

УДК 656.13

А. В. Липенков

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОСТАНОВОЧНОГО ПУНКТА
ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА**

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

В статье рассматривается имитационная модель остановочного пункта городского пассажирского транспорта. Модель позволяет с более высокой точностью оценить пропускную способность остановочного пункта, чем традиционные расчетные методики за счет учета большего числа факторов.

Ключевые слова: остановочный пункт, пропускная способность, пассажирские перевозки, городской пассажирский транспорт, имитационное моделирование.

Остановочные пункты (ОП) городского пассажирского транспорта – важные элементы транспортной инфраструктуры города. Они являются местом взаимодействия как маршрутных транспортных средств (МТС) с пассажирами, так и транспортных средств различных маршрутов между собой. ОП оказывают влияние на пропускную способность дорог и безопасность движения. Важнейшим показателем, характеризующим ОП, является его пропускная способность (ПС).

В результате проведенного комплексного исследования ОП в Нижнем Новгороде [1] были выявлены нарушения в работе городского пассажирского транспорта на ОП, связанные в первую очередь с недостаточной ПС последних. По мнению автора статьи, это связано с работой на маршрутах городского пассажирского транспорта большого числа автобусов малого и особо малого класса, принадлежащих частным перевозчикам. В итоге из-за недостаточной ПС ОП снижается ПС дороги и безопасность дорожного движения, увеличиваются затраты времени как пассажирами, так и водителями личного транспорта, растет расход топлива МТС и нагрузка на окружающую среду. Таким образом, задача повышения пропускной способности ОП является весьма актуальной.

Для оценки ПС ОП используются различные расчетные методики: модель Ефимова, модель R. Fernandez, Highway Capacity Manual 2000 (HCM2000), а также их варианты и ряд других, менее распространенных методик. Ряд авторов предлагает использовать методы теории массового обслуживания. Подробнее все эти работы рассмотрены в [2].

Расчет ПС по данным методикам предполагает определенный уровень абстракции и некоторые допущения. Например, считается, что на ОП прибывает только одномарочный подвижной состав (или близкий по характеристикам). В реальной же ситуации, число автобусов, способных одновременно находится на ОП не является постоянным. Например, ОП может быть занят двумя автобусами большого класса или четырьмя автобусами особо малого класса. Также в расчетных методиках часто не учтены различные факторы, оказывающие серьезное влияние на ПС, например, неэффективное использование длины ОП [1].

В этой ситуации использование имитационного моделирования является более выигрышным, так как позволяет повысить точность расчетов. Благодаря имитационному моделированию становится возможным прогнозирование и анализ различных ситуаций, которые еще не происходили, но могут произойти в будущем. С помощью имитационной модели существует возможность оценить важность отдельных параметров, что облегчает создание теоретических моделей. Имитационные модели позволяют проводить эксперименты, которые невозможно провести на реальной дорожной сети. К тому же они более наглядны и позволяют отслеживать динамику процесса.

Имитационное моделирование находит широкое применение в области решения задач автомобильного транспорта, в особенности в задачах управления транспортными и пассажирскими потоками [7, 8].

Существует ряд работ, посвященных исследованию остановочных пунктов методами имитационного моделирования, например, [3, 4]. Однако работа [3] акцентирована на исследовании конфликтных ситуаций в зоне ОП, а в работе [4] не учтен ряд факторов, оказывающих существенное влияние на ПС ОП.

Учитывая предыдущий опыт автора в моделировании городских пассажирских перевозок [5], для разработки модели ОП был выбран Anylogic 6.9.0. [9], в последних версиях которого была добавлена специальная библиотека дорожного движения, позволяющая эффективно моделировать транспортный поток.

Логика разработанной имитационной модели представлена на рис. 1.

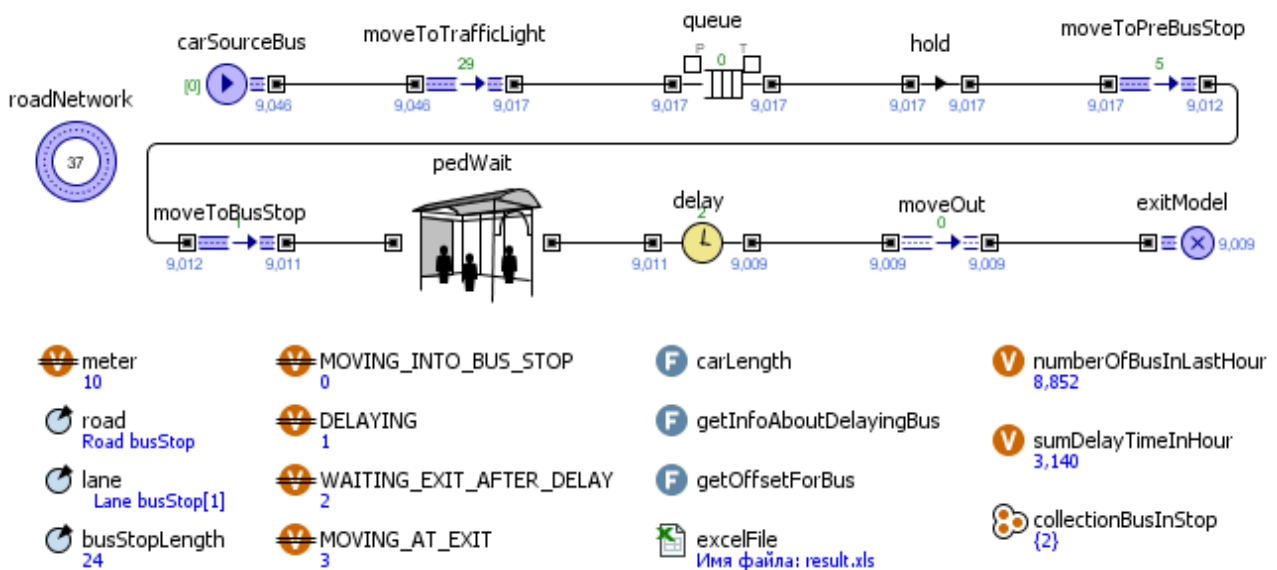


Рис. 1. Логика имитационной модели ОП

Рассмотрим объекты в модели.

Объект *roadNetwork* – объект, задающий топологию транспортной сети, основываясь на нарисованной пользователем графике, проверяет правильность сети и отображает сеть дорог на анимации во время выполнения модели. Этот объект должен присутствовать в любой модели дорожного трафика, построенной с помощью Anylogic. В свойствах этого объекта задаются параметры, связанных с поведением водителей, ограничениями по скоростям и расстояниям между автомобилями. Дорожная сеть представляет собой несколько фигур (линий и дуг) объединенных в группу, которая указывается в специальном поле объекта *roadNetwork*.

carSourceBus – генератор МТС. Транспортные средства генерируются согласно пуассоновскому распределению с заданной интенсивностью.

moveToTrafficLight – объект, управляющий движением автобусов. Он заставляет их двигаться к светофору.

Светофор был добавлен в модель с целью изучения влияния эффекта образования «пачек» [2] на ПС ОП. Логика светофора в модели представлена на рис. 2. Пользователь модели может включать и отключать светофор, менять длительность горения как зеленого и красного сигнала, так и длительность цикла регулирования, а также удаленность светофора от ОП. Параметры работы светофорного объекта задаются соответствующими параметрами (рис. 2).

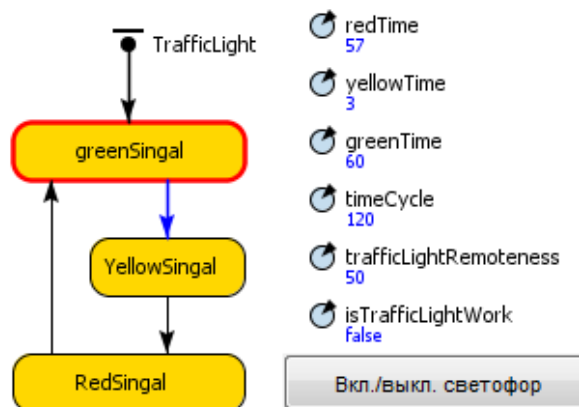


Рис. 2. Логика работы светофора в модели

Если светофор переходит в режим запрещающего сигнала, то поток транспорта блокируется объектом *hold*, и автомобили ожидают продолжения движения в объекте *queue* (очередь).

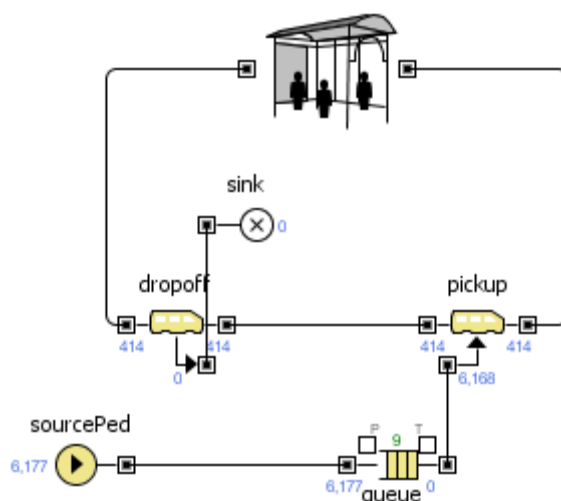
Следующие два объекта *moveToPreBusStop* и *moveToBusStop* задают путь дальнейшего следования по аналогии с рассмотренным выше объектом *moveToTrafficLight*. Первый - к началу ОП, во втором выбирается точное место остановки с учетом текущей загрузки ОП другими МТС.

Наибольшую сложность при разработке модели представлял выбор точного места остановки автобуса на ОП. Для этого каждому МТС присваивался один из четырех статусов, заданный константами:

10. *MOVING_INTO_BUS_STOP* – МТС движется внутри ОП;
11. *DELAYING* – МТС осуществляет посадку-высадку пассажиров;
12. *WAITING_EXIT_AFTER_DELAY* – МТС завершило посадку-высадку пассажиров, но ожидает, пока впереди стоящее МТС не освободится;
13. *MOVING_AT_EXIT* – МТС еще находится в зоне ОП, но уже освобождает его.

При подъезде к ОП нового МТС запускается функция *getOffsetForBus*, которая просматривает все находящиеся на ОП МТС и высчитывает точку остановки.

pedWait – вложенный активный объект, включающий в себя несколько более простых объектов (см. рис. 3).

Рис. 3. Логика активного объекта *PedWait*

sourcePed – генератор пассажиров, интенсивность поступления которых задается при запуске эксперимента.

queue – очередь пассажиров, ожидающих прибытия МТС.

pickup и *dropoff* – моделируют соответственно посадку и высадку пассажиров. Этот процесс в модели происходит за нулевое время, поэтому для моделирования времени простоя под посадкой и высадкой присутствует отдельный объект.

Delay – моделирует время задержки автобуса на ОП при посадке и высадке пассажиров.

После завершения посадки и высадки пассажиров, автобус покидает ОП и удаляется из модели с помощью объекта *exitModel*.

Так как время посадки и высадки пассажиров является наиболее важной составляющей общего времени, затрачиваемого МТС на ОП, его моделированию было уделено особое внимание. Для выявления закономерностей изменения времени простоя при посадке и высадке пассажиров был проведен натурный эксперимент. Было исследовано 14 ОП Нижнего Новгорода. Эксперимент заключался в фиксации работы автобусов на видеокамеру с последующей обработкой в Excel. Объем исследованных МТС составил 2488 единиц.

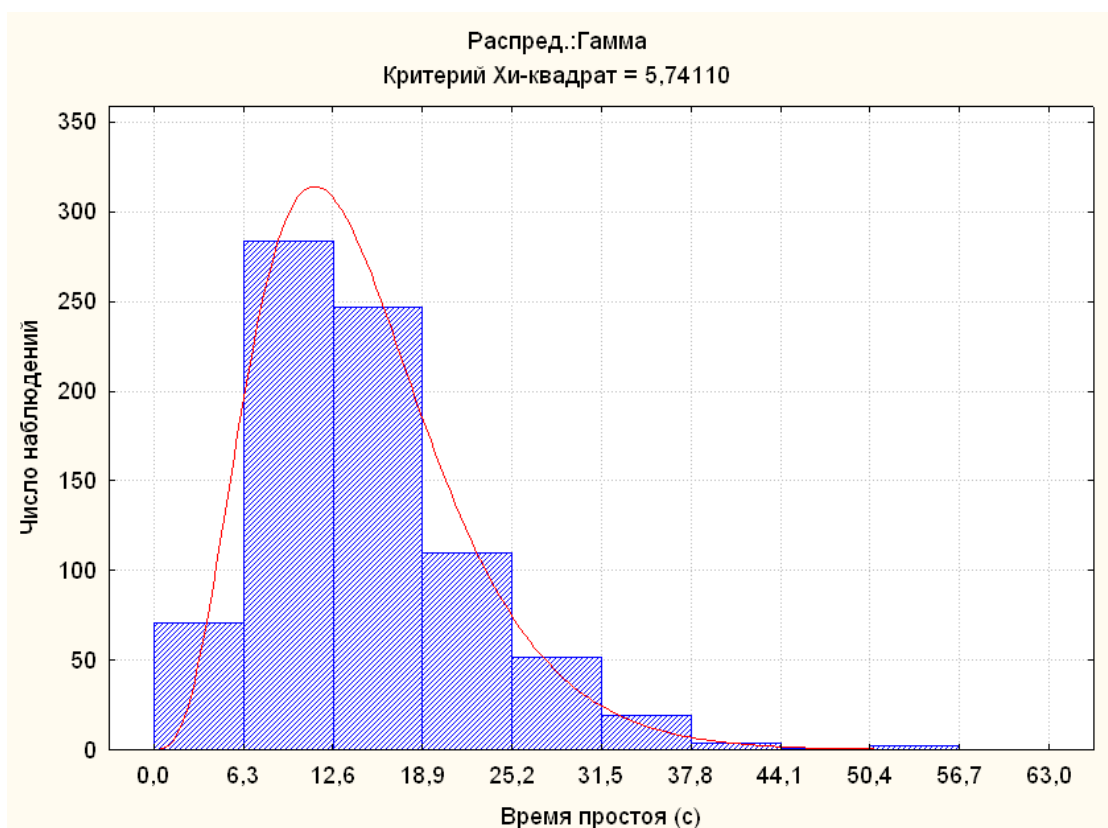


Рис. 4. Выбор закона распределения времени простоя автобуса при посадке-высадке пассажиров

Было выявлено, что на всех исследованных ОП, время посадки-высадки пассажиров описывается гамма-распределением (также во всех случаях подходил логарифмически-нормальный закон). Гистограмма распределения времени посадки-высадки пассажиров на одном из исследованных ОП представлена на рис. 4. Также была выявлена линейная зависимость между временем посадки-высадки пассажиров и их количеством (вошедшие + вышедшие). Все полученные закономерности были применены в рассматриваемой имитационной модели. Подробнее с результатами этого исследования можно ознакомиться в работе [6].

Весь процесс моделирования отображается на анимации, что позволяет детально отслеживать динамику процесса и при необходимости вносить в модель изменения прямо во время выполнения. Анимация имитационной модели представлена на рис. 5.



Рис. 5. Анимация имитационной модели

На рис. 5 представлена анимация варианта модели ОП без кармана. Существует вариант модели ОП с карманом, с двумя светофорами и другие.

Построенная модель позволяет оценивать пропускную способность ОП и задержки транспорта при действии различных факторов, таких как:

- 1) разнотипный подвижной состав (автобусы большого, малого и особо малого класса), каждый со своими интенсивностями поступления и особенностями;
- 2) светофорное регулирование (удаленность светофора, время цикла регулирования, длительность разрешающего сигнала);
- 3) пассажиропоток, влияющий на время посадки и высадки пассажиров;
- 4) возможность маневрирования при убытии, когда МТС, закончившее посадку и высадку пассажиров покидает ОП, совершая при этом маневр по обгону впереди стоящего МТС;
- 5) неэффективное использование места на ОП, когда МТС, прибывающее на ОП первым, останавливается не в начале ОП, а в произвольном месте, как правило, около остановочного павильона;
- б) простой маршрутных транспортных средств в ожидании дополнительных пассажиров [1];

Разработанная имитационная модель может быть использована для расчета пропускной способности как вновь проектируемых остановочных пунктов, так и уже действующих. Также данная модель может быть полезна в оценке влияния на ПС отдельных, не рассмотренных ранее факторов, и экспериментальных проверок выдвинутых гипотез об их влиянии. С помощью данной модели уже получены некоторые результаты, обзор которых будет доступен в последующих публикациях автора.

Библиографический список

1. **Липенков, А.В.** О результатах комплексного исследования остановочных пунктов городского пассажирского транспорта в г. Нижнем Новгороде // Мир транспорта и технологических машин. 2012. №4. С. 93–102.
2. **Липенков, А.В.** Анализ методик расчета пропускной способности остановочного пункта / А.В.Липенков, Н.А. Кузьмин // Безопасность транспортных средств в эксплуатации: материалы 79-й междунар. науч.-практ. конф. ААИ. – Н. Новгород, 3-4 октября 2012. С. 188–191.
3. **Кажаяев, А.А.** Имитационная модель загрузки остановочных пунктов городского маршрутного транспорта / А.А. Кажаяев, О.Н. Ларин // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2011. №1. С. 86–94.

4. Димова, И. П. Применение имитационного моделирования для исследования пропускной способности остановочных пунктов / И. П. Димова, В. В. Грачев // Современное состояние и инновации транспортного комплекса: материалы научно-технической конференции. – Пермь: ПГТУ, 2008. Т. 1. С. 87–92.
5. Елисеев, М.Е. О проведении обследований городских автобусных маршрутов с целью их последующего моделирования / М.Е. Елисеев, А.В. Липенков, О. А. Маслова // Автотранспортное предприятие. 2012. №1. С. 42–44.
6. Липенков, А.В. О подходах к моделированию времени простоя автобусов на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта / А.В. Липенков, О.А. Маслова, М.Е. Елисеев // Мир транспорта и технологических машин. 2012. №3. С. 84–93.
7. Кузьмин, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.
8. Кузьмин Н.А. Моделирование транспортных процессов и управление ими / Н.А. Кузьмин, Л.Г. Лавров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2010. №3. С. 138–147.
9. Официальный сайт Anylogic www.anylogic.ru [Электронный ресурс].

*Дата поступления
в редакцию 01.10.2013*

A. V. Lipenkov

SIMULATION MODEL OF A BUS STOP OF CITY PUBLIC TRANSPORT

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: the key purpose is the estimation of acceptance rate of a bus stop of city public transport in accordance with huge amount of various factors when traditional calculative methods can't give a precise estimation.

Design/methodology/approach: Simulation modeling is used. The Anylogic software is used for development of simulation model that contains the characterized by representation of traffic flow.

Findings: the simulation model of a bus stop of city public transport is developed. It can be used for high perceive estimation of the acceptance rate.

Research limitations/implications: an assumption is made: characteristics of vehicles movement are not depending on intensity of a traffic flow and the level of bus stop traffic. Experimental observations show that the increasing of intensity of a traffic flow and bus stop traffic could seriously influence on vehicles movement. It will be taken into account during further researches.

Originality/value: the substance of the paper is developed method of highly perceive estimation of geometrical characteristics of bus stops, which could reduce the cost of its design and modifications.

Key words: bus stop, acceptance rate, passenger transportation, passenger city transport, simulation modeling.