

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ВІДЧЕПІВ ТА ХАРАКТЕРИСТИК НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Виконано дослідження процесу скочування відчепів в умовах дії випадкових факторів. Визначені характеристики розподілу випадкової величини скочування відчепів.

Выполнены исследования процесса скатывания отцепов в условиях действия случайных факторов. Определены характеристики распределения случайной величины времени скатывания отцепов.

There have been executed the researches of process of cuts rolling in the conditions of the action of random factors. There have also been determined the characteristics of the distribution of the random value of time of cuts rolling.

Показники роботи сортувальної гірки суттєво залежать від вибору режимів розпуску составів. Удосконалення управління розпуском повинно забезпечити вирішення різноманітних задач: недопущення пошкодження вагонів, підвищення продуктивності гірки, зменшення обсягів маневрової роботи по ліквідації «вікон», скорочення енергетичних витрат на роботу уповільнювачів, покращення умов праці робітників гірки та ін. Вказані задачі можуть бути вирішені за умови розробки автоматизованої системи регулювання швидкості скочування відчепів.

Основою автоматизованої системи регулювання швидкості скочування відчепів є імітаційна модель процесу скочування відчепів. Імітаційне моделювання досить широко використовується при проектуванні сортувальних гірок і дослідженні гіркових процесів. Відповідно [1] процес скочування відчепа описується диференціальним рівнянням $v' = f(s, v)$, для рішення якого використовується метод Рунге-Кутта IV порядку з постійним кроком Δs . При цьому на кожному кроці Δs моделювання переміщення відчепа виконується за допомогою диференціального рівняння першого порядку, в якому незалежною змінною є шлях [1]

$$v' = \frac{dv}{ds} = \frac{g'(i - w_0 - w_{cb} - w_{ck} - w_t) \cdot 10^{-3}}{v}, \quad v > 0$$

де w_0 – основний питомий опір руху відчепа, кгс/тс; w_{cb} – додатковий питомий опір руху від повітряного середовища, кгс/тс; w_{ck} – додатковий питомий опір, що виникає при проходженні стрілок і кривих кгс/тс; w_t – додатковий пи-

томий опір від гальмових уповільнювачів; v – швидкість відчепа, м/с; g' – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції частин вагона, що обертаються, м/с².

Існуючі методи оптимізації режимів гальмування [2; 3] базуються на припущенні, що величини w_{ck} , w_{cb} , w_0 , w_t є постійними, а їх значення відомі до початку скочування. В той же час, відповідно до [4], вказані величини мають випадковий характер. Дослідження впливу випадкових факторів на швидкість та час скочування відчепів дозволить удосконалити методику оцінки техніко-експлуатаційних характеристик сортувальних гірок і розробити більш ефективні алгоритми оперативного управління процесом розпуску составів.

Для дослідження процесу розпуску составів в умовах дії випадкових факторів удосконалено базову модель [5] скочування відчепів з гірки.

Відповідно до [4] випадкова величина w_0 має гама розподіл з параметрами α та β , що залежить від вагової категорії вагона q

$$F(w_0) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{w_0} e^{-\beta w_0} w_0^{\alpha-1} dw_0,$$

де α , β – коефіцієнти гама-розподілу.

В результаті статистичної обробки даних перевізних документів встановлено, що в межах вагових категорій Л, ЛС, С та СТ випадкова величина Q_v розподілена за рівномірним законом. Вага вагонів важкої категорії Т є випадковою величиною, моделювання значення якого у окремому досліді може бути виконано за допомогою виразу [6]

$$Q_{v(T)} = Q_T + Q_{вп} - \xi,$$

де Q_T , $Q_{\text{вп}}$ – відповідно тара та вантажопідйомність вагону; ξ – випадкова величина недовантаження вагона, що має показниковий закон розподілу.

Випадкове значення $w_{\text{ск}}$ відповідно до [4] має розподіл Ерланга. Для його моделювання використовується вираз:

$$w_{\text{ск}}(v) = v^2 \sum_{j=1}^{m_{\text{отц}}} q_{vj} \sum_{i=\alpha_j}^{\omega_j} \frac{C_{\text{ски}}}{l_{\text{ски}}},$$

де $m_{\text{отц}}$ – кількість вагонів у відцепі; q_{vj} – вага відцепу, т; $l_{\text{ски}}$ – довжина ділянки скочування відцепу, м.

При цьому випадкове значення $C_{\text{ски}}$ для окремої стрілки чи кривої визначається за формулою [4]:

$$C_{\text{ски}} = -\frac{0,56\theta + 0,23\varphi_n}{8} \ln \prod_{k=1}^8 R_k,$$

де θ_n – тип n -го елемента ($\theta_n = 0$ – крива; $\theta_n = 1$ – стрілка); φ_n – кут повороту кривої n -го елемента, град; R_k – випадкові числа розподілені рівномірно у інтервалі (0; 1).

Значення $w_{\text{ск}}$ та w_T моделюються як випадкові величини з нормальним законом розподілу, характеристики яких залежать від ваги і типу вагонів відцепу.

Зважаючи на те, що більшість характеристик відцепів та умов скочування є випадковими величинами, швидкість $v(s)$ та час $t(s)$ руху відцепів є також випадковими величинами.

Для вивчення характеру розподілу випадкових величин $v(s)$ та $t(s)$ виконано серію іміта-

ційних експериментів. Розкид випадкових величин швидкості та часу руху відцепів легкої вагової категорії зображено на рис. 1. *а*. На рис. 1, *б* наведена гістограма розподілу часу скочування відцепу легкої вагової категорії до моменту виходу з другої гальмівної позиції. На підставі аналізу результатів дослідів висунута гіпотеза про нормальний розподіл швидкості та часу руху відцепів. Перевірка за критерієм Пірсона χ^2 показала, що немає підстав для того, щоб відхиляти вказану гіпотезу. Експерименти при інших умовах також підтвердили нормальний розподіл.

Таким чином при оптимізації інтервального регулювання швидкості відцепів з достатньою точністю можна вважати, що час скочування відцепу до деякої точки t знаходиться в межах інтервалу

$$\bar{t} - q_k \sigma(t) < t < \bar{t} + q_k \sigma(t).$$

Математичне очікування часу скочування відцепу $\bar{t}$ до деякої точки має близьке значення до часу скочування відцепу, з вагою та основним питомим опором рівним їх математичним очікуванням у ваговій категорії. Для перевірки вказаної гіпотези відповідно до [7] визначені межі довірчого інтервалу для величини $\bar{t}$.

$$G_n = \bar{X} - z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad G_e = \bar{X} + z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

де G_n , G_e – відповідно нижня та верхня межі випадкового інтервалу; $\bar{X}$ – середнє арифметичне ряду змінних; z_α – критичне значення нормованого нормального розподілу при двобічному обмеженні; α – середнє квадратичне відхилення; n – об'єм ряду вимірювань.

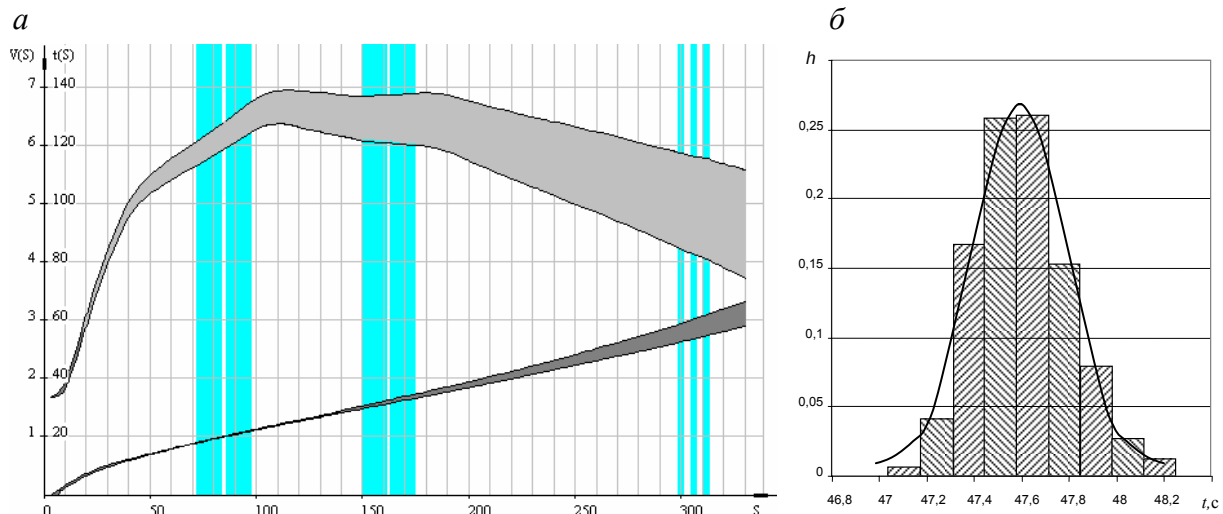


Рис. 1. Результати вільного скочування відцепів легкої вагової категорії:
а – розкид швидкості та часу скочування; *б* – гістограма розподілу часу руху відцепу в момент його виходу з другої гальмівної позиції

Для аналізу впливу різних факторів на величину середнього квадратичного відхилення часу скочування відчепа виконано серію імітаційних експериментів по скочуванню відчепів без гальмування з використанням плану Кіфера 3^3 [8]. Фактори та рівні їх варіювання наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Фактори та рівні їх варіювання
для побудови моделі скочування відчепа
по спускній частині гірки**

Фактори	$x_i = -1$ (нижній рівень)	$x_i = 0$ (основний рівень)	$x_i = 1$ (верхній рівень)
Вагова категорія відчепа (x_1), q	Л	С	Т
Кількість вагонів у відчепі (x_2), n	1	3	5
Довжина шляху скочування (x_3), L	23,42	174,15	324,88

В результаті розрахунків отримано залежність у вигляді полінома другого ступеня [9]:

$$y = 0,090 - 0,028x_1 - 0,033x_2 + 0,074x_3 + \\ + 0,013x_1x_2 - 0,023x_1x_3 - 0,033x_2x_3 - 0,007x_1^2 + \\ + 0,018x_2^2 + 0,011x_3^2 + 0,013x_{123}.$$

Як показує аналіз цієї моделі основним фактором, від якого залежить величина середнього квадратичного відхилення швидкості руху, є довжина шляху скочування відчепа L .

Визначення довірчих інтервалів часу і швидкості скочування значно ускладнюється при скочуванні відчепа в умовах гальмування. На рис. 2 зображено результати експериментів по скочуванню відчепів важкої вагової категорії при заданій швидкості виходу з першої і другої гальмівних позицій, відповідно 5 і 3 м/с. Як показали експерименти середнє квадратичне відхилення швидкості та часу скочування відчепів $\sigma(t)$ суттєво залежить від швидкості руху відчепів по спускній частині гірки, а відповідно від режимів гальмування відчепів.

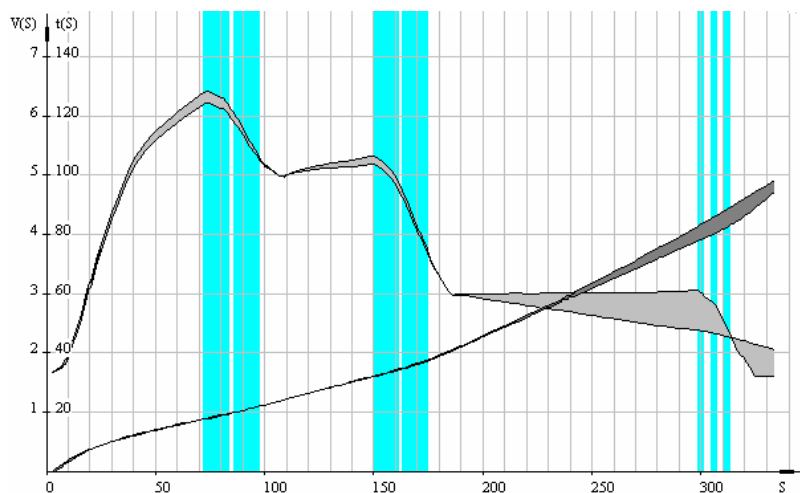


Рис. 2. Розкид швидкості та часу скочування відчепів важкої вагової категорії в умовах гальмування

На рис. 3 наведено залежність середнього квадратичного відхилення часу скочування відчепа важкої вагової категорії від моменту відриву до моменту входу на ізолювану ділянку стрілки 5.

Наведена залежність складається із п'яти ділянок:

– основна ділянка (ділянка №3), в якій всі відчепа даної вагової категорії скочуються з гальмуванням і забезпечується задана швидкість їх виходу з гальмівної позиції. В результаті регресійного аналізу встановлено, що залежність середнього квадратичного відхилення часу руху відчепів від заданої швидкості їх ви-

ходу з гальмівної позиції в межах цієї ділянки може бути апроксимована оберненим поліномом другого ступеня

$$y = \frac{1}{a_0 + a_1 v_{\text{вих}} + a_2 v_{\text{вих}}^2},$$

де a_0, a_1, a_2 – емпіричні коефіцієнти.;

– ділянка використання повної потужності гальмівної позиції для всіх відчепів даної вагової категорії (ділянка № 1). Цій ділянці відповідають найнижчі швидкості руху відчепа. В її межах всі відчепа скочуються з гальмуванням, але задана швидкість їх виходу з гальмівної по-

зиції реалізована бути не може через обмеження її потужності. Середнє квадратичне відхилення часу скочування відчепа в межах цієї ділянки має постійне значення;

– ділянка скочування відчепів без гальмування (ділянка № 5). Цій ділянці відповідають такі задані швидкості виходу з гальмівної позиції, що не можуть бути досягнуті жодним з відчепів даної вагової категорії навіть при скочуванні без гальмування. Середнє квадратичне відхилення часу скочування відчепа в межах цієї ділянки також має постійне значення;

– перехідні ділянки № 2 та 4 в межах яких для частини відчепів може бути реалізована задана швидкість виходу з гальмівної позиції, а для частини ні. Закон розподілу випадкової величини часу руху відчепів в межах цих ділянок відрізняється від нормального, а залежність середнього квадратичного відхилення $\sigma(t)$ від заданої швидкості виходу з гальмівної позиції в їх межах має характер, близький до лінійного.

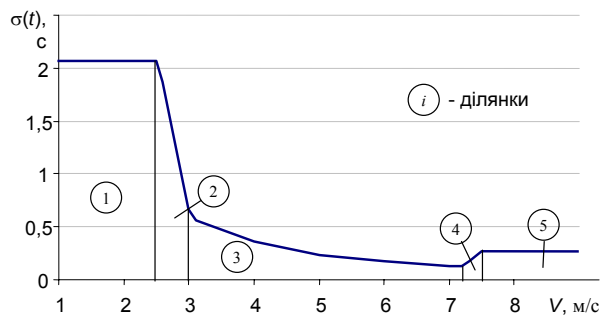


Рис. 3. Зміна середнього квадратичного відхилення часу скочування відчепа до входу на ізолювану ділянку стрілки 5 в залежності від швидкості його виходу з першої гальмівної позиції

Отримати адекватні статистичні моделі для швидкості та часу скочування відчепів в умовах гальмування не вдалося. Тому при розв'язанні задачі оптимізації режимів гальмування відчепів необхідно або виконувати серію скочувань, або розробити спеціальні таблиці.

Таким чином, вплив випадкових факторів суттєво ускладнює визначення режимів гальмування відчепів при розформуванні составів. Розкид часу скочування відчепів одної вагової категорії може досягати суттєвих значень, що призводить до зменшення гарантованих інтер-

валів на розділових елементах. Зважаючи на те, що розкид часу скочування відчепа залежать від його характеристик, відстані скочування та режимів гальмування виникає задача пошуку таких режимів гальмування, які дозволяють максимізувати гарантовані інтервали на розділових елементах. Рішення цієї задачі є метою подальших досліджень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бобровский В. И. Дифференциальные уравнения движения отцепа и методы их решения // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – № 6. – С. 34–39.
2. Образцов В. Н. К вопросу о тяговых расчетах сортировочных горок // Труды МИИТа. – Вып. 9. – М., 1928. – с. 129. – 152.
3. Образцов В. Н. Станции и узлы / В. Н. Образцов, В. Д. Никитин, Ф. Н. Шаульский, С. П. Бузанов. – М.: Трансжелдориздат, 1949. – 540 с.
4. Муха Ю. А. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств // Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин и др. – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.
5. Муха Ю. А., Муратов А. А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов при выполнении горочных расчетов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. научн. тр. – Д.: ДИИТ, 1990. – С. 11–20
6. Козаченко Д. М. Дослідження впливу параметрів відчепів та умов їх скочування на величину інтервалів на розділових стрілках / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, Р. Г. Коробйова.
7. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. Под ред. Н.С. Райбмана. – М.: Мир, 1970.
8. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
9. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263с., ил. – (Мат. статистика для экономистов).

Надійшла до редколегії 14.03.07.