

**О. І. Таранець**, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені ак. В. Лазаряна

### УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ КЕРОВАНИХ ВІДЧЕПІВ У РОЗРАХУНКОВІЙ ГРУПІ

*Присвячено вдосконаленню методу оптимізації керованих відцепів у розрахунковій групі, що, на відміну від наявних, ураховує вплив випадкових факторів і дозволяє використовувати його для оперативного управління процесом скочування відцепів з гірки. Запропоновано критерій оптимізації режимів гальмування відцепів складу в умовах відхилення фактичних параметрів відцепів від розрахункових значень і неточності реалізації гальмовими позиціями заданих режимів гальмування. Предмет дослідження – імітаційне моделювання процесу скочування відцепів з гірки. Для оптимізації режимів гальмування відцепів використовуємо ітераційний метод.*

*Ключові слова: сортувальна гірка; відцеп; режими гальмування; гарантований інтервал; область допустимих режимів.*

*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.*

*Key words: forting branch; unhook; braking modes; guaranteed interval; the range of permissible braking modes.*

**Постановка проблеми.** Показники роботи сортувальної гірки суттєво залежать від вибору режимів розпуску складів. Оптимальне управління розпуском потребує визначення таких режимів гальмування відцепів, за яких буде забезпечено найкращі умови їх поділу на стрілками і допустиму швидкість прямування одного відчепа до іншого на сортувальних коліях. Режими гальмування окремих відцепів мають забезпечувати максимально можливі інтервали на стрілках для всіх несприятливих за умовами поділу пар відцепів за рахунок оптимального їхнього розподілу всім складом. Тобто завдання визначення оптимальних режимів гальмування відцепів досить актуальне.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Уперше методика оптимізації режимів гальмування була запропонована Ю. О. Мухом в [1]. У даному дослідженні поставлено завдання: знайти такі режими гальмування  $\gamma_i$ , за яких виконуються умови розділення на стрілках (інтервали  $\delta t_i \geq 0$ ), а час розпуску мінімальний. У результаті формалізації сформульовано оптимізаційну задачу з лінійною цільовою функцією та нелінійними обмеженнями. Для спрощення розв'язання задачі (приведення її до задачі ЛП) запропоновано виконувати пошук режимів гальмування, задаючись конкретними значеннями швидкості розпуску  $v_0$ . Змінюючи значення  $v_0$  з деяким кроком, виконано пошук такого розв'язання, за якого швид-

© О. І. Таранець, 2014

кість  $v_0$  досягає максимального значення. Недоліками такого методу є те, що за подібної постановки задачі не забезпечується найкращий розподіл інтервалів  $\delta t_i$  між усіма парами суміжних відчепів. Крім того, недоліком є лінійна апроксимація залежності часу скочування відчепу до точки розділення від режиму гальмування  $t(\gamma)$ , яка насправді суттєво нелінійна.

У праці В. І. Бобровського [2] режим гальмування відчепу, що скочується, представлено вектором енергетичних висот, що погашаються на гальмівних позиціях  $h = (h', h'', \dots, h^{(n)})$ , де  $n$  – кількість гальмівних позицій на колії скочування. Для усунення недоліків методу, запропонованого в [1], В. І. Бобровський пропонує ітераційний метод оптимізації [2]. Цей метод дозволяє знайти в складі, який розформовують, групи послідовних відчепів, близьких за умовами поділу, і встановити для них такі режими гальмування, за 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 базується на локальній оптимізації режиму гальмування середнього відчепу 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 першій та другій парах відчепів  $|f_i(q_i)|$  максимальна:

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

Оптимальним для середнього відчепу критичної групи є той режим гальмування  $q_i$ , за якого менший з інтервалів  $\delta t_i, \delta t_{i+1}$  досягне максимуму:

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

Склад, що розформується, можна розглядати як деяку фізичну систему  $S$ , яка покроково змінює свій стан у процесі розпуску. Кроком можна вважати відрив і скочування чергового відчепу. Процес розпуску керований, управління  $U_i$  на  $i$ -му кроці можна характеризувати режимом гальмування  $i$ -го відчепу на гальмівних позиціях спускної частини гірки  $q_i$  [2]. Також зазначено, що ефективність управління розпуском усього складу відповідно до [2] можна оцінити величиною мінімального інтервалу між відчепами на розділових стрілках  $\delta T(U) = \min \{\delta t_1, \delta t_2, \dots, \delta t_{(n-1)}\}$ .

А. В. Кудряшов у своїй праці [3] пропонує таке вдосконалення методу оптимізації режимів гальмування відчепів в умовах дії випадкових факторів. Згідно з принципами системного підходу необхідно розглядати склад, що розформується, як систему взаємопов'язаних відчепів. При цьому вся множина розділень відчепів складу може бути представлена верхньою трикутною матрицею  $\|\sigma\|$  номерів роздільних стрілок. Мета оптимізації режиму розформування – підвищення якості інтервального регулювання швидкості відчепів за рахунок максимізації інтервалів на розділових стрілках між усіма парами відчепів складу  $\delta t = (\delta t_1, \delta t_2, \dots, \delta t_c) \rightarrow \max$ , де  $c$  – загальна кількість розділень відчепів у складі з урахуванням повторних.

У процесі оптимізації склад поступово розбивається на групи, в яких відбувається вирівнювання величин суміжних інтервалів. Даний результат досягається за рахунок використання резервів інтервалів між відчепами складу, що містяться в групах зі сприятливими умовами розділення, і перерозподілу цих резервів між відчепами складу, що містяться в групах із несприятливими умовами розділення. В результаті оптимізації встановлюються такі режими гальмування відчепів складу, за яких забезпечуються максимально можливі

---

інтервали на розділових стрілках для всіх несприятливих за умовами розділення груп відчепів. Межами груп є відчепи з екстремальними режимами скочування (швидкий (Ш), повільний (П)).

Д. М. Козаченко [4] вказує на те, що наявні методи вибору режимів гальмування окремих відчепів складу спираються на розв'язання відповідної задачі у детермінованій постановці, що не забезпечує отримання оптимального рішення в умовах дії випадкових факторів. У зв'язку з цим у [4] сформульовано задачу оптимізації режимів гальмування відчепів у елементарній парі з трьох відчепів. Зазначено, що врахування випадкових факторів дозволяє покращити умови розділення відчепів.

**Мета статті** – вдосконалення методів оптимізації режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках в умовах дії випадкових факторів.

**Виклад основного матеріалу.** Під час розв'язання 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 відчепів з ПГП залежить від швидкості виходу із СТП і має відповідати вимогам прицільного гальмування. Вектор значень  $v = \{v', v''\}$  можна розглядати як точку на площині, при цьому вся множина точок  $v$  утворює область  $\Omega$  можливих швидкостей виходу відчепів з гальмівних позицій спускної частини гірки (ОДС).

Як основний метод, що використано в дослідженні, для оптимізації режимів гальмування відчепів обрано ітераційний метод [2].

Основна мета вдосконалення методу – урахування відхилення фактичних параметрів від розрахункових значень і неточності 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 від розрахункових значень і неточної реалізації гальмівними позиціями заданих режимів гальмування. Водночас величина інтервалів на розділових елементах розглядається як обмеження та виникає необхідність оцінки величини  $\delta t_i$ . За відомими параметрами відчепів і точної реалізації уповільнювачами заданих режимів гальмування інтервал часу між відчепами має бути достатнім для зміни стану розділового елемента  $t_{pe}$  (переведення стрілки, загальмовування або розгальмовування уповільнювача)

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

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

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

У стохастичних умовах критерій оптимізації можна подати 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 першій і другій парах 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 свідчать, що на розділових елементах від вершини гірки до ППП та від ППП до точки прицілювання значення величини інтервалу між відчепами значно відрізняються [5].

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

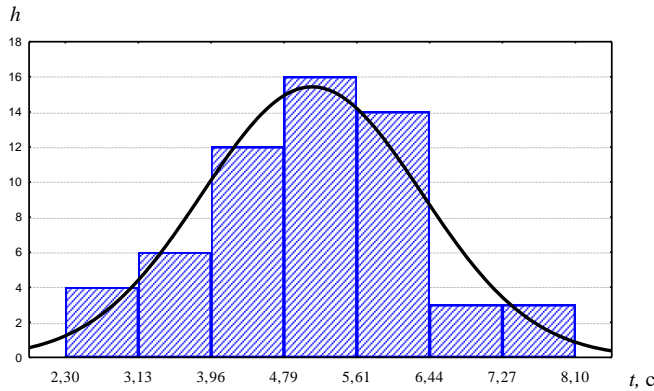


Рис. 1. Гістограма розподілу випадкової величини інтервалу між відчепами

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

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

де  $\mu, \sigma$  – параметри розподілу.

Величини інтервалів між відчепами є залежними випадковими величинами. Для знаходження параметрів випадкової величини гарантованого інтервалу використовуємо методи теорії ймовірностей [6]:

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

$$\sigma \delta t_i + \delta t_{i+1} = D \delta t_i + \delta t_{i+1} = \sigma \delta t_r . \quad (9)$$

Підставивши відомі значення, отримаємо

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

$$\sigma \delta t_r = 0,271 + 1,277 = 1,244 \text{ c}.$$

Якщо прийняти ймовірність попадання випадкової величини гарантованого інтервалу в 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

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

Нормальну функцію зазвичай позначають  $\Phi(t)$ , а її значення наведено у [6; 7; 8]

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

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

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

$$\sigma \delta t_i + \delta t_{i+1} = D \delta t_i + \delta t_{i+1} = \sigma \delta t_r. \quad (13)$$

На рис. 2 подано результати оптимізації режимів гальмування за допомогою ітераційного методу за умови відомих характеристик відчепів рис. 2а та за випадкових рис. 2б відповідно:

- а) розв'язання задачі у детермінованій постановці;
- б) розв'язання задачі у стохастичній постановці.

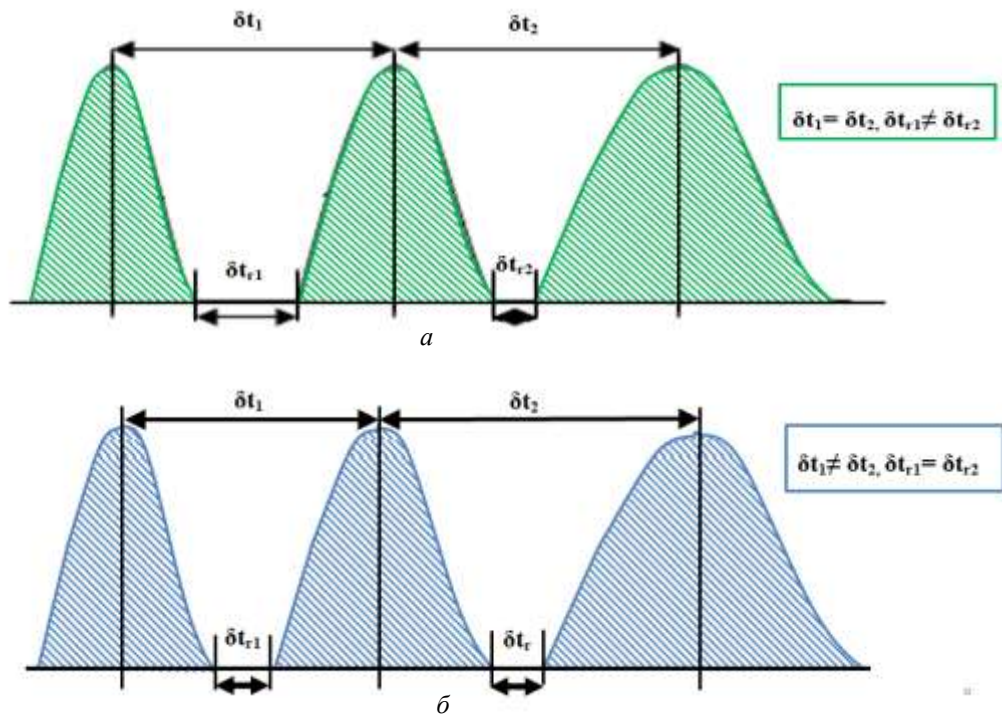


Рис. 2. Результати оптимізації режимів гальмування відчепів

---

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.** Основним недоліком наявних методів оптимізації режимів гальмування відчепів є те, що вони не дозволяють урахувати відхилення фактичних параметрів відчепів від розрахункових значень і неточність реалізації гальмовими позиціями заданих режимів гальмування під час вибору оптимальних режимів гальмування.

Дослідження свідчать, що врахування впливу випадкових факторів, які діють на відчеп у процесі скочування під час оптимізації режимів гальмування відчепів дає змогу підвищити точність регулювання швидкості між відчепами. Застосування запропонованого критерію оптимізації режимів гальмування відчепів забезпечує зменшення ймовірності нерозділень відчепів з 0,005 до 0,002.

#### **Список використаних джерел:**

1. Муха Ю. А. Оптимизация режимов торможения скатывающихся отцепов при расформировании составов на сортировочной горке / Ю. А. Муха // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: труды ДИИТа. – Днепропетровск, 1976. – Вып. 181/10. – С. 17–23.
2. Бобровский В. И. Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках / В. И. Бобровский, Н. В. Рогов // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. – 2004. – Вып. 4. – С. 174–182.
3. Кудряшов А. В. Определение рациональных режимов скатывания отцепов с сортировочных горок / А. В. Кудряшов // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. – 2009. – Вып. 28. – С. 149–154.
4. Козаченко Д. М. Ефективні режими гальмування відчепів на сортувальних гірках / Д. М. Козаченко // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. – 2011. – Вип. 2. – С. 55–59.
5. Козаченко Д. М. Моделирование работы сортувальної гірки в умовах невизначеності параметрів відчепів та характеристик навколишнього середовища / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, О. І. Таранець // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – С. 73–76.
6. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1974. – с. 832.
7. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – М. : Наука, 1971. – С. 576.
8. Шгорм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества / Шгорм Р. ; под ред. Н. С. Райбмана. – М. : Мир, 197.