



## **Сочнев А.Н. Имитационное моделирование движения маршрутных автобусов**

Рубрика: 05.00.00 ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, сеть Петри, транспортная инфраструктура.

**Выходные данные статьи:**

Сочнев А.Н. Имитационное моделирование движения маршрутных автобусов.  
// Современные научные исследования и инновации. – Май, 2012.  
[Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/05/12603>

УДК 510.67

### **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАРШРУТНЫХ АВТОБУСОВ**

#### **(SIMULATION OF TRAFFIC ROUTE BUSES)**

А.Н. Сочнев

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

E-mail: [lesek@mail.ru](mailto:lesek@mail.ru)

В данной статье приводится описание методов моделирования процесса перевозки пассажиров по автобусному маршруту. Полученные модели могут быть использованы при оперативном и перспективном планировании развития городского транспорта, а также способны учитывать случайные факторы внешней среды. Структура моделей предполагает их изменение для конкретных транспортных маршрутов.

## **Введение**

Развитие транспортной инфраструктуры города должно выполняться на основе всестороннего исследования схемы пассажиропотоков, плана перспективной застройки города и т.д. Основные показатели текущего функционирования транспортной системы, например количество перевозимых пассажиров каждым маршрутом или каждым автобусом, определяются опытным путем. Затем на основе полученных эмпирических данных должны быть определены общие характеристики транспортной системы: загрузка отдельных участков пути, отдельных улиц, емкость остановочных пунктов, эффективность работы отдельных маршрутов и т.д.

Вместе с анализом текущей ситуации, как правило, требуется выполнить прогнозирование перспективного изменения пассажиропотоков и планировать соответствующее изменение транспортной инфраструктуры. Также необходимо исследовать различные варианты ее развития. Задачи прогнозирования и многовариантного планирования с детальным определением всех показателей работы системы должны решаться на основе использования имитационных моделей высокого уровня детализации [1].

Среди методов имитационного моделирования можно отметить различные формализмы сетей Петри. Сети Петри позволяют моделировать последовательные, параллельные и циклические процессы. Кроме того, теория сетей Петри к настоящему времени развита в значительной степени: существует множество видов сетей, каждый из которых соответствует определенному виду задач.

Также для моделирования систем существуют специализированные программные продукты, предназначенные для моделирования системы: Arena, ARIS, GPSS и другие. В некоторых случаях известны математические методы, положенные в основу работы программы, в некоторых – нет. Например, известный и популярный программный продукт GPSS (General Purpose Simulation System — общецелевая система моделирования) основан на теории систем массового обслуживания.

Задачи прогнозирования и планирования требуется решать формализмами сетей, в которых присутствуют временные свойства операций, например временными сетями или цветными сетями Петри. Наиболее рациональным следует признать представление системы транспортных маршрутов сетью Петри, учитывающей временные соотношения, например временной или раскрашенной.

## **Описание маршрутов и параметры пассажиропотоков**

Формированию имитационной модели должен предшествовать выбор степени

детализации представления процессов. Степень детализации должна соответствовать целям моделирования. Модели транспортных процессов формируются для исследования пассажиропотоков, определения средней загрузки маршрутов и отдельных автобусов. Исходя из этих соображений, маркеры в сетевой модели будут представлять отдельных пассажиров. Использование раскрашенных сетей оправдано в случаях, когда требуется использовать различные маркеры, например при представлении пассажиров, зашедших на разных остановках. В данной статье концепция различных (цветных) маркеров не используется.

Очевидной особенностью создаваемой модели будет ее стохастичность. Все основные процессы: перемещение автобуса между остановочными пунктами, появление заявок (пассажиров) на остановках и выход пассажиров должны быть описаны случайными законами. Качественный вид этих законов и их количественные характеристики определяются эмпирически.

Далее представим два вида моделей автобусного маршрута. Первая будет реализована средствами программной системы GPSS, вторая – формализмами сетей Петри.

Суть моделируемого процесса заключается в том, что небольшой автобус движется по кольцевому маршруту, состоящему из шести остановок. При этом различают начальную и конечную остановки (они располагаются, возможно, рядом) и промежуточные. На каждую остановку, кроме конечной, подходят пассажиры. Когда автобус останавливается, то вначале все желающие выходят, а затем входит некоторое количество пассажиров, но не более, чем есть на остановке и не более, чем может вместить автобус. На первой остановке только входят, а на конечной - только выходят. Время входа и выхода каждого пассажира учитывается.

## **Вероятностная модель движения автобуса по маршруту**

Имитационная модель сложного объекта должна отражать много деталей и поэтому часто не может быть представлена в простом виде: её необходимо структурировать и выделять обособленные фрагменты, внутри которых "развиваются" собственные события. Специфика имитационного моделирования заключается в том, что работа этих фрагментов должна происходить под действием "своих" транзактов, имеющих, возможно, различные физический смысл, и синхронизированных между собой в процессе перемещения.

Ниже приводится текст с пояснениями программы, имитирующей движение автобуса по кольцевому маршруту. Целью такого исследования может быть, например, загрузка автобуса, возможная прибыль, оценка необходимости введения дополнительных автобусов.

Листинг программ содержит две большие части - фрагмент программы, связанный с состоянием автобуса (Движение автобуса), и фрагмент программы, связанный с состоянием пассажиров на остановках (Потоки пассажиров).

Bus STORAGE 40 ; Автобус на 40 мест

lok EQU 40 ; Вместимость автобуса

tmp1 EQU 0.1 ; Время выхода 1 пассажира

tmp2 EQU 0.15 ; Время входа 1 пассажира

...

GENERATE ,,1 ; Автобус вышел на маршрут

ASSIGN 1,0 ; Номер остановки обнулён

ADVANCE tmp4,(0.2#tmp4) ; Выезд из гаража на маршрут

TRANSFER ,t1100 ; Переход на маршрут на ост.1

t1000 ADVANCE tmp3,(0.2#tmp3) ; Поехал к остановке

t1100 ASSIGN 1+,1 ; Автобус прибыл на остановку

SAVEVALUE HaltNum,P1 ; Номер остановки зафиксирован

;-----Проверка типа остановки-----  
-----

TEST NE P1,1,t1800 ; Начальная остановка?

TEST NE P1,5,t1900 ; Конечная остановка?

;-----Промежуточная остановка-----  
-----

SAVEVALUE KvantEL,(DUniform(2,0,S\$Bus)) ; Число желающих выйти

SAVEVALUE KvantEL2,X\$KvantEL ; Счётчик желающих выйти

TEST NE X\$KvantEL,0,t1500 ; Есть ли на выход?

SAVEVALUE ELBus,1 ; Разрешение на выход

TEST E X\$ELBusFin,1 ; Задержка на время выхода

t1500 SAVEVALUE ELBus,0 ; Сброс разрешения на выход  
SAVEVALUE KvantEL,0 ; Сброс числа пассажиров на выход  
SAVEVALUE KvantEL2,0 ; Сброс числа пассажиров на выход  
SAVEVALUE ELBusFin,0 ; Сброс задержки на время выхода  
TEST NE (Q\*1#(lok-S\$Bus)),0,t1700 ; Можно на вход?  
SAVEVALUE ENBus,1 ; Разрешение на вход  
TEST E X\$PluVet,1 ; Задержка до разрешения движения  
;-----Сброс параметров остановки  
t1700 SAVEVALUE ENBus,0 ; Сброс разрешения на вход  
SAVEVALUE PluVet,0 ; Сброс разрешения на движение  
TRANSFER ,t1000 ; Движение к следующей остановке  
;-----Начальная остановка 1-----  
-----  
t1800 SAVEVALUE ENBus,1 ; Разрешение на вход  
TEST E X\$PluVet,1 ; Задержка движения  
TRANSFER ,t1000 ; Поехал к следующей остановке  
...

Таблица 1 - Результаты моделирования

QUEUE AVE.(-0)	MAX RETRY	CONT. RETRY	ENTRY RETRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME			
1	29	26	59	0	<b>12.907</b>	<b>13.126</b>	13.126	0	
2	44	44	64	0	<b>18.646</b>	<b>17.481</b>	17.481	0	
3	31	16	62	0	11.871	11.488	11.488	0	
4	27	25	59	0	13.783	14.016	14.016	0	
STORAGE RETRY DELAY	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	
BUS 0	40	40	0	<b>40</b>	133	1	<b>20.488</b>	0.512	

По результатам моделирования можно оценить среднее количество пассажиров, ожидающих автобус на остановке (AVE.CONT), среднее время ожидания на остановке (AVE.TIME), среднюю и максимальную загрузку автобуса (BUS MAX и AVE.C), см. таблицу 1.

Основной недостаток представленной модели – это отсутствие динамических свойств в модели. Состояние автобуса и остановок не отображается в процессе имитационного эксперимента. Кроме того, такую модель сложно увеличить для моделирования двух и более маршрутов, для оценки состояния остановок и участков дорог при одновременном движении различных маршрутных автобусов.

### **Имитационная модель на основе временной сети Петри**

Перечисленные выше недостатки отсутствуют в имитационной модели движения маршрутных автобусов по маршруту, реализованной с помощью математического аппарата сетей Петри (рис.1, 2). Из множества классов сетей Петри для формирования модели лучше всего подойдут такие, в которых моделируется ход времени, например временные сети или раскрашенные сети [2, 3]. Приведенная далее модель представлена временной сетью Петри.

В модели каждая промежуточная остановка представлена двумя переходами, моделирующими выход пассажиров и вход новых. Количество выходящих на каждой остановке пассажиров определяется эмпирически на этапе предварительного исследования маршрута. Движение автобуса между каждой парой остановок представляется отдельными переходами. Ограничение вместимости автобуса в приведенной модели не учитывается, т.е. автобус забирает всех находящихся в текущий момент на остановке пассажиров. Постоянная времени для моделирования выбрана равной 0,1 минуты.

Использование приведенной имитационной модели позволяет получить следующие основные результаты.

- 1) Оценить среднее время движения автобуса от любого начального до любого конечного остановочного пункта.
- 2) Определить среднее количество пассажиров, перевезенных до каждой остановки.
- 3) Определить требуемое количество автобусов на маршруте, при котором количество пассажиров на остановках не превышает допустимого предела.
- 4) Определить допустимое среднее время простоя автобусов на конечной

остановке.

5) Оценить частоту, интервал движения автобусов и прочие стандартные характеристики.

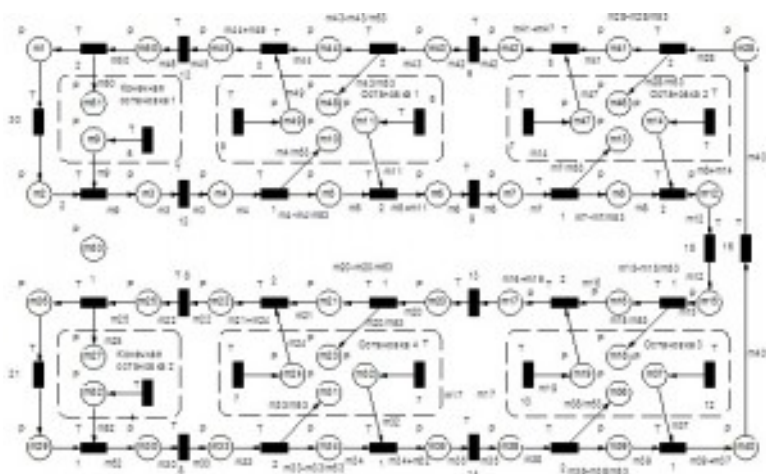


Рис.1. Имитационная модель движения маршрутного автобуса

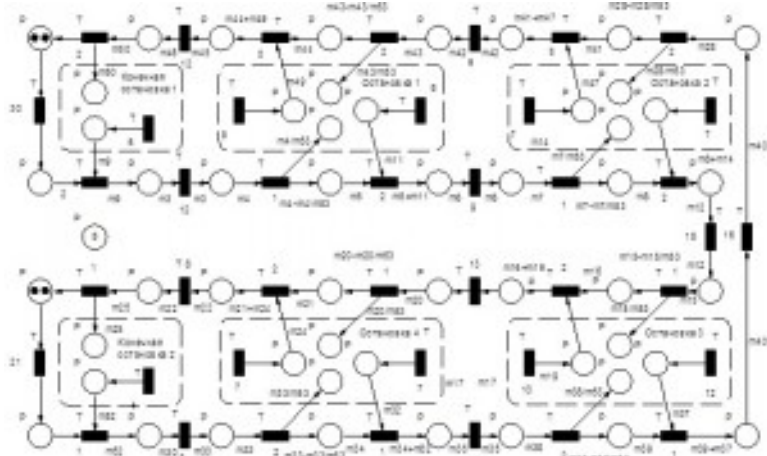


Рис.2. Имитационная модель движения маршрутного автобуса  
(с начальной маркировкой)

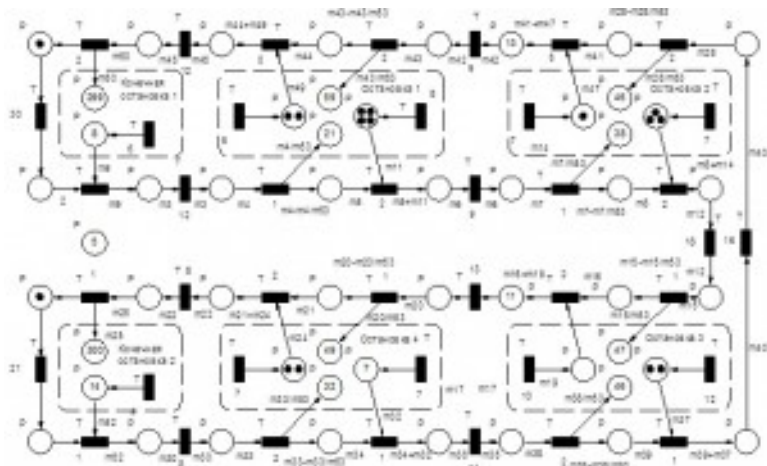


Рис.3. Состояние модели (период моделирования - 2 часа)

При текущей маркировке сети Петри (рис.3) состояние системы можно охарактеризовать следующим образом: два автобуса на маршруте, два – на конечных остановках. Количество пассажиров, перевезенных до остановки №1 – 80, №2 – 84, №3 – 93, №4 – 81, конечные остановки – 299 и 300. Количество пассажиров, ожидающих на остановках: 8, 6, 4, 2, 3.

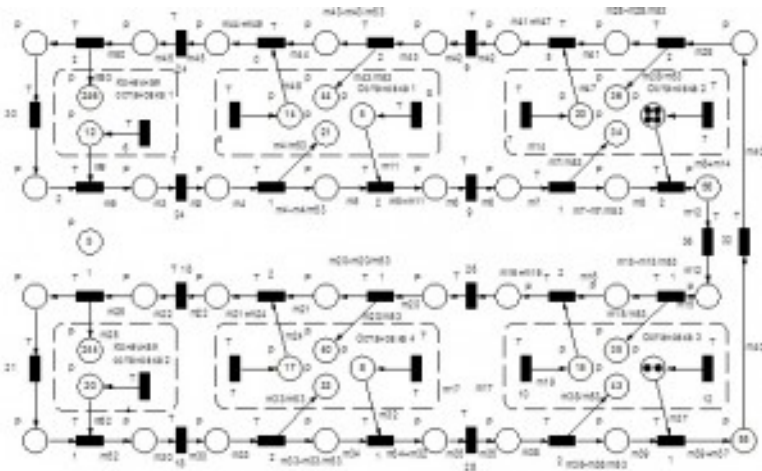


Рис.4. Состояние модели с учетом возмущающих воздействий  
(период моделирования - 2 часа)

Сформированная имитационная модель может быть использована для исследования качества работы маршрута при наличии возмущающих воздействий. В качестве возмущений могут рассматриваться такие факторы как неисправности автобусов, аварийные ситуации, изменение интенсивности движения («пробки» на участках маршрута) и другие. «Пробки» на маршруте смоделированы увеличением времени выполнения переходов, представляющих перемещение автобуса между остановками (рис.4).

Результаты имитационного эксперимента показывают некоторое уменьшение общего количества перевезенных пассажиров за рассматриваемый период. Это связано с меньшим количеством рейсов автобусов по маршруту.

Модели на основе сетей Петри могут использоваться как для планирования, так и для диспетчерского управления. В литературе описано множество примеров применения сетевых моделей для управления производственными системами [4]. Управление реализуется по принципу использования эталонной (сетевой) модели, процессы в которой диспетчер стремится синхронизировать с реальными. Основной задачей в этом случае является организация обратной связи о состоянии и положении на маршруте каждого автобуса.

Таким образом, в статье описан подход к формированию модели транспортных маршрутов и приведены примеры подобных моделей. Примеры иллюстрируют идеи предлагаемого подхода и являются упрощенными. Тем не менее, они могут быть усложнены для отображения более сложных и продолжительных маршрутов, а также для моделирования их взаимодействия. Это позволит решать не только задачи планирования перевозок, но и



рассчитывать параметры транспортной инфраструктуры, например емкости остановочных пунктов или интервалы времени работы светофорных объектов.

Кроме перечисленных задач с помощью имитационного моделирования может оцениваться средняя себестоимость перевозки пассажиров.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гудков, В.А. и др. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками М. Транспорт, 1997 г. 254 с.
2. Котов, В. Е. Сети Петри / В. Е. Котов. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
3. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
4. Емельянов, В. В. Оперативное управление в ГПС / В. Ф. Горнев, В. В. Емельянов, М. В. Овсянников. - М.: Машиностроение, 1990. - 256 с.

### **Сведения об авторе:**

г. Красноярск,

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»,

доцент кафедры «Робототехника и техническая кибернетика»,

сфера научных интересов: имитационное моделирование систем формализмами сетей Петри