

# Програмний комплекс для імітаційного моделювання роботи залізничних станцій на основі добового плану-графіка

**Ключові слова:** залізничний транспорт, експлуатаційна робота, залізнична станція, моделювання роботи, графічна модель, імітаційне моделювання.

В умовах ринкової економіки та конкуренції з іншими видами транспорту одним з основних факторів забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізниць є мінімізація тривалості знаходження вагонів на станціях. З цією метою залізничні станції повинні мати достатній резерв пропускної і перероблювальної спроможності для погашення пікових навантажень. З іншого боку, необхідно мінімізувати власні витрати станцій, скорочуючи надлишковий технічний потенціал. Для рішення вказаної задачі необхідна достовірна кількісна оцінка запланованих на станціях змін колійного розвитку, технічного оснащення та технології роботи.

Традиційно для аналізу технічного оснащення, технології роботи залізничних станцій та умов їх взаємодії з під'їзними коліями використовується графічна модель у вигляді добового плану-графіка [1, 2]. Така модель найбільш повно відповідає зазвичай суперечливим вимогам, що висуваються при вирішенні науково-практичних задач, пов'язаних з дослідженням та удосконаленням роботи залізничних станцій. Добовий графік має значну інформаційну ємність і забезпечує високу швидкість пошуку та доступу до необхідної інформації. Окрім того, процес взаємодії керівного та інженерного персоналу станції з геометричною моделлю її технологічного процесу (ТП) є одним з найважливіших факторів, що впливає на характер прийнятих рішень. Тому, незважаючи на відносну простоту геометричної моделі, вона широко використовується практично з самого початку функціонування залізниць і по теперішній час. У той же час, графічна модель має певні недоліки, серед яких найбільш суттєвими є: неврахування випадкового характеру тривалості виконання технологічних операцій; спрощення побудови графіка, у результаті чого на ньому не відображається частина технологічних опе-

рацій та виконавців; низька швидкість побудови добових планів-графіків, що значно зменшує кількість коїруючих варіантів техніко-технологічних рішень, які можуть бути проаналізовані.

Ефективним засобом аналізу та оцінки показників функціонування станцій, їх техніко-технологічних і економічних параметрів є імітаційне моделювання станційних процесів [3–5]. Цей метод широко використовується в наукових дослідженнях і може забезпечити моделювання ТП станцій з будь-яким ступенем деталізації. В той же час, через складність підготовки вихідних даних і аналізу результатів імітаційне моделювання не знайшло широкого застосування в експлуатаційній роботі залізничних станцій та при їх проектуванні. Для усунення цих недоліків у ДНУЗТ розроблено модель, що поєднує переваги імітаційної та графічної моделей. При цьому використано технологію ергатичного моделювання залізничних станцій [5], що передбачає можливість безпосередньої участі особи, яка приймає рішення (ОПР), у процесі моделювання для виконання функцій диспетчера станції.

До складу розробленої імітаційної моделі входить модель технологічного процесу обслуговування об'єктів (МТП) та інформаційна модель (ІМ). Синхронізація МТП та ІМ виконується за командами системного таймера у відповідності з системним часом  $t_c$ . Взаємодія вказаних моделей наведена на рис. 1.

За основу МТП прийнято модель [5], в якій станція розглядається як багатофазна, багатоканальна, керована СМО. ТП обробки об'єктів  $O_j$  на станції являє собою комплекс технологічних операцій  $q_i$ , кожна з яких має бути виконана у певному порядку перед тим, як об'єкт залишить систему.

В якості об'єктів, що обслуговуються на станції, розглядаються поїзди, локомотиви, маневрові состави та состави, що накопичуються на сортувальних коліях. Кожен об'єкт представляється в моделі за допомогою структури:

$$O_j = \{I_j, a_j, P, s, U_j, Q_j, O_{oj}\}, j=1, 2, \dots, n_o \quad (1)$$

де  $I_j$  — ідентифікатор об'єкта;  $a_j$  — тип об'єкта;  $P$  — множина параметрів об'єкта;  $s_j$  — поточний стан об'єкта, який визначає фазу технологічного процесу його обслуговування;  $U_j$  — список виконавців, які після закінчення виконання деяких операцій з об'єктом очікують початку виконання інших операцій з цим же об'єктом;  $Q_j$  — список технологічних операцій, що виконуються з об'єктом у поточний момент часу;  $O_{oj}$  — множина підпорядкованих об'єктів;  $n_o$  — загальна кількість об'єктів, що обслуговуються на станції.

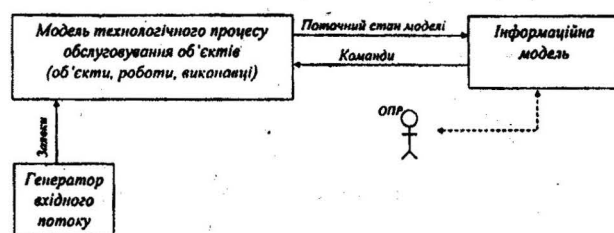


Рис. 1. Структура імітаційної моделі сортувальної станції.

У зв'язку з тим, що певні об'єкти можуть складатися з декількох частин, кожна з яких має свою власну технологію обслуговування (наприклад, поїзд складається з локомотива та состава), в МТП передбачена можливість моделювання таких складних об'єктів. У цьому випадку підпорядковані об'єкти заносяться у список  $O_{оп}$  складного об'єкта.

З кожним об'єктом на станції виконуються певні операції, що передбачені технологічним процесом (закріплення, технічний та комерційний огляд составів, випробування автогальм та ін.) У розробленій моделі кожна технологічна операція представляється структурою:

$$q_i = \{I_o, I_s, p, U_q, F_q, t_q, s_q\}, i=1, 2, \dots, n_q, \quad (2)$$

де  $I_o$  — ідентифікатор шаблону технологічної операції;  $I_s$  — об'єкт, з яким виконується операція;  $U_q$  — список виконавців технологічної операції;  $F_q$  — список умов закінчення технологічної операції;  $t_q$  — момент закінчення виконання технологічної операції;  $s_q$  — стан виконання технологічної операції.

Шаблони  $w_i$  містять інформацію, яка необхідна для параметризації окремих технологічних операцій  $q_i$ :

$$w_i = \{I_o, f_i, p\}, i=1, 2, \dots, n_w, \quad (3)$$

де  $f_i$  — функція, що визначає тривалість технологічної операції;  $p$  — список необхідних виконавців операції. В якому кожен елемент описується як:

$$p = \{\gamma, \eta, \zeta, G_p\}, \quad (4)$$

де  $\gamma$  — спеціалізація виконавця;  $\zeta$  — параметр, що вказує на порядок звільнення виконавця після закінчення технологічної операції;  $G_p$  — список ідентифікаторів виконавців, який визначає пріоритет їх використання.

Моделювання технологічних операцій виконується в три етапи. Першим етапом ( $s_q=0$ ) є очікування звільнення всіх необхідних виконавців. Перелік таких виконавців визначається шаблоном технологічної операції  $I_o$ . На закінчення першого етапу, у відповідності з шаблоном  $I_o$  (3), розраховується час закінчення технологічної операції  $t_q$  (2). На другому етапі ( $s_q=1$ ) виконується моделювання часу, необхідного для виконання операції. Другий етап закінчується в момент, коли  $t_q > t_s$ . Третій етап ( $s_q=2$ ) триває доти, доки не будуть виконані всі умови закінчення технологічної операції  $F_q$  (2).

Прийнято, що кожен елементарну операцію мають виконувати виконавці певної спеціалізації (наприклад, закріплення состава здійснює сигналіст, огляд вагонів — бригада ПТО, розпуск состава — маневровий локомотив та сортувальна гірка і т. ін.). В той же час виконавець даної спеціалізації може виконувати декілька різних елементарних операцій (наприклад, сигналіст виконує закріплення состава і прибирання гальмівних башмаків перед розформуванням). Кожен виконавець, який працює на станції (сигналіст, бригада ПТО, маневровий локомотив та ін.), у МТП представляється структурою:

$$E_k = \{I_o, N_o, \gamma, g_o\}, k=1, 2, \dots, n_o, \quad (5)$$

де  $I_o$  — ідентифікатор виконавця;  $N_o$  — назва виконавця;  $g_o$  — показник активності виконавця;  $n_o$  — загальна кількість виконавців, які беруть участь у ТП станції.

Виконавець  $E_k$  вважається зайнятим, якщо в поточний момент часу він виконує деяку технологічну операцію (знаходиться у списку  $U_q$  (2)), або знаходиться в очікуванні виконання наступних операцій з цим же об'єктом (список  $U_o$  (1)). Для врахування вільних виконавців у МТП введено динамічний список  $U_o = \{I_o, I_o, \dots, I_o\}$ , (тут  $m$  — загальна кількість вільних виконавців), який містить в якості елементів ідентифікатори виконавців, що не зайняті виконанням якої-небудь операції в поточний момент системного часу  $t_s$ . Список  $U_o$  змінюється в процесі моделювання роботи станції при зайнятті чи звільненні виконавців. Порядок звільнення виконавців визначається параметром  $\zeta$  (4): якщо  $\zeta=0$ , то виконавець після закінчення технологічної операції очікує виконання наступної операції з цим же об'єктом (ідентифікатор виконавця  $I_o$  зі списку  $U_o$  заноситься у список  $U_o$  відповідного об'єкта); якщо  $\zeta=1$ , то виконавець після виконання операції звільняється ( $I_o$  записується в список  $U_o$ ). На початку моделювання всі виконавці вважаються вільними ( $m=n_o$ ). Для можливості керування процесом обслуговування об'єктів в МТП організовано динамічний список завдань виконавців  $K$ . Кожен елемент цього списку описується структурою:

$$k = \{I_o, I_q, I_s\}.$$

При виборі виконавця  $p$  спеціалізації  $\gamma$  (4) для операції  $q_i$  з об'єктом  $O_i$  виконується аналіз елементів списку  $K$ . Якщо у списку є завдання, для якого  $I_o(k)=I_o(o)$ ,  $I_q(k)=I_q(q)$ ,  $p(I_s(k))=p$ , і це завдання  $k_i$  є першим елементом списку для виконавця  $I_o$ , то виконавець  $I_o(k_i)$  призначається для виконання операції  $q_i$  з об'єктом  $O_i$ . В усіх інших випадках, якщо виконавець  $I_o$  зустрічається у списку завдань  $K$ , то він вважається зайнятим і не може бути використаний для виконання технологічних операцій з іншими об'єктами. ОПП також може керувати технологічним процесом, змінюючи для виконавців параметр  $g_o$  (5): якщо  $g_o=0$ , то виконавець є неактивним і не може бути використаний для виконання будь-яких операцій.

Технологічний процес обслуговування об'єктів кожної категорії (пасажирські поїзди, вантажні поїзди у розформування і т.д.) формалізований на основі відповідного скінченного автомата (СА), який забезпечує виконання з кожним об'єктом всього комплексу технологічних операцій у відповідності з їх взаємною обумовленістю [5]:

$$A = \{X, Z, S, F_o, F_s\}, \quad (6)$$

де  $X, Z$  — відповідно, вхідний та вихідний алфавіт;  $S$  — множина станів автомата;  $F_o, F_s$  — функції виходів і переходів.

Елементами вхідного та вихідного алфавітів кожного СА є зовнішні (від ОПП) та внутрішні (від структурних підсистем МТП) команди.

Кожний стан автомата  $s_o \in S$  відповідає певному стану ТП обслуговування об'єкта, який характеризується сту-

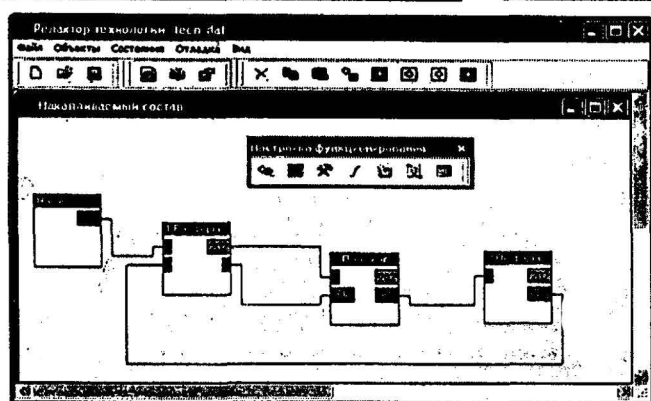


Рис. 2. Редагування технології роботи станції.

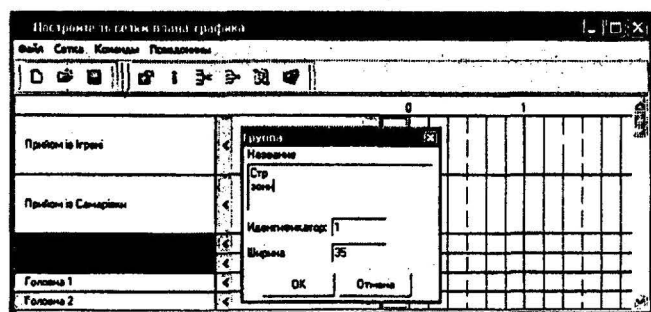


Рис. 3. Редагування сітки добового плану-графіка.

пенем завершеності усіх технологічних операцій. Обслуговування окремого об'єкта на станції моделюється послідовністю переходів СА з одного стану в інший, під час виконання передбачених технологічним процесом операцій. На початку моделювання обслуговування об'єкта відповідний СА знаходиться в початковому стані  $s_0$  (автомат являється ініціальним). Після виконання всіх операцій, що передбачені ТП, автомат переходить у кінцевий стан  $s_k$ , після чого відповідний об'єкт виключається із системи обслуговування.

Аналіз ТП обслуговування об'єктів різних категорій на залізничних станціях показав, що функції виходів  $F$ , та переходів  $F$ , автомата (6) доцільно представляти у вигляді графа переходів. Однак, побудова таких графів для об'єктів різних категорій та формування відповідних файлів даних ЕОМ потребує значних трудовитрат кваліфікованих спеціалістів. У зв'язку з цим, для побудови моделей технологічних процесів роботи залізничних станцій та реалізації їх на ЕОМ, розроблено спеціальний програмний редактор (рис. 2.), який забезпечує графічне введення в ЕОМ відповідних СА, а також автоматизоване формування параметрів технологічних операцій та їх виконавців за допомогою спеціалізованих форм.

Інформаційна модель являє собою зображення добового плану-графіка станції на часовій сітці. Вона призначена для надання ОПР інформації про поточний стан технологічного процесу, а також для сприйняття від ОПР керуючих команд і передачі їх у МТП. У пам'яті ЕОМ добовий графік представляється структурою:

$$I = \{E, G, S, t_k\},$$

де  $E$  — множина рядків добового графіка, при цьому рядки, що мають спільні характеристики можуть бути об'єднані в групи  $G$ ;  $S$  — протокол про технологічні операції, які виконані з об'єктами, у вигляді графічних елементів;  $t_k$  — момент закінчення моделювання, що задається ОПР.

Для автоматизованої побудови сітки добового плану-графіка розроблено спеціальний редактор, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 3.

Моделювання роботи станції може виконуватись як автоматично, коли порядок обслуговування встановлюється згідно із заданою системою пріоритетів, так і в інтерактивному режимі, коли цей порядок визначає ОПР. Керування процесом моделювання виконується ОПР за допомогою спеціальних елементів управління: команд меню, кнопок, полів завдань виконавців та лінії межі часу моделювання. Розроблена імітаційна модель отримала програмну реалізацію на мові C++ (рис. 4).

Розроблений програмний комплекс дозволяє в автоматизованому режимі готувати вихідну інформацію про станції, функціонування яких досліджується, в інтерактивному режимі будувати добові плани-графіки для різних умов їх роботи, забезпечує розрахунок показників роботи станцій і формування відповідних графічних файлів у форматі *dxl* для аналізу графіків та їх архівування.

Використання даного програмного комплексу може суттєво підвищити продуктивність інженерних працівників і є доцільним під час розробки технологічних процесів залізничних станцій, а також техніко-економічного аналізу ефективності заходів з удосконалення їх технічного забезпечення та технології роботи.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Типовий технологічний процес роботи дільничної станції — К.: 1998 р.
2. Правила перевезень вантажів залізничним транспортом України. Частина 1. — К.: Видавничий дім «СМ», 2004. — 432 с.
3. Персианов В.А., Усков Н.С., Четыркина И.Е. Расчет железнодорожных узлов методом моделирования их работы на ЭЦВМ // Транспортные узлы. — М.: Транспорт, 1996. — С. 420—446.
4. Нагорный Е. В., Алешинский Е. С. Моделирование функционирования комплекса «Сортировочная станция — прилегающие участки» с помощью сетей Петри // Информац.-управ. системы на жел.-дор. тр.-те. — 2000. — № 2. — С. 98—103.
5. Бобровский В.И., Козаченко Д.Н., Вернигора Р. В. Технико-экономическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей // Там же. — 2000. — № 6. — С. 30—42.

Надійшла до редакції 22.07.08.