

дики определения экологических и экономических потерь, чтобы в дальнейшем использовать при оптимизации принимаемых решений по организации движения обобщенный показатель – потери в дорожном движении.

1. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения. Справочник: Пер. с англ. В.У.Рэнкин и др. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.

2. Аксенов В.А., Попова Е.П., Дивочкин О.А. Экономическая эффективность рациональной организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1987. – 128 с.

3. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.

4. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения. – Минск: Фонд Безопасности движения МВД Республики Беларусь, 1996. – 326 с.

5. Elvik R. To what extent can theory account for the findings of road safety evaluation studies? // *Accident Analysis & Prevention*, Volume 36, Issue 5, Sept. 2004, P. 841-849.

6. Dieng R. Comparison of Conceptual Graphs for Modeling Knowledge of Multiple Experts: Application to Traffic Accident Analysis. INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE: Rapport de recherche №3161, April 1997. – 88 p.

7. Taber J.T. Multi-objective optimization of intersection and roadway access design. Principal Investigator, Utah Transportation Center: Utah State University, 1998. – 78 p.

8. ANTOV D. State of the art of the use of traffic conflicts techniques and other pre-accident criteria in the soviet union, especially in the Baltic republics // *ITCC, Traffic kon.* 1999.

*Получено 14.02.2006*

УДК 621.311.4.011.57

В.С.МОГИЛА, канд. техн. наук, В.Н.ГАЛУШКО, П.Л.ЧЕЧЕТ

*Белорусский государственный университет транспорта,*

*Гомельский государственный университет им.Ф.Скорины (Республика Беларусь)*

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ ГОРОДСКИМ ТРАНСПОРТОМ**

Приводятся содержательное и формальное описания имитационной модели транспортной сети города. Для построения имитационной модели предложено использовать программно-технологический комплекс имитации взаимодействия компонентов городской транспортной сети.

Моделированием функционирования городской транспортной сети (ГТС) занимались многие исследователи [1-3]. Достаточно большое количество попыток исследования ГТС говорит о том, что проблема эта настолько сложна, что в каждом случае удавалось достичь лишь ее частичного решения. Каждая ГТС уникальна по структуре и составу транспортных потоков и троллейбусных линий обслуживания микрорайонов города. Поэтому аналитические модели малоприменимы в такой ситуации и требуется для каждой ГТС своя разработка имитационной модели (ИМ), в которой уровень детализации процессов может быть различным. Сложность самой ГТС, непредсказуемость поведения

пассажиров, влияние множества факторов на функционирование транспортных средств приводит к тому, что не выполняется ряд ограничений применения аналитических моделей систем массового обслуживания (СМО). И очень трудно достичь адекватности этих моделей реальной ГТС. Выходом из создавшейся ситуации является имитация реальных процессов в ГТС. Поэтому актуальна разработка способов и средств исследования этих технологических процессов с помощью ИМ.

Технология построения и использования ИМ ГТС основана на использовании агрегатно-процессного способа имитации динамики обслуживания пассажиров существующим подмножеством транспортных линий ГТС с высоким уровнем их детализации. В работе иллюстрируются возможности использования транзактов сложной структуры, которые затем объединяются в “кортежи” транзактов переменной структуры внутри ИМ транспортных средств. Однако, в отличие от общепринятого его использования, понятие транзакта в нашем случае существенно расширено по сравнению с понятием, используемым в СМО. Расширение состояло в том, что транзакт имеет еще “тело”, как это указано в работе [8]. Транзакт в данном случае рассматривается как модель поведения пассажира в ГТС. Общепринято [5], что транзакт обладает только идентификатором и приоритетом, двигаясь через систему очередей к СМО от генератора транзактов в момент его поступления в систему от одного обслуживающего прибора к другому прибору до тех пор пока транзакт не покинет систему и затем поглощается. В “теле” транзакта находится маршрутная карта движения пассажира по ГТС ( $МК_{ir}$ ). Отметим, что транзакт обладает составным номером ( $ir$ ), в котором первая часть ( $i$ ) означает тип пассажира и служит в модели своего рода приоритетом пассажира в ГТС, а вторая часть ( $r$ ) означает номер остановки на которой транзакт поступил в ГТС из генератора и на которую транзакт возвратится для имитации отдыха пассажира в месте его рождения и прихода в ИМ ГТС уже на новые сутки. Кроме того, в маршрутной карте  $МК_{ir}$  указывается список номеров станций пересадок пассажира при движении по ГТС от станции посадки  $ir$  до станции назначения, предполагая, что эта станция не является станцией появления пассажира в ГТС. В момент поступления транзакта в модель на станции номера  $r$  он имеет идентификатор ( $ir$ ), где ожидает прихода своего транспортного средства номера  $k_j$  (здесь  $k_j$  – номер транспортного средства на  $j$ -й линии движения троллейбусов по ГТС). При поступлении в транспортное средство номера  $k_j$  транзакт присоединяется в конец списка подобных транзактов,

которые в совокупности образуют “кортеж” транзактов. Это новая имитационная модель группы пассажиров, состав которых изменяется на каждой новой остановке транспортного средства за счет добавления к “кортежу” новой группы транзактов. Как видим, транзакт переходит в “кортеж” транзактов, а потом он снова становится транзактом в очередях на станциях, а затем в составе “кортежа” транзактов движется по модели ГТС. И этот процесс взаимного перехода транзакта в “кортеж” транзактов фактически моделирует все стадии нахождения пассажира в суточном цикле функционирования ГТС.

В результате появляется возможность решения типовых задач проектного моделирования: поиска узких мест в технологии обслуживания пассажиров ГТС; оценки пропускной способности ГТС при заданном составе транспортных средств; определение состава дополнительных транспортных средств в случае возникновения аварии на одном из городских объектов. Кроме того, появляется возможность использования технологических возможностей универсального инструментария проектировщиками ГТС, не являющемся специалистами по имитации и программированию, при поиске «узких мест» в ИМ ГТС.

*Формальное описание технологии обслуживания пассажиров в ГТС*

Для аппарата формализации ГТС будем использовать транзактно-процессный способ описания динамики поведения транзактов в сети и их обслуживание обслуживающими устройствами с управляющими входами. Динамическими элементами имитационной модели (ИМ) ГТС являются транзакты ( $TR_{ir}$ ) (модели поведения пассажиров в ГТС), “кортежи” транзактов ( $CORT_{jk}$ ), представляющие собой модели множества пассажиров, находящихся внутри транспортного средства и следующих в до одной и той же станции назначения  $OST_r$ . Статическими элементами ИМ ГТС являются обслуживающие устройства с управлением: имитаторы транспортного состава (ИМ  $TRAS_{jk}$ ), станции посадки-пересадки пассажиров (ИМ  $OST_r$ ), имитаторы функционирования светофоров (ИМ  $SVETF_{ji}$ ).

На *первом уровне* детализации ГТС представляется функционированием пассажиров ( $PASS_{ir}$ ), множеством  $TR_{ir}$  сложной природы. На *втором уровне* детализации ГТС представляется множеством имитаторов остановок, в которых транзакты объединяются в очереди к различным транспортным средствам. На *третьем уровне* детализации ГТС моделируется функционирование транспортных средств в суточном цикле обслуживания пассажиров с помощью набора имитаторов. На *четвертом уровне* детализации ГТС представляется множеством подмоделей транспортных линий, в которых имеются имитаторы транс-

портных средств со своими расписаниями движения по маршрутным линиям.

В вариантах организации ГТС отклики ИМ усредняются по множеству сгенерированных  $l$ -х реализаций ИМ ГТС (согласно процедуре Монте-Карло). Поэтому компоненты множества откликов  $\{Y_n\}$  представляют собой математические ожидания каждого элемента этого множества, усредненные по выборке объема  $N_M$ . При этом также определяются дисперсии значений элементов этого множества, что позволяет оценить точность решения вероятностных задач методом Монте-Карло. Обращаем внимание на то, что в данном случае отсутствует оптимизация в классическом понимании, поскольку многие из вариантов изменения элементов множества параметров модели невозможно реализовать на практике, и поэтому они отбраковываются из рассмотрения. Это обстоятельство означает, что уместнее говорить о выборе “рационального” варианта из всех допустимых вариантов изменения технологии обслуживания.

Далее, задавшись вероятностями нахождения пассажиропотока в различных состояниях, используются известные классические критерии оптимизации вариантов теории принятия решений, которые реализованы в составе библиотеки СМ МІСІС [3]. С помощью ИМ ГТС и применение классических критериев теории принятия решений можно найти компромисс между противоречивыми интересами администрации ГТС и потребностями пассажиров.

#### *Программно-технологический комплекс имитации ГТС*

В работе [7] приведен анализ описательных и технологических возможностей систем моделирования (СМ), эксплуатирующихся в странах СНГ. Несмотря на универсальный характер возможностей наиболее технологичных СМ они ориентированы в основном на профессионалов по программированию и имитации и их трудно использовать специалистам данной предметной области. Перечисленный состав новых задач эксплуатации существующих ГТС и отсутствие средств оперативной разработки вариантов ИМГТС определил актуальность разработки программно-технологического комплекса имитации (ПТКИ) ГТС. Он представляет собой предметно-ориентированное расширение системы моделирования МІСІС [8] на данную область исследования сложных систем и состоит из универсальной и предметно-ориентированных частей. Универсальная часть комплекса разработана путем добавления к СМ МІСІС библиотек программ и процедур испытания ИМ и адаптации к операционной среде СМ МІСІС пакета программ обработки данных STATISTIKA [9]. Предметно-

ориентированная часть комплекса содержит библиотеки процедур и программ, из которых формируются алгоритмы перечисленных ранее подмоделей устройств-имитаторов компонентов ГТС.

В состав предметно-ориентированной части ПТКИ ГТС входят две библиотеки: подмоделей элементов ГТС (LIB.IMELEM); готовых параметризованных ИМ вариантов ГТС (LIB.IMVGTS). Библиотека LIB.IMELEM содержит параметризованные "заготовки" подмодели: поступления пассажиров в ГТС, ожидания и пересадки пассажиров на остановках, функционирование транспортных средств и светофоров. Эти подмодели с помощью технологической оболочки комплекса позволяют пользователю-предметнику оперативным образом конструировать варианты ИМ ГТС и каталогизировать их в библиотеку LIB.IMVGTS. Все эти ИМ, в свою очередь, представляет собой высокопараметризованные заготовки вариантов ИМ ГТС, реализованные в среде SM MICIS.

#### *Технология использования ПТКИ ГТС*

Разработка даже простейшей ИМ ГТС требует больших ресурсов ЭВМ и затрат труда исследователя. Поэтому для облегчения исследований предлагается многоэтапная технология использования ПТКИ ГТС. Следуя известной технологии имитационного моделирования сложных систем [7], необходимо реализовать весь комплекс исследований в шесть этапов.

На *этапе 1* осуществляется построение ИМ ГТС средствами технологической оболочки ПТКИ ГТС. На *этапе 2* организуется натурный эксперимент (НЭ) на реальной ГТС с целью получения исходной информации для "запитки" ИМ ГТС реальной статистикой поведения пассажиров, функционирования транспортных средств и светофоров. Кроме того, в ходе НЭ определяется статистика, используемая для верификации и проверки адекватности ИМ реальной ГТС. На *этапе 3* осуществляется "запитка" и верификация варианта ИМ ГТС с помощью библиотеки процедур LIB. ISPIM. На *этапе 4* проводится испытание и исследование свойств ИМ ГТС с помощью библиотеки процедур LIB. ISPIM. На *этапе 5* организуется эксплуатация ИМ ГТС с помощью ПТКИ ГТС на основе использования процедур Монте-Карло и формирования множества откликов  $\{\gamma_{\text{н}}\}$  с целью достижения заданной достоверности моделирования  $\beta$ . При этом исследователю необходимо осуществить обработку результатов ИЭ. На *этапе 6* исследователь принимает решение о завершении исследований с помощью ИМ ГТС.

Наш подход к построению ИМ ГТС принципиально отличается

следующим. Во-первых, это действительно вероятностная ИМ динамики обслуживания пассажиропотока в ГТС, использующие метод статистических испытаний при решении перечисленных задач проектного моделирования. Во-вторых, структура сети уже задана матрицей вероятностей корреспонденций пассажиров, и она формируется на основе мониторинга существующего пассажиропотока ГТС. Результаты мониторинга оформляются в виде функции распределения параметров подмодели ГТС, которые затем используются при моделировании реализаций вариантов ГТС с помощью розыгрыша по матрице вероятностей маршрутов следований и формирования маршрутных карт движения пассажиров по сети. В-третьих, используется два типа элементов ИМ ГТС: динамический элемент в виде моделей поведения пассажиров, предоставляемый как транзакт со сложной структурой; статические элементы с типовым алгоритмом их поведения, представляемые как обслуживающие устройства массового обслуживания с управлением [7]. Под термином СМО с управлением [7] понимаем возможность регулировать выбор транзактов из входной очереди к СМО прибора с помощью сигналов “открыть” и ”закрыть”, которые формируются другими приборами. В данном случае имеется в виду управление процессом поступления транзактов из очереди на остановках в модель транспортного средства, прибывшего на эту остановку. В-четвертых, вводится еще одно понятие динамического элемента в виде “кортежа” транзактов, представляющие собой модели пассажиров, следующих внутри модели транспортного средства до одной и той же станции пересадки этих моделей группы пассажиров (“кортежей” транзактов), состав которых постоянно пополняется за счет поступления на остановках новых групп пассажиров, имеющих ту же самую станцию высадки, что и остальные составляющие “кортежа” транзактов. В-пятых, использование процедур Монте-Карло при имитации динамики поведения компонентов ГТС требует использования функций распределения новых классов статистик имитации и вычисление откликов ИМ ГТС, которые не использовались в известных моделях городских пассажиропотоков. Прежде всего, все отклики представляют собой выборки объема  $N_m$ , по которым можно формировать: функции распределения, оценки математических ожиданий и дисперсий откликов имитации.

Наконец, немаловажной особенностью предлагаемой технологии имитационного моделирования ГТС является ориентация ПТКИ ГТС на пользователя предметника, не являющегося профессионалом в области программирования и имитационного моделирования. С помощью средств оконной технологии ПТКИ ГТС облегчается овладение

технологиями имитации ГТС и автоматизируются основные трудоемкие этапы обработки и анализа результатов имитационного моделирования.

С нашей точки зрения, перечисляемые особенности данной технологии обеспечивают перспективу развития использования ПТКИ ГТС при оперативном решении задач анализа поиска узких мест ГТС и оценки пропускной способности транспортной линии ГТС. При этом службы энергоснабжения ГТС могут получить обобщенные эпюры распределения мощностей электролиний для их использования в своей практике эксплуатации энергохозяйства ГТС.

1. Лопатин А.П. Автоматизация проектирования АСУ перевозочным процессом на городском пассажирском транспорте с использованием методов и средств имитационного моделирования. – М.: НПО, 1982. – 117 с.

2. Лопатин А.П. Моделирование перевозочного процесса на городском пассажирском транспорте. – М.: Транспорт, 1985. – 117 с.

3. Бонсалл П.У., Мейсон А.К., Уилсон А.Г. Моделирование пассажиропотоков в транспортной системе (оценка вариантов развития транспортной системы и анализа чувствительности модели): Пер.англ. – М.: Транспорт, 1982. – 207 с.

4. Яворский В.В. Модели и алгоритмы проектирования сети городского пассажирского транспорта // Проблемы построения автоматизированных систем управления на транспорте. – К., 1978. – 102 с.

5. Падин В.А. Применение теории массового обслуживания на транспорте. – М.: Наука, 1973. – 152 с.

6. Яковлев Л.А. Программное обеспечение технического расчета системы городских путей сообщения, представленной в сетевой форме. – М.: Стройиздат, 1976. – 136 с.

7. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. – М. Радио и связь, 1987. – 230 с.

8. Максимей И.В., Левчук В.Д., Жогаль С.П. и др. Задачи и модели исследования операций. Т.3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 150 с.

9. Боровиков В.П. STATISTIKA. Искусство анализа данных на компьютере для профессионалов. – 2-е изд. – СПб., 2003. – 688 с

*Получено 24.02.2006*

УДК 656

Е.Н.КОТ

*Белорусский национальный технический университет, г.Минск*

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ г.МОГИЛЕВА**

Рассматриваются вопросы совершенствования организации дорожного движения, разработаны некоторые предложения по совершенствованию на примере г.Могилева, направленные и на повышение качества дорожного движения в целом.

Влияние организации движения (которая включает исследование, управление и обслуживание) трудно переоценить, особенно в городах,