

УДК 510.6:656.13

М.Е. Елисеев<sup>1</sup>, А.В. Липенков<sup>1</sup>, Е.М. Елисеев<sup>2</sup>**О МОДЕЛИ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА:  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОГИКИ ПАССАЖИРА**Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Арзамасский государственный педагогический институт им. А. П. Гайдара<sup>2</sup>

Рассматриваются модели пассажирских автобусных маршрутов 52 и Т7, выполненные в среде имитационного моделирования Anylogic. Описываются её основные функциональные блоки. Модель имеет высокую степень детализации и учитывает логику каждого субъекта транспортного процесса.

*Ключевые слова:* имитационное моделирование, оптимизация, пассажирские перевозки, автобусные перевозки.

**Введение**

Задача управления городским транспортным хозяйством становится с каждым годом все более сложной в связи с бурным ростом городов, уровнем автомобилизации, меняющимися потребностями граждан в качестве обслуживания. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, важным направлением повышения эффективности функционирования транспортных систем является автоматизация и оптимизация процессов планирования и управления с использованием современной вычислительной техники и методов имитационного моделирования. Методы имитационного моделирования позволяют упростить натуральный эксперимент и обеспечить достаточную достоверность расчетов.

В настоящий момент при моделировании пассажирских перевозок в России в основном используется программный комплекс PTV Vision и AIM Sun. Их основной недостаток – закрытая архитектура, то есть невозможность добавления принципиально новых конструкций. Ряд российских исследователей утверждают, что зарубежные методики требуют адаптации к российским условиям [2], не говоря уже о возможности создания новых методик. Исходя из этого, принято решение о разработке имитационной модели пассажирского автобусного маршрута (и маршрутной сети) в пакете с открытой архитектурой. Такая модель должна наиболее точно отразить реалии российских пассажирских маршрутов, логику пассажиров, диспетчеров и т. д. Для её построения выбран отечественный профессиональный пакет имитационного моделирования Anylogic 6. При её построении была активно задействована стандартная библиотека Anylogic Enterprise Library. Структура модели представлена на рис. 1.

**Описание объектов модели**

*Network* – данный объект задает граф маршрутной транспортной сети. На анимации (рис. 2) транспортная сеть представляет собой набор прямоугольников, имитирующих остановочные пункты и ломаных линий, имитирующих перегоны маршрута. Для более наглядного отображения в модель желательно включение ГИС-карты моделируемого участка города, хотя возможна и растровая подложка, при этом функционал остается прежним.

*Source* в данном случае – генератор автобусов. Автобусы выходят на линию в соответствии с действующим расписанием, которое может задаваться как с помощью специального модуля расписаний Schedule, так и обычной табличной функцией. В последней версии модели расписание считывается из Excel-файла, при прогоне модели, возможны отклонения от него, задаваемые из панели управления.

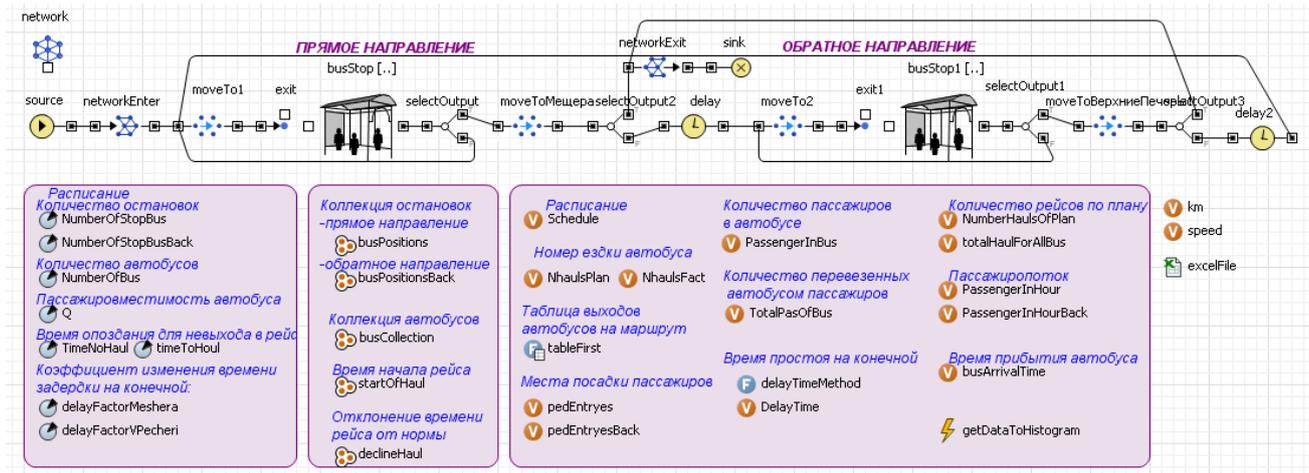


Рис. 1. Логика работы имитационной модели пассажирского маршрута

*NetworkEnter* – объект задает вход в транспортную сеть. С момента входа транспортные средства начинают отображаться на анимации (рис. 2). Необходимый объект при моделировании транспортных сетей в Anylogic.

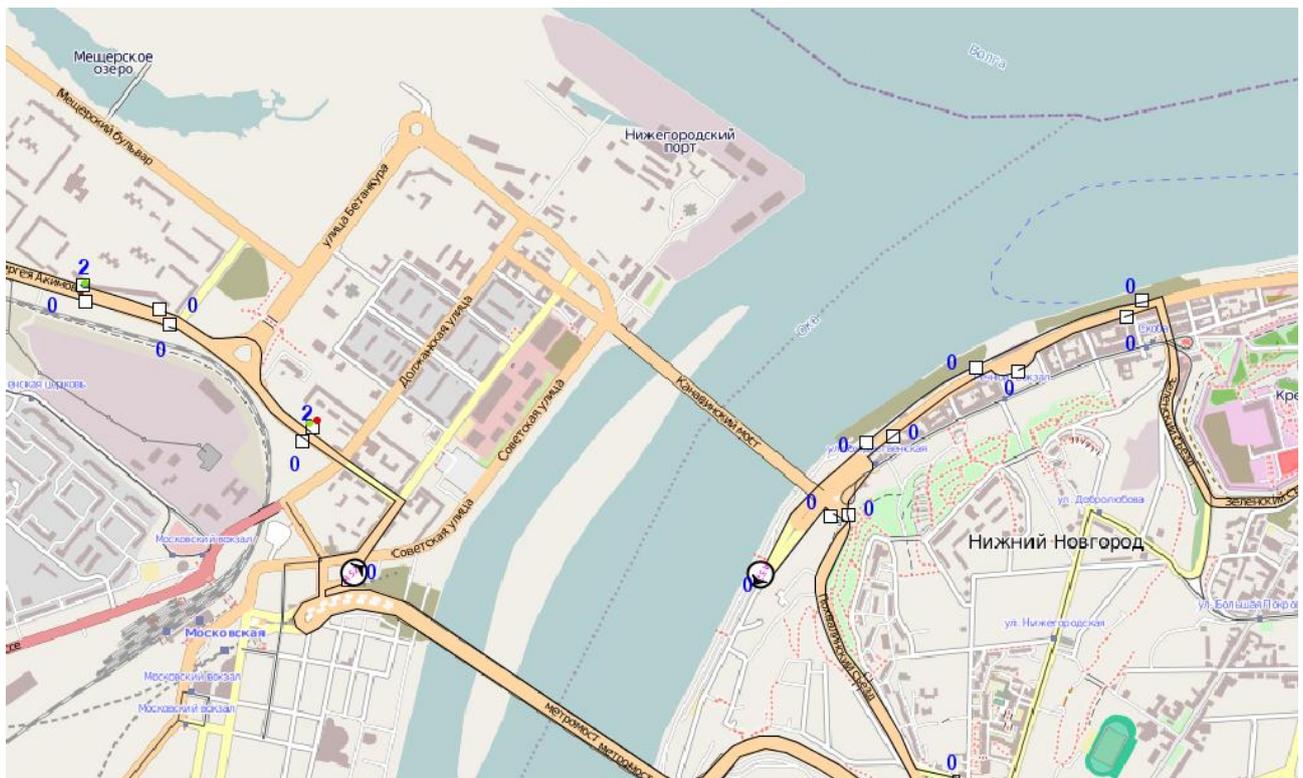


Рис. 2. Анимация имитационной модели

*NetworkMoveTo* – объект моделирует перегон маршрута. Он указывает транспортному средству путь следования к ближайшему остановочному пункту. В модели заложена возможность менять скорость автобуса в зависимости от времени суток, так как скорость в течение дня и на различных перегонах маршрутов может значительно отличаться.

*SourcePed* – генератор пассажиров на остановочном пункте. Каждый поступающий на остановочный пункт пешеход (назовем его заявкой) обладает определенными характеристиками: место назначения, наличие проездного билета и т.д. В соответствии с этим пешеход выбирает маршрут движения и вид транспортного средства (либо садится в первый подо-

шедший, либо ждет только муниципальный автобус). Возможно включение в модель любых дополнительных свойств пассажиров. Пассажиры моделируются на остановочном пункте, согласно пуассоновскому распределению, с интенсивностью, определенной в результате обследования пассажиропотока.

*Queue* – моделирует очередь ожидающих посадки пассажиров. Очередь работает по принципу FIFO (First In First Out) – первым пришел, первым будешь обслужен. Конечно, в реальности это далеко не так, но для построения адекватной модели не существенно, кто из пассажиров не смог осуществить посадку, важен сам факт отказа в обслуживании.

*Pickup* – вместе с объектом *Dropoff* моделируют посадку-высадку пассажиров. При посадке проверяется несколько условий. *Во-первых*, условие перегруженности автобуса. При высокой загрузке транспортного средства возможен отказ пассажиру в посадке. Количество пассажиров, получивших отказ в обслуживании, фиксируется. Это может быть одним из критериев дальнейшей оптимизации маршрута и всей сети. *Второе условие* посадки пассажиров – возможность добраться на подошедшем автобусе к месту назначения.

*Delay* – объект моделирует время простоя автобуса на остановочном пункте. Время простоя автобуса при посадке и высадке пассажиров – это случайная величина, зависящая от многих факторов: пассажирообмена остановочного пункта, количества дверей транспортного средства, заполненности салона автобуса, и т.д. Для определения времени простоя автобуса был проведен эксперимент с фиксацией прибытия автобусов на видеокamеры. О результатах эксперимента готовится публикация.

Для удобства построения модели конкретного маршрута или транспортной сети, описанные ранее объекты инкапсулировались в реплицированном объекте BusStop (рис. 3).

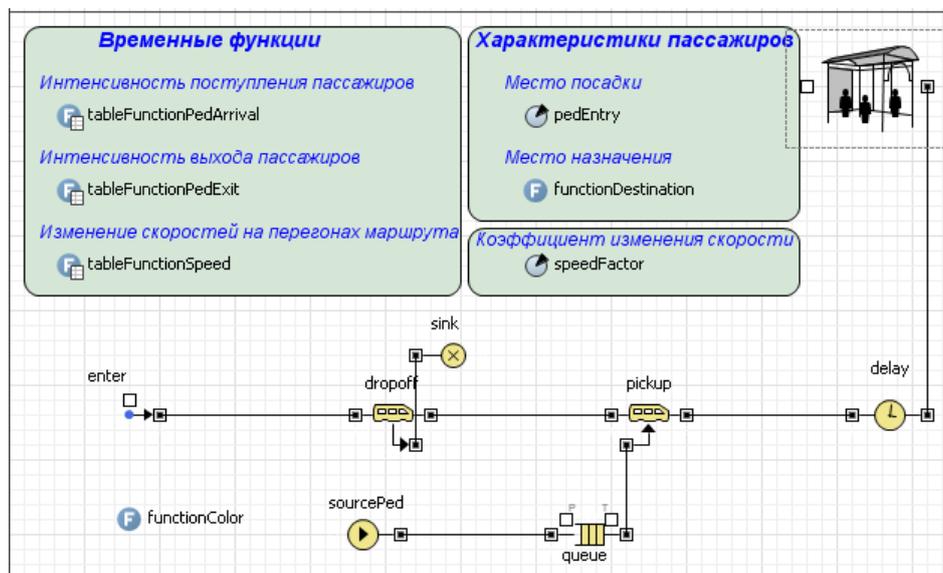


Рис. 3. Логика активного объекта BusStop

После закрытия дверей (окончания посадки пассажиров) транспортное средство направляется на следующую остановку и цикл (остановочный пункт – перегон маршрута – остановочный пункт) повторяется. При выполнении всех заявленных рейсов транспортные средства уничтожаются (объект *Sink*). Тем самым моделируется их заезд в парк.

### Логика модели

Особого внимания требует вопрос о распределении пассажиропотоков по маршрутам. У пассажира часто имеется возможность выбора альтернативных маршрутов для перемещения. Возникает задача определения, каким образом пассажиропоток будет распределен между видами транспорта и маршрутами. Она рассматривается в ряде работ, например, в [3].

При построении модели должны учитываться следующие факторы, определяющие выбор пассажира: интенсивность поступления транспорта на остановочный пункт, время поездки, стоимость проезда на различных видах транспорта, наличие льгот на проезд в каком-либо виде транспорта. Отдельного рассмотрения требует описание пересадки пассажира с одного транспортного средства на другое. Модели рассмотрены в следующем порядке:

- Распределение пассажиропотоков по маршрутам одного вида транспорта. Модель опирается на то, что поступление транспорта на остановочный пункт является случайным пуассоновским процессом. Пассажир, находящийся на остановочном пункте, чаще всего не склонен терять время в ожидании, и осуществляет посадку в первое подошедшее транспортное средство. При этой гипотезе пассажиры распределяются между маршрутами пропорционально интенсивности движения транспортных средств по ним;

- Распределение пассажиропотока при существовании скоростного вида транспорта (метро). В этом случае выбор пассажиром способа перемещения зависит от его оценки свободного времени. Модель должна прогнозировать, как распределятся пассажиропотоки между видами городского пассажирского транспорта, при изменении стоимости и скорости проезда, интенсивности движения;

- Функционирование двух видов транспорта (муниципального и маршрутного такси) при двух категориях пассажиров: имеющих льготы на проезд в муниципальном транспорте, и не обладающих такой льготой. Категории населения, пользующиеся льготами, ориентированы на перемещение по городу с использованием муниципальных маршрутов. Пассажиры, не имеющие льгот, не обращают внимания на вид транспорта и осуществляют посадку в первое подошедшее транспортное средство следующее в подходящем направлении.

Авторы статьи полагают, что оптимальным вариантом была бы комбинация описанных ранее подходов. Для выбора наиболее подходящего варианта, при поддержке департамента транспорта Нижнего Новгорода, было проведено обследование пассажиропотоков соответствующих двум маршрутам города: 52 и Т7 (маршрутное такси). Данные о пассажиропотоках фиксировались в специально разработанных для обследования бланках. Основное отличие от классических методик обследования – использование опроса пассажиров на предмет места следования, что необходимо для построения модели с низким уровнем абстракции.

В модели логика пассажира реализована с помощью созданного нового Java-класса (в основе Anylogic лежит именно Java). В модели этот класс назван *Passenger*. У данного класса были добавлены необходимые поля, такие как: проездной билет (поле булевского типа: *true* – имеется проездной, *false* – проездного нет), место назначения, (пассажир выбирает только тот транспорт, который идет к месту назначения, заданного фигурой анимации типа *ShapeRectangle*) и т.д. С помощью дополнительных полей стало возможным создание «умных» пассажиров, умеющих выбирать маршрут, тип транспортного средства, выбирающих остановку для пересадки.

Проведенное обследование пассажиропотоков позволило оценить адекватность разработанной модели и скорректировать ее для реальных маршрутов. Информация о вошедших пассажирах и времени прохождения автобусов остановки позволяет вычислить функцию интенсивности поступления пассажиров на остановку. В данном исследовании, весь период движения был разбит на интервалы в один час, в пределах которых интенсивность поступления считалась неизменной, то есть была построена функция поступления «ступенчатого» вида или, иначе говоря, дискретная функция.

В момент генерации экземпляра объекта «пассажир» ему сразу же, вероятностным образом, задается пункт назначения. Вероятности выхода пассажира на той или иной остановке вычисляются на основании информации о выходящих пассажирах из бланков обследования.

Скорости прохождения автобусами пути от одной остановки до другой также определяются экспериментально и задаются ступенчатой (дискретной) функцией.

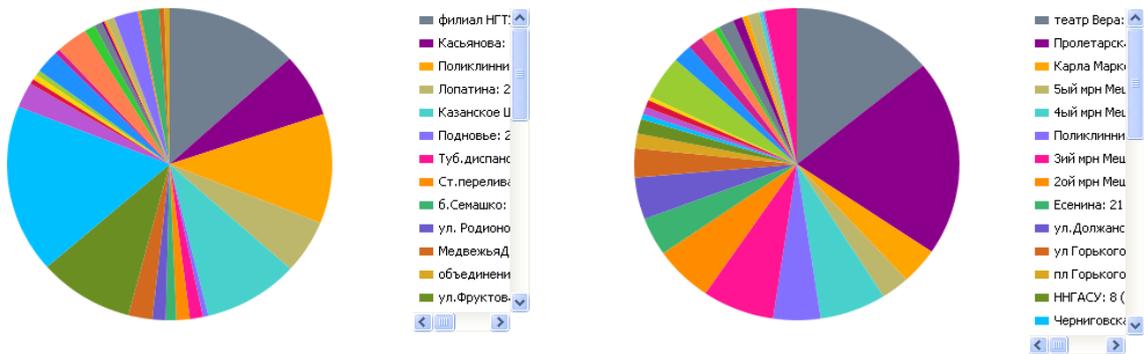
При моделировании реальных маршрутов выяснилось, что расписание имеет лишь приблизительный характер, а в случае маршрутных такси (Т7) формальный характер, то есть четко по расписанию выполняются лишь первые утренние рейсы. Отклонение от расписания и соответственно реальное время выхода автобусов в некоторых случаях регулируется диспетчером, в других случаях самими водителями. Моделирование логики этих субъектов транспортного процесса представляет значительные сложности.

Построенная модель реального маршрута позволяет:

- 1) менять графики движения автобусов, изменяя файл расписания;
- 2) менять вместимость автобусов (т. е. проводить имитационный эксперимент по изменению качественного состава автобусов);
- 3) изменять интенсивности поступления пассажиров;
- 4) увеличивать или уменьшать скорости движения на отдельных участках, в частности, имитировать пробки, в перспективе также пробки вызванные ДТП;
- 5) определять оптимальное число транспортных средств на маршруте с учетом различных критериев, что имеет самостоятельную практическую ценность [4].

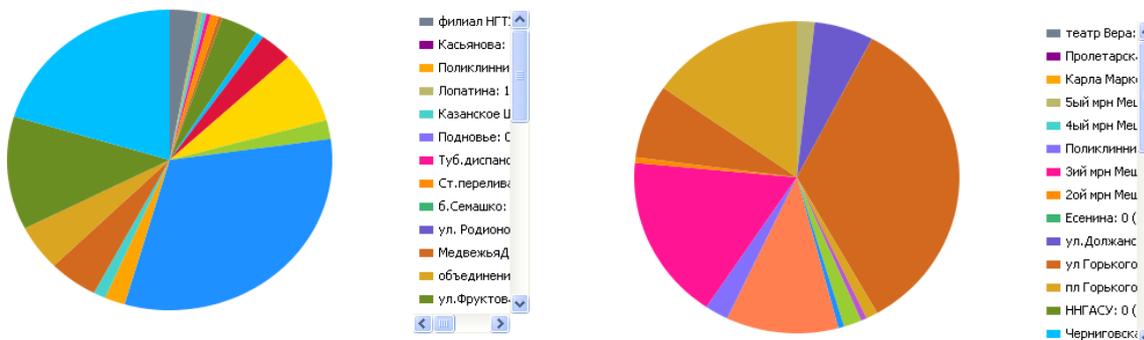
В ходе работы модели, в режиме реального времени, отображается статистика работы маршрута: наполняемость работающих автобусов, количество пассажиров на всех остановках, рисуются гистограммы пассажиропотоков в прямом и обратном направлениях по каждому часу, а также круговые диаграммы распределения пассажиров по месту посадки и высадки в прямом и обратном направлениях (рис. 4).

Распределение пассажиров по месту посадки (прямое направление)    Распределение пассажиров по месту посадки (обратное направление)



[Перейти на страницу навигации по модели](#)

Распределение пассажиров по месту высадки (прямое направление)    Распределение пассажиров по месту высадки (обратное направление)



**Рис. 4. Визуализация статистики работы модели**

Модель автобусов 52 и Т7 может быть использована для составления оптимального расписания, подбора транспортных средств для данных маршрутов и других задач. Перспективное расширение модели на определенный район города или весь Нижний Новгород позволит решать целую группу задач.

### Библиографический список

1. **Липенков, А.В.** О разработке имитационной модели городских пассажирских перевозок в Нижнем Новгороде / А.В. Липенков, Н.А. Кузьмин, О.А. Маслова // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса: материалы международной научно-практической конференции Орел, 2011. Т. 2. С. 50–54.
2. **Михайлов, А.Ю.** Адаптация методов расчета остановочных пунктов маршрутного пассажирского транспорта к Российским условиям / А.Ю. Михайлов [и др.] // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. – С.-Петербург, 2006. С. 302–307.
3. **Власов, Ю.Л.** Моделирование спроса на различные виды транспортных средств / Ю.Л. Власов, В.И. Россоха // Вестник ОГУ. 2006. Т. 2. №6. С. 205–211.
4. **Пыгалева, О. А.** Определение оптимального числа транспортных средств городского пассажирского транспорта // Вестник УрГУПС. 2009. Вып. 4. С. 120–123.

*Дата поступления  
в редакцию 02.08.2011*

**M.E. Eliseev, A.V. Lipenkov, E.M. Eliseev**

### **ABOUT THE MODEL OF URBAN PASSENGER TRANSPORT: SIMULATION OF THE LOGIC OF PASSENGER**

The paper describes the simulation models of the passenger bus route 52 and T7 that was made in Anylogic software. Main functional blocks of the model are described. The model has a high degree of detail and takes into account the logic of each subject of the transport process.

*Key words:* simulation, optimization, passenger transportation, bus transportation.