

**АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ**

УДК 621.25: 519. 713

*М. С. КОСТЕНОК, кандидат технических наук; В. Г. ШЕВЧУК, кандидат технических наук; А. М. ДЕМИДОВ, ст. преподаватель; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ АВТОМАТОВ  
ПРИ СИНТЕЗЕ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ АКТС**

Приводится описание коммуникационной системы с помощью теории автоматов. Рассмотрены вопросы применения вероятностных автоматов для синтеза элементов автоматически коммутируемых сетей связи.

**В** последние годы в Республике Беларусь ведутся интенсивные работы по созданию, промышленному освоению и внедрению в эксплуатацию новых цифровых автоматических коммутационных станций (АТСЦ). При этом на всех этапах создания цифровых АТС возникает ряд проблем, интересующих широкий круг специалистов. Одной из таких проблем является построение коммутационной системы (КС).

Сложность разработки и технической реализации эффективно действующих коммутационных систем связана с необходимостью сочетания в рамках одной системы различных противоречивых требований. Эта проблема делает актуальным использование средств моделирования интеллектуальных процессов, учитывающих требование эффективности применения КС. В данной статье рассмотрен пример методологии разработки обобщающей модели КС и обоснована возможность применения методов теории вероятностных автоматов не только как теоретическое обоснование, но и как инструмент для технической реализации способов управления коммутационных систем.

Оптимальное построение коммутационных систем и устройств управления позволяет при минимальном объеме оборудования обеспечить требуемое качество обслуживания вызовов. Способ построения КС узла в значительной степени влияет на структуру управляющего устройства, которая, в свою очередь, оказывает воздействие на выбор оптимального варианта КС.

Структура коммутационной системы при заданном разделении каналов и типе коммутационного устройства характеризуется количеством ступеней искания, способом включения промежуточных линий между ними, режимом искания, наличием звеньевых включений и др.

Для того чтобы определить условия работы управляющего устройства, реализующего соответ-

ствующий способ управления на базе применения автоматных моделей, необходимо рассмотреть (дать определение) систему условных координат КС, используемой при различных режимах искания.

Составной частью коммутационной системы является коммутатор, имеющий  $n$  входов  $X$  и  $m$  выходов  $Y$  (рисунок 1).

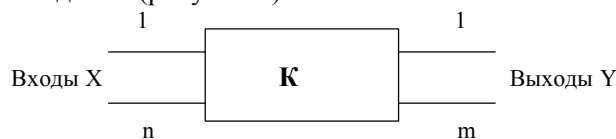


Рисунок 1 – Коммутатор

Точка коммутации в коммутаторе задается номером входа  $i$  и номером выхода  $j$  (где  $i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m$ ). Набор значений  $i$  и  $j$  определяет код соответствующего объекта и используется для характеристики местонахождения точки коммутации. Код содержит то количество координат, которое необходимо для определения объекта в коммутационной системе. Если КС имеет многозвенную схему построения, то выходы коммутаторов предыдущего звена являются входами коммутаторов последующих звеньев.

В качестве примера рассмотрим матрицу трехзвенной коммутационной схемы, приведенной в [6], связность которой равна единице:

$$W = \begin{vmatrix} 1 & 2 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & K_c \\ 1 & K_{B_1} & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 2 & 0 & K_{B_2} & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & 0 & 0 & K_{B_3} & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ K_a & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & K_{B_1} \end{vmatrix}$$

Для схем с коэффициентом связности, равным единице, в одной и той же строке и в одном и том же столбце матрицы  $W$  одинаковые буквы не

должны встречаться. В противном случае заявка на установление соединения между коммутаторами первого и третьего звеньев не будет удовлетворена (отказ за счет блокировки). Примем, что система управления выявляет эти случаи и выбирает необходимый вариант заполнения матрицы  $W$  с целью минимизации числа отказов в соединении при фиксированном числе  $K_b$  промежуточных коммутаторов. При этом допускается, что категории обслуживания всех заявок одинаковы. Примем, что каждое соединение вход – выход обслуживается отдельным автоматом  $V$ . С каждым элементом матрицы  $W$  сопоставляется  $n_1$  автоматов, предназначенных для обслуживания заявок от 1 до  $n$  входов коммутатора  $K_{a_i}$  к коммутатору  $K_{c_j}$ .

Допускается, что автомат  $V$  вырабатывает  $K_{b+1}$  действий (количество состояний выхода). Каждому из них сопоставим одно из обозначений алфавита  $K_{v_1}, K_{v_2}, \dots, K_{v_i}$ , а с  $K_{b+1}$ -м действием –  $v_0$ . Автомат считается занятым, если вырабатывает одно из действий  $v_1, v_2, \dots, v_i$ , и свободным, если вырабатывает действие  $v_0$ .

В качестве автомата рассмотрим инициальный вероятностный автомат с переменной структурой [2, 3]. Для полноты изложения приведем некоторые определения.

Определение 1. Вероятностным автоматом называется система

$$V=(X, Y, S, \langle M(y/x) \rangle),$$

где  $X$  – множество состояний входа;  $X=\langle x_1, x_2, \dots, x_{11} \rangle$ ;  $Y$  – множество состояний выхода;  $Y=\langle y_1, y_2, \dots, y_{12} \rangle$ ;  $S$  – множество внутренних состояний;  $S=\langle s_1, s_2, \dots, s_{13} \rangle$ .

$M(y/x)$  – семейство  $11 \times 12$  матриц размерности  $13 \times 13$  с неотрицательными элементами  $m_{\langle ij \rangle} (y_p/x_t) M(y_p/x_t)$ , которые есть  $p(y_p s_j / x_t s_i)$  – вероятность того, что при внутреннем состоянии  $s_i$  и состоянии входа  $x_t$  последующее внутреннее состояние будет  $s_j$ , а состояние выхода  $y_p$ .

Определение 2. Если вероятностный автомат  $V=(X, Y, S, \langle M(y/x) \rangle)$  имеет начальное состояние  $s_0$ , то он называется инициальным вероятностным автоматом.

С каждым внутренним состоянием автомата  $V$  сопоставим одно из  $K_{b+1}$  действий ( $v_1, v_2, \dots, v_k, v_0$ ), причем внутреннее состояние которого  $s_0$ , сопоставленное с действием  $v_0$ , будет называться инициальным внутренним состоянием.

Если автомат  $V$  является занятым, то он с вероятностью  $P_r$  переходит из начального состояния  $s_0$  в состояние  $s_r$ , которому соответствует действие  $V_r, r = 1, 2, \dots, K_b$ . После выполнения этого действия автомат  $V$  остается в состоянии  $s_r$  до поступления сигнала освобождения.

Запишем матрицы переходов для состояний входа  $x_0$  (автомат свободен) и  $x_1$  (автомат занят).

$$x_0 = \begin{vmatrix} & s_0 & s_1 & s_2 \\ s_0 & 1 & 0 & 0 \\ s_1 & 1 & 0 & 0 \\ s_2 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad x_1 = \begin{vmatrix} & s_0 & s_1 & s_2 \\ s_0 & 0 & p_{01} & p_{02} \\ s_1 & 0 & 1 & 0 \\ s_2 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

В случае поступления заявки на соединение между коммутатором первого звена  $K_{a_i}$  и коммутатором третьего звена  $K_{c_j}$  происходит занятие одного из автоматов, сопоставленных с элементами  $i$ -той строки,  $j$ -го столбца матрицы  $W$  (с автоматом  $V_{ij}, i = 1, 2, \dots, n$ ).

Автомат  $V_{ij}^1$  с вероятностью  $P_r^1$  перейдет из состояния  $s_0$  в состояние  $s_r$ , при этом вырабатывается действие  $V_r$ . В матрицу  $W$  заносится символ  $K_{br}$ , но только в том случае, если он не встречается ни в  $i$ -той строке, ни в  $j$ -том столбце: в противном случае заявка блокируется и получает отказ в установлении соединения.

Для упрощения разобьем все множество так, что к одному подмножеству отнесем автоматы, сопоставленные с  $i$ -той строкой и  $j$ -тым столбцом матрицы  $W$ . При этом получим пересекающиеся подмножества конкурирующих автоматов. Конкуренция связана с распределением букв в матрице  $W$  и проявляется лишь в момент возникновения заявки на установление соединения.

Функционирование автоматов происходит следующим образом. Пусть в момент времени  $t$  для матрицы  $W$  удовлетворяется условие совместности, а в момент времени  $t+1$  автомат  $V_{ij}^1$  переходит из состояния  $s_0$  в состояние  $s_r$ , определяя при этом действие  $v$ , при котором записывается в элемент матрицы  $W_{ij}$  символ  $K_{br}$ . Если ни один из членов подмножества не производит того же действия, то автомат  $V_{ij}^1$  получает поощрение, увеличивая вероятность  $P_r^1$  перехода из состояния  $s_0$  в состояние  $s_r$ .

При поступлении сигнала «отбой» возникает необходимость в разъединении установленного соединения. Автомат в этом случае возвращается в начальное состояние  $s_0$  и исключает символ  $K_{br}$  из матрицы  $W$ .

Возможен и обратный вариант. В момент перехода автомата  $V_{ij}^1$  из состояния  $s_0$  в состояние  $s_r$  один из членов подмножества производит действие  $V_r$ . В данном случае автомат  $V_{ij}^1$  получает штраф за отказ в соединении, который выражается в уменьшении соответствующих вероятностей переходов. После изменения вероятности  $P_r^1$  автомат  $V_{ij}^1$  имеет возможность повторить попытку.

Рассмотрим еще один вариант применения коллектива вероятностных автоматов с переменной структурой при выборе направлений на автоматически коммутируемой сети связи с использованием динамического способа управления КС [4, 5, 6].

Обозначим направления, по которым могут устанавливаться соединения между узлами сети УК,  $l_1, l_2, \dots, l_k$ . Составим матрицу маршрутов УК<sub>1</sub>:

$$УК_i = \begin{pmatrix} l_1 & 1 & k & \dots & 2\dots \\ l_2 & 2 & k-1 & \dots & 1\dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_k & k & 1 & \dots & k \end{pmatrix}$$

Примем, что, в первую очередь, соединения между  $УК_i$  и  $УК_j$  будут обеспечиваться по тем направлениям, в которых предыдущие вызовы (требования на соединения) получили наименьшее число отказов  $C$ .

Рассмотрим вероятностный автомат  $V$  с двумя состояниями входов  $x_0$  и  $x_1$  и  $(k+1)$  внутренним состоянием  $s_0, s_1, \dots, s_k$ . Для анализируемого варианта матрицы переходов имеют вид [1, 8]:

$$x_0 = \begin{pmatrix} s_0 & s_1 & s_2 & \dots & s_k \\ s_0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ s_1 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ s_2 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_k & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

$$x_1 = \begin{pmatrix} s_0 & s_1 & s_2 & \dots & s_k \\ s_0 & 0 & p_{01} & p_{02} & \dots & p_{0k} \\ s_1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ s_2 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_k & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

При этом поступление вызова к узлу  $УК_j$  отражается состоянием  $x_1$ , а его отсутствие –  $x_0$ . Действие  $V_{r2}$  автомата  $V$  означает, что соединение необходимо установить в направлении  $l_2$ , а  $V_{r0}$  – направление не выбирается.

Поток вызовов, поступающий на узел коммутации, подразделяется на два вида: создаваемый абонентами своего узла и транзитный (следующий к другим узлам через рассматриваемый узел).

Рассмотрим вначале вариант выбора направления при обслуживании автоматом потока вызовов, создаваемых абонентами анализируемого узла. При отсутствии вызова автомат  $V$  находится во внутреннем состоянии  $s_0$ , при поступлении вызова на  $УК_i$  в направлении  $УК_j$  автомат с вероятностью  $P_{0r}$  переходит во внутреннее состояние  $s_r$ , вырабатывая действие  $V_{r1}$ , посредством которого обеспечивается выбор направления к нужному узлу  $УК_j$ . При отсутствии свободных каналов автомат  $V$

штрафуется, происходит нормирование строки с целью обеспечения  $\sum_{r=1}^k P_{0r} = 1$ . При этом  $P_{0r}$  уменьшается.

В случае, если свободный канал будет найден, происходит его занятие и установление соединения с необходимым  $УК_j$ . Автомат  $M$  поощряется, вероятность  $P_{0r}$  увеличивается, строка нормируется.

Управляющее устройство при отсутствии свободных каналов основного направления дает команду на переключение и установление соединения с  $УК_j$  по другому направлению. При этом внутреннее состояние  $s_r$  автомата  $V_r$  и действие  $v_r$  исключается, вероятность  $P_{0r} = 0$ . Оставшиеся элементы строки  $s_0$  матрицы переходов нормируются, после чего обеспечивается повторный вызов к  $УК_j$ . Такой процесс будет повторяться до тех пор, пока не будет найдено направление, имеющее свободные каналы. Если это не произойдет, то абоненту посылается сигнал, информирующий об отказе в установлении соединения. Такую же информацию абонент получает и при занятии транзитных узлов коммутации. При этом автомат  $V$  штрафуется, т. е. происходит уменьшение вероятности  $P_{0r}$ , строка опять нормируется. Если за свои действия один из автоматов поощряется, то остальные автоматы узла за это действие штрафуются.

При обслуживании потоков транзитных вызовов выбор направлений аналогичен рассмотренному выше, но автомат за свои действия не штрафуются и не поощряются.

Выбор направлений можно осуществлять и по другим признакам изменения внутреннего состояния автомата.

Таким образом, из рассмотренных вариантов применения автоматных моделей видим, что их реализация есть некоторая программа. Применение программного управления позволяет существенно упростить процесс искания и техническую реализацию способов управления.

#### Список литературы

- 1 Беллман Р. Введение в теорию матриц. – М.: Наука, 1969.
- 2 Бухарев Р. Г. Основы теории вероятностных автоматов. – М.: Наука, 1985.
- 3 Вопросы алгебры и прикладной математики: Сб. науч. тр. /Под ред. С. А. Русакова. – Гомель: БелГУТ, 1995.
- 4 Варшавский В. И., Воронцова И. П. О поведении стохастических автоматов с переменной структурой // Автоматика и телемеханика. – 1969. – Вып. 24. № 3.
- 5 Паршенков Н. Я., Тихонова О. В. Комбинированный метод динамического управления на коммутируемой сети связи / Сети связи и дискретные устройства управления. – М.: Наука, 1976.

6 *Иванова О. Н. и др.* Управляющие устройства квази-электронных коммутационных систем. – М.: Связь, 1975.

7 *Баркун М. А.* Цифровые автоматические телефонные станции. – Мн.: Выш. школа, 1990.

Получено 20.11.2004

**M. S. Kostenok, V. G. Shevchuk, A. M. Demidov.** Application of the probability automates by the synthesis of the ASTC (automatic switched telephone communication) network.

The description of the communication system by the automates theory is given. The questions of the probability automates application to synthesis of the automatic switched communication networks elements are considered.

8 *Кудряев В. Б. и др.* Введение в теорию автоматов. – М.: Наука, 1985.

9 *Пашкевич С. Д. и др.* Машинные методы оптимизации в технике связи. – М.: Связь, 1976.

УДК 656.254:621.395.34

*Г. И. ЩУПЛЯКОВА, кандидат технических наук, Н. Ф. СЕМЕНЮТА, кандидат технических наук; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

## **АНАЛИЗ ТРАФИКА ОБЩЕТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ СВЯЗИ**

В последние годы произошли значительные изменения в структуре трафика телефонных сетей. На ряду с ростом речевого значительно выросла и доля неречевого трафика. Идёт модернизация сети на современном цифровом технологическом оборудовании. Происходят изменения в экономической сфере. Всё это требует проведения системного анализа телефонных сетей связи общеслужебного пользования с целью выработки стратегии дальнейшего её развития.

**О**бщетеchnологические сети связи (ОбТС) железнодорожного транспорта относятся к ведомственным сетям, и их параметры и характеристики во многих случаях отличаются от аналогичных государственных сетей общего пользования. Основными пользователями сети ОбТС являются руководство управления, отделений и станций дороги и работники, связанные с планированием и управлением перевозочного процесса, а также хозяйства, обеспечивающие эксплуатацию подвижного состава, пути и др. Численное количество пользователей сети, как и нагрузка, зависит от объёма эксплуатационной работы дороги и её подразделений, обеспеченности средствами связи, доступности услуг и др.

Сеть общетеchnологической телефонной связи железной дороги во многом повторяет иерархическую топологию железной дороги с центральным узлом связи в управлении дороги (УД), узлами связи в отделениях дороги (ОУ) и железнодорожных узлах и станциях (СУ).

Для железнодорожной АТС (ЖАТС) при УД характерно соотношение для абонентов административно-хозяйственного сектора и квартирного как 80 и 20 %, для ЖАТС при ОУ – соответственно 64 и 36 %. Для ЖАТС при СУ это соотношение может изменяться в значительных пределах: 60 и 40 % или 87 и 13 %. Но в целом по Белорусской железной дороге, как показывают исследования, для ЖАТС при СУ соотношение абонентов административно-хозяйственного сектора и квартирного составляют соответственно 67 и 33 %.

Интенсивность телефонной нагрузки, создаваемая абонентами ЖАТС, различна в разные часы суток или в одни и те же часы суток, но в разные дни недели. Наблюдениями установлено, что наряду со случайными колебаниями интенсивности нагрузки по часам суток, дням недели и месяцам года существуют и периодические, относительно регулярные их колебания. Из регулярных колебаний интенсивности нагрузки на ОбТС железнодорожного транспорта наиболее значительными являются колебания по дням недели и часам суток. Для количественных оценок неравномерности нагрузки используются соответственно коэффициенты неравномерности и концентрации. Значения коэффициентов суточной неравномерности (КСН) для УД, ОУ и СУ приведены в таблице 1.

*Таблица 1 – Значения коэффициентов суточной неравномерности*

День недели	Коэффициент суточной неравномерности для		
	УД	ОУ	СУ
Понедельник	1,31	1,19	1,16
Вторник	1,34	1,15	1,05
Среда	1,35	1,15	1,10
Четверг	1,31	1,11	1,08
Пятница	1,35	1,09	1,10
Суббота	0,18	0,63	0,76
Воскресенье	0,16	0,68	0,75

По приведенным значениям КСН четко просматривается режим работы подразделений на всех уровнях управления по дням недели. Для узлов связи при отделениях и станциях в течение недели