

О. І. ТАРАНЕЦЬ (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

КРИТЕРІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ СОСТАВА В УМОВАХ ДІЇ ВИПАДКОВИХ ФАКТОРІВ

Мета. Стаття присвячена удосконаленому методу оптимізації керованих відцепів в розрахунковій групі, що на відміну від існуючих, враховує вплив випадкових факторів та дозволяє використовувати його для оперативного управління процесом скочування відцепів з гірки. При цьому запропоновано критерій оптимізації режимів гальмування відцепів состава в умовах відхилення фактичних параметрів від розрахункових значень та неточність реалізації гальмовими позиціями заданих режимів гальмування. **Методи дослідження.** У дослідженні використовується імітаційне моделювання процесу скочування відцепів з гірки. Для оптимізації режимів гальмування відцепів використовується ітераційний метод. **Результати.** Врахування впливу випадкових факторів, які діють на відцеп в процесі скочування при оптимізації режимів гальмування відцепів дає змогу підвищити точність регулювання швидкості між відчепами. **Наукова новизна.** Удосконалено метод оптимізації режимів гальмування керованих відцепів в розрахунковій групі, що на відміну від існуючих, враховує вплив випадкових факторів та дозволяє використовувати його для оперативного управління процесом скочування відцепів з гірки. **Практична значимість.** Результати досліджень можуть бути використані при розробці програмних засобів техніко-економічної оцінки конструкцій та технічного забезпечення сортувальних гірок в системах проектування, а також в автоматизованих системах управління сортувальними станціями.

Ключові слова: сортувальна гірка, відцеп, режими гальмування, гарантований інтервал, область допустимих режимів

Цель. Статья посвящена усовершенствованному методу оптимизации управляемых отцепов в расчетной группе, который в отличие от существующих, учитывает влияние случайных факторов и позволяет использовать его для оперативного управления процессом скатывания отцепов с горки. При этом, предложен критерий оптимизации режимов торможения отцепов состава в условиях отклонения фактических параметров от расчетных значений и неточности реализации тормозными позициями заданных режимов торможения. **Методы исследования.** В исследовании используется имитационное моделирование процесса скатывания отцепов с горки. Для оптимизации режимов торможения отцепов используется итерационный метод. **Результаты.** Учет влияния случайных факторов, которые действуют на отцеп в процессе скатывания при оптимизации режимов торможения отцепов, позволяет повысить точность регулирования скорости между отчепами. **Научная новизна.** Усовершенствован метод оптимизации режимов торможения управляемых отцепов в расчетной группе, который в отличие от существующих, учитывает влияние случайных факторов и позволяет использовать его для оперативного управления процессом скатывания отцепов с горки. **Практическая значимость.** Результаты исследований могут быть использованы при разработке программных средств технико-экономической оценки конструкций и технического обеспечения сортировочных горок в системах проектирования, а также в автоматизированных системах управления сортировочными станциями.

Ключевые слова: сортировочная горка, отцеп, режимы торможения, гарантированный интервал, область допустимых режимов торможения

Purpose. The article is devoted to improved methods of optimizing managed to cuts settlement group, unlike the existing ones into account the influence of random factors and can be used for operational management of rolling cuts the hump. Thus the proposed criterion optimization inhibition cuts composition in terms of the deviation of actual parameters cuts from the calculated values and the uncertainty of realization brake positions given mode of inhibition. **Methods.** The study used simulation process rolling cuts the hump. To optimize braking mode cuts used iterative method. **Results.** Taking into account the influence of random factors that act on cuts the process rolling when braking cuts optimization allows to increase the precision speed control between cuts. **Scientific novelty.** The method of optimization cuts controlled braking in the settlement group, unlike the existing ones into account the influence of random factors and can be used for operational management of rolling cuts the hump. **The practical significance.** The research results can be used in the development of software feasibility study designs and technical support marshalling humps in systems design, as well as automated control systems switchyard.

Keywords: hump, cut, braking modes, guaranteed interval, the range of permissible braking modes

Вступ

Показники роботи сортувальної гірки суттєво залежать від вибору режимів розпуску составів. Оптимальне управління розпуском потребує визначення таких режимів гальмування відчепів, при яких буде забезпечено найкращі умови їх поділу на стрілках та допустима швидкість прямування одного відчепа до іншого на сортувальних коліях. Режими гальмування окремих відчепів повинні забезпечувати максимально можливі інтервали на стрілках для всіх несприятливих за умовами поділу пар відчепів за рахунок оптимального їхнього розподілу по всьому составі. Тобто, задача визначення оптимальних режимів гальмування відчепів є достатньо актуальною.

Мета

Метою цієї статті є удосконалення методів оптимізації режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках в умовах дії випадкових факторів.

Основний зміст

Відповідно до [1] для кожного відчепа існує область допустимих режимів гальмування (ОДР), конфігурація та площа якої визначаються його параметрами скочування. На трьохпозиційних гірках режим гальмування відчепа, що скочується, можна представити вектором $h = (h', h'', h''')$ енергетичних висот, що погашаються на верхній (ВГП), середній (СГП) та парковій (ПГП) гальмових позиціях. При цьому, із трьох вказаних компонентів вектора h тільки два є незалежними, так як третій може бути визначений за умови забезпечення заданої швидкості відчепа у точці прицілювання. У зв'язку з цим ОДР Ω може бути представлена опуклим багатокутником на площині $h'0h''$, а довільний режим $h \in \Omega$ – вектором $h = \{h', h''\}$.

Обмеження, які утворюють ОДР, визначаються трьома групами факторів:

- гальмовою потужністю уповільнювачів гальмових позицій;
- режимом скочування відчепів на спускній частині гірки;
- вимогами прицільного регулювання швидкості відчепів.

При вирішенні задачі оптимізації режимів гальмування відчепів для умов регульованого скочування необхідно враховувати встановлені обмеження, які накладаються на величину швидкості виходу відчепів з гальмівних позицій

ВГП (v'_{min}, v'_{max}) та СГП (v''_{min}, v''_{max}), де швидкість виходу відчепа з ПГП є залежною від швидкості виходу з СГП і повинна задовольняти вимогам прицільного гальмування. Вектор значень $v = \{v', v''\}$ можна розглядати як точку на площині, при цьому, вся множина точок v утворює область Ω можливих швидкостей виходу відчепа з гальмівних позицій спускної частини гірки (ОДС).

В якості основного методу, який використовується для оптимізації режимів гальмування відчепів обрано ітераційний метод. Цей метод дозволяє знайти в составі, який розформовують, групи послідовних відчепів, близьких за умовами поділу, і встановити для них такі режими гальмування, при яких інтервали на розділових стрілках для всіх пар відчепів групи однакові. Це досягається шляхом збільшення мінімальних інтервалів між відчепами за рахунок їх зменшення у суміжних парах.

Ітераційний метод заснований на локальній оптимізації режиму гальмування середнього відчепа критичної групи із трьох суміжних відчепів, обумовленої на кожному кроці ітерації. Критичною вважається група відчепів, для якої абсолютна величина різниці інтервалів на розділових стрілках у другій та у першій парах відчепів $|f_i(q_i)|$ максимальна:

$$f_i(q_i) = \delta t_i(q_i, q_{i+1}) - \delta t_{i-1}(q_{i-1}, q_i), \quad i \in [2, n-1], \quad (1)$$

Оптимальним для середнього відчепа критичної групи є той режим гальмування q_i , при якому менший із інтервалів $\delta t_i, \delta t_{i+1}$ досягне максимуму.

$$\delta t_i^* = \max_{q_i \in Q_i} \min \{ \delta t_{i-1}(q_i), \delta t_i(q_i) \}, \quad (2)$$

Недоліком цього методу є те, що він не дозволяє врахувати відхилення фактичних параметрів відчепів від розрахункових значень та неточність реалізації гальмовими позиціями заданих режимів гальмування під час вибору оптимальних режимів гальмування.

Збільшення інтервалів між відчепами необхідно для забезпечення резервів часу на розділових елементах, що будуть достатніми для розділення відчепів в умовах відхилення фактичних параметрів відчепів від розрахункових значень та неточної реалізації гальмівними позиціями заданих режимів гальмування. При цьому величина інтервалів на розділових елементах розглядається як обмеження та виникає необхідність оцінки величини δt_i . При відомих параметрах відчепів та точній реалізації упові-

льнювачами заданих режимів гальмування інтервал часу між відчепами повинен бути достатнім для зміни стану розділового елемента t_{pe} (перевід стрілки, загальмовування або розгальмовування уповільнювача)

$$\delta t_r \geq t_{pe}, \quad (3)$$

При випадкових параметрах відчепів та неточній реалізації уповільнювачами заданих режимів гальмування інтервал часу між i та $i - 1$ відчепами $\delta t_{min,i}$ повинен включати додатковий резерв часу $t_{рез,i}$ для компенсації похибки у визначенні моментів звільнення та заняття ними розділових елементів

$$\delta t_{min,i} = t_{pe} + t_{рез,i}, \quad (4)$$

В стохастичних умовах критерій оптимізації, можна представити як

$$\delta t_i(r_i, r_{i+1}, \sigma_i) = t_{0i} + t_{i+1}(r_{i+1}, \sigma_i) - \tau_i(r_i, \sigma_i) - q_{x1}(r_{i+1}, \sigma_i) - q_{x2}(r_i, \sigma_i), \quad (5)$$

Для критичної групи відчепів абсолютна величина різниці інтервалів на розділових стрілках у другій й у першій парох відчепів $|f_i(q_i)|$ максимальна, тоді отримаємо:

$$f_i = \delta t_i(r_i, r_{i+1}) - \delta t_i(r_{i-1}, r_i) - q_{x1}\sigma_{i-1} - q_{x2}\sigma_i, \in [2, n - 1], \quad (6)$$

Дослідження показали, що на розділових елементах від вершини гірки до ППІ, та від ППІ до точки прицілювання значення величини інтервалу між відчепами значно відрізняються.

Встановлено, що величина інтервалу між відчепами на розділовому елементі є випадковою величиною, що нормально розподілена. На рис. 1 наведено графік розподілу випадкової величини інтервалу між відчепами

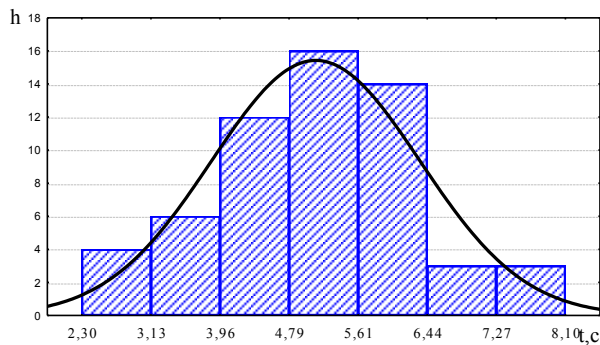


Рис. 1. Гістограма розподілу випадкової величини інтервалу між відчепами

Випадкова величина гарантованого інтервалу між відчепами є також випадковою величиною з нормальним законом розподілу та задається функцією Лапласа:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (7)$$

де μ, σ – параметри розподілу.

Величини інтервалів між відчепами є залежними випадковими величинами, для знаходження параметрів випадкової величини гарантованого інтервалу використовуємо методи теорії ймовірностей [2]:

$$M(\delta t_i + \delta t_{i+1}) = M[\delta t_i] + M[\delta t_{i+1}]$$

$$M[\delta t_i] + M[\delta t_{i+1}] = M[\delta t_r], \quad (8)$$

$$\sigma[\delta t_i + \delta t_{i+1}] = \sqrt{D[\delta t_i + \delta t_{i+1}]} = \sigma[\delta t_r], \quad (9)$$

Підставивши відомі значення отримаємо

$$M[\delta t_r] = 6,835 + 1,277 = 8,112 \text{ с}$$

$$\sigma[\delta t_r] = \sqrt{0,271 + 1,277} = 1,244 \text{ с}$$

Якщо прийняти ймовірність попадання випадкової величини гарантованого інтервалу у деякий відрізок $\delta t_r^{min} < \delta t_r < \delta t_r^{max}$, тобто $p(\delta t_r^{min} < \delta t_r < \delta t_r^{max}) = 0,005$ отримаємо

$$p(\delta t_r^{min} < \delta t_r < \delta t_r^{max}) = \int_{\delta t_r^{min}}^{\delta t_r^{max}} f(\delta t_r) = F(\delta t_r^{max}) - F(\delta t_r^{min}), \quad (10)$$

Нормальну функцію звичайно позначають $\Phi(t)$, а її значення наведено у [2, 3, 4]

$$t = \frac{\delta t_r - M[\delta t_r]}{\sigma[\delta t_r]}, \quad (11)$$

Так як випадкова величина інтервалу між відчепами має нормальний закон розподілу, то величина гарантованого інтервалу між відчепами є також нормально розподіленою випадковою величиною з параметрами:

$$M[\delta t_i] + M[\delta t_{i+1}] = M[\delta t_r], \quad (12)$$

$$\sigma[\delta t_i + \delta t_{i+1}] = \sqrt{D[\delta t_i + \delta t_{i+1}]} = \sigma[\delta t_r], \quad (13)$$

На рис. 2 наведено результати оптимізації режимів гальмування за допомогою ітераційного методу при відомих характеристиках відчепів рис. 2, а та при випадкових рис. 2, б відповідно.

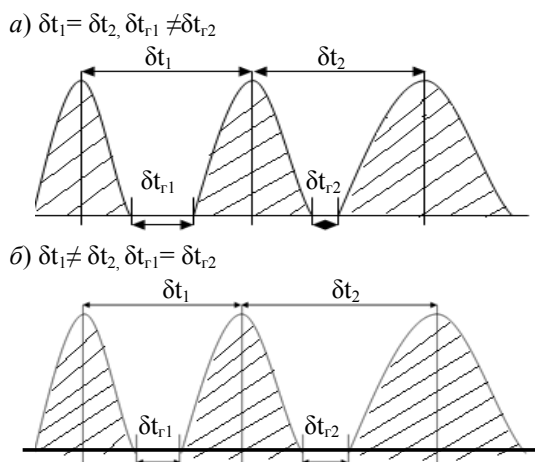


Рис. 2. Результати оптимізації режимів гальмування відчепів: а) вирішення задачі у детермінованій постановці; б) вирішення задачі у стохастичній постановці

Результати

Застосування запропонованого критерію оптимізації режимів гальмування відчепів забезпечує зменшення ймовірності нерозділень відчепів з 0,005 до 0,002.

Висновки

Основним недоліком існуючих методів оптимізації режимів гальмування відчепів є те, що вони не дозволяють враховувати відхилення фактичних параметрів відчепів від розрахункових значень та неточність реалізації гальмови-

ми позиціями заданих режимів гальмування під час вибору оптимальних режимів гальмування.

Виконані дослідження показали, що врахування впливу випадкових факторів, які діють на відчеп в процесі скочування при оптимізації режимів гальмування відчепів дає змогу підвищити точність регулювання швидкості між відчепами.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бобровський, В. И. Теоретичні основи удосконалення конструкції та технології роботи залізничних станцій [Текст] : дис. ... докт. техн. наук: 05.22.20. –Д.: ДІТ, 2002. – 534 с.
2. Корн, Г. Справочник по математике [Текст] : Справочник по математике научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1974 г. – 832 с.
3. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений [Текст] / А. К. Митропольский. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1971. – 576 с.
4. Шторм, Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества [Текст] / Р. Шторм, Пер. с нем. Н. Н. Федорова, М. Г. Федорова, под ред. Н. С. Райбмана. – М.: Мир, 1970. – 368 с.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. І. В. Буравльовим (Україна)

Надійшла до редколегії 24.11.2013.
Прийнята до друку 06.12.2013.