

# ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ИНФОРМАЦИИ

## IMITATION MODELING OF TRANSPORT NETWORK DEVELOPMENT PROCESSES IN CONDITIONS OF INFORMATION DEFICIT

**V. Raduta  
A. Viktorov  
A. Garibiantc**

*Summary.* Currently, the modeling of transport network development processes is the main research method, as well as a scientifically grounded method of assessing the characteristics of complex systems, in particular transport, which, in turn, are used to make decisions in various fields of activity. When performing the simulation, a solution is sought for the problem that determines the structure of the process. In the process of modeling transport networks, there are numerous tasks that require evaluation of quantitative characteristics, as well as qualitative regularities of the processes directly operating these systems. The lack of information in the experimental study of transport systems does not allow full design, implementation and operation without the use of modeling techniques, which makes it possible to present in a necessary form the processes of the functioning of systems, as well as a description of the course of these processes through mathematical models. In these situations, the most common models are analytical and imitation. In the process of analytical study of transport networks, a complete study can be carried out directly only if explicit dependences are known. In the conditions of information deficit, the analysis of the characteristics of the development of transport networks with the help of only analytical methods encounters significant difficulties, which, in turn, lead to the need to substantially simplify the models and obtain unreliable results. Therefore, imitation models are often used to study the development of transport networks.

*Keywords:* transport networks, imitation modeling, traffic flows, transport systems.

**Н**а сегодняшний день различного типа и назначения транспортные сети (ТС) испытывают серьезное напряжение: некоторое их количество практически исчерпали свои технические возможности. Несомненно, требуют инженерных решений большое количество таких задач, как: строительство новых и модернизация действующих сетей. Важным является вопрос о создании новых, а также непосредственно развитие и реконструкция действующих ТС.

Однако, в процессе проведения проектных работ, довольно часто, у специалистов нет необходимой ин-

**Радута Валерия Павловна**

Аспирант, Балтийский федеральный университет  
имени Иммануила Канта (БФУ им.И.Канта)  
lerchik63@mail.ru

**Викторов Андрей Александрович**

Аспирант, Балтийский федеральный университет  
имени Иммануила Канта (БФУ им.И.Канта)

**Гарибьянц Ашот Артурович**

Аспирант, Балтийский федеральный университет  
имени Иммануила Канта (БФУ им.И.Канта)

*Аннотация.* В настоящее время моделирование процессов развития транспортных сетей является основным методом исследований, а также научно обоснованным методом оценок характеристик сложных систем, в частности транспортных, которые, в свою очередь, используются для принятия решений в различных сферах деятельности. При выполнении моделирования происходит поиск решения задачи, которая определяет структуру процесса. В процессе моделирования транспортных сетей появляются многочисленные задачи, которые требуют оценивание количественных характеристик, а также качественных закономерностей непосредственно процессов функционирования данных систем. Дефицит информации экспериментального исследования транспортных систем не дает возможность полно спроектировать, внедрить и эксплуатировать без использования методики моделирования, которая дает возможность в необходимой форме представить процессы функционирования систем, а также и описание протекания данных процессов благодаря математическим моделям. В данных ситуациях наиболее распространенными моделями являются аналитическая и имитационная. В процессе аналитического исследования транспортных сетей непосредственно полное исследование возможно провести лишь тогда, когда известны явные зависимости. В условиях дефицита информации проводит анализ характеристик процессов развития транспортных сетей с помощью только аналитических методов наталкивается на значительные трудности, которые, в свою очередь, приводят к необходимости существенно упростить модели и получить недостоверные результаты. Поэтому, для исследования процессов развития транспортных сетей чаще используют имитационные модели.

*Ключевые слова:* транспортные сети, имитационное моделирование, транспортные потоки, транспортные системы.

формации, которая бы с большей степенью адекватности отражала состояние действующей ТС или давала оценку возможного состояния проектируемой сети. Также, немаловажным является тот факт, что информация часто отсутствует и при принятии оперативных решений по управлению перевозками в действующих сетях.

Развитие транспортных сетей может происходить благодаря совершенствованию процесса управления движением транспортных потоков. В процессе функционирования транспортной сети сама нагрузка подверже-

на различных колебаниям, которые обычно вызываются стихийными, сезонными, социально-политическими, а также другими явлениями. Несмотря на это, существуют центры диспетчерского управления транспортными потоками, которые оснащены компьютерной техникой, программными средствами, и, в большей степени, способны эффективно противодействовать подобным явлениям.

Одним из наиболее широко применяемым подходом к описанию транспортных потоков в сети является отображение типологии транспортной сети посредством некоторой системы направленных графов с последующим их представлением в виде матрицы межузловых загрузок (ММЗ). Благодаря программным средствам существует возможность восстановить структуру матрицы, например, в таких случаях, когда существует исходная информация о входящих и исходящих потоках в узлах транспортной сети. В данной ситуации применяются широко известные методы транспортной задачи: метод разрешающих слагаемых, распределительный метод и т.д.

Как быть, если информация неизвестна или недостаточно полна? Существуют программные продукты, которые способны помочь в решении узко специализированных задач. Также, используются реальные статистические данные, которые основаны на событиях прошлого. В следствие чего, прогнозируемые характеристики ТС крайне неточны. Для более точных решений следует применить имитационные модели, с возможностью «на лету» изменять модели событий. Применение принципа построения моделей «что ... если» даст возможность получать решения, адекватные для событий ТС в реальном времени.

Основной тенденцией развития методико-технологической базы имитационного моделирования является расширение области приложений и возможностей имитационных систем на основе интеграции понятийного аппарата графической интерпретации схем, принятых в соответствующих языках моделирования, с классическими моделями системного анализа и вычислительной математики. Актуальность темы обусловлена необходимостью использовать имитационное моделирование и обеспечить принятие качественных управленческих решений (на примере текущих процессов грузоперевозок) для предоставления возможности планировать дальнейшее развитие транспортной сети в условиях дефицита информации.

Процессы перевозок между грузообразующими пунктами могут рассматриваться по направлению как от производителя к потребителю, так и между территориально распределенными подразделениями.

В процессе изучения данной темы необходимо решить следующие задачи (на примере процесса грузоперевозок):

- ◆ формирование оптимальной структуры маршрутов;
- ◆ определение требуемого количества терминалов;
- ◆ закрепление транспортных средств различной грузоподъемности за участками маршрута;
- ◆ распределение транспортных потоков на маршрутах.

Кроме того, необходимо учитывать существующие на маршрутах ограничения, связанные с недостатком информации, с характеристиками транспортных средств (вид транспорта, грузоподъемность, обеспечение условий транспортировки и т.д.) и особенностями маршрутов (региональные, международные, кратчайший маршрут, загруженность направления, наличие транспортных сборов или пошлин). Применением средств имитационного моделирования для решения задач с развитием транспортных сетей позволит с требуемой степенью детализации рассмотреть особенности существующих грузопотоков и разработать мероприятия по повышению их производительности.

Исследование процессов грузоперевозок осуществляется в структурном и функциональном аспектах. Структурный аспект подразумевает территориальное расположение узлов транспортной сети и их взаимодействие между собой, а функциональный аспект предполагает рассмотрение внутренних процессов на терминалах и на всей протяженности маршрутов.

Наряду со сквозной схемой организации перевозок, когда движение подвижного состава на маршруте осуществляется непосредственно от грузообразующего до грузопоглощающего пункта, широко используется участковый метод. В этом случае весь маршрут грузоперевозок делится на несколько участков, каждый из которых обслуживается собственным транспортным парком. Подобная схема организации перевозок обладает рядом преимуществ, связанных с сокращением временных затрат, снижением себестоимости перевозок, а также увеличением производительности подвижного состава. Структурная модель грузоперевозок строится по участковому методу, когда при заданных исходном и конечном пунктах движения весь маршрут делится на участки в зависимости от наличия свободных транспортных средств в системе, протяженности и интенсивности движения на путях сообщения.

Понятие оптимальной структуры маршрутов подразумевает такое распределение грузопотоков по транспортной сети и терминалов с различной пропускной

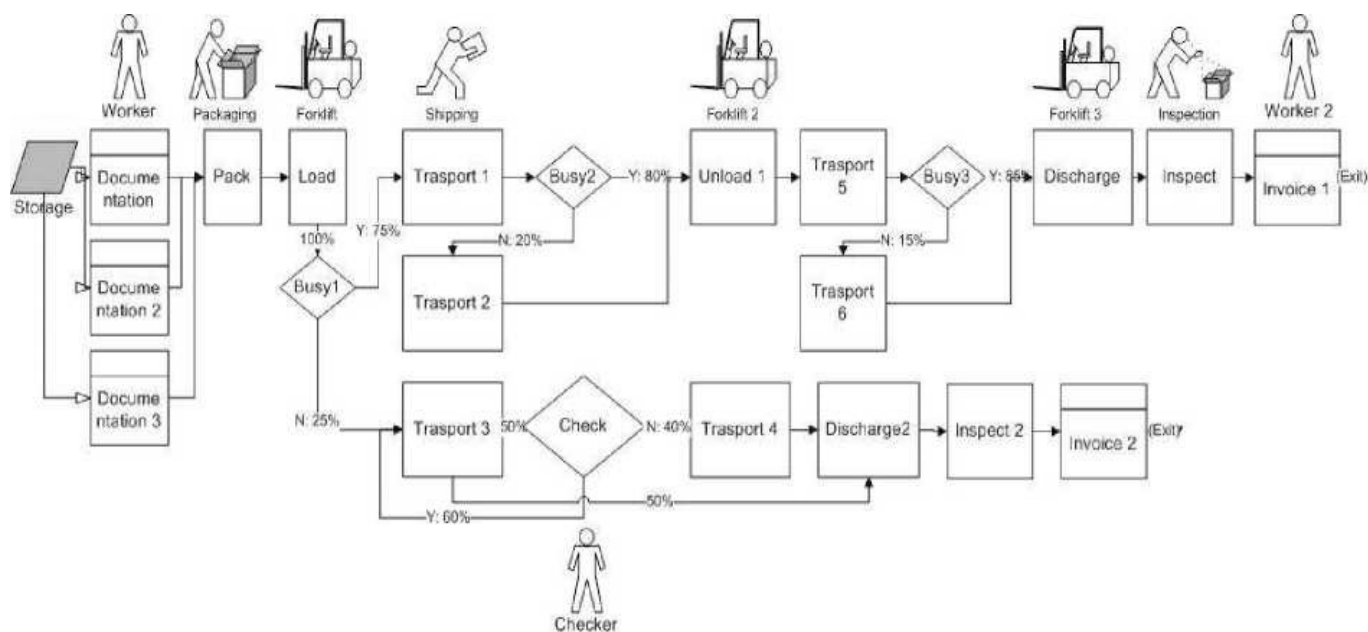


Рис. 1.. Модель транспортной сети в системе ProModel

способностью в узлах, которое позволит минимизировать время обработки поступающих в транспортную систему заявок и стоимость предоставляемых услуг.

В качестве критериев оценки построенных моделей грузоперевозок выступают:

- ◆ структурная надежность транспортной сети, предполагающая отсутствие разрывов или незадействованных участков маршрута;
- ◆ вероятностно-временные характеристики процессов погрузки, разгрузки и перевозки, такие как время ожидания, время обслуживания, вероятность пребывания заявки в системе.

Функциональная модель позволяет для каждого участка маршрута с учетом закона распределения случайных внешних воздействий выполнить моделирование транспортной системы. В качестве начальных условий для модели задаются данные о протяженности маршрута, временных ограничениях, доступных транспортных средствах определенной грузоподъемности и количестве операций погрузки и разгрузки. Функциональная модель позволяет определить параметры текущего состояния транспортной системы, на основании чего можно судить о необходимости тех или иных изменений.

Для дискретно-событийного моделирования используется система ProModel которая позволяет реализовывать последовательное представление процессов перевозки грузов, что предполагает создание новой

или усовершенствование существующей транспортной структуры. Проведение имитационного моделирования в системе ProModel дает возможность одновременно анализировать как структурный, так и функциональный аспекты процессов грузоперевозок. Общая имитационная модель учитывает взаимовлияние изменений структуры транспортной сети и функциональных показателей в зависимости от начальных условий и особенностей поступающих на обслуживание заявок.

Функция визуализации системы ProModel позволяет наглядно представить последовательность операций в каждом подпроцессе с учетом требуемых материальных ресурсов. Проведение анализа предполагает выбор подлежащих изменению параметров модели и разработку сценариев по достижению заданного уровня производительности процесса. Оптимизация полученных результатов позволяет сравнить влияние вносимых в модель изменений на каждом этапе моделирования. Именно поэтому данный программный продукт был выбран для проведения имитационного моделирования в сфере предоставления транспортных услуг.

Объектом моделирования является транспортная сеть, объединяющая элементы производственной структуры предприятия для случая территориальной разрозненности его мощностей, а также центры дистрибьюции между потребителями. В ходе имитационного моделирования рассматривается участок транспортной сети, состоящий из пяти узлов (источник — грузообразующий пункт, два грузопоглощающих пункта, пункт разгрузки/

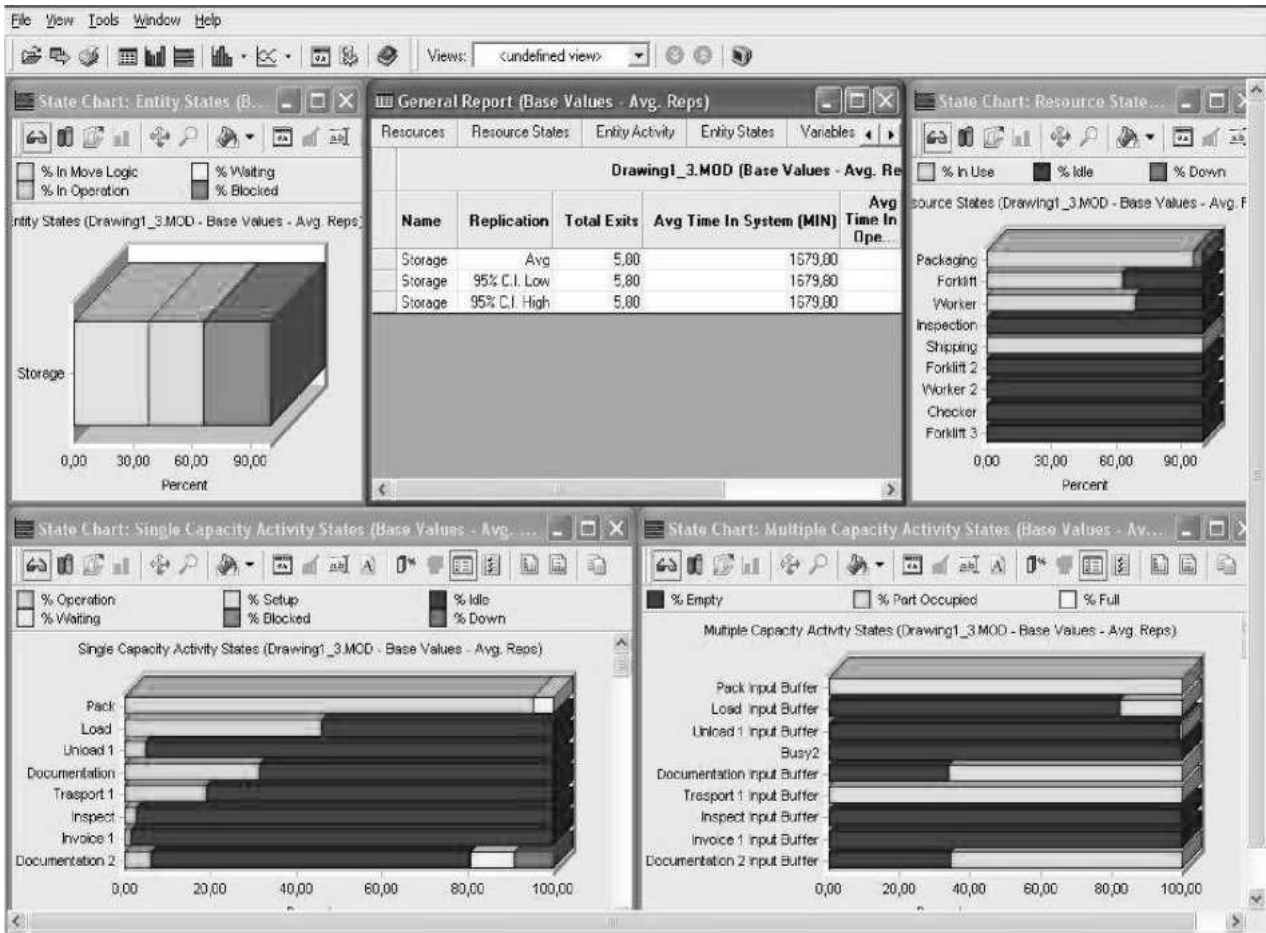


Рис. 2. Результаты моделирования сценариев

погрузки — терминал и пункт проверки), представляющих два возможных маршрута различной протяженности. Первый маршрут соответствует региональному виду перевозок, а второй — межрегиональному. Схема для имитационного моделирования маршрутов представлена на рис. 1.

Первый маршрут обслуживается транспортным парком из четырех машин, на втором маршруте два транспортных средства. Следует отметить различия в использовании транспортных средств на двух маршрутах. На последовательных участках первого маршрута выбирается свободное транспортное средство из двух доступных при заданной вероятности в процентном соотношении, в то время как на другом маршруте второе транспортное средство используется только в случае неисправности первого. Моделируемый период времени составляет пять дней с восьмичасовым рабочим днем.

Для построенной модели было разработано три сценария с различными комбинациями видов используемых транспортных средств и протяженностью вы-

бранных маршрутов. Внесение изменений в варианты сценариев повлияло на временные характеристики модели и стоимость каждого вида операции, что позволяет проводить оценку наиболее подходящего для реализации сценария по временному и стоимостному параметрам. Результаты сравнений сценариев представлены в виде диаграмм, характеризующих состояние входов и выходов модели, активность операций и уровень потребления ресурсов (рис. 2).

Валидация построенной имитационной модели проводилась по результатам аналитических расчетов для фрагмента многофазной системы массового обслуживания с ограниченным буфером и числом обслуживающих устройств при различных законах распределения времени обслуживания.

Имитационное моделирование в системе ProModel позволяет учесть задержки, происходящие непосредственно в процессе транспортировки, а также на сопроводительных операциях, что регулируется различными законами распределения.

В качестве преимущества данной модели можно отметить возможность дальнейшего расширения перечня активностей и используемых ресурсов при сохранении логики функционирования, а также возможность представления ее в качестве составных фрагментов при моделировании более сложных систем. Недостатком является предположение о сопоставимости объемов выполняемых поставок грузоподъемности используемого передвижного состава.

В результате проведенного исследования в системе ProModel были построены структурная и функциональная модели процессов грузоперевозок, осуществляемых по участковому методу, выполнено имитационное моделирование транспортной сети при различных ограничениях на входные условия, в том числе дефицит информации, что показало рациональность при-

менения систем последовательного имитационного моделирования для решения задач транспортной логистики.

Работа с информационной системой, в составе которой используется имитационный программный комплекс, позволяет создавать и корректировать массивы данных, отражающие возможные варианты организации маршрутов транспортных средств, получать информацию, наиболее адекватную к условиям реального времени.

Следующим этапом в развитии такого комплекса может стать трансформация его в интеллектуальную систему, предметная область которой была бы ориентирована на макроуровень — уровень городской транспортной сети.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Боев В. Д. Компьютерное моделирование: пособие для курсового и дипломного проектирования / В. Д. Боев, Д. И. Кирик, Р. П. Сыпченко. — СПб.: ВАС, 2011. — 348 с.
2. Емельянов В. В., Ясиновский С. И. Имитационное моделирование систем. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. 584 с.
3. Боев, В. Д. Компьютерное моделирование: пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7 / В. Д. Боев. — СПб.: ВАС, 2014. — 432 с
4. Григорьев И. Практическое пособие по имитационному моделированию / И. Григорьев. — 2016. — 202 р.
5. Шелухин О. И., Тенякшев А. М., Осин А. В. Моделирование информационных систем. М. Радиотехника, 2005. 386 с.
6. Майоров Н. Н. Факторы выбора имитационного моделирования, как универсального средства, для исследования транспортных процессов [Текст] // Проблемы и перспективы экономики и управления: материалы Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, апрель 2012 г.). — СПб.: Реноме, 2012. — С. 224–228. — URL <https://moluch.ru/conf/econ/archive/15/2086/> (дата обращения: 23.02.2018).
7. Морозов С.И., Толуев Ю. И., Змановская Т. П. Использование протоколов событий для интерпретации результатов моделирования логистического центра // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сб. Второй всероссийской научно-практической конференции — СПб.: ФГУП ЦНИИ ТС, 2005. — С. 246–250.
8. Толуев Ю.И., Змановская Т. П. Моделирование процессов перемещения и накопления материальных объектов в логистических сетях // Логистика: Современные тенденции развития. V Международная научно-практическая конференция. 20, 21 апреля 2006 г.: Тез. докл. / Отв. ред.: В. С. Лукинский, С. А. Уваров, Е. А. Королева. — СПб.: СПбГИЭУ, 2006. — С. 354–359
9. Hartmut Stadler. Supply Chain Management and Advanced Planning. Concept, Models, Software and Case Studies. Third Edition / Hartmut Stadler, Christoph Kilger. — Springer, Germany. — 2012. — 510 p

© Радута Валерия Павловна (lerchik63@mail.ru),

Викторов Андрей Александрович, Гарибьянц Ашот Артурович.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»