

О. О. МАЗУРЕНКО, А. В. КУДРЯШОВ (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПРЯМКУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ВАГОНОПОТОКІВ В ОПЕРАТИВНИХ УМОВАХ

Наведено загальну структуру імітаційної моделі залізничного напрямку, яка була використана для дослідження ефективності різних варіантів організації вантажних вагонопотоків у поїзди на залізничному напрямку в оперативних умовах при застосуванні технології формування двогрупних поїздів.

Ключові слова: вагонопотік, оперативне керування, імітаційна модель, залізничний напрямок, двогрупний поїзд.

Приведена общая структура имитационной модели железнодорожного направления, которая была использована для исследования эффективности разных вариантов организации грузовых вагонопотоков в поезда на железнодорожном направлении в оперативных условиях при использовании технологии формирования двугруппных поездов.

Ключевые слова: вагонопоток, оперативное управление, имитационная модель, железнодорожное направление, двугруппный поезд.

There has been described structure of a simulation model of the railway direction which can be used for studying the effectiveness of different options for organization organization of freight wagonflows into the trains on railway direction in operative conditions with the use of technology of making-up the two-unit trains.

Key words: wagonflows, operative making-up the trains, simulation model, railway direction, two-unit train.

Вступ та постановка задачі

В сучасних умовах функціонування залізничного транспорту України значна увага повинна приділятися своєчасній доставці вантажів та зменшенню витрат на їх перевезення. Одним з можливих заходів для вирішення даних задач є удосконалення системи організації вантажних вагонопотоків у поїзди. Як показує практика роботи залізниць, в певних оперативних умовах доцільно застосовувати технологію формування двогрупних поїздів на технічних станціях. При цьому виникає проблема отримання достовірної кількісної оцінки ефективності того чи іншого варіанту коригування діючого плану формування поїздів.

Виконання досліджень щодо впливу тих чи інших варіантів організації вагонопотоків на витрати залізниць на реальних об'єктах (залізничних напрямках і станціях) є неможливим. Впровадження в практику тих або інших методів керування потребує їх попередньої оцінки, особливо що стосується роботи залізничного напрямку. Кількісну оцінку техніко-експлуатаційних та економічних показників роботи окремого залізничного напрямку для кожного з варіантів організації вагонопотоків та/або зміни технології їх обслуговування найбільш доцільно виконувати за допомогою методів імітаційного моделювання.

В даній статті розглянута структура та порядок побудови функціональної імітаційної моделі роботи залізничного напрямку, яка може бути використана для виконання досліджень щодо визначення раціональних варіантів організації вантажних вагонопотоків в оперативних умовах.

Аналіз досліджень і публікацій

Розробці методики імітаційного моделювання залізничних станцій та напрямків присвячена достатньо велика кількість наукових робіт. Так, наприклад, в роботах [1, 2] розроблено математичні моделі для імітації процесу поїздоутворення та просування поїздів на мережі з застосуванням об'єктно-орієнтованої системи моделювання.

Серед імітаційних моделей функціонування залізничної мережі цікавим є досвід вчених БілІЗТу. В роботах [3, 4] запропоновано систему автоматизованого створення імітаційної моделі залізничної мережі на основі імітаційних моделей залізничних станцій, які входять до її складу. Розроблені моделі станцій формалізовані на основі теорії сітвого планування та теорії масового обслуговування. Основними недоліками даних моделей є складність їх побудови та дискретність у моделюванні роботи залізничної мережі, тобто робота кожної станції мережі моделюється автономно, а отримані ре-

зультати є вихідними даними для моделювання роботи наступної станції. Це не дозволяє застосовувати такі моделі для дослідження роботи залізничної мережі в умовах оперативного керування організацією вагонопотоків.

Однією з основних проблем, що виникають при функціональному моделюванні роботи залізничних мереж та станцій, є складність формалізації технологічних процесів обробки поїздів, які можуть суттєво відрізнятися для різних категорій поїздів. Для полегшення й спрощення підготовки до моделювання в ДНУЗТі виконано комплекс науково-дослідних робіт, що пов'язані з розробкою методики формалізації технології обслуговування поїздів та технічного оснащення станцій. Для врахування впливу оперативно-диспетчерського персоналу в [5] запропоновано концепцію ергатичних моделей станцій, в яких людина бере безпосередню участь в процесі моделювання і керує технологічним процесом станції, виконуючи функції диспетчера. В роботі [6] запропоновано імітаційну модель залізничного напрямку, в якій технологія роботи напрямку формалізована на основі теорії скінчених автоматів. Дана модель використовується для дослідження організації руху поїздів та впливу їх параметрів на показники роботи залізничних напрямків. Розроблені моделі дозволяють адекватно моделювати роботу залізничних мереж та станцій. Разом з тим для виконання досліджень функціонування залізничних мереж та станцій в умовах застосування оперативного керування роботою є необхідним подальше удосконалення вказаних моделей.

Результати досліджень

Об'єктом дослідження обрано залізничний напрямок, до складу якого входить три технічних станції (А, В та С). Залізничний напрямок та окрема технічна станція, розглядаються як складні керовані системи масового обслуговування (СМО), що складаються з багатьох різних елементів, які в процесі роботи тісно взаємодіють між собою та мають взаємний вплив (станції, ділянки, колії, бригади технічного обслуговування та ін.).

Розроблена функціональна модель залізничного напрямку (ФМН) є дворівневою. При цьому на макрорівні моделюється робота всього напрямку в цілому, а на мікрорівні – робота кожної окремої технічної станції напрямку.

У загальному вигляді ФМН може бути представлена структурою:

$$D = \left\{ \begin{array}{l} S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n \\ U_1, U_2, \dots, U_j, \dots, U_l \end{array} \right\} \quad (1)$$

де S_i – множина параметрів, що характеризують окрему технічну станцію залізничного напрямку;

U_j – множина параметрів, що характеризують окрему ділянку між двома технічними станціями;

n – загальна кількість технічних станцій напрямку;

l – загальна кількість ділянок напрямку.

Окрема технічна станція залізничного напрямку представляється в моделі за допомогою структури:

$$S_i = \{I_s, T_{\text{тех}}, T_{\text{техн}}\}, i=1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

де I_s – ідентифікатор (назва) станції;

$T_{\text{тех}}$ – множина параметрів, які характеризують технологію роботи станції з різними категоріями поїздів;

$T_{\text{техн}}$ – множина параметрів, які характеризують технічне оснащення станції.

Окрема ділянка між двома технічними станціями представляється в моделі за допомогою структури:

$$U_j = \{I_U, N_{\text{пр}}, T_{\text{техн}}, t_x\}, j=1, 2, \dots, l, \quad (3)$$

де I_U – ідентифікатор (назва) ділянки;

$N_{\text{пр}}$ – наявна пропускна спроможність ділянки;

$T_{\text{техн}}$ – множина параметрів, які характеризують технічне оснащення ділянки;

t_x – графікова тривалість руху вантажного поїзда по даній ділянці.

Структура ФМН включає наступні моделі:

– генератор вхідного потоку поїздів (ГВП);

– модель оперативного керування організацією вагонопотоків (МОКЗН);

– функціональні моделі роботи кожної окремої технічної станції напрямку (ФМС).

Структура ФМН та схема взаємодії її моделей наведена на рис. 1.

Генератор вхідного потоку (ГВП) призначений для моделювання надходження поїздів на кожну станцію з тих підходів, які не входять до складу даного залізничного напрямку. Моделювання надходження заявок на окрему станцію з тих станцій, які входять до даного напрямку, виконується за результатами роботи попередньої станції та з використанням графікової тривалості руху поїздів.

Вхідний потік представляє собою множину поїздів різних категорій, що прибувають на технічну станцію. Параметри кожного об'єкта

O_k в розробленій моделі визначаються структурою:

$$O_k = \{I_s, T_{\text{пр}}, \mathbf{P}, \mathbf{B}\}, k=1, 2, \dots, n_o, \quad (4)$$

де I_s – ідентифікатор станції надходження поїзда (2);

$T_{\text{пр}}$ – момент прибуття поїзда на станцію;

\mathbf{P} – вектор параметрів поїзда (категорія, кількість вагонів і т.д.);

\mathbf{B} – список параметрів процесу обслуговування поїзда на станції;

n_o – загальна кількість об'єктів.

Поїзди можуть надходити на кожну станцію напрямку з декількох підходів. Момент надходження чергового поїзда O_k на станцію з підходу, що не входить до обраного напрямку, визначається за формулою:

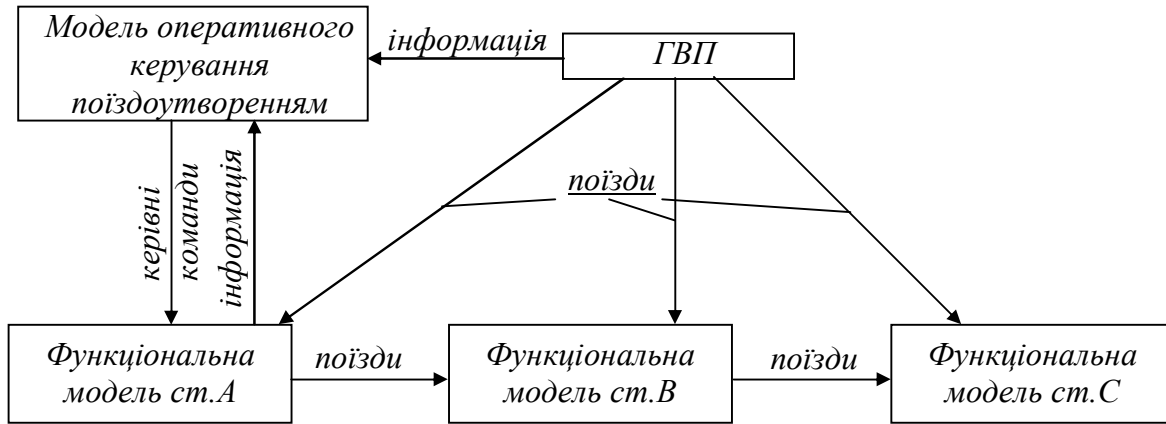


Рис. 1. Структура функціональної моделі залізничного напрямку

$$T_{\text{пр}(k)} = T_{\text{пр}(k-1)} + I_k; (T_0 = 0), \quad (5)$$

де $T_{\text{пр}(k-1)}$ – момент прибуття на станцію попереднього ($k-1$) поїзда;

I_k – інтервал прибуття між суміжними ($k-1$) та k поїздами.

Величина I_k моделюється за певним законом розподілу, або встановлюється у відповідності до розкладу руху поїздів.

Момент надходження поїзда O_k на станцію i з попередньої станції ($i-1$) залізничного напрямку визначається за формулою:

$$T_{\text{пр}j}^{(i)} = T_{\text{вих}j}^{(i-1)} + t_{xj}^{(i-1)}, \quad (6)$$

де $T_{\text{вих}j}^{(i-1)}$ – момент відправлення поїзда O_k зі станції ($i-1$);

$t_{xj}^{(i-1)}$ – тривалість руху поїзда між станціями ($i-1$) та i .

Момент виходу поїзда зі станції $T_{\text{вих}j}^{(i-1)}$ визначається за результатами обслуговування заявки в ФМС станції $i-1$. Величина $t_{xj}^{(i-1)}$ встановлюється відповідно до графіку руху поїздів між даними станціями.

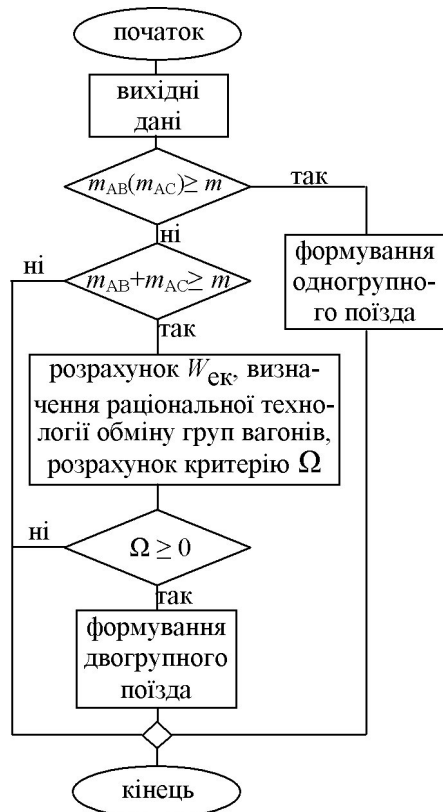
Рішення про застосування оперативного керування організацією вагонопотоків на залізничному напрямку, на практиці, приймає поїзний диспетчер, після узгодження цього рішення з дорожнім поїзним диспетчером. Для моделю-

вання оперативних рішень поїзного диспетчера щодо можливості формування на головній станції двогрупного поїзда до складу ФМН включено МОКЗН. Оцінювання та прийняття рішення щодо формування окремого двогрупного поїзда виконується відповідно до спеціально розробленої процедури [7]. На рис. 2 наведено алгоритм функціонування МОКЗН.

Порядок визначення критерію Ω та величини $W_{\text{ек}}$ наведено в статтях [7] та [8] відповідно.

Для моделювання роботи технічних станцій напрямку розроблено відповідні функціональні моделі станцій (ФМС) [9]. При цьому в кожну модель технічної станції включено модуль оперативного керування технологічним процесом станції (МОКТП). Даний модуль дозволяє застосовувати на технічній станції різні варіанти технології роботи з двогрупним поїздом щодо обміну груп вагонів. Також МОКТП враховує техніко-технологічні особливості конкретної технічної станції та можливі варіанти виконання маневрової роботи з вантажними поїздами різних категорій.

Синхронізація моделей ФМС та ФМН виконується в дискретні моменти системного часу T_c , який змінюється з певним кроком. Всі вказані моделі побудовані та реалізовані з застосуванням об'єктно-орієнтованого підходу у середовищі C++.



Умовні позначення:

- m – кількість вагонів у складі поїзда;
- m_{AB} – кількість вагонів в першій групі двогрупного поїзда;
- m_{AC} – кількість вагонів в другій групі двогрупного поїзда;
- $W_{ек}$ – економія вагоно-годин простою у випадку формування двогрупного поїзда;
- Ω – критерій ефективності.

Рис. 2. Алгоритм функціонування МОКЗН по визначенню категорії поїзда, що формується

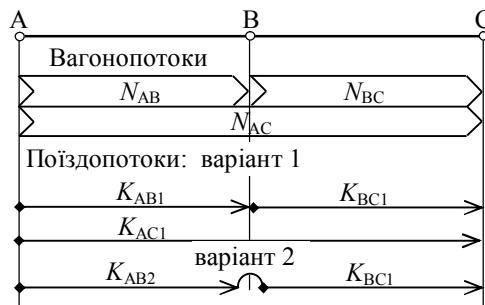
Розроблена модель функціонування залізничного напрямку дозволяє отримати необхідні експлуатаційні показники роботи за певний період як окремих технічних станцій, так і залізничного напрямку в цілому при тій чи іншій системі організації вагонопотоків. Крім того, за допомогою розробленої імітаційної моделі напрямку, можна отримати значення загальних витрат на організацію вагонопотоків по кожному з можливих варіантів організації вагонопотоків та оперативного коригування процесу поїздування.

З метою визначення придатності розробленої імітаційної моделі до виконання практичних досліджень була виконана її ідентифікація та оцінка адекватності. Для ідентифікації моделі виконано комплексне дослідження двох великих сортувальних станцій України, за результатами якого визначені закони розподілу випадкових величин тривалості накопичення одногрупних составів, тривалості знаходження

вантажних поїздів різних категорій на станції, а також статистичні характеристики вхідного потоку поїздів. Порівняння, на основі параметричного критерію Уїлкоксона, показників роботи кожної сортувальної станції, отриманих на реальному об'єкті та у результаті моделювання дозволило зробити висновок про адекватність розроблених моделей станцій та можливість їх використання для вирішення прикладних задач.

За допомогою розробленої імітаційної моделі залізничного напрямку було виконано дослідження впливу системи оперативного формування двогрупних поїздів з вагонів попутних одногрупних призначень на окремі експлуатаційні показники роботи, а також на витрати по організації вантажних вагонопотоків у поїзди окремих технічних станцій та залізничного напрямку в цілому.

Схема залізничного напрямку, на прикладі якого було виконано дослідження, та можливі варіанти організації вагонопотоків наведені на рис. 3.



Умовні позначення:

- N_{AB}, N_{BC}, N_{AC} – розміри вагонопотоків;
- $K_{AB1}, K_{AC1}, K_{BC1}$ – кількість одногрупних поїздів;
- K_{AB2} – кількість двогрупних поїздів.

Рис. 3. Схема залізничного напрямку та варіанти організації вагонопотоків у поїзди

Вихідні дані до моделювання наведені в табл. 1. Технологія та тривалість обробки поїздів різних категорій прийняті відповідно до технологічних процесів технічних станцій, що входять до складу обраного залізничного напрямку.

У якості результатів фіксувалися наступні показники роботи станцій А та В для двох попутних призначень плану формування поїздів за період роботи протягом одного року:

- кількість поїздів по категоріям (одногрупні, двогрупні), які прийнято та відправлено зі станції;
- сумарні вагоно-години знаходження вагонів кожного призначення на технічних станціях;
- обсяг маневрової роботи, пов'язаної з формуванням, розформуванням та обміном груп

вагонів;

– тривалість знаходження поїзних локомотивів на технічних станціях;

– сумарні витрати, пов'язані з організацією вагонопотоків.

Для порівняння варіантів організації ванта-

жних вагонопотоків у поїзди в табл. 2 наведено результати моделювання при формуванні лише одноступінних поїздів на обрані призначення, лише двогрупних поїздів та при оперативному формуванні двогрупних поїздів.

Таблиця 1

Найменування елементів	Позначення	Одиниця виміру	Числове значення
Кількість вагонів у складі поїзда	m	вагони	50
Вагонопотік із А призначенням на станцію С	N_{AC}	вагони	200
Вагонопотік із А призначенням на станцію В	N_{AB}	вагони	200
Вагонопотік із В призначенням на станцію С	N_{BC}	вагони	200
Витратна ставка на 1 вагоно-годину	$e_{вг}$	грн	3,67
Витратна ставка на 1 локомотиво-годину маневрової роботи	$e_{мл}$	грн	82,1
Витратна ставка на 1 локомотиво-годину простою поїзного локомотива	$e_{пл}$	грн	148,8

Таблиця 2

Техніко-експлуатаційні показники		Існуючий ПФП (формування одноступінних поїздів)	Існуючий ПФП (формування двогрупних поїздів)	Оперативне коригування ПФП
Кількість сформованих поїздів	K_{AB}	1453	0	787
	K_{AC}	1459	0	905
	K_{ABC}	0	2913	1220
	K_{BC}	1427	1428	1099
Вагоно-години простою, тис. ваг-год	ст А	691,75	502,17	542,48
	ст В	521,48	568,72	521,54
	залізничний напрям	1213,23	1070,89	1064,02
Тривалість роботи маневрового локомотива, тис. лок-год	$Mt_{манА}$	1,6	2,09	1,85
	$Mt_{манВ}$	1,44	2,96	2,39
Тривалість простою поїзного локомотива, тис. лок-год	$Mt_{плА}$	0,87	0,87	0,87
	$Mt_{плВ}$	6,47	6,94	6,80
Річні витрати E , тис. грн. за рік	станція А	2800,303	2144,941	2272,414
	станція В	2994,494	3763,218	3122,177
	сумарні	5794,797	5908,159	5394,591

Аналізуючи результати, наведені в табл. 2, можна зробити висновок, що формування двогрупних поїздів в оперативних умовах є ефективним заходом щодо удосконалення системи організації вагонопотоків у поїзди, який дозволяє суттєво зменшити власні експлуатаційні витрати залізниць.

Висновки

Розроблена імітаційна модель роботи залізничного напрямку може бути застосована для дослідження, аналізу та оцінки варіантів організації вантажних вагонопотоків у поїзди. Структура даної моделі дозволяє досить швидко

адаптувати її для інших залізничних напрямків з урахуванням техніко-технологічних особливостей його технічних станцій. Формування двогрупних поїздів на базі попутних одноступінних призначень в оперативних умовах забезпечує економію експлуатаційних витрат на організацію вагонопотоків у поїзди на залізничному напрямку без додаткових капітальних вкладень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ульяницький, Е. М. Моделирование процессов управления вагонопотоками на железнодорожном транспорте [Текст] / Е. М. Ульяницький, В. Н. Скляр // Вестник ВНИИЖТа. –

2003. – № 6. – С. 39-42.

2. Буринская, З. Имитационное моделирование процесса распределения сортировочной работы и вагонопотоков между станциями [Текст] / З. Буринская, А. Кутах, В. Мироненко, Т. Фурсова // Збірник наукових праць КУЕТТ. – 2002. – № 1. – С. 141-148.

3. Сукач, Е. И. Автоматизация процесса исследования вариантов организации перемещения транспортных потоков в железнодорожной сети [Текст] / Е. И. Сукач // Математичні машини і системи. – 2009. – № 4. – С. 161-168.

4. Максимей, И. В. Имитационное моделирование вероятностных характеристик функционирования железнодорожной сети [Текст] / И. В. Максимей, Е. И. Сукач, П. В. Гируц, Е. А. Ерофеева // Математичні машини і системи. – 2008. – № 4. – С. 147-153.

5. Бобровский, В. И. Технико-экономическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2004. – №6. – С. 17-21.

6. Козаченко Д. М. Моделирование работы залізничного напрямку [Текст] / Д. М. Козаченко,

Г. Я. Мозолевич, О. В. Власюк // Вісник ДНУЗТ. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 28. – С. 143-148.

7. Мазуренко, О. О. Визначення ефекту від оперативного формування двогрупних поїздів на базі одnogрупних призначень [Текст] / О. О. Мазуренко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №6/3(54). – С. 7-13.

8. Божко, М. П. Розрахунок економії вагоно-годин накопичення вагонів при формуванні двогрупних поїздів [Текст] / М. П. Божко, О. О. Мазуренко // Вісник ДНУЗТ. – 2008. – Вип. 21. – С. 219-222.

9. Вернигора, Р. В. Дослідження процесів составоутворення на сортувальних станціях методами імітаційного моделювання [Текст] / Р. В. Вернигора, О. В. Пугач // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №6/4(48). – С. 52-55.

Надійшла до редколегії 25.08.2012.

Прийнята до друку 26.08.2012.