирования. Описываются особенности дискретно-событийного моделирования как одного из подходов имитационного моделирования. Анализируются возможности оптимизации транспортных потоков с использованием имитационных моделей на примере транспортной сети Санкт-Петербурга.

*Ключевые слова:* имитационное моделирование, дискретно-событийное моделирование, транспортные системы, AnyLogic, модели.

**Н**а сегодняшний день одной из важнейших задач, стоящих перед правительством Российской Федерации является организация обеспечения безопасности дорожного движения. По данным статистики за прошедшие девять месяцев 2017 года в нашей стране было зарегистрировано 133 тысячи дорожно-транспортных происшествий, в результате которых погибло 16,5 тысяч человек и 168 получили ранения. Наибольшее число ДТП приходится на крупные города, такие как Москва, Санкт-Петербург, Ростов, Нижний Новгород и др. [1]. Всё это обуславливает актуальность решения проблем, связанных с организацией системы дорожного движения.

При разработке направлений оптимизации системы транспортных потоков использование такого метода, как натуральный эксперимент практически невозможно или очень затруднительно, поэтому наиболее эффективным инструментом является имитационное моделирование. Важным достоинством этого метода считается возможность многократного воспроизведения рассматриваемой системы в целях определения её оптимального состояния.

Имитационное моделирование представляет собой метод исследования, при котором изучаемая реальная система заменяется моделью, над которой проводятся различные эксперименты. Имитационное моделирование удобно применять в случаях, когда проведение

экспериментов над реальной системой нецелесообразно или вообще невозможно по ряду причин, например, длительности проведения эксперимента, хрупкости реальной системы, дороговизны создания прототипа. В настоящее время имитационное моделирование используется в различных сферах деятельности, в том числе в сфере организации системы дорожного движения.

Имитационное моделирование включает в себя несколько видов:

- ◆ дискретно-событийное моделирование;
- ◆ агентное моделирование;
- ◆ системная динамика.

Дискретно-событийное моделирование представляет собой такой подход имитационного моделирования, который предполагает рассмотрение только основных событий моделируемой системы и абстрагирование от непрерывной природы событий [2].

Данный вид моделирования был разработан Джеффри Гордоном в 1960-х годах. Он имеет широкую сферу применения — от производственных систем и транспортных потоков до систем массового обслуживания и логистики.

Основные компоненты системы дискретно-событийного моделирования:

- ◆ часы;

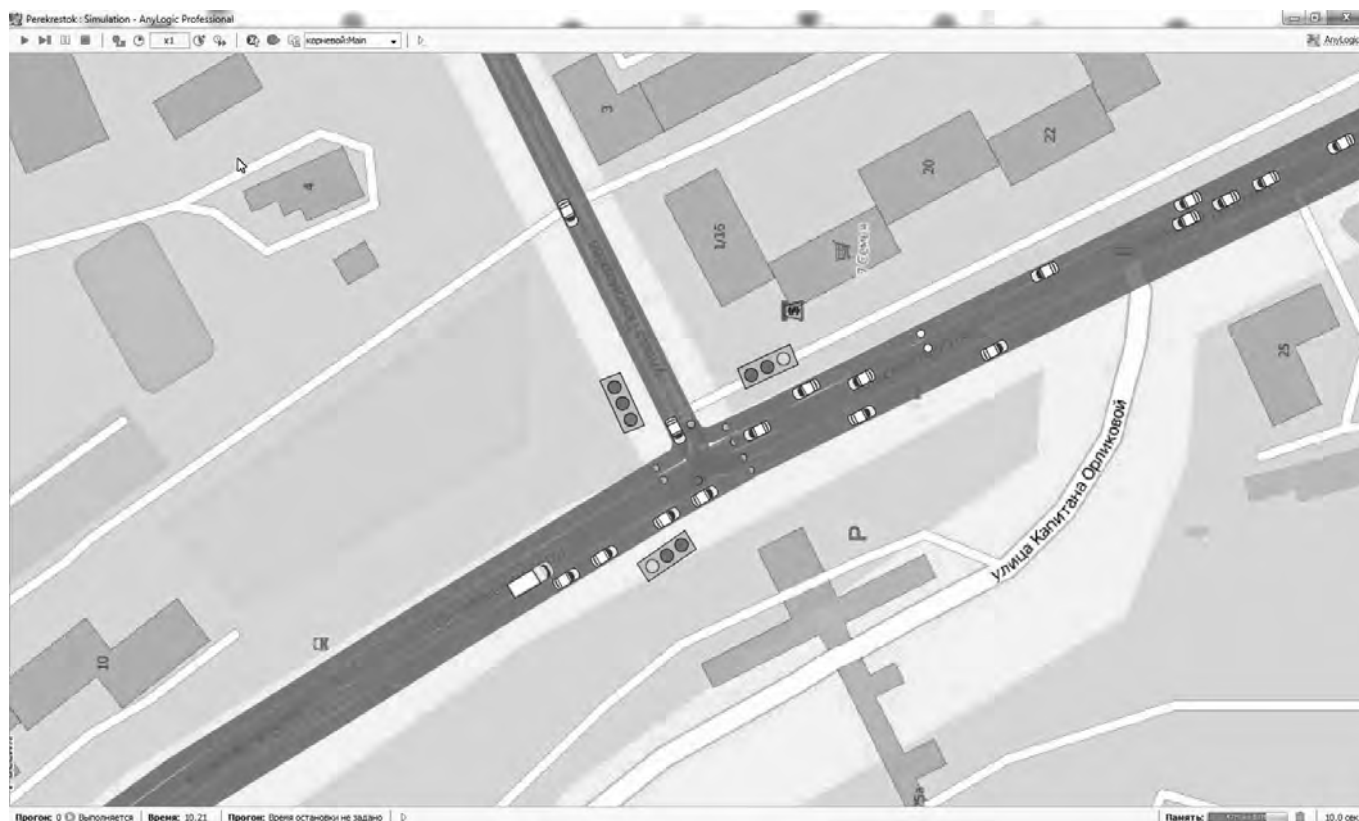


Рис. 1. Модель участка автомобильной дороги в среде AnyLogic

- ◆ список событий;
- ◆ генераторы случайных чисел (в зависимости от характеристик очередей и способа генерирования событий модели делятся на стохастические и детерминированные);
- ◆ статистика.

В системе дискретно-событийного моделирования собираются следующие типы данных:

- ◆ средняя доступность ресурсов;
- ◆ среднее время ожидания в очереди;
- ◆ среднее число клиентов в очереди;
- ◆ условия завершения (в качестве такого условия может выступать наступление определенного события или прохождение заданного количества циклов) [4].

Наиболее известными проблемно-ориентированными языками программирования, используемыми в дискретно-событийном моделировании являются:

- ◆ SIMSCRIPT;
- ◆ GPSS;
- ◆ AnyLogic;
- ◆ Arena;
- ◆ SLAM.

Рассмотрим на примере дискретно-событийное моделирование транспортных потоков в среде AnyLogic. Данный инструмент поддерживает все подходы к созданию имитационных моделей.

Инструменты, графический интерфейс и библиотеки AnyLogic дают возможность создавать модели для обширного спектра задач: моделирование транспортных потоков, логистики, стратегических моделей развития рынков, бизнес-процессов и пр.

При моделировании транспортных потоков и систем в AnyLogic используется дискретно-событийное моделирование. В данном случае динамика системы представлена в виде последовательности операций над объектами. В среде AnyLogic реализована возможность создания объектов с помощью библиотеки дорожного движения с использованием средств визуализации моделей [3].

На рисунке 1 представлен пример создания модели автомобильной дороги в AnyLogic с помощью дискретно-событийных процессов.

Создание имитационной модели транспортной сети города позволит демонстрировать, а также прогнозировать ситуацию на дорогах города.

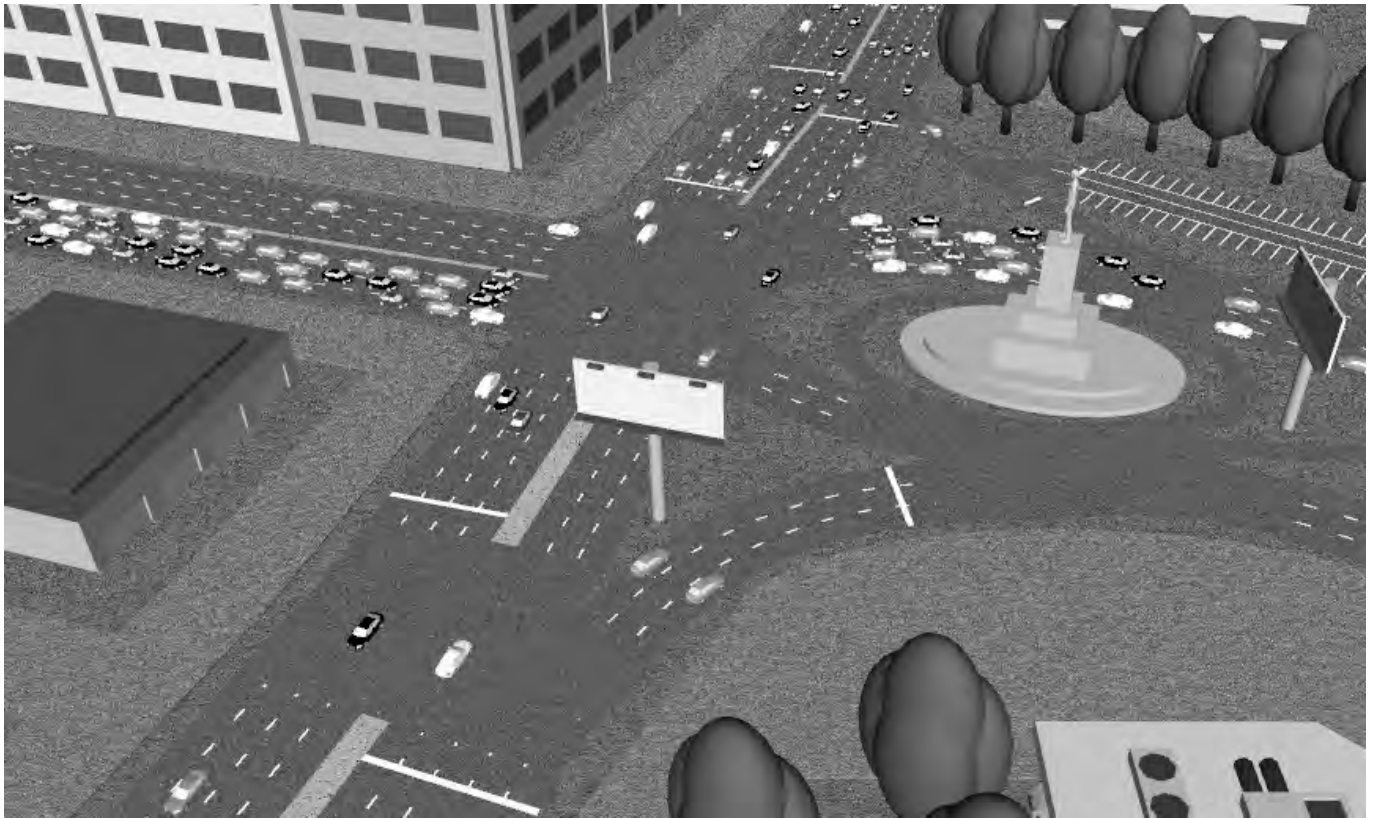


Рис. 2. 3D-модель участка дороги

Процесс моделирования транспортных потоков и сетей с помощью AnyLogic включает в себя ряд этапов:

1. разработка модели транспортной сети города;
2. определение наиболее перегруженных участков транспортной сети;
3. проведение тестирования созданной модели в различные интервалы времени;
4. анализ результатов исследования;
5. разработка на основе анализа рекомендаций по перераспределению транспортных потоков.

Библиотека дорожного движения позволяет моделировать и визуализировать движения транспортных потоков. Поддерживается достаточно детализированное моделирование движения автомобилей на физическом уровне. Также есть возможность реализации крупномасштабных систем дорожного трафика, поскольку некоторые части системы можно будет сделать более абстрактными, что позволит сократить объем вычислительных затрат.

Топология сети дорог задается с использованием стандартных фигур AnyLogic — дуг и линий. Толщина линии фигуры задает число полос на соответствующем дорожном участке. Сеть дорог задается с помощью объекта RoadNetwork, который отвечает за правильность сети и отображение сети дорог на анимации во время выпол-

нения модели. Данный объект должен обязательно присутствовать в любой модели дорожного трафика. Если в модели присутствует несколько несоединенных (независимых) дорожных сетей, то на каждую такую сеть должно приходиться по объекту RoadNetwork. Предусмотрена возможность изменения разметки дороги и цвета дорожного покрытия. Сеть дорог создается путем тщательного поиска соединенных участков дорог [3].

В среде AnyLogic можно создавать участки дорог и автомобили в качестве 3D-объектов. На рисунке 2 изображена трехмерная модель дорожного участка.

При задании транспортной сети в AnyLogic предусматриваются свойства:

- 1) ширина полосы;
- 2) направление движения;
- 3) минимальное расстояние между автомобилями;
- 4) максимальная и минимальная скорость на главных участках дороги;
- 5) ограничение скорости на рассматриваемом дорожном участке;
- 6) максимальная скорость на кривых участках.

Для разработки модели и проведения анализа транспортных потоков конкретного города необходимо со-

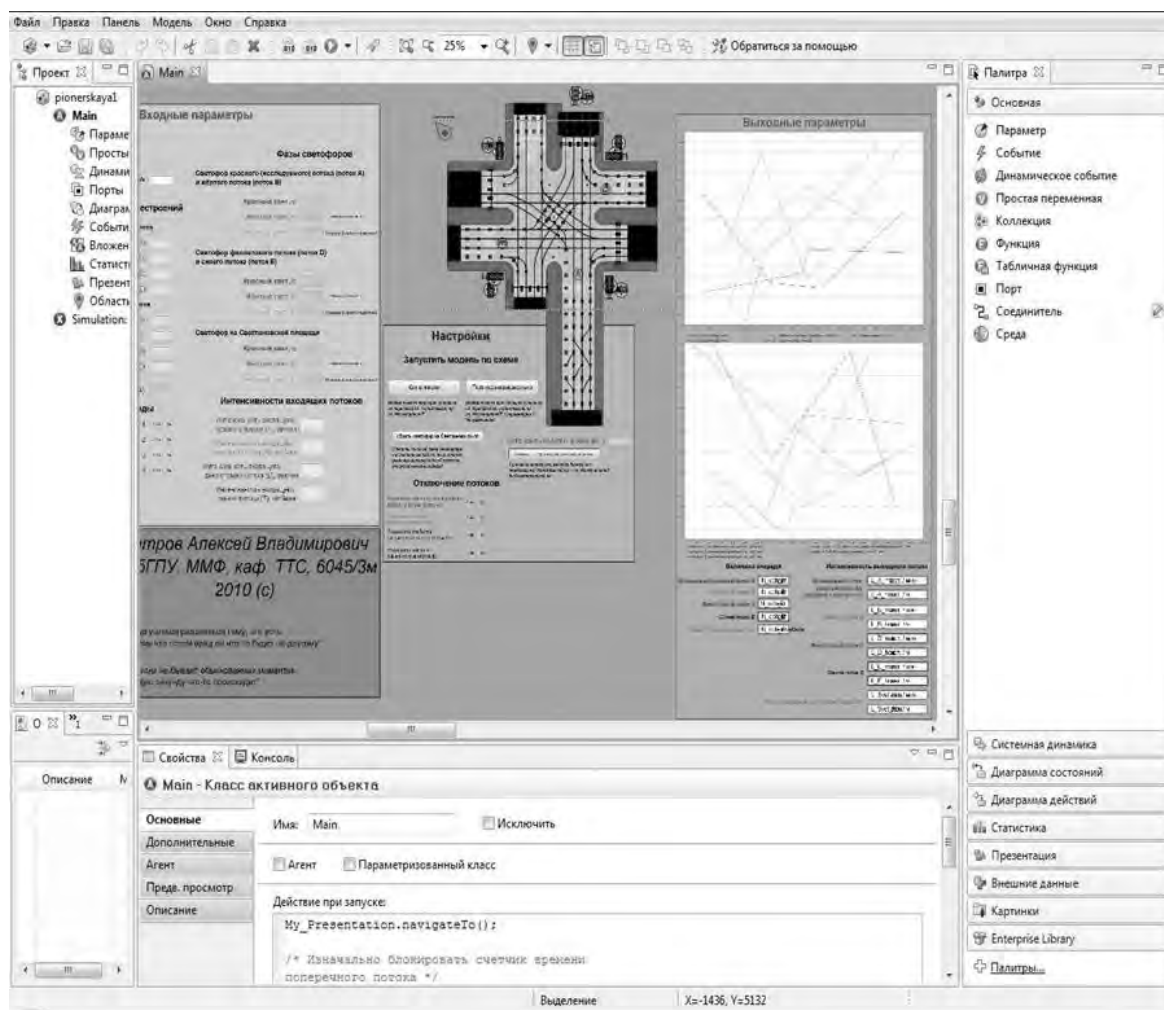


Рис. 3. Имитационная модель перекрестка «Коломяжский проспект — проспект Испытателей» в среде AnyLogic

брать информацию о вышеперечисленных свойствах. Также, чтобы задать значения и параметры моделирования, нужно провести расчеты. Например, определить среднее количество автомобилей на изучаемом дорожном участке в зависимости от времени суток или дня недели.

Рассмотрим на конкретном примере применение имитационного моделирования в целях оптимизации транспортных потоков. В качестве примера возьмем транспортную сеть части Приморского района Санкт-Петербурга, отличающуюся проблемами с движением транспортных потоков. Одним из наиболее проблемных мест рассматриваемой сети является перекресток «Коломяжский проспект — проспект Испытателей».

Созданная модель позволяет также учитывать транспортные проблемы на следующем перекрестке — на Светлановской площади.

Общий вид разработанной модели изображен на рис. 3.

Модель представляет собой аналог рассматриваемого перекрестка. В ней присутствуют 4-е типа автомобильных потоков (рисунок 4):

- ◆ исследуемый «А» (красный);
- ◆ встречный «В» (желтый);
- ◆ перпендикулярный «D» (фиолетовый);
- ◆ перпендикулярный «Е» (синий).

В результате проведения экспериментов над созданной моделью было выявлено следующее:

- ◆ из полученных данных по вероятностям поворотов входящих потоков и их интенсивности следует вывод, что основная часть потоков направлена к Светлановской площади, тем самым заполняя очередь на перекрестке;
- ◆ очередь на участке перед Светлановской площадью накапливается примерно за 50 минут.

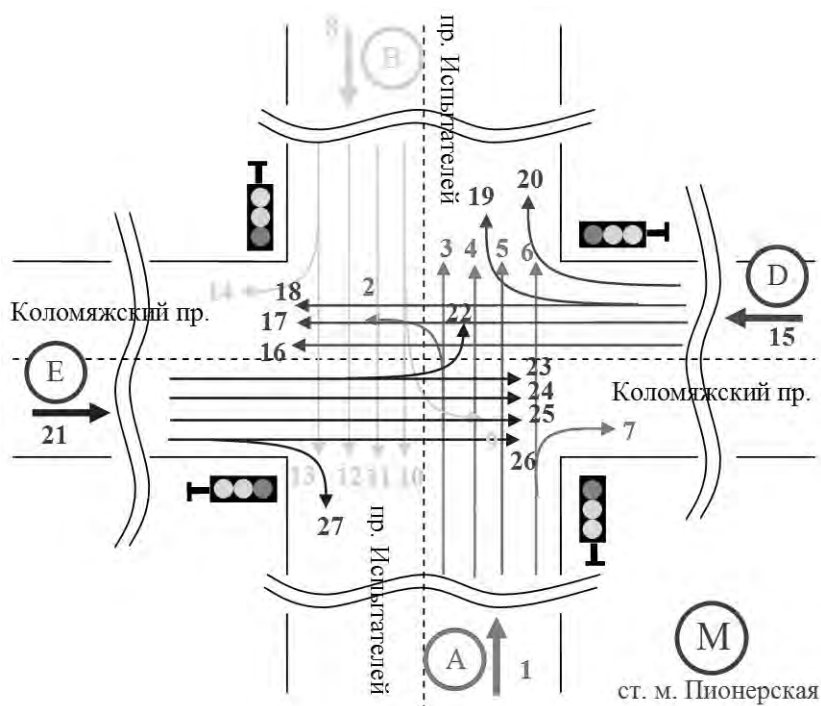


Рис. 4. Транспортные потоки имитационной модели

В целях оптимизации транспортных потоков можно предложить строительство многоуровневой развязки на перекрестке, а также организовать возможность разделения автомобильных и пешеходных потоков. Это

позволит увеличить пропускную способность рассматриваемого участка, уменьшить очереди автомобильных потоков, а также повысить безопасность дорожного движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистика ДТП [Электронный ресурс]. URL: <http://avtopravozashita.ru>
2. Eamonn L. Introduction to Agent-Based Simulation in Flexsim, Flexsim Corporation. — Oct. 2016.
3. Имитационное моделирование в среде AnyLogic [Электронный ресурс]. URL: <http://www.anylogic.ru/use-of-simulation>
4. Muller, J.— P., Pischel M., Thiel M. Modeling Reactive Behaviour in Vertically Layered Agent Architectures // Intelligent Agents /Ed. By M. Wooldridge and N. R. Jennings. — Berlin: Springer-Verlag. — P. 261–276