

Р. В. ВЕРНИГОРА, Н. И. БЕРЕЗОВЫЙ, В. В. МАЛАШКИН (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ СТАНЦИОННОЙ АВТОМАТИКИ В ЭРГАТИЧЕСКИХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Наведено методику функціонального моделювання систем станційної автоматики в ергатичних моделях залізничних станцій. Запропонована методика може бути використана при побудові імітаційних тренажерів для диспетчерського персоналу залізниць, а також автоматизованих систем оцінки проектних рішень.

Ключові слова: залізнична станція, імітаційна модель, електрична централізація.

Представлена методика функционального моделирования систем станционной автоматики в эргатических моделях железнодорожных станций. Предложенная методика может быть использована при построении имитационных тренажеров для диспетчерского персонала железных дорог, а также автоматизированных систем оценки проектных решений.

Ключевые слова: железнодорожная станция, имитационная модель, электрическая централизация.

Simulation model of the railway station automation system is brought in article. This model can be used for producing of computer simulator for preparing traffic manager of railway stations, as well as in automated system of the projects estimation.

Key words: railway station, simulation model, electric centralization.

Введение

Для решения широкого круга научно-практических задач, направленных на совершенствование работы железнодорожных станций, целесообразно использовать методы имитационного моделирования на ЭВМ [1-2]. При этом для оценки конкурирующих вариантов технических решений наиболее эффективными являются эргатические модели, в которых человек принимает непосредственное участие в процессе моделирования и управляет работой станции, выполняя функции диспетчера [3-4].

Эргатическая модель станции должна в процессе моделирования обеспечивать для человека-диспетчера (ЧД) возможность управлять поездными и маневровыми передвижениями, а также контролировать текущую ситуацию на путях станции. С этой целью в состав общей функциональной модели станции (ФМС) введена модель системы управления перемещением подвижного состава (МСУП), которая имитирует технологические функции станционных устройств автоматики и телемеханики. Модель контролирует состояние путевых и стрелочных изолированных секций, имитирует перевод стрелок и переключение светофоров по маршрутам движения, а также обеспечивает отображение их текущего состояния в информационной модели (ИМ) станции. МСУП создается

на основе анализа функциональных и топологических связей элементов станции (светофоров, стрелочных переводов, изолированных секций) в системе станционной автоматики.

Структура модели

МСУП построена на основе взвешенного ориентированного графа $D(V, E)$, отображающего топологические связи элементов системы станционной автоматики в двух направлениях движения (четном и нечетном). Множество вершин графа D включает два подмножества: стрелочные переводы (СП) V^S , светофоры V^C . Изолированные стыки (при отсутствии в данной точке схемы поездного или маневрового светофора) также рассматриваются как вершины подмножества V^C . Вершинам графа V^S поставлены в соответствие одиночные стрелочные переводы. Если схема станции включает более сложные стрелочные переводы (перекрестные, двойные и т.п.), то в модели они заменяются эквивалентной схемой, состоящей из одиночных СП. Для разделения множества вершин графа D каждому из подмножеств выделены непересекающиеся группы номеров: $N^S = \{1, \dots, 199\}$, $N^C = \{200, \dots, 599\}$.

Дугам графа $e \in E$ поставлены в соответствие участки путей модели путевого развития (МПР) [5], которые входят в состав стрелочных или путевых изолированных секций (ИС).

В памяти ЭВМ граф D представляется списками инцидентности его вершин. При этом для возможности деления маршрутов четного и нечетного направления, для каждой вершины графа D поставлены в соответствие два списка смежных с ней вершин ($\mathbf{u}_ч, \mathbf{u}_н$), которые инцидентны ей, соответственно, в четном и нечетном направлениях.

Для реализации моделируемых функций граф D дополняется списками технических параметров, характеризующих элементы станции и их функциональные связи в системе станционной автоматики. При этом вершинам графа D поставлены в соответствие такие структуры:

1) вершины подмножества V^S :

$$\mathbf{v}_i^s = \{N_s, P_s, R_s, \mathbf{Z}_s\}, \mathbf{v}_i^s \in V^S, i = 1, 2 \dots n_s \quad (1)$$

где N_s – идентификатор стрелочного перевода в МПР; P_s – текущее положение СП ($P_s=0$ – установлен по прямому пути, $P_s=1$ – на боковой путь); R_s – номер стрелочной ИС, в которую входит данный СП; \mathbf{Z}_s – список, содержащий в качестве элементов данные о требуемом положении смежных пошерстных СП ($z=0$ – СП, связанный с данным, должен быть установлен по прямому пути, $z=1$ – на боковой путь, $z=-1$ – положение смежного СП может быть любым. Данный параметр используется для контроля взреза стрелок при установке маршрутов; n_s – общее количество СП на станции.

2) вершины подмножества V^C :

$$\mathbf{v}_j^c = \{N_c, P_c, T_c, d_c, R_c, R_ч, R_н, \mathbf{Z}_c, \mathbf{M}_c\}, \quad (2)$$

$$\mathbf{v}_j^c \in V^C, j = 1, 2 \dots n_c$$

где N_c – идентификатор светофора в МПР; P_c – состояние светофора, соответствующего вершине ($P_c=0$ – закрыт, $P_c=1$ – открыт как маневровый сигнал, $P_c=2$ – открыт как поездной сигнал, для вершин, соответствующих изолированным стыкам, $P_c = 0$); T_c – тип светофора, определяющий его приоритет ($T_c=0$ – изолированный стык, $T_c=1$ – маневровый светофор, $T_c=2$ – поездной светофор); d_c – направление действия светофора ($d_c=0$ – четное, $d_c=0$ – нечетное, $d_c=-1$ – для изолированных стыков); R_c – номер ИС, при занятии которой в поездном маршруте и освобождении в маневровом перекрывается данный светофор; $R_ч, R_н$ – номера путевых ИС, расположенных между данным светофором и следующей вершиной, соответственно, в четном и нечетном направлениях; \mathbf{Z}_c – список, аналогичный списку \mathbf{Z}_s (1); \mathbf{M}_c – список номеров ИС, входящих в состав установленного маршрута, началом которого является данный светофор; n_c – общее число светофоров и изолированных стыков на станции.

Контроль занятости путевых участков системы станционной автоматики выполняют с помощью рельсовых цепей, которые объединяются в путевые и стрелочные изолированные секции. В этой связи оргграф G дополняется списком \mathbf{R} , каждый элемент которого соответствует определенной путевой или стрелочной изолированной секции и представляется в виде структуры:

$$\mathbf{R}_k = \{N_r, T_r, P_r, \mathbf{B}\}, k = 1, 2 \dots, n_r \quad (3)$$

где N_r – идентификатор ИС; T_r – тип ИС ($T_r=0$ – соответствует стрелочной ИС, $T_r=1$ – путевой, $T_r=2$ – блок-участку); P_r – текущее состояние ИС ($P_r = 0$ – свободна, $P_r=1$ – замкнута в маршруте, $P_r = 2$ – занята подвижным составом); \mathbf{B} – список номеров путевых участков МПР, входящих в состав данной ИС; k – общее количество ИС на станции.

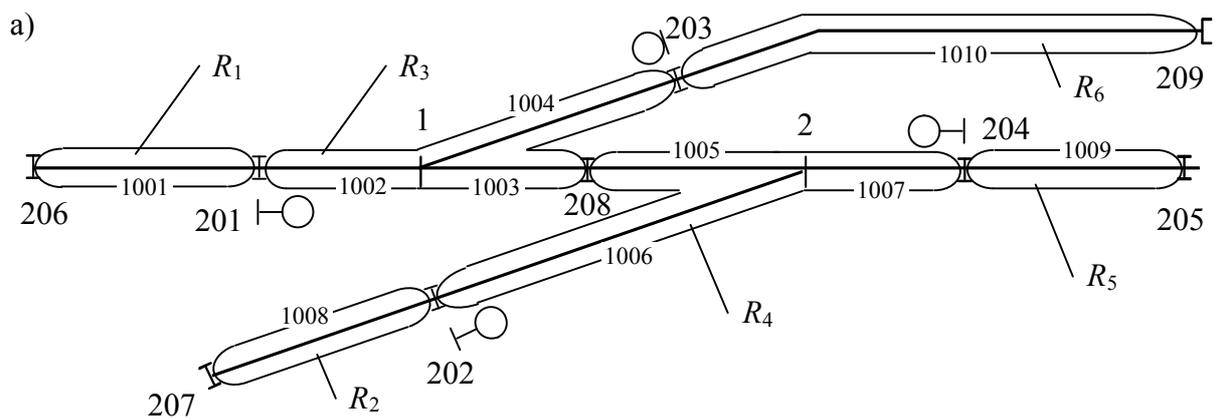
На каждом шаге системного времени T_c МСУП осуществляет контроль текущего состояния всех изолированных секций. При этом для каждой ИС проверяется занятость подвижным составом путевых участков, номера которых содержатся в списке \mathbf{B} (3). Изолированная секция считается физически свободной, если все путевые участки, входящие в ее состав, не заняты подвижным составом. При изменении состояния секции (замыкание, занятие или освобождение) в информационную модель передается соответствующая команда, в которой указывается номер секции N_r и ее состояние P_r .

Для примера на рис. 1 приведен фрагмент схемы станции с указанием элементов МСУП и файл данных, представляющий данную схему в ЭВМ. Разработанная структура МСУП является универсальной и может быть использована при формализации различных систем станционной автоматики (ЭЦ, МРЦ, БМРЦ).

Управление стрелочными переводами в модели

МСУП в зависимости от характера решаемой задачи и особенностей системы станционной автоматики, предусматривает два режима перевода стрелок:

1) индивидуальный перевод – предусматривается при моделировании работы станций, оборудованных системой электрической централизации стрелок и сигналов (ЭЦ). В этом случае перевод стрелки при моделировании инициирует ЧД путем воздействия манипулятора «мышь» на соответствующий моторный элемент информационного поля ФМС.



б)

Стрелочные переводы ν^S

N_s	Инцидентные вершины				Параметры				
					R_s	Z_s			
	$u_{ч1}$	$u_{ч2}$	$u_{н1}$	$u_{н2}$		$Z_{ч1}$	$Z_{ч2}$	$Z_{н1}$	$Z_{н2}$
1	208	203	201	0	3	-1	-1	-1	-1
2	204	0	208	202	4	-1	-1	-1	-1

Сигналы и изолированные стыки ν^C

N_c	Инцидентные вершины		Параметры						
	$u_{ч1}$	$u_{н1}$	T_c	d_c	R_c	$R_ч$	$R_н$	Z_c	
								$z_{ч1}$	$z_{н1}$
201	1	206	2	0	3	0	1	-1	-1
202	2	207	2	0	4	0	2	1	-1
203	209	1	1	1	3	6	0	-1	1
204	205	2	2	1	4	5	0	-1	-1
205	0	204	0	-1	0	0	5	-1	-1
206	201	0	0	-1	0	1	0	-1	-1
207	202	0	0	-1	0	2	0	-1	-1
208	2	1	0	-1	0	0	0	0	0
209	0	203	0	-1	0	0	6	-1	-1

Изолированные секции R_k

N_r	T_r	B				
		b_1	b_2	b_3	...	b_n
1	2	1001	-	-	-	-
2	2	1008	-	-	-	-
3	0	1002	1003	1004	-	-
4	0	1005	1006	1007	-	-
5	1	1009	-	-	-	-
6	1	1010	-	-	-	-

Рис. 1. Представление элементов системы управления перемещением подвижного состава в ЭВМ:
а) схема путевого развития; б) файл данных в ЭВМ

2) автоматический перевод при установке маршрута – предусматривается при моделировании работы станций, оборудованных системами маршрутно-релейной (МРЦ) или блочной маршрутно-релейной централизации (БМРЦ). Перевод стрелки инициируется в МСУП при задании маршрута движения после проверки возможности его установки.

После получения команды на перевод стрелки (от ЧД или МСУП) ФМС осуществляет обращение к МСУП, которая выполняет проверку возможности ее перевода. При этом проверяется свобода ИС R_s (1), в которую входит данный СП. Положение стрелки P_s изменится лишь в том случае, если стрелочная секция R_k (3) с идентификатором $N_r = R_s$ свободна, т.е.

$P_r=0$, $P_r \in R_k$. При этом из МСУП передается соответствующая команда в МПР, которая имитирует перевод стрелки и передает в МСУП подтверждение о его завершении. После этого СП в устанавливается в новое положение P'_s .

Если стрелочная секция замкнута в маршруте ($P_r=1$) или занята подвижным составом ($P_r=2$), команда на перевод стрелки в МПР не передается и положение стрелки в МСУП не изменяется. Кроме того, возможны случаи, когда перевод стрелки невозможен вследствие ее неисправности. При имитации таких ситуаций, например, в тренажерах диспетчерского персонала, после передачи команды в МПР на перевод стрелки подтверждение о его успешном завершении в МСУП не передается и положение стрелки не изменяется.

Управление светофорами и контроль маршрутов движения в модели

Управление движением объектов (поездов, маневровых составов, локомотивов) в пределах станции и на подходах к ней осуществляется с помощью поездных и маневровых светофоров. Движение объектов осуществляется по маршрутам, установленным дежурным по станции (ДСП). В разработанной модели управление движением транспортных единиц выполняет ЧД, который в процессе моделирования с помощью моторных элементов ИМ готовит маршруты и управляет светофорами станции. В МСУП маршрут движения представляет собой ориентированный путь на графе D , начальной v_n и конечной v_k вершинами которого являются вершины подмножества V^c (светофоры), т.е.:

$$v_n = v_b^c, v_k = v_e^c, b \neq e$$

Отдельный маршрут в МСУП представляется структурой:

$$\mathbf{M} = \{v_n, v_k, \mathbf{S}, \mathbf{Q}\}, \quad (4)$$

где \mathbf{S} – список, каждый элемент которого включает идентификатор СП N_s , входящего в маршрут, и его положение P_s (1) в маршруте; \mathbf{Q} – список путевых и стрелочных секций, занятых в маршруте, т.е.:

$$\mathbf{Q} = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_m\}, \quad (5)$$

где m – количество ИС в маршруте.

В существующих системах станционной автоматики исключена возможность одновременной установки нескольких маршрутов, вследствие наличия только одной наборной группы

реле, которая освобождается лишь после полного замыкания маршрута или отмены его набора. Для имитации функционирования наборной группы реле в МСУП структура \mathbf{M} является динамической и обнуляется после установки и замыкания очередного маршрута: $v_n \leftarrow 0$, $v_k \leftarrow 0$, $\mathbf{S} \leftarrow 0$, $\mathbf{Q} \leftarrow 0$. Формирование структуры \mathbf{M} осуществляется каждый раз при установке нового маршрута движения.

При ручном режиме задания маршрутов (система ЭЦ) все стрелки, входящие в маршрут, предварительно должны быть установлены в нужное положение. Команда на установку маршрута передается в МСУП после имитации нажатия кнопки светофора, соответствующего вершине v_b^c , в информационной модели ФМС. При маршрутном управлении (система МРЦ) команда на установку маршрута поступает в МСУП после имитации нажатия кнопок начального и конечного светофоров маршрута (вершины v_b^c и v_e^c орграфа D) в ИМ. Стрелки при этом переводятся в нужное положение непосредственно при установке маршрута.

После получения команды на установку маршрута в МСУП выполняется проверка свободности наборной группы ($v_n = 0$). Если наборная группа занята ($v_n \neq 0$) процедура установки нового маршрута прекращается. В противном случае осуществляется обход орграфа D в направлении, соответствующем направлению начального светофора $d_c \in v_n$ (2). В процессе набора контролируется текущее состояние стрелочных и путевых ИС, входящих в маршрут, а также положение СП по маршруту.

При установке поездных маршрутов ($T_c=2$, $T_c \in v_n$) все ИС должны быть свободны от подвижного состава и не замкнуты в других маршрутах, т.е. $P_r=0$ для всех $q_i \in \mathbf{M}$. При установке маневровых маршрутов ($T_c=1$, $T_c \in v_n$) все ИС должны быть не замкнуты в других маршрутах, т.е. $P_r \neq 2$ для всех $q_i \in \mathbf{M}$. Проверка указанных условий осуществляется в процессе обхода орграфа D при переходе от одной вершины к другой:

- для вершин S -типа (стрелочных переводов) проверяется состояние стрелочной ИС с номером R_s (1);
- для вершин C -типа (светофоров и изолированных стыков) проверяется состояние ИС с номером R_c или R_n (2) в зависимости от направления обхода графа D .

Далее рассмотрен порядок формирования маршрута \mathbf{M} при ручном и маршрутном режимах управления.

Формирование в модели маршрутов движения при ручном режиме управления

В этом случае при задании маршрута движения вначале необходимо установить все стрелки, входящие в маршрут, в нужное положение. С этой целью в информационной модели ФМС предусматриваются специальные моторные элементы управления, позволяющие имитировать индивидуальный перевод стрелок. После этого ЧД „нажимает” в ИМ кнопку начального светофора, соответствующего вершине v_b^c графа D , тем самым иницируя передачу в МСУП команды на установку маршрута.

В случае свободности наборной группы выполняется имитация ее занятия: $v_n \leftarrow v_b^c$, $v_n \in \mathbf{M}$. Поиск и формирование установленного маршрута осуществляется в процессе обхода орграфа D , начиная с вершины $v_n \in V^c$, в направлении, соответствующем направлению d_c (2) начального светофора. Переход от вершины к вершине осуществляется в соответствии с их связями в орграфе и текущим положением СП.

В процессе обхода графа D выполняется проверка состояния стрелочных и путевых ИС, а также контролируется правильность установки пошерстных стрелочных переводов. Проверка положения стрелочных переводов выполняется в том случае, если вершина, инцидентная текущей v_i , является вершиной S -типа v_j^s и соответствует пошерстной стрелке, т.е:

– если $d_c=0$, $d_c \in v_n$ (четное направление маршрута), $u_{n2} \neq 0$, $u_{n2} \in v_j^s$;

– если $d_c=1$, $d_c \in v_n$ (нечетное направление маршрута), $u_{n2} \neq 0$, $u_{n2} \in v_j^s$.

При этом проверяется соответствие текущего положения пошерстного СП требуемому:

1) для вершин S -типа v_i^s (стрелочные переводы) пошерстный СП, соответствующий вершине v_j^s , инцидентной v_i^s , должен находиться в положении, которое задано одним из элементов списка Z_s (1). Элемент списка Z_s определяется в зависимости от направления устанавливаемого маршрута \mathbf{M} и текущего положения P_s стрелки, соответствующей вершине v_i^s ;

2) для вершин C -типа v_i^c (светофоры и изолированные стыки) пошерстный СП, соответствующий вершине v_j^s , инцидентной v_i^c , должен находиться в положении Z_{c1} при четном направлении устанавливаемого маршрута \mathbf{M} или в положение Z_{c2} при его нечетном направлении (2).

Если указанные условия проверки не выполняются, процедура обхода графа D прекращается. При этом осуществляется освобождение наборной группы: $v_n \leftarrow 0$.

На каждом шаге обхода орграфа выполняет-

ся формирование маршрута \mathbf{M} (4):

1) если v_i является вершиной S -типа, к списку ИС $\mathbf{Q} \in \mathbf{M}$ (5) дописывается номер стрелочной секции $R_s(1)$: $m \leftarrow m+1$ $\mathbf{Q}[m] \leftarrow R_s$;

2) если v_i является вершиной C -типа, к списку ИС $\mathbf{Q} \in \mathbf{M}$ дописывается номер ИС R_c или R_n (3) в зависимости от направления обхода графа D : $m \leftarrow m+1$ $\mathbf{Q}[m] \leftarrow R_c$, (четный маршрут), $\mathbf{Q}[m] \leftarrow R_n$, (нечетный).

Поиск маршрута (обход графа D) прекращается в следующих случаях:

1) очередной вершине v_j соответствует светофор, а приоритет этой вершины не ниже приоритета начальной вершины v_n ; приоритет определяется типом светофора T_c (2):

$$(v_j \in V^c) \wedge (T_c(v_j) \geq T_c(v_n));$$

2) очередной вершине v_j соответствует изолированный стык, который не имеет исходящей дуги в направлении установки маршрута;

3) очередная ИС Q_i поездного маршрута \mathbf{M} занята или замкнута в другом маршруте:

$$(T_c(v_n)=2) \wedge (P_s(Q_i) \neq 0);$$

4) очередная ИС Q_i маневрового маршрута \mathbf{M} замкнута в другом маршруте:

$$(T_c(v_n)=1) \wedge (P_s(Q_i)=2);$$

5) очередная вершина v_j соответствует пошерстному СП, положение которого не обеспечивает связь с текущей вершиной v_i (стрелочный перевод установлен «на взрез»).

В первых двух случаях начальный светофор маршрута открывается, а на мнемосхеме ИМ подсвечивается соответствующий маршрут движения. В остальных случаях фиксируется ошибка, светофор не открывается и выполняется обнуление набранного маршрута \mathbf{M} .

При установке маршрута выполняется корректировка параметров начального светофора и изолированных секций, в т.ч.:

1) в качестве конечной вершины маршрута \mathbf{M} устанавливается вершина C -типа $v_e^c \in V^c$, при достижении которой был закончен обход орграфа D : $v_k \leftarrow v_e^c$;

2) номера ИС, входящих в установленный маршрут, записываются в список \mathbf{M}_c (2) для вершины, соответствующей начальному светофору маршрута: $\mathbf{M}_c \leftarrow \mathbf{Q}$, $\mathbf{M}_c \in v_n$, $\mathbf{Q} \in \mathbf{M}$. Данный список \mathbf{M}_c используется для размыкания ИС при необходимости отмены маршрута;

3) состояние начального светофора маршрута изменяется на разрешающее:

$$T_c(v_n)=1 \Rightarrow P_c=1, P_c \in v_n - \text{установлен маневровый маршрут};$$

$$T_c(v_n)=2 \Rightarrow P_c=2, P_c \in v_n - \text{установлен поезд-}$$

ной маршрут;

4) ИС маршрута **M** замыкаются:

$$(R_k=Q_l, k=1, \dots, n_r, l=1, \dots, m) \wedge (P_r(R_k) \neq 1) \Rightarrow P_r(R_k)=2.$$

После замыкания маршрута структура **M** обнуляется: $v_n \leftarrow 0, v_k \leftarrow 0, S \leftarrow 0, Q \leftarrow 0$.

Формирование маршрутов движения при маршрутном режиме управления

При маршрутном режиме управления (система МРЦ) приготовление маршрутов движения упрощается. Для установки маршрута необходимо указать точки его начала и конца; при этом все стрелки маршрута автоматически устанавливаются в нужное положение. В процессе моделирования ЧД с помощью предусмотренных в ИМ моторных элементов имитирует нажатие кнопок начального (вершина v_b^c), а затем конечного (вершина v_e^c) светофоров маршрута. После этого из ИМ в МСУП передается команда на установку маршрута.

В МСУП выполняется начальная проверка правильности действий ЧД при задании маршрута по следующим условиям:

1) $T(v_b^c)=T(v_e^c)$ – тип начального и конечного светофоров должен совпадать;

2) $d(v_b^c) \neq d(v_e^c)$ – направления начального и конечного светофоров совпадать не должны;

3) наборная группа должна быть свободна.

При не соблюдении этих условий, процедура установки маршрута прекращается и фиксируется ошибка. В противном случае имитируется занятие наборной группы реле: $v_n \leftarrow v_b^c, v_k \leftarrow v_e^c, v_n \in \mathbf{M}, v_k \in \mathbf{M}$, после чего выполняется процедура формирования маршрута, которая осуществляется в три этапа.

На первом этапе выполняется обход графа D в направлении начального светофора маршрута $d_c \in v_n$. При этом определяется возможность построения на графе пути от вершины v_n к вершине v_k . С этой целью для вершины v_n строится дерево маршрутов, где каждому узлу соответствует определенная вершина графа D . Переход от вершины к вершине осуществляется в соответствии с их связями.

Процедура поиска пути на графе D является рекуррентной; при этом для всех узлов дерева маршрутов проверяется возможность построения пути от текущей вершины к вершине v_k . Для вершин, соответствующих противошерстному СП, проверяется возможность достижения вершины v_k в случае их установки как по прямому, так и по боковому пути. Для примера, на рис. 2 приведены фрагмент схемы станции (а) и соответствующее ей дерево маршрутов (б), которое строит МСУП при формировании мар-

шрута из Б на путь №5 ($v_n=202, v_k=207$).

Процедура поиска пути от текущего узла v_j к конечной вершине маршрута v_k прекращается в следующих случаях:

1) если очередной узел дерева v_{j+1} соответствует вершине S -типа, приоритет которой $T_c(v_{j+1})$ не ниже приоритета начальной вершины (светофора) $T_c(v_n)$, а направление $d_c(v_{j+1})$ светофора, соответствующего узлу v_{j+1} , не совпадает с направлением начального светофора маршрута $d_c(v_n)$, т.е.:

$$[v_{j+1} \in S] \wedge [T_c(v_{j+1}) \geq T_c(v_n)] \wedge [d_c(v_{j+1}) \neq d_c(v_n)];$$

2) если очередной узел дерева v_{j+1} соответствует вершине v_k .

В первом случае осуществляется возврат к предыдущему узлу дерева маршрутов, который соответствует противошерстному СП, и процедура поиска пути от этого узла к вершине v_k выполняется по другой ветви орграфа (по боковому пути СП). Во втором случае фиксируется факт существования пути $v_n \rightarrow v_k$ и обход орграфа в прямом направлении прекращается. Порядок движения по орграфу D при поиске пути 202 \rightarrow 207 приведен на рис. 2, в.

На втором этапе выполняется движение по графу D в обратном направлении от вершины v_k к вершине v_n . Переход осуществляется по тем вершинам, для которых была подтверждена возможность построения пути от данной вершины к вершине v_k . Порядок движения по орграфу D в обратном направлении при формировании маршрута 202 \rightarrow 207 также приведен на рис. 2, в.

В процессе обратного движения по графу выполняется формирование списков **S** и **Q** для устанавливаемого маршрута **M** (5). В список **S** записываются номера N_s всех вершин S -типа (стрелок), по которым осуществляется переход при движении по графу в обратном направлении. Для вершин, соответствующих противошерстному СП, в качестве параметра P_s записывается то положение, которое обеспечивает построение пути от данной вершины к вершине v_k . Для вершин, соответствующих пошерстному СП, значение параметра P_s определяется из условия исключения установки стрелочного перевода «на взрез». Так, для схемы, представленной на рис. 2, список **S**, полученный при формировании маршрута 202 \rightarrow 207, выглядит следующим образом: $\mathbf{S} = \{ \{N_s, P_s\} \} = \{ \{6, 1\}; \{5, 0\}; \{4, 1\}; \{2, 1\}; \{1, 1\} \}$. В список **Q** записываются номера ИС, входящих в маршрут. При этом выполняется проверка состояния этих ИС. Если условия проверки не выполняются, установка маршрута прерывается, а набранный маршрут **M** обнуляется.

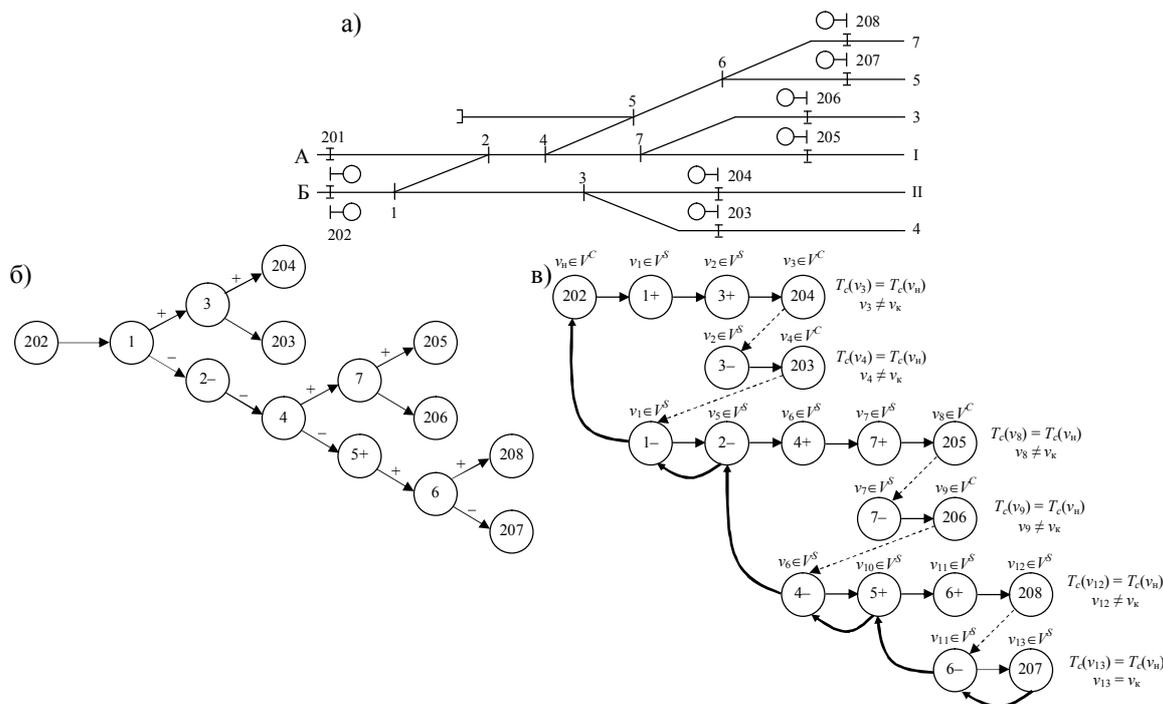


Рис. 2. Порядок построения маршрута в МСУП: а) схема путевого развития; б) дерево маршрутов для вершины $v_n = 202$; в) порядок обхода орграфа D при формировании маршрута

На третьем этапе для стрелок с номерами, указанными в списке $S \in M$, осуществляется проверка соответствия их текущего положения требуемому, которое определяется значениями соответствующих параметров P_s списка S . При необходимости осуществляется установка этих СП в нужное положение. После того, как все стрелки маршрута установлены в необходимое положение, начальный светофор открывается и происходит замыкание установленного маршрута. Корректировка параметров светофора и изолированных секций маршрута при этом выполняется так же, как и при ручном режиме.

Светофор перекрывается после занятия (поездной светофор) или освобождения (маневровый светофор) изолированной секции R_c (2). Размыкание изолированных секций маршрута происходит последовательно по мере их освобождения подвижным составом.

МСУП реализована в виде программного модуля Builder C++ с использованием объектно-ориентированного подхода. Разработанная методика построения такой модели является универсальной и позволяет адекватно моделировать работу систем станционной автоматики для любых станций. Полученные таким образом модели могут быть использованы при имитационном моделировании железнодорожных станций для оценки вариантов технико-технологических решений, а также в компьютерных тренажерах для подготовки диспетчерского персонала железных дорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грунтов, П. С. Прогнозирование работы сортировочных станций методом моделирования на ЭВМ [Текст] / П. С. Грунтов, В. А. Захаров – Гомель, 1981. – 152 с.
2. Нагорный, Е. В. Моделирование функционирования комплекса «Сортировочная станция – прилегающие участки» с помощью сетей Петри [Текст] / Е. В. Нагорный, Е. С. Алешинский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – № 2. – С. 98-103.
3. Бобровский В. И. Эргатические модели железнодорожных станций [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // 36. наук. праць КУЕТТ: Серія «Транспортні системи і технології», – 2004. – Вип. 5. – К.: КУЕТТ, 2004. – С. 80-86.
4. Бобровский В. И. Технично-економическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 6. – С. 17-21.
5. Бобровский В. И. Базова модель колійного розвитку в імітаційних моделях залізничних станцій [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // 36. наук. праць УкрДАЗТ: Серія «Удосконалення вантажної і комерційної роботи на залізницях України». – 2004. – Вип. 62. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – С. 20-25.

Поступила в редколлегию 18.11.2011.
Принята к печати 19.11.2011