

УДК 656.212.5:681.3
**УДОСКОНАЛЕНА МОДЕЛЬ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ З
СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ В УМОВАХ ДІЇ ВИПАДКОВИХ
ФАКТОРІВ**

*Таранець О.І., кандидат технічних наук, асистент кафедри
«Управління експлуатаційною роботою» Дніпропетровського
національного університету залізничного транспорту ім. ак.
Лазаряна*

Ключові слова: *режими гальмування, відцеп, гарантований
інтервал, сортувальна гірка, імітаційна модель*

Вступ.

Оптимальне управління розпуском потребує визначення таких режимів гальмування відцепів, при яких буде забезпечено найкращі умови їх поділу на стрілках та допустима швидкість прямування одного відчепа до іншого, що знаходиться на сортувальних коліях.

Основний зміст.

Існуючі методи оптимізації режимів гальмування базуються на припущенні, що величини основного питомого опору ω_0 , опору від стрілок та кривих $\omega_{ск}$, опору від середовища та вітру $\omega_{св}$, опору від гальмівних уповільнювачів ω_r мають постійні значення на маршруті скочування. В той же час вказані величини мають випадковий характер на маршруті скочування. Дослідження впливу випадкових факторів на процес розформування составів та скочування окремих відцепів дозволить удосконалити методику оцінки техніко-експлуатаційних характеристик сортувальних гірок і розробити більш ефективні алгоритми оперативного управління процесом розпуску составів.

Як відомо, процес скочування відчепа описується диференціальним рівнянням:

$$v' = \frac{dv}{dt} = g' i - \omega_0 - \omega_{св} v - \omega_{ск} v - b_r \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де i – ухил колії на маршруті скочування;

ω_0 – основний питомий опір руху відчепа, Н/кН;

$\omega_{св}$ – додатковий питомий опір руху від повітряного середовища, Н/кН;

$\omega_{ск}$ – додатковий питомий опір, що виникає при проходженні стрілок і кривих Н/кН;

v – швидкість відчепа, м/с;

g' – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції частин вагона, що обертаються, м/с²;

b_r – опір руху від гальмівних уповільнювачів, Н/кН:

$$b_r = F v_{гп}^{вх}, v_{гп}^3, \sigma_{гп}, \quad (2)$$

де $v_{гп}^{вх}$ – швидкість входу відчепа на ГП, км/год;

$v_{гп}^3$ – випадкова величина швидкості виходу відчепа з ГП, що

розподілена за нормальним законом, км/год;

$\sigma_{\text{гп}}$ – математичне очікування та середнє квадратичне відхилення випадкової величини швидкості відчепа.

Для дослідження процесу розпуску составів в умовах дії випадкових факторів удосконалено базову модель [1] скочування відчепів з гірки.

Відповідно до [2] параметри та закон розподілу випадкової величини ω_0 залежать від вагової категорії вагонів q і типу підшипників. Для вагонів з роликowymi підшипниками величина ω_0 має гама розподіл з параметрами α та β :

$$F \omega_0 = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma \alpha} \int_0^{\omega_0} e^{-\beta \omega_0} \omega_0^{\alpha-1} d\omega_0, \quad (3)$$

де α, β – коефіцієнти гама-розподілу.

На рис. 1 наведено графік щільності розподілу $f(\omega_0)$ відчепів легкої та важкої вагових категорій.

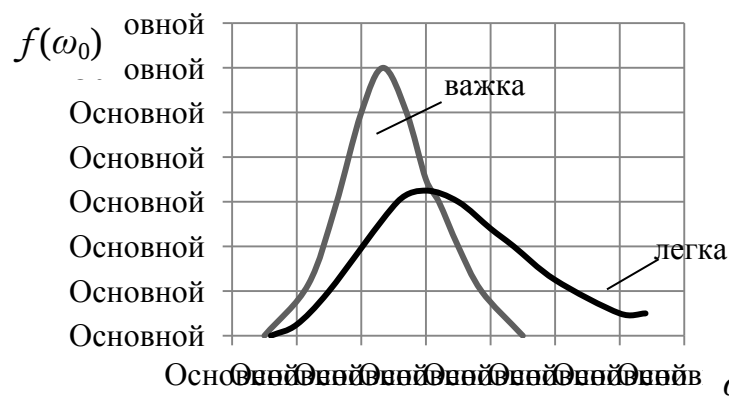


Рисунок 1- Графік щільності розподілу $f(\omega_0)$ відчепів легкої та важкої вагових категорій

Розглянемо більш докладно моделювання випадкової величини основного питомого опору на маршруті скочування відчепа.

Нехай $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_\tau$ – тимчасовий ряд, що описує зміни показника w_t «коливального характеру», $t = 1, \tau$ [3]. Крім того, нехай $\omega(t)$ – передбачувана теоретична залежність, що відповідає експериментальній.

Функцію $\omega(t)$ у досліджуваному інтервалі часу можна при виконанні деяких умов представити нескінченним рядом синусоїдальних і косінусоїдальних функцій (ряд Фур'є), наприклад, якщо функція в-монотонна й обмежена (умови Дирихле).

Перша гармоніка має період, рівний довжині досліджуваного періоду. Друга гармоніка має період, рівний половині основного, третя – однієї третини основного і т.д. Узагалі, якщо є τ спостережень, то число гармонік не буде перевищувати $\frac{\tau}{2}$. Для функції «коливального характеру», як правило, їх потрібно визначити менше, також функції добре описуються декількома першими гармоніками.

Запишемо $w(t)$ у вигляді суми $\frac{\tau}{2}$ гармонік:

$$\omega_0 t = \bar{\omega}_0 + \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} (A_i \cos \frac{2\pi i t}{\tau} + B_i \sin \frac{2\pi i t}{\tau}), \quad (4)$$

де $\bar{\omega}_0$ – математичне очікування величини опору руху, кгс/тс;

A_i, B_i – коефіцієнти ряду Фур'є;

$\frac{2\pi t}{\tau}$ – частота i -ї гармоніки;

τ – тривалість вимірювання, с;

i – кількість гармонік.

A_i, B_i – коефіцієнти Фур'є;

$\bar{v}_B$ – математичне очікування величини швидкості вітру, м/с.

$$\bar{\omega}_0 = -\frac{1}{b} \ln \sum_{j=1}^a R_j, \quad (5)$$

де a, b – параметри гамма розподілу;

R_j – випадкові числа, що рівномірно розподілені у інтервалі (0;

1).

Коефіцієнти A_i, B_i та a_0 оцінюються за методом найменших квадратів:

$$\sum_{t=1}^{\tau} (y_t - y(t))^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

Одержання формул для коефіцієнтів полегшується завдяки властивості ортогональності:

$$\sum_{t=1}^{\tau} \sin \frac{2\pi i t}{\tau} \sin \frac{2\pi j t}{\tau} = \begin{cases} 0, i \neq j \\ \frac{\tau}{2}, i = j \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

Подібна рівність має місце, якщо обидва члени замінені косинусами, якщо ж один член замінений косинусом - то сума в лівій частині дорівнює 0.

Позначимо:

$$S_{a_0, A_1, A_2, A_{\frac{\tau}{2}}, \dots, B_{\frac{\tau}{2}}} = \sum_{t=1}^{\tau} \omega_t = -a_0 - \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} [A_i \sin \frac{2\pi}{\tau} \cdot i \cdot t + B_i \cos(\frac{2\pi}{\tau} \cdot i \cdot t)]^2$$

Оцінки параметрів A_i, B_i та a_0 знаходяться із системи рівнянь:

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^{\tau} \omega_t &= \tau a_0 + \sum_{t=1}^{\tau} \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} A_i \sin \frac{2\pi i t}{\tau} + \sum_{t=1}^{\tau} \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} B_i \cos(\frac{2\pi i t}{\tau}), \\ \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} \omega_t \sin \frac{2\pi i t}{\tau} &= a_0 \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} \sin \frac{2\pi i t}{\tau} + \\ &+ \sum_{t=1}^{\tau} \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} A_i \sin \frac{2\pi i t}{\tau} A_i \sin \frac{2\pi i t}{\tau} + \sum_{t=1}^{\tau} \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} A_i \sin \frac{2\pi i t}{\tau} A_i \cos \frac{2\pi i t}{\tau} \\ &+ \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} \omega_t \cos \frac{2\pi i t}{\tau} = a_0 \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} \cos \frac{2\pi i t}{\tau} + \\ &+ \sum_{t=1}^{\tau} \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} A_i \sin \frac{2\pi i t}{\tau} B_i \cos \frac{2\pi i t}{\tau} + \sum_{t=1}^{\tau} \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} A_i \cos \frac{2\pi i t}{\tau} A_i \cos \frac{2\pi i t}{\tau} \end{aligned}$$

$$j = 1, \frac{\tau}{2}$$

Оцінки параметрів A_i, B_i та a_0 мають вигляд:

$$a_0 = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \omega_t,$$

$$\begin{aligned} A_i &= \frac{2}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \omega_t \sin\left(\frac{2\pi i t}{\tau}\right) \\ B_i &= \frac{2}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \omega_t \cos\left(\frac{2\pi i t}{\tau}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

Якщо $i < \frac{p}{2}$.

При $i = \frac{p}{2}$, $A_{\frac{p}{2}} = 0$, $B_{\frac{p}{2}} = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} (-1)^t \omega_t$

Отримані рівняння дозволять моделювати величину основного питомого опору на маршруті скочування.

Для моделювання випадкового значення $\omega_{ск}$ використовується вираз [4]:

$$\omega_{ск} v = v^2 \sum_{j=1}^{m_{відч}} q_{vj} \sum_{i=\alpha_j}^j \frac{C_{ски}}{l_{ски}}, \quad (9)$$

де v – швидкість скочування відчепу, м/с;

$m_{відч}$ – кількість вагонів у відчепі;

q_{vj} – маса відчепу, т;

$l_{ски}$ – довжина ділянки скочування відчепу, м.

При цьому випадкове значення $C_{ски}$ для окремої стрілки чи кривої визначається за формулою:

$$C_{ски} = -\frac{0,56\theta + 0,23\varphi_n}{8} \ln \sum_{k=1}^8 R_k, \quad (10)$$

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).

Випадкова величина $\omega_{св}$ на маршруті скочування відчепа моделюється за допомогою виразу:

$$\omega_{св} = c \cdot v_{від}^2, \quad (11)$$

де c – приведений коефіцієнт повітряного опору;

$v_{від}$ – відносна результуюча швидкість відчепа та вітру, м/с, що визначається за формулою:

$$v_{від} = v^2 + v_v^2 \pm 2vv_v \cos\beta, \quad (12)$$

де v – швидкість скочування відчепа, м/с;

β – кут між напрямком вітру та віссю ділянки колії, по якій рухається відчеп;

v_v – швидкість вітру, м/с, яка моделюється за допомогою гармонічної функції як і величина основного питомого опору:

$$v_v t = \bar{v}_v + \sum_{i=1}^{\frac{\tau}{2}} (A_i \cos \frac{2\pi i t}{\tau} + B_i \sin \frac{2\pi i t}{\tau}), \quad (13)$$

де $\bar{v}_v$ – математичне очікування величини швидкості вітру, м/с.

Напрямок вітру в моделі моделюється за допомогою наступного виразу:

$$\alpha t = \bar{\alpha} + \sum_i (A_i \cos \frac{2\pi t}{\tau} + B_i \sin \frac{2\pi t}{\tau}), \quad (14)$$

де $\bar{\alpha}$ – математичне очікування кута напрямку вітру, град.

У дисертаційній роботі розглянуті різні методи визначення маси, а також виконано дослідження випадкової величини маси

вагона. У окремому досліді значення цієї випадкової величини може бути промодельоване за допомогою виразу:

$$Q_v = M Q + \sigma Q \cdot z, \quad (15)$$

де $M Q$ – математичне очікування випадкової величини маси відчепа, т;

σQ – величина розходження маси вантажу вказаної у перевізних документах та маси вантажу після переваження.

Математичні очікування випадкових величин опору руху $\bar{w}_0$, $w_{ск} v$, w_T моделюються відповідно до [4].

Висновки.

Запропоновані методи та моделі, реалізовано у вигляді програмного комплексу для ЕОМ «Скатывание одиночного отцепа».

Розроблені імітаційні моделі та програмні засоби дозволяють порівнювати варіанти конструкції сортувальних гірок, оцінювати ефективність їх технічного оснащення та алгоритмів управління систем АРС, що проектуються при автоматизації сортувальних гірок, а також вирішувати різноманітні оптимізаційні задачі.