

## МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПЕРЕСУВАННЯМ РУХОМОГО СКЛАДУ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

Наведено структуру моделі системи управління пересуванням рухомого складу для імітаційного моделювання процесу розформування-формування вантажних поїздів на сортувальних гірках. Модель побудована на основі зважених орієнтованих графів. Модель може використовуватись у програмних комплексах для оцінки плану та профілю сортувальних гірок, а також у комп'ютерних тренажерах чергових по гірці.

Приведена структура моделі системи управління передвиженням подвижного состава для імітаційного моделювання процесу расформирования-формирования грузовых поездов на сортировочных горках. Модель построена на основании взвешенных ориентированных графов. Модель может использоваться в программных комплексах для оценки плана и профиля сортировочных горок, а также в компьютерных тренажерах дежурных по горке.

The structure of control system model of rolling stock movement for simulation of a process of braking-up and making-up of freight trains on hump yards is presented. The model is made on the basis of weighted directed graphs. The model can be used in computer simulators for switching foremen as well as in software complexes for estimation of plan and profile of hump yards.

Значні витрати енергоресурсів в господарстві перевезень припадають на сортувальні станції, що виконують операції з масового розформування-формування составів вантажних поїздів, і зокрема на сортувальні гірки. Удосконалення управління розпуском составів повинно забезпечити вирішення задач зменшення кількості випадків пошкодження вагонів, підвищення продуктивності гірок, зменшення обсягів маневрової роботи по ліквідації наслідків нерозділення відчепів на стрілках та «вікон» на сортувальних коліях, скорочення енергетичних витрат на роботу уповільнювачів, покращення умов праці робітників гірки та ін. Вирішення вказаних задач може бути досягнуто за рахунок удосконалення конструкції, технічного забезпечення і систем управління сортувальних гірок. Ефективним засобом для техніко-експлуатаційного аналізу та оцінки ефективності різноманітних заходів, спрямованих на удосконалення сортувального процесу, є імітаційне моделювання роботи гірки. В сучасних умовах оцінка конструкції сортувальних гірок виконується на підставі моделювання скочування окремих відчепів. В той же час ще в [1] обґрунтовано необхідність переходу від моделювання скочування розрахункових відчепів до моделювання розпуску составів. Подібні моделі запропоновані в [2 – 7]. Але наведені моделі використовувались лише для виконання окремих наукових досліджень і не знайшли широкого впровадження у практичну роботу залізниць та про-

ектних установ. Однією з причин цього є недостатня увага до декомпозиції системи. В результаті програмні реалізації наведених моделей є досить складними і вимагають значних витрат часу при синтезі моделей конкретних сортувальних гірок. Для подолання цієї проблеми у [8] запропоновано модульну організацію моделі для імітаційного моделювання станційних процесів, що базується на об'єктно-орієнтованому аналізі станції як системи [9]. Така організація дозволяє, по-перше, спростити параметричний синтез моделей станцій за рахунок розробки та використання спеціалізованих програмних засобів для автоматизованого вводу та контролю вхідної інформації, по-друге, детально досліджувати роботу технічних засобів чи окремі станційні процеси за рахунок внесення змін у окремі базові модулі комплексу. У даній статті викладено основні принципи побудови однієї з базових моделей зазначеного комплексу – моделі системи управління пересуванням рухомого складу (УПРС) на сортувальних гірках.

Модель системи управління пересуванням рухомого складу призначена для імітації базових функцій систем гіркової автоматики. Модель контролює стан ізольованих ділянок стрілочних переводів та гальмівних уповільнювачів, імітує переведення стрілок, переключення сигналів, загальмовування і розгальмовування уповільнювачів по маршрутах руху об'єктів (составів, що насуваються, маневрових локомо-

тивів, відчепів, що скочуються). Під час роботи УПРС взаємодіє з моделлю колійного розвитку (МКР), моделлю технологічного процесу та інформаційною моделлю сортувальної гірки [10]. В основу моделі УПРС покладено модель управління пересуванням рухомого складу на станціях, що обладнані електричною чи маршрутно-релейною централізацією [11], яка була удосконалена для можливості імітації гіркових процесів. При цьому функції та структура даних базової моделі зберігаються для можливості імітації роботи сортувального комплексу в цілому. Необхідно відмітити, що базова модель УПРС імітує лише загальні функції систем гіркової автоматичної централізації та регулювання швидкості відчепів у відповідності з задачами дослідження. При необхідності модель може бути модифікована для імітації конкретних систем за умови збереження інтерфейсних функцій, які забезпечують її взаємодію з іншими складовими моделі сортувальної гірки.

Модель УПРС побудовано на основі зваженого орієнтованого графу  $G(V, E)$ . Множина

вершин  $V$  графа  $G$  ділиться на чотири підмножини: стрілочні переводи  $V^S$ , сигнали  $V^C$ , гальмові уповільнювачі  $V^R$ , та ізольовані секції колій  $V^W$ . Для розподілу множини вершин графа  $G$  на підмножини кожній з них виділені непересічні групи номерів:  $N^S = \{1, 2, \dots, 199\}$ ,  $N^C = \{201, 202, \dots, 399\}$ ,  $V^R = \{401, 402, \dots, 599\}$ ,  $V^W = \{601, 602, \dots, 799\}$ .

Дугам графа  $e \in E$  відповідають ділянки маршрутів скочування відчепів між вершинами. Прийнято, що всі дуги орієнтовані зліва направо. Орієнтований граф  $G$  у пам'яті ЕОМ представляється списками інцидентності вершин. Для прикладу на рис. 1, а наведено геометричну модель колійного розвитку гірки, а на рис. 1, б оргграф  $G$  моделі УПРС, що їй відповідає. Для реалізації заданих функцій граф схеми  $G$  доповнюється списками технічних параметрів, що характеризують елементи сортувальної гірки та їх функціональний взаємозв'язок у системі гіркової автоматики.

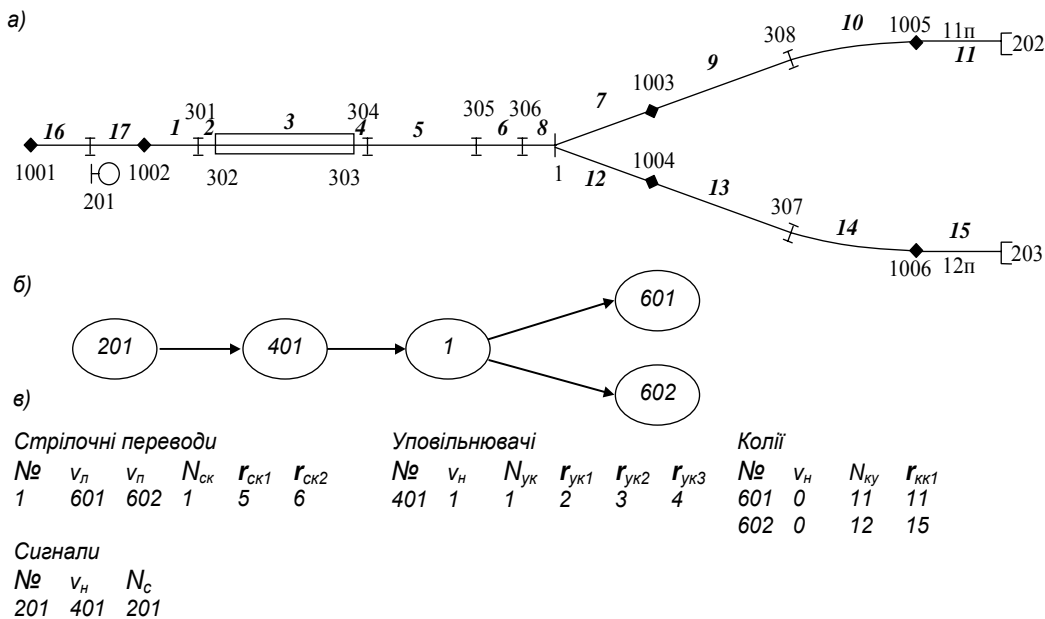


Рис. 1. Представлення сортувальної гірки в моделі: а – геометрична модель колійного розвитку; б – граф моделі системи управління пересуванням рухомого складу на сортувальних гірках; в – представлення системи управління пересуванням рухомого складу на сортувальних гірках у вигляді структур даних

Таким чином, кожній вершині  $v_i$  підмножини  $V^S$  поставлено у відповідність вектор параметрів:

$$\mathbf{v}_j^s = \{v_l, v_p, N_{ск}, \mathbf{r}_{ск}, \mathbf{w}_l, \mathbf{w}_p, s_{cy}, m_{cy}, N_{об}\}, \mathbf{v}_j^s \in \mathbf{S}, j = 1, 2 \dots n_s,$$

де  $v_l, v_p$  – номери вершин, що пов'язані з даною вершиною, відповідно, в напрямку лівої та правої колії хрестовини стрілочного перевodu;

$N_{ск}$  – ідентифікатор стрілочного перевodu в геометричній моделі колійного розвитку (ГМКР) [10];

$\mathbf{r}_{ск}$  – список колійних ділянок в ГМКР, що відповідають ізольованій ділянці стрілочного перевodu;

$\mathbf{w}_l, \mathbf{w}_p$  – списки номерів сортувальних колій, маршрути слідування на які відповідають лівому та правому положенню стрілочного перевodu;

$s_{cy}$  – положення стрілки ( $s_{cy} = 0$  – вліво,  $s_{cy} = 1$  – вправо);

$m_{cy}$  – режим управління стрілкою ( $m_{cy} = 0$  – ручний,  $m_{cy} = 1$  – автоматичний);

$N_{об}$  – ідентифікатор об'єкта, що займає ізольовану ділянку, для незайнятих ділянок  $N_{об} = 0$ .

Останні три параметри є динамічними і змінюються під час моделювання. Заповнення списків  $w_l$ ,  $w_n$  виконується автоматично на підставі аналізу графа  $G$ .

Гірочні сигнали описуються наступними структурами:

$$\mathbf{v}_i^c = \{v_n, N_c, s_c\}, \quad \mathbf{v}_i^c \in \mathbf{C}, \\ i = 1, 2, \dots, n_c;$$

де  $v_n$  – номер вершини, інцидентної даній;

$N_c$  – ідентифікатор сигналу в ГМКР;

$s_c$  – поточний стан сигналу.

Для вершин, що відповідають гальмівним уповільнювачам  $v_i \in V^R$  повинні бути задані наступні параметри:

$$\mathbf{v}_i^r = \{v_n, N_{ук}, \mathbf{r}_{ук}, s_{yy}\}, \quad \mathbf{v}_i^r \in V^R, \\ i = 1, 2, \dots, n_r,$$

де  $N_{ук}$  – ідентифікатор уповільнювача в ГМКР;

$\mathbf{r}_{ук}$  – список колійних ділянок в ГМКР, що відповідають ізольованій ділянці уповільнювача;

$s_{yy}$  – стан уповільнювача ( $s_{yy} = 0$  – розгальмований;  $s_{yy} = 1$  – загальмований).

Колійні ділянки описуються наступними структурами:

$$\mathbf{v}_i^w = \{v_n, N_{ку}, \mathbf{r}_{кк}\}, \quad \mathbf{v}_i^w \in V^W, \\ i = 1, 2, \dots, n_w,$$

де  $N_{ку}$  – номер колії у відповідності з прийнятою на станції нумерацією;

$\mathbf{r}_{кк}$  – список колійних ділянок в ГМКР, що відповідають даній ізольованій ділянці.

Представлення моделі УПРС у вигляді структур даних наведено на рис. 1, в.

Додатково до складу УПРС входить модель маршрутного накопичувача та модуль управління уповільнювачами.

Маршрутний накопичувач представляється списком  $\mathbf{M}$ , в якому кожному відчепу ставиться у відповідність номер колії його призначення:

$$m_j = \{N_{об}, N_{ку}\}.$$

Заповнення маршрутного накопичувача виконується перед розформуванням кожного состава.

Вибір режимів гальмування відчепів в УПРС забезпечує модуль управління уповіль-

нювачами. В базовій моделі УПРС реалізовано три способи моделювання роботи уповільнювачів: ручне гальмування, автоматичне рівномірне гальмування у всій зоні дії уповільнювачів та автоматичне гальмування повною потужністю уповільнювача в зоні, що регулюється [12]. При цьому в двох останніх випадках режими гальмування визначаються до початку скочування. Кожному уповільнювачу у відповідність ставиться список завдань, елементи якого представляються структурами:

- при рівномірному гальмуванні

$$r_{ур} = \{k, N_{об}, w_r\};$$

- при гальмуванні змінною зоною

$$r_{зр} = \{k, N_{об}, l_{пр}, l_3, q_y\},$$

де  $k$  – спосіб моделювання роботи уповільнювача;

$w_r$  – питомий гальмівний опір;

$l_{пр}$  – координата точки початку зони гальмування;

$l_3$  – довжина зони гальмування;

$q_y$  – ступінь гальмування.

Синхронізація УПРС з іншими моделями комплексу виконується за командами системного таймера. На кожному кроці системного часу УПРС виконує контроль поточного стану ізольованих секцій стрілочних переводів, уповільнювачів та колій.

Для ізольованої ділянки кожного стрілочного переводу з МКР визначається ідентифікатор об'єкта, що її займає  $N'_{об}$ . При цьому виконується порівняння  $N'_{об}$  з ідентифікатором об'єкта, що займав стрілочний перевод на попередньому кроці  $N_{об}$ . У випадку зміни стану ізольованої ділянки ( $N_{об} \neq N'_{об}$ ) виконуються наступні дії:

- при  $N_{об} > 0$  та  $N'_{об} = 0$  (звільнення ділянки)

згідно з даними маршрутного накопичувача  $\mathbf{M}$  визначається напрям скочування наступного відчепу по даному стрілочному переводу і, при необхідності, подається команда в МКР на зміну положення стрілки;

- при  $N_{об} > 0$  та  $N'_{об} > 0$  фіксується нерозділення відчепів; стрілочний перевод залишається у попередньому стані, а колія призначення відчепу  $N'_{об}$  змінюється у відповідності з прийнятим алгоритмом (за замовчуванням направляється на колію попереднього відчепу), режим гальмування відчепу  $N'_{об}$  визначається з умови його розділення з попереднім відчепом з мінімальним інтервалом.

Для гальмівних уповільнювачів, ізольовані ділянки яких зайняті рухомим складом, на кожному кроці системного часу в модуль управ-

ліній уповільнювачами подається сигнал. Задане чи розраховане значення  $w_r$  передається в МКР. В базовій моделі УПРС прийнято, що перехід уповільнювача зі стану «розгальмований» до стану «загальмований» та назад відбувається миттєво. У випадку нерозділення відчепів на гальмівному уповільнювачі режим гальмування встановлюється за першим відчепом.

Інформація про стан ізольованих ділянок сортувальних колій у базовій моделі не використовується. У більш складних моделях ця інформація може використовуватись для імітації системи контролю зайняття колій.

Розроблена імітаційна модель системи управління пересуванням рухомого складу є універсальною. В запропонованому вигляді модель може використовуватись в тренажерах чергового по гірці та в програмних комплексах для оцінки конструктивних параметрів плану та профілю гірок.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Шафит, Е. М. Расчет времени расформирования составов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / Е. М. Шафит // Вопросы эксплуатации железных дорог: Тр. ДИИТа. – Вып. 61. – М.: Транспорт, 1966. – С. 31-50.
2. Кирлан, А. И. Цифровая модель горки для исследования алгоритмов управления горочными процессами [Текст] / А. И. Кирлан // Автоматизация управления и совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: сб. науч. тр. – Вып. 13. – Свердловск: УО ЦНИИ МПС, 1969. – С. 112-114.
3. Kozak, T. Modelowy system rozrzadowy PKP i jego powiazanie z systemem kierowania praca stacji [Текст] / T. Kozak // Automat. kolej. – 1980. – 3, № 11-12. – S. 296-299.
4. Seget, M. Model symulacyjny procesu rozrzadzania wagonów na górcie rozrzadowej [Текст] / M. Seget, K. Sztandera // Pr. Inst. transp. PWarsz. – 1988. – 28. – S. 5-12.
5. Муха, Ю. А. Цифровая модель процесса роспуска составов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский, С. А. Попов // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Тр. ДИИТа. – Вып. 181/10. – Д., 1976. – С. 23-40.
6. Разработка адаптивной автоматической системы управления работой сортировочной горки [Текст] / Е. Н. Лебединская и др. // Вестник ВНИИЖТа. – 1999. – № 3. – С. 32-34.
7. Бобровский, В. И. Эргатические модели сортировочных горок [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2001. – № 5. – С. 7-11.
8. Бобровский, В. И. Эргатические модели железнодорожных станций [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // 36. наук. пр. КУЕТТ: Сер. «Транспортні системи і технології». – Вип. 5. – К.: КУЕТТ, 2004. – С. 80-86.
9. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++ [Текст] / Г. Буч [пер. с англ.]. – 2-е изд. – М.: Изд-во Бином; СПб.: Невский диалект, 2000. – 560 с.
10. Козаченко, Д. М. Модель колійного розвитку для імітаційного моделювання гіркових процесів [Текст] / Д. М. Козаченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 29. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 53-57.
11. Вернигора, Р. В. Підвищення ефективності функціонування залізничних станцій як ергатичних систем [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / ДНУЗТ. – Д., 2008. – 21 с.
12. Рогов, Н. В. Имитационная модель скатывания отцепов с регулируемой зоной торможения [Текст] / Н. В. Рогов, Н. П. Божко // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы LXV Межд. науч.-практ. конф. – Д.: ДИИТ, 2005. – С. 109-110.

Надійшла до редколегії 07.12.2009.

Прийнята до друку 10.12.2009.