

*Проаналізовано форми представлення плану і поздовжнього профілю у відомих імітаційних моделях гіркових технологічних процесів. Запропоновано новий підхід до математичного опису колійного розвитку. Удосконалено структури представлення в імітаційних моделях дільниць колії, вагонних уповільнювачів, стрілочних переводів та маршрутів прямування відцепів*

*Ключові слова: сортувальна гірка, план, поздовжній профіль, імітаційна модель, сортувальний процес*

*Проанализированы формы представления плана и продольного профиля в известных имитационных моделях горочных технологических процессов. Предложен новый подход к математическому описанию путевого развития. Усовершенствованы структуры представления в имитационных моделях участков пути, вагонных замедлителей, стрелочных переводов и маршрутов следования отцепов*

*Ключевые слова: сортировочная горка, план, продольный профиль, имитационная модель, сортировочный процесс*

*The forms of presentation of plan and longitudinal type in the known simulation models of technological processes of humps are analysed. New approach to mathematical description of the ground development is offered. The structures of presentation in the simulation models of areas of way, retarders, switches and routes of the following of run-wagon are improved*

*Key words: sorting humps, plan, longitudinal type, simulation model, sorting process*

# МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ПЛАНУ І ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ ЕЛЕМЕНТІВ СОРТУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКТУ В ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЯХ ГІРКОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

**О.М. Огар**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра залізничних станцій та вузлів\*  
Контактний тел.: (057) 730-10-42

**С.Є. Бантюков**

Кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри  
Кафедра обчислювальної техніки та систем управління\*  
Контактний тел.: (057) 730-10-40

**М.В. Антуф'єва**

Факультет перепідготовки\*  
Контактний тел.: 095-439-80-23

\*Українська державна академія залізничного транспорту  
майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

## 1. Вступ

Зараз єдиним ефективним способом оцінки якості конструкцій сортувальних пристроїв і управління процесами у сортувальному комплексі є отримання результатів моделювання вказаних процесів. Сортувальна гірка відноситься до однієї з найскладніших систем у транспортному комплексі з точки зору формалізації технологічних процесів, які на ній відбуваються. В першу чергу це пов'язано з наявністю великого числа параметрів, які в наслідок своєї стохастичної, а іноді не до кінця вивченої природи, ускладнюють отримання достовірних результатів моделювання. Дана проблема вирішується шляхом введення в імітаційні моделі припущень. Достатньо велике їх число в ряді

випадків ставить під сумнів адекватність моделей, що пропонуються.

## 2. Постановка проблеми

Достовірність результатів моделювання гіркових процесів у значному ступені залежить від форми представлення вихідних даних в імітаційних моделях. Особливо це стосується плану і поздовжнього профілю, які характеризують траєкторію руху об'єктів рухомого складу у тримірному просторі. У відомих імітаційних моделях скочування відцепів з гірки план і профіль представляються у двомірному просторі, де розгорнута проекція осі колії, по якій проходить

маршрут скочування відцепу, на площину **XY** тримірного простору **XYZ** є віссю абсцис. При такому підході неможливо:

1) на будь-якому кроці моделювання визначити кут між напрямком вітру і напрямком руху вагона, в наслідок чого в імітаційних моделях вказаний кут і приймається постійним;

2) врахувати реальний неупорядкований хаотичний характер пульсацій швидкості і напрямку вітру.

Зазначені недоліки свідчать про необхідність удосконалення форми представлення плану і поздовжнього профілю в імітаційних моделях гіркових технологічних процесів для можливості більш повного урахування дії сил опору повітряних мас.

### 3. Аналіз досліджень і публікацій

Створенням та удосконаленням імітаційних моделей сортувального процесу займалися такі вчені, як Ахвердієв К.С., Бобровський В.І., Іванченко В.М., Лебединська О.М., Муратов А.А., Муха Ю.А., Смирнов В.І., Шабельников О.М., Шафіт Є.М., Шепілова О.Г. та інші [1-8]. В окремих працях достатньо уваги приділено математичному опису поздовжнього профілю сортувальних гірок. Значного успіху в точності представлення профілю в імітаційних моделях досяг д.т.н. Бобровський В.І.. Однак, як вже відзначалося вище, у всіх запропонованих моделях план і поздовжній профіль розглядаються у двомірному просторі, в наслідок чого неможливо у даних моделях застосувати новий підхід до розрахунку додаткового питомого опору від середовища і вітру, який запропонований у [9] і на відмінність від існуючих методів розрахунку в більшій мірі враховує випадковий характер швидкості і напрямку вітру.

### 4. Формулювання мети (постановка завдання)

Метою даної роботи є підвищення достовірності результатів моделювання гіркових процесів за рахунок застосування в імітаційних моделях нового підходу до розрахунку додаткового питомого опору від середовища і вітру. Для досягнення поставленої мети необхідно удосконалити форму представлення плану і поздовжнього профілю в зазначених вище моделях.

### 5. Розробка форми представлення плану і поздовжнього профілю в імітаційних моделях гіркових технологічних процесів

Відомо, що у процесі руху відцепу останній знає дії сил опору, дві з яких (сили опору від стрілок і кривих, середовища і вітру) залежать від параметрів колійного розвитку, одна (сила опору від гальмування) – типів вагонних уповільнювачів, які передбачаються у проекті або експлуатуються на ГП спускної частини і підгіркових коліях. У зв'язку з цим для моделювання сортувального процесу і можливості визначення розрахункових інтервалів на розділових стрілках і вагонних уповільнювачах спускної ча-

стини на плані колійного розвитку елементів сортувального комплексу (парку приймання, сортувальної гірки та підгіркового парку) слід виділити наступні характерні точки:

- 1) ізолювані стики стрілочних переводів і вагонних уповільнювачів;
- 2) початок і кінець стрілочних переводів і глухих перехрещень;
- 3) початок і кінець робочих довжин вагонних уповільнювачів;
- 4) початок і кінець кривих дільниць колій;
- 5) вершину гірки;
- 6) розрахункову точку (при конструктивних розрахунках);
- 7) початок і кінець колій парку приймання;
- 8) початок і кінець сортувальних колій.

Вихідними даними для розрахунку координат характерних точок у площині **XY** є:

- 1) координати центрів стрілочних переводів і вершин кутів повороту;
- 2) параметри кривих дільниць колій, стрілочних переводів і глухих перехрещень.

Поздовжній профіль сортувальної гірки представляє з себе сукупність прямих дільниць колій і кругових кривих заданого радіусу. До його характерних точок відносяться точки початку і кінця вертикальних кривих. Для розрахунку координат характерних точок необхідно знати координати переломів елементів поздовжнього профілю у площині **XZ**.

При відомих координатах характерних точок плану і поздовжнього профілю елементів сортувального комплексу сукупність прямолінійних і криволінійних дільниць у площинах **XY** і **XZ** можна описати масивами рівнянь. Це дозволить представити план і профіль маршруту насуву складу до ВГ або скочування відцепу з гірки системами відповідних рівнянь у відповідній послідовності.

Реалізація даного підходу можлива за умови наявності відомих координатах центрів кіл, дуги яких є круговими кривими окремих дільниць плану і профілю елементів сортувального комплексу.

Розглянемо дільницю колії, що містить криву (рис. 1).

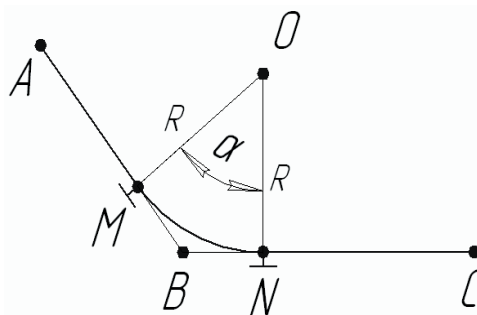


Рис. 1. Фрагмент плану колійного розвитку гіркової горловини

Рівняння прямої, що проходить через точки **A** і **B** з координатами  $(X_A, Y_A)$  і  $(X_B, Y_B)$ , має відомий вид

$$\frac{X - X_B}{X_A - X_B} = \frac{Y - Y_B}{Y_A - Y_B}$$

Аналогічний вид має рівняння прямої, що проходить через точки **B** і **C** з координатами  $(X_B, Y_B)$  і  $(X_C, Y_C)$ .

Доведено, що при відомих координатах центрів стрілочних переводів і вершин кутів повороту та параметрах кривих дільниць колій (куті повороту ( $\alpha$ ) та радіусі кривої ( $R$ )) координати точки **O** можна визначити за наступними формулами

$$X_O = X_B + \frac{T \cdot \begin{vmatrix} (Y_A - Y_B) & \rho_1 \\ (Y_C - Y_B) & \rho_2 \end{vmatrix}}{\Delta};$$

$$Y_O = Y_B + \frac{T \cdot \begin{vmatrix} \rho_1 & (X_A - X_B) \\ \rho_2 & (X_C - X_B) \end{vmatrix}}{\Delta};$$

де  $T$  – тангенс кривої

$$T = MB = BN = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2};$$

$$\rho_1 = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2};$$

$$\rho_2 = \sqrt{(X_C - X_B)^2 + (Y_C - Y_B)^2};$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ X_A & X_B & X_C \\ Y_A & Y_B & Y_C \end{vmatrix}.$$

Тоді рівняння кола з центром у точці **O** буде мати вид

$$\left( X - X_B - \frac{T \cdot \begin{vmatrix} (Y_A - Y_B) & \rho_1 \\ (Y_C - Y_B) & \rho_2 \end{vmatrix}}{\Delta} \right)^2 + \left( Y - Y_B - \frac{T \cdot \begin{vmatrix} \rho_1 & (X_A - X_B) \\ \rho_2 & (X_C - X_B) \end{vmatrix}}{\Delta} \right)^2 = R^2.$$

Кожній дільниці колії елементів сортувального комплексу (далі технологічній дільниці), що обмежена характерними точками плану і профілю, можна поставити у відповідність вектор параметрів

$$D = (N_{т.д.}, X_{п.}, Y_{п.}, X_{к.}, Y_{к.}, N_p^{пл.}, N_p^{пр.}, l_d, \Theta, l_{пл.}, \varphi, I_{із.с}^{стр.}, I_{із.с}^{уп.}, I_r, I_{сн.}, Z_{уп.}),$$

де  $N_{т.д.}$  – порядковий номер технологічної дільниці;

$X_{п.}, Y_{п.}, X_{к.}, Y_{к.}$  – координати відповідно початку і кінця технологічної дільниці, м;

$N_p^{пл.}, N_p^{пр.}$  – порядковий номер рівняння кривої, що проходить через початкову і кінцеву точки технологічної дільниці відповідно у плані і профілі;

$l_d$  – довжина технологічної дільниці, м;

$\Theta, l_{пл.}, \varphi$  – відповідно тип, довжина, м, і кут, о, елемента плану, в межах якого розташована технологічна

дільниця ( $\Theta=0$ , якщо елемент плану є кривою або прямою дільницею колії, і  $\Theta=1$ , якщо елемент плану є стрілочним переводом);

$I_{із.с}^{стр.}, I_{із.с}^{уп.}$  – ідентифікатор розташування технологічної дільниці в межах ізолюваної секції відповідно стрілочного переводу і вагонного уповільнювача;

$I_r, I_{сн.}$  – ідентифікатор розташування технологічної дільниці відповідно в межах гальмових шин вагонних уповільнювачів і в зоні дії додаткового питомого опору від снігу та інею;

$Z_{уп.}$  – структура вагонного уповільнювача, в межах якого розташована технологічна дільниця,

$$Z_{уп.} = (T_{уп.}, H_{уп.}^{4в.}, H_{уп.}^{6в.}, H_{уп.}^{8в.}, I_{уп.}^{ст.}, I_{уп.}^{бал.}, P_{гц.}, P_{шц.}, P_o),$$

де  $T_{уп.}$  – тип вагонного уповільнювача;

$H_{уп.}^{4в.}, H_{уп.}^{6в.}, H_{уп.}^{8в.}$  – витрачена енергетична висота на гальмування повновантажного відповідно чотиривісного, шестивісного і восьмивісного вагону, кДж/кН;

$I_{уп.}^{ст.}, I_{уп.}^{бал.}$  – довжина вагонного уповільнювача відповідно по стикам і гальмовим балкам, м;

$P_{гц.}$  – тиск робочого тіла в гальмових циліндрах, МПа;

$P_{шц.}$  – номінальний тиск робочого тіла в гальмових циліндрах, МПа;

$P_o$  – частина тиску робочого тіла в гальмових циліндрах, що витрачається на піднімання (переміщення) маси гальмової системи, МПа.

Для визначення координат характерних точок елементів сортувального комплексу і величини додаткового питомого опору від стрілок і кривих пропонується використовувати наступну структуру стрілочного переводу

$$S = (T_{стр.}, X_{щ.}, Y_{щ.}, \alpha, R_{пер.}, a, a_o, b, l_{із.с}),$$

$T_{стр.}$  – тип стрілочного переводу;

$X_{щ.}, Y_{щ.}$  – координати центра стрілочного переводу, м;

$\alpha$  – кут відхилення від осі основної колії, о;

$R_{пер.}$  – радіус перевідної кривої стрілочного переводу, м;

$a, a_o, b$  – відстань від центру стрілочного переводу відповідно до стику рамної рейки, вістряків і вихідного стику, м;

$l_{із.с.}$  – довжина ізолюваної секції стрілочного переводу, м.

При заданій порядковій нумерації технологічних дільниць маршрути прямування відцепів конкетного состава з парку приймання на колії підгіркового парку можна представити структурою

$$M = (I_m^{нас.}, I_{m_1}^{ск.}, I_{m_2}^{ск.}, \dots, I_{m_n}^{ск.}),$$

де  $I_m^{нас.}$  – ідентифікатор сукупності порядкових номерів технологічних дільниць, які розташовані на маршруті насуву в парку;

$I_{m_1}^{ск.}, I_{m_2}^{ск.}, \dots, I_{m_n}^{ск.}$  – ідентифікатор сукупності порядкових номерів технологічних дільниць, які розташовані на маршруті скочування 1-го, 2-го, ..., n-го відцепу з гірки.

---

## 6. Висновки

---

Застосування запропонованої форми представлення плану і поздовжнього профілю в імітаційних моделях гіркових технологічних процесів дозволить з більшою точністю визначати величину додаткового питомого опору від середовища і вітру,

що позитивно вплине на достовірність результатів моделювання.

Нові підходи до формалізації вихідних даних і розрахунку сил опору повітряних мас можуть бути використаними в АСУ розформуванням составів, а також при розробці нових імітаційних моделей сортувального процесу.

---

## Література

1. Муха Ю.А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов при выполнении горочных расчетов / Ю.А. Муха, А.А. Муратов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: межвуз. сб. науч. трудов. – Днепропетровск, 1990. – С. 11-20.
2. Иванченко В.Н. Новый подход к управлению процессом роспуска составов на сортировочной горке / В.Н. Иванченко, Н.Н. Лябах, А.А. Сепетый // Труды РИИЖТа. – Ростов-на-Дону, 1984. – С. 34-41.
3. Шабельников А.Н. Системы автоматизированных сортировочных горок на базе промышленных компьютеров / А.Н. Шабельников // Автоматика, связь, информатика. – 2001. – № 11. – С. 13–16.
4. Лебединская Е.Н. Математическая модель программы роспуска составов с сортировочной горки / Е.Н. Лебединская, Е.Г. Шепилова // Междунар. сб. науч. трудов. – Ростов-на-Дону, 1998. – С. 31-37.
5. Бобровский В.И. Представление продольного профиля сортировочных горок в АСУ расформированием составов / В.И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – № 1, 2. – С. 19–25.
6. Ахвердиев К.С. Оптимальный горочный профиль и динамика скатывания отцепа по нему / К.С. Ахвердиев, Б.И. Алибеков, В.П. Жуков // Транспорт: наука, техника, управление. – 1991. – № 8. – С. 13–18.
7. Смирнов В.И. Динамика скатывания одновагонных отцепов с сортировочной горки / В.И. Смирнов // Транспорт: наука, техника, управление. – 1993. – № 10. – С. 29–34.
8. Шафит Е.М. Аппроксимация продольного профиля сортировочных горок / Е.М. Шафит // Межвуз. сб. науч. трудов. – Днепропетровск, 1965. – Вып. 52. – С. 14-19.
9. Огар О.М. Удосконалення методу розрахунку додаткового питомого опору від середовища і вітру при моделюванні скочування вагонів з гірки / О.М. Огар // 36. наук. праць „Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту”. – Харків, 2009. – Вып. 108. – С. 150-154.