

УДК 656.212.5

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СОСТАВОУТВОРЕННЯ НА СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЯХ МЕТОДАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**Р. В. Вернигора**

Заступник декана факультету, доцент\*  
Контактний тел.: (056) 373-15-12, 068-409-62-14

**О. В. Пугач**

Асистент  
\*Кафедра «Станції і вузли»  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна  
вул. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010  
Контактний тел.: (056) 373-15-20, 099-288-06-58

*Наведено загальну структуру функціональної імітаційної моделі сортувальної станції, а також результати дослідження процесу составоутворення, виконаного з її використанням побудованої моделі та методів планування експерименту*

*Ключові слова: сортувальна станція, імітаційна модель, составоутворення, факторний експеримент*

*Приведена общая структура функциональной имитационной модели сортировочной станции, а также результаты исследования процесса составообразования, выполненного с использованием построенной модели методов планирования эксперимента*

*Ключевые слова: сортировочная станция, имитационная модель, составообразование, факторный эксперимент*

*The general structure of functional simulation model of railway station is described, and also the results of research of make up process of trains, executed with its use, are described*

*Key words: sorting railway station, simulation model, make up process of trains, factorial experiment*

## 1. Вступ

Процес составоутворення на сортувальних станціях є невід'ємним та одним з найбільш визначальних елементів в організації вагонопотоків на залізницях. Ефективність цього процесу безпосередньо впливає як на якість роботи відповідної сортувальної станції, так і на показники експлуатаційної роботи залізничного напрямку в цілому. В свою чергу, процеси розформування та формування поїздів на сортувальних станціях залежать від багатьох факторів та вимагають значних ресурсовитрат, які часто розподіляються та використовуються на станціях досить нерационально. Причинами такої ситуації є, з одного боку, недосконалість та зношеність технічних засобів, що задіяні у процесах розформування-формування, а з іншого – нерациональна технологія їх використання на станціях.

Враховуючи важливу роль составоутворення на сортувальних станціях в системі організації вагонопотоків, проблема дослідження цього процесу та пошуку напрямків його вдосконалення завжди знаходилась в полі зору залізничної науки. Особливої актуальності проблема дослідження процесу составоутворення та пошуку напрямків його вдосконалення набула в сучасних умовах, що характеризуються суттєвим зменшенням обсягів перевезень, зміною структури вагонопотоків, значною зношеністю технічних засобів та потужним рівнем конкуренції з боку інших видів транспорту.

## 2. Проблеми удосконалення процесу составоутворення на сортувальних станціях та шляхи їх вирішення

Однією з перших вітчизняних публікацій щодо удосконалення технології формування поїздів на сортувальних станціях була «Збірка прикладів з маневрової роботи» [1]. У виданні, що було розраховане на складачів поїздів, чергових по станції, маневрових диспетчерів та начальників станцій, розглядалися приклади виконання маневрової роботи на основі новітніх на той час методів формування поїздів. Основним та єдиним критерієм якості виконання розформування-формування составів в даній роботі прийнято тривалість процесу; при цьому економічна складова при виборі того чи іншого методу до уваги не приймалась.

В роботах БелІЗТу [2] розглянуто питання раціональної організації роботи з кутовими потоками при формуванні місцевих поїздів, що мають значний вплив на технологію та переробну спроможність двосторонніх сортувальних станцій. Зазначено, що їх вторинна переробка суттєво збільшує обсяг сортувальної роботи на гірках. Розкрито сутність, перевагу та економічну ефективність об'єднаного та окремого формування місцевих поїздів.

У роботі [3] зазначено, що заходи з інтенсифікації станційних процесів слід спрямовувати перш за все на підвищення продуктивності праці, зниження витрат та зменшення часу знаходження вагонів на станціях.

Також відзначено, що разом з цілеспрямованим впливом на роботу гірки та процес накопичення вагонів необхідно у взаємозв'язку з цими процесами досягати прискорення закінчення формування та перестановки складів з сортувального парку в парк приймання і скорочення часу на підготовку їх до відправлення. Вдосконалюватися повинні і схеми станцій; при цьому реконструктивні роботи слід спрямовувати на розробку таких схем, які відповідали б структурі вагонопотоку, що переробляється, і темпу його переробки.

Збірка наукових праць [4] присвячена питанням вирішення оптимізаційних задач в АСУ технологічними процесами сортувальних станцій щодо раціонального планування маневрів на гірці та у районі формування поїздів. Як відзначається в роботі, завдяки автоматизації вирішення задач виникають умови для оперативного складання оптимального за витратами часу плану роботи окремих маневрових районів та сортувальної гірки.

У дослідженні [5] наведено технологічну модель соствоутворення місцевих поїздів. У цій роботі даються рекомендації щодо підвищення якісних показників роботи з переробки вагонів шляхом змін у технології роботи станції. В той же час, питання удосконалення технічного оснащення станцій та його вплив на ефективність процесів розформування-формування поїздів авторами не розглядається.

Як показує аналіз наукових досліджень з питань удосконалення роботи сортувальних станцій, основна увага у більшості випадків приділяється оптимізації параметрів сортувальних гірок та технології розформування складів. В той же час, дослідженню процесів накопичення та формування складів, а також пошуку напрямків їх раціональної організації з метою зменшення експлуатаційних витрат присвячено значно менше робіт. При цьому практично відсутні дослідження, що розглядали б проблему удосконалення процесу соствоутворення комплексно, включаючи процеси і розформування, і накопичення, і формування поїздів. Комплексне вирішення цієї проблеми передбачає системний підхід та всебічний аналіз процесів розформування-формування поїздів з урахуванням всіх впливаючих факторів та можливих експлуатаційних умов.

### 3. Імітаційна модель сортувальної станції

Процес соствоутворення на сортувальних станціях є досить складним, тому для його дослідження та аналізу ефективно використовувати методи функціонального імітаційного моделювання. З цією метою був розроблений програмно-імітаційний комплекс, що дозволяє моделювати роботу будь-якої сортувальної станції в різних експлуатаційних умовах.

Основу вказаного програмно-імітаційного комплексу складає функціональна модель сортувальної станції (ФМС). При розробці функціональної моделі сортувальна станція

розглядалась як стохастична багатофазна багатоканальна система масового обслуговування (СМО), що складається з комплексу технологічних підсистем, кожна з яких також моделюється як СМО і представляє собою окремий універсальний імітаційний модуль. Таким чином, в загальній структурі моделі сортувальної станції були виділені наступні модулі:

- модель системи керування роботою станції (МСК);
- модель сусідніх станцій (МСС);
- модель парку прибуття (МПП);
- модель сортувального парку (МСП);
- модель парку відправлення (МПВ).

Всі вказані моделі побудовані та реалізовані на ЕОМ з використанням об'єктно-орієнтованого підходу. Також до складу функціональної моделі станції входить генератор вхідного потоку заявок (ГВП). Загальна структура ФМС та схема взаємодії її окремих елементів наведена на рис. 1.

Генератор вхідного потоку заявок (ГВП) призначений для моделювання потоку поїздів, що надходять на сортувальну станцію для обслуговування, в тому числі: моментів надходження поїздів на сусідні станції та параметрів кожного поїзда (номера, категорії, кількості вагонів, параметрів вагонів тощо).

Вхідний потік об'єктів представляє собою сукупність поїздів різних категорій, що прибувають на сортувальну станцію. Параметри кожного об'єкта  $O_i$  визначаються структурою:

$$O_i = \{K_p, T_{пр}, \mathbf{V}, P, m, \mathbf{V}\},$$

де  $K_p$  – категорія поїзда;  $T_{пр}$  – момент прибуття поїзда на станцію;  $\mathbf{V}$  – вектор параметрів процесу обслуговування поїзда на станції (поточна операція, моменти її початку і закінчення, виконавець операції та ін.);  $P$  – загальний простий состава на станції;  $m$  – кількість вагонів у складі поїзда;  $\mathbf{V}$  – вектор вагонів у складі поїзда.

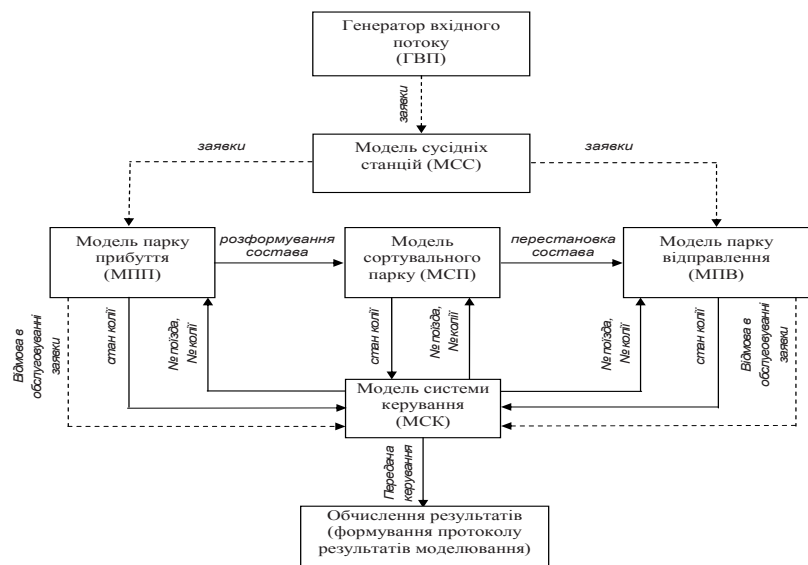


Рис. 1. Загальна структура функціональної моделі станції

Кожен елемент вектора  $\mathbf{V}$  визначається наступними параметрами:

$$V_j = \{R_v, N_{п}, L_{ум}, Q_T, Q_{п}\},$$

де  $R_v$  – тип вагона;  $N_{п}$  – призначення вагона згідно з Планом формування поїздів;  $L_{ум}$  – умовна довжина вагона;  $Q_T$  – тара вагона;  $Q_{п}$  – маса вантажу. Всі вказані параметри моделюються ГВП як випадкові величини з певними законами розподілу.

**Модель сусідніх станцій (МСС)** призначена для моделювання процесу надходження заявок (поїздів та вагонів) у систему, імітації очікування поїздами відправлення на сортувальну станцію та їх відправлення. МСС представляється вектором  $Q = \{O_1, O_2, \dots, O_n\}$ , кожен елемент якого відповідає певному об'єкту (поїзду), що знаходиться на сусідній станції. Кількість елементів у векторі  $Q$  відповідає кількості колій на сусідній станції.

**Модель парку прибуття** призначена для моделювання процесу обслуговування поїздів, що надходять у розформування.

**Модель сортувального парку** є основним елементом розробленої імітаційної моделі станції та призначена для моделювання процесу розформування, накопичення та формування составів.

**Модель парку відправлення** призначена для моделювання процесу обслуговування транзитних поїздів та поїздів свого формування по підготовці їх до відправлення.

**Модель системи керування** призначена для організації процесу обслуговування поїздів на станції (вибір черговості обслуговування, вибір колії прийому або перестановки состава, вибір виконавця технологічної операції тощо).

До системи обслуговування станції відносяться її колійний розвиток, що об'єднаний у парки (прибуття, сортувальний та приймально-відправний), та виконавці технологічних операцій (бригади ПТО, бригади ПКО, маневрові та поїзні локомотиви тощо).

Кожний парк станції в ФМС представлений вектором  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ , окремий елемент якого поставлений у відповідність певній колії парку і визначається структурою:

$$P_i = \{N_{кол}, N_{пар}, N_{пз}, S_{кол}, T_{оп}, T_{зайн}, L_{мах}, L_{ум}\},$$

де  $N_{кол}$  – номер колії в парку;  $N_{пар}$  – номер парку;  $N_{пз}$  – номер поїзда на колії;  $S_{кол}$  – поточний стан колії (1 – колія зайнята, 0 – колія вільна);  $T_{оп}$  – момент закінчення попередньої операції на колії;  $T_{зайн}$  – сумарний час зайняття колії;  $L_{мах}$  – корисна довжина колії (в умовних вагонах);  $L_{ум}$  – сумарна умовна довжина вагонів, що знаходяться на колії в даний момент. Для колій сортувального парку вводиться додатковий параметр  $L_{вікн}$  – сумарна довжина міжвагонних «вікон» на колії.

Виконавці технологічних операцій (локомотиви, бригади ПТО, ПКО та ін.) в моделі станції визначаються наступними параметрами:

$$E_i = \{w, D, K_c, T_3, T_p\},$$

де  $w$  – спеціалізація виконавця,  $D$  – вектор параметрів виконавця (тип локомотива, кількість груп в бригаді ПТО тощо),  $K_c$  – кількість обслужених виконавцем составів;  $T_3$  – момент закінчення обслуговування попереднього состава;  $T_p$  – сумарний час роботи виконавця протягом періоду моделювання.

Синхронізація всіх модулів ФМС у програмно-імітаційному комплексі здійснюється за системним часом, що змінюється з певним кроком.

Розроблений програмно-імітаційний комплекс дозволяє спрогнозувати значення всіх необхідних експлуатаційних показників роботи сортувальної станції та її окремих підсистем. В процесі моделювання передбачено запис протоколу роботи станції, за даними якого можливо в автоматизованому режимі побудувати графік виконаного руху для детального аналізу роботи станції та виявлення „вузьких” місць. Фрагмент графіка представлений на рис. 2.

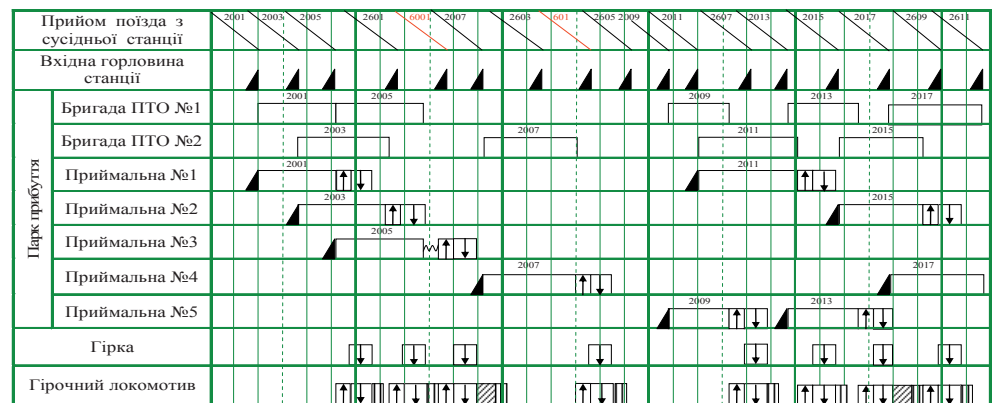


Рис. 2. Фрагмент графіка виконаного руху, побудованого за результатами моделювання

З метою визначення придатності розробленої імітаційної моделі до виконання практичних досліджень була виконана її ідентифікація та оцінка адекватності. Для ідентифікації моделі виконано комплексне дослідження на одній з великих сортувальних станцій України, за результатами якого визначені закони розподілу випадкових величин тривалості виконання технологічних операцій, а також статистичні характеристики вхідного потоку поїздів та вагонів. Порівняння показників роботи сортувальної станції, отриманих на реальному об'єкті та у результаті моделювання на основі параметричного критерію Уїлкоксона дозволило зробити висновок про адекватність розробленої моделі реальній станції та можливість її використання для вирішення прикладних задач.

#### 4. Дослідження процесу составоутворення з використанням імітаційної моделі сортувальної станції

Розроблена імітаційна модель була використана для визначення впливу ряду техніко-технологічних параметрів сортувальної станції на ефективність процесу составоутворення. З цією метою за допомогою моделі була виконана серія факторних експериментів. В якості функцій відгуку при виконанні досліджень

Таблица 2

обрано простої вагонів різних категорій на станції та в її окремих парках:  $Y_1$  – простій транзитного вагона з переробкою в парку прибуття (ПП);  $Y_2$  – простій транзитного вагона з переробкою під накопиченням;  $Y_3$  – простій транзитного вагона з переробкою в парку відправлення (ПВ);  $Y_4$  – простій транзитного вагона з переробкою в цілому на станції;  $Y_5$  – простій транзитного вагона з переробкою по станції.

На основі експертних оцінок, отриманих за результатами опитування фахівців господарства перевезень, визначено основні фактори, які найбільш суттєво впливають на процес составоутворення на станціях (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика факторів

Код	Найменування фактора	Одиниці виміру	$\Delta$	Рівні факторів		
				нижн.	осн.	верхн.
X <sub>1</sub>	Тривалість очікування поїзних локомотивів сформованими складами	хв.	100	0	100	200
X <sub>2</sub>	Кількість маневрових локомотивів в районі формування	лок-вів	-	1	-	2
X <sub>3</sub>	Кількість гірочних локомотивів	лок-вів	-	1	-	2
X <sub>4</sub>	Кількість бригад ПТО у ПВ	бригад	-	1	-	2
X <sub>5</sub>	Кількість груп у бригадах ПТО у ПВ	груп	1	2	3	4
X <sub>6</sub>	Кількість бригад ПТО у ПП	бригад	-	1	-	2
X <sub>7</sub>	Кількість груп у бригадах ПТО у ПП	груп.	1	2	3	4
X <sub>8</sub>	Точність прицільного гальмування	%	25	50	75	100
X <sub>9</sub>	Частота виконання осаджування після розпуску состава	кіль-сть розп.	1	3	2	1
X <sub>10</sub>	Довжина состава при повторному сортуванні з відсівної колії	% від довжини	25	50	75	100

На основі обробки результатів факторних експериментів, були отримані аналітичні моделі, що дозволяють визначити вплив кожного фактору на той чи інший показник роботи станції (табл. 2). При цьому для отримання моделей 3 та 5 використаний повний факторний експеримент. Моделі 1, 2 і 4 були отримані при проведенні дробового факторного експерименту з використанням реплік різної дробовості.

Аналіз першої моделі показує, що на тривалість простою транзитного вагону з переробкою в парку прибуття станції ( $Y_1$ ) найбільший вплив має точність прицільного гальмування відцепів при розпуску состава з гірки (фактор X<sub>8</sub>). Це пояснюється тим, що при недостатній точності прицільного гальмування відцепів значно зростає обсяг маневрової роботи по осаджуванню вагонів на коліях сортувального парку, що призводить до затримок в розформуванні составів і, відповідно, до збільшення тривалості їх знаходження в парку прибуття.

Модель  $Y_2$  виявила суттєву залежність простою вагонів під накопиченням (від числа маневрових локомотивів в хвості сортувального парку (фактор X<sub>2</sub>)).

Результати дослідження

№ експ.	Математична модель
1	$y_1 = 0,71 - 0,009x_3 - 0,005x_6 - 0,02x_7 - 0,056x_8 + 0,011x_{10}$
2	$y_2 = 5,295 + 0,034x_1 - 0,198x_2 + 0,107x_3 - 0,02x_8 - 0,004x_9 - 0,169x_{10}$
3	$y_3 = 2,152 + 1,019x_1 + 0,1x_2 - 0,049x_4 - 0,098x_5$
4	$y_4 = 8,072 + 1,256x_1 - 0,226x_2 - 0,102x_4 - 0,181x_5 + 0,149x_8 + 0,12x_9 + 0,027x_{10}$
5	$y_5 = 1,875 + 0,671x_1 - 0,035x_2 - 0,073x_4 - 0,119x_5$

Моделі  $Y_3$ ,  $Y_4$  та  $Y_5$  показали, що тривалість простоїв транзитного вагону з переробкою і без переробки в парку відправлення та по станції в цілому істотно залежать від забезпеченості готових до відправлення составів поїзними локомотивами (фактор X<sub>1</sub>).

### 5. Висновки

Аналіз результатів виконаних досліджень показує, що найбільш доцільним шляхом підвищення ефективності процесу составоутворення на сортувальних станціях є розробка методів оптимізації розподілу парку поїзних локомотивів для зниження непродуктивного простою готових до відправлення составів у парку відправлення; іншим ефективним напрямком є підвищення точності гальмування відцепів при розформуванні составів, в тому числі і за рахунок впровадження сучасних автоматизованих систем управління розпуском.

Таким чином, розроблена імітаційна модель сортувальної станції і побудовані на її основі програмно-імітаційний комплекс дозволяють виконати комплексні практичні дослідження роботи сортувальних станцій. Отримані результати можуть бути використані при розробці та виборі найбільш раціональних організаційно-технічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності процесів составоутворення на сортувальних станціях.

### Література

1. Бернгард, К.А. Сборник примеров по маневровой работе / К.А. Бернгард. – М.: Трансжелдориздат, 1941. – 140 с.
2. Оптимизация технологических процессов на сортировочных станциях и участках: сб. науч. статей / под ред. П.С. Грунтова. – Гомель: БелИИЖТ, 1976. – 71 с.
3. Механизация и автоматизация формирования поездов / под ред. Ю.А. Мухи. – К.: Техника, 1987. – 136 с.
4. Решение оптимизационных задач в АСУ технологическими процессами сортировочной станции: сб. науч. тр. ВНИИЖТ / под ред. Л.Г.Аверьянова. – М.: Транспорт. 1990.- 107 с.
5. Кривошей, Б.А. Технологическая модель составообразования местных поездов / Б.А. Кривошей, Е.А. Лавриненко // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2002. – № 1. – С. 62-64.