

УДК 681.3

## Метод имитационного моделирования технологического процесса городской транспортной сети

В. Н. ГАЛУШКО

### 1 Особенности объекта моделирования

Пассажиры большого города обслуживает большое число видов транспорта, что позволяет использовать аналитические и имитационные методы анализа случайных процессов и систем массового обслуживания. При исследовании технологического процесса городской транспортной сети (ГТС) областного города важен высокий уровень детализации процессов обслуживания пассажиропотоков имеющимся составом транспортных средств. Каждая ГТС имеет уникальную структуру и состав транспортных средств, обслуживающих микрорайоны 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. Кроме того, как показал опыт автора, известные средства автоматизации имитационного моделирования сложных систем трудно использовать при отображении технологии обслуживания пассажиропотока в ГТС. Несмотря на известные трудности построения ИМ ГТС, универсальный характер технологии обслуживания пассажиров в ГТС позволяет разработать метод и средства автоматизации исследований при выборе рациональной технологии обслуживания пассажиров для существующей ГТС и состав существующего пассажиропотока. Поэтому **актуальна** разработка метода имитационного моделирования технологических процессов городской маршрутной транспортной сети.

В данной работе излагается идея метода построения и использования ИМ ГТС, основанного на использовании транзактно-процессного способа имитации динамики обслуживания пассажиров существующим подмножеством транспортных линий ГТС с высоким уровнем их детализации. Целью работы является иллюстрация возможностей использования транзактов сложной структуры, которые затем объединяются в “кортежи” транзактов переменной структуры внутри ИМ транспортных средств, при решении типовых задач проектного моделирования ГТС (поиска узких мест в технологии обслуживания пассажиров ГТС; оценки пропускной способности ГТС при заданном составе транспортных средств). Второй целью работы является иллюстрация технологических возможностей использования универсального инструментария проектировщиками ГТС, не являющимся специалистами по имитации и программированию, при реализации предлагаемой методики.

### 2 Метод имитационного моделирования ГТС

Предлагаемый метод имитационного моделирования ГТС состоит из семи этапов, каждый из которых включает в себя различное число шагов. Рассмотрим функциональное назначение каждого из этих этапов исследования.

#### **Этап 1. Составление содержательного описания (СО) организации ГТС**

Этот этап характеризуется описанием организации ГТС. Приводится описание ГТС на различных уровнях детализации (создание и уничтожение суточного пассажиропотока, транспортное обслуживание ГТС пассажиропотока, организация транспортных маршрутов ГТС, функционирование всей ГТС). Для каждого из этих уровней составляется описание особенностей его функционирования. Данный этап состоит из трех шагов.

**Шаг 1** Составление СО влияния пассажиропотока на наполняемость подвижного состава на маршрутной линии.

**Шаг 2** Составление СО влияния организации функционирования транспортных средств на формирование маршрутов.

**Шаг 3** Составление СО состояния маршрутной сети из описаний отдельных транспортных маршрутных линий.

### **Этап 2. Формализация процессов перевозки пассажиров ГТС**

На этом этапе описываются принципы организации ГТС. В качестве аппарата формализации ГТС применен транзактно-процессный способ описания динамики поведения пассажиров в сети и их обслуживание обслуживающими устройствами с управляющими входами. Этот этап реализуется в два шага

**Шаг 1** Составление концептуального описания ГТС. Определяется состав параметров, откликов и целевые функции ИМ ГТС.

**Шаг 2** Составление формального описания компонентов ГТС.

### **Этап 3. Формализация технологии обслуживания пассажиропотока в ГТС**

На высоком уровне детализации описывается функционирование всей ГТС в целом. Целью этапа является создание схемы функционирования ГТС. Этот этап реализуется в три шага.

**Шаг 1** ГТС представляется функционированием пассажиров, моделью которых являются транзакты сложной природы.

**Шаг 2** ГТС представляется множеством переменных, параметров, статистик и откликов функционирования остановок

**Шаг 3** В ГТС исследуется функционирование транспортных средств в суточном цикле обслуживания пассажиров.

**Шаг 4** Определяем состав переменных, параметров, статистик и откликов функционирования троллейбусных линий ГТС.

### **Этап 4. Мониторинг ГТС для формирования рабочей нагрузки (РН) на ИМ ГТС**

На этом этапе исследуется динамика функционирования реального пассажиропотока с целью получения исходных данных для запитки ИМ ГТС. Этап состоит из четырех шагов.

**Шаг 1** Исследование динамики функционирования пассажиропотока с помощью системы мониторинга ПТКИ ГТС.

**Шаг 2** Обработка статистики поведения реального пассажиропотока полученной с помощью системы мониторинга ПТКИ ГТС.

**Шаг 3** Выделение РН для внесения в ИМ ГТС.

**Шаг 4** Формирование моделей РН ГТС и их «запитка» для ИМ.

### **Этап 5. Создание имитационных подмоделей ГТС**

На этапе 5 создаются имитационные подмодели компонентов ГТС на различных уровнях их детализации. Целью данного этапа является получение готовых подмоделей компонентов ГТС для исследования ГМТС. Этап реализуется в четыре шага.

**Шаг 1** Создание подмодели пассажиропотока для исследования “узких” мест в ГТС.

**Шаг 2** Создание подмодели транспортных средств для определения оптимального числа подвижных единиц на маршрутах.

**Шаг 3** Создание подмодели маршрутной транспортной сети для определения наиболее рациональной организации маршрутов.

**Шаг 4** Верификация имитационных подмоделей. Исследуется количество транспортных средств, наполняемость подвижного состава ГТС, организация маршрутов, показатели работы транспортной системы.

### **Этап 6. Испытание и исследования свойств ИМ ГМТС**

На этом этапе используются известные технологии [3], которые предполагают реализацию пяти шагов для испытания и исследования технологических свойств созданных имитационных подмоделей. Этап реализуется пятью шагами.

**Шаг 1** Оценка точности имитации подмоделями ГТС.

**Шаг 2** Определение длины переходного периода имитационных моделей.

**Шаг 3** Проверка устойчивости имитационных моделей.

**Шаг 4** Определение чувствительности имитационных подмоделей (проверка наличия в ИМ редких ситуаций).

Шаг 5 Проверка адекватности ИМ ГТС.

**Этап 7. Эксплуатация имитационной модели реальной ГТС**

Целью данного этапа является решение задач исследования и проектного моделирования с помощью построенной имитационной модели. Данный этап реализуется в два шага.

Шаг 1 Поиск узких мест в структуре ГТС характеризуется парами откликов: приведенные коэффициенты Литла, означающими потери времени пассажиров в очередях и коэффициенты увеличения времени доставки пассажиров по сети из-за их ожидания на остановках.

Шаг 2 При оценке пропускной способности ГТС основными откликами являются графы наполняемости транспортных средств; коэффициентов растяжения времени движения транспортных средств из-за остановок перед светофорами и на пересадочных остановках; отклонения величины времени движения транспортных средств от расписаний.

**Abstract.** The paper presents the method of simulation of technological process which is used in city transport network. The idea of seven stages of realizing this method on the basis of examining the peculiarities of modelling is considered in the paper.

**Литература**

1. И. В. Максимей, В. Д. Левчук, С. П. Жогаль, Задачи и модели исследования операций, Ч.3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений, Уч. пособие, Гомель, БелГут, 1999.

Белорусский государственный  
университет транспорта

Поступила 15.05.06