

*А. В. КУДРЯШОВ*, канд. техн. наук, доц., ДНУЗТ, Дніпропетровськ

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ВЕЛИЧИНУ ІНТЕРВАЛІВ НА РОЗДІЛОВИХ СТІЛКАХ**

Виконано дослідження впливу таких випадкових факторів, як значення основного питомого опору руху вагону та точності реалізації швидкості виходу відчепа з гальмової позиції на величину інтервалів між відчепами составу, що розформовуються на сортувальній гірці. Виконано статистичну обробку величини різниці між інтервалами, що отримані за результатами оптимізації режиму розформування составу та при скочуванні в умовах дії випадкових факторів.

**Ключові слова:** відчеп, сортувальна гірка, режим гальмування, оптимізація, опір руху, автоматизація, імітаційне моделювання, розформування.

**Вступ.** Як показав аналіз існуючих систем автоматизації процесів розформування составів на сортувальних гірках, автоматичне регулювання швидкості скочування відцепів на гальмівних позиціях є досить складною задачею [1, 2]. Для забезпечення надійного розділення відцепів, що скочуються, на стрілках і безпечної швидкості їх зіткнення з вагонами на коліях сортувального парку необхідно визначати оптимальні режими гальмування відцепів состава й забезпечувати їхню реалізацію з достатньою точністю в процесі розформування [3–5].

Дослідження процесу скочування відцепів із різними параметрами в умовах дії випадкових факторів [6] показали, що їх вплив значно ускладнює визначення режимів гальмування відцепів при розформуванні составів. Випадкові погрішності виміру параметрів відцепів, що використовуються для визначення оптимальних режимів гальмування, а також погрішності їх реалізації можуть суттєво збільшити ймовірність нерозділення відцепів на стрілках.

**Мета роботи.** В роботі досліджено можливість заміни випадкової величини основного питомого опору руху вагону його середнім значенням при оптимізації режиму розформування составу. Також досліджено вплив точності реалізації швидкості виходу відцепів з гальмової позиції на величину інтервалів на розділових стрілках.

**Дослідження впливу значення основного питомого опору на величину інтервалів між відчепами на стрілках.** При скочуванні з гірки на відчеп діє сила опору руху  $w_0$ , дійсне значення якої до початку скочування відчепа невідомо. Тому, в моделі состава, при розрахунках оптимальних параметрів режиму гальмування, використовуються середні значення основного питомого опору  $\bar{w}_0$ , що відповідають ваговій категорії відчепа. Використання середніх значень  $\bar{w}_0$  при розрахунках швидкостей виходу відцепів з гальмових позицій дозволяє уникнути досить складної процедури виміру зазначених величин, результати якого також містять істотні випадкові помилки, викликані коливальним характером зміни опору відцепів  $w_0$  [7].

У зв'язку із цим було виконане дослідження впливу заміни, при оптимізації режимів розформування составів, реальних значень  $w_0$  їх середніми значеннями

$\bar{w}_0$  на величину інтервалів між відчепами на стрілках. При цьому використання випадкових значень опору відчепів  $w_0$  при моделюванні сортувального процесу дозволяє оцінити ступінь впливу зробленої заміни на його якість.

Для цього спочатку було виконане моделювання базової групи составів, у якій значення  $w_0$  для кожного відчепу приймається рівним середньому значенню  $\bar{w}_0$  для вагонів відповідної вагової категорії відповідно до нормативів [8]. Для кожного состава базової групи з використанням запропонованого в [9] методу оптимізації був виконаний розрахунок оптимальних режимів розформування й визначені значення інтервалів між відчепами.

Далі на основі кожного состава базової групи були отримані групи составів, у яких основний питомий опір відчепів  $w_0$  являє собою випадкову величину, що має, відповідно до [8], гамма-розподіл з параметрами, що залежать від вагової категорії відчепу:

$$w_0^* = -\frac{1}{b} \ln \left( \prod_{j=1}^a R_j \right), \quad (1)$$

де  $a, b$  — параметри гамма-розподілу;  $R_j$  — випадкові числа, рівномірно розподілені в інтервалі (0; 1).

Для кожної отриманої в такий спосіб групи составів з випадковими значеннями  $w_0$  було виконане моделювання скочування відчепів за допомогою імітаційної моделі розформування составів. Вихідними даними для моделювання служать файли даних про состав, гірку, умови розпуску й параметрах режиму гальмування кожного відчепу. У якості режимів гальмування у кожній групі составів були задані режими, отримані для базового состава групи.

Результатами моделювання є значення інтервалів між відчепами, включаючи інтервали між несуміжними відчепами состава, а також величини енергетичної висоти, що погашається на кожній гальмівній позиції, дані про швидкості співударяння, розміри вікна. Нижче наведений фрагмент файлу результатів (рис. 1), у якому містяться відомості про його перший відчеп.

```

Відчеп 1, 1ваг
Інтервал dt(1-2)=5.055149, стрелка 2
sto=7.23687 Tdo=25.02748 Tza=27.20921
Інтервал dt(1-3)=21.054495, стрелка 4
sto=17.36617 Tdo=43.86753 Tza=40.17921
Інтервал dt(1-6)=69.295319, стрелка 5
sto=66.00082 Tdo=51.57770 Tza=48.28321
1 я-тп: hном= 2.5500 Sнт=28.6121 Lt= 6.9879
2 я-тп: hном= 2.5500 Sнт=24.6488 Lt=10.9511
3 я-тп: hном= 1.2750 Sнт= 0.0000 Lt=22.2169
Spr=581 Vпр=1.500 Лок= 0

```

Рис. 1 – Фрагмент файлу результатів відомостей про перший відчеп

За результатами імітаційного моделювання була виконана статистична обробка величини різниці інтервалів  $\otimes^{\text{TM}}t$ , викликаною заміною середнього значення  $w_0$  дійсним:

$$\otimes^{\text{TM}}t = {}^{\text{TM}}t_{0i} - {}^{\text{TM}}t_{Mi}, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

де  ${}^{\text{TM}}t_0$  — значення інтервалу між відчепами за результатами оптимізації при середньому значенні  $\bar{w}_0$ ;  ${}^{\text{TM}}t_M$  — теж за результатами імітаційного моделювання при випадковому значенні  $w_0$ ;  $n$  — це множина інтервалів у всіх групах составів.

Було виконано статистичну обробку значень величини різниці  $\otimes^{\text{TM}}t_{\text{СУМ}}$  для суміжних відчепів состава. Враховуючи, що інтервали між несуміжними відчепами, у більшості випадків, мають досить більшу величину, статистична обробка значень величини різниці  $\otimes^{\text{TM}}t_{\text{НЕСМ}}$  для них була виконана окремо. Гістограма розподілу величини різниці інтервалів  $\otimes^{\text{TM}}t_{\text{СУМ}}$  для суміжних відчепів наведена на рис. 2.

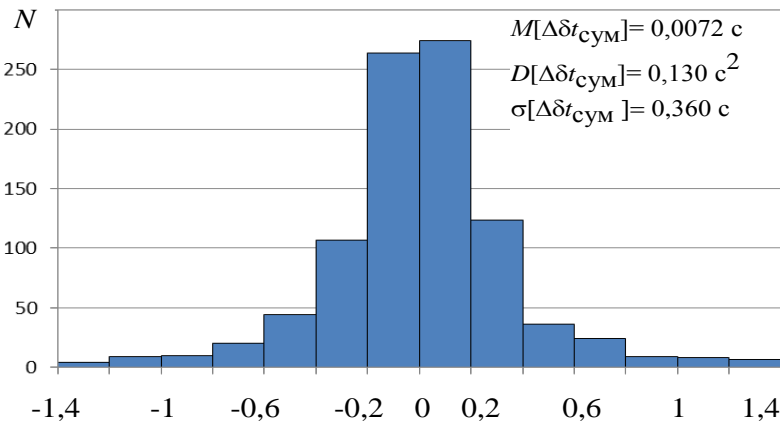


Рис. 2 – Гістограма розподілу величини різниці інтервалів для суміжних інтервалів

Як показав аналіз результатів, заміна випадкового значення  $w_0$  його середньою величиною  $\bar{w}_0$  не значно впливає на величину інтервалу між відчепами. Більшість значень суміжних інтервалів (82 %), мають невеликі відхилення  $^{\text{TM}}t_{\text{СУМ}} = \pm 0,4$  с, що становить близько 5% від середньої величини інтервалу між відчепами. Для переважної більшості несуміжних відчепів (91 %) величина відхилення не перевищують  $\pm 0,8$  с, що при досить великому середньому значенні несуміжних інтервалів становить близько 2 %.

Таким чином, виконані дослідження свідчать про можливість використання середніх значень основного питомого опору руху  $\bar{w}_0$  для розрахунків оптимальних режимів гальмування.

**Дослідження впливу точності реалізації швидкості виходу відчепів з гальмової позиції на величину інтервалів.** На автоматизованих сортувальних гірках процес гальмування здійснюється по командах, що подаються на сповільнювачі від установленної системи керування розпуском; при цьому система керування виконує дві основні функції – розрахунок необхідних швидкостей виходу відчепів із гальмівних позицій і наступну їхню реалізацію.

У процесі реалізації розрахованих значень швидкостей виходу відчепів із гальмівних позицій можуть мати місце погрішності різної природи, що мають істотний негативний вплив на якість роботи сортувальної гірки. Однією з причин погрішності реалізації заданої швидкості є інерційність сповільнювачів.

У такий спосіб зазначені погрішності можуть бути причиною зменшення фактичних значень інтервалів  $^{\text{TM}}t$  у порівнянні з очікуваними, отриманими при оптимізації режимів гальмування.

У роботі було виконано дослідження впливу точності реалізації заданих швидкостей виходу відчепів із гальмових позицій на величину інтервалів на розділових стрілках. При цьому був розглянутий різний рівень точності реалізації заданих швидкостей: 0,1 м/с, 0,3 м/с та 0,5 м/с.

Спочатку для базового состава були отримані оптимальні режими гальмування всіх його відчепів. Надалі для кожного відчепу були промодельовані величини похибки реалізації швидкостей виходу з гальмових позицій і на імітаційній моделі

виконане розформування базового состава з новими значеннями швидкостей. Було виконано статистичну обробку величини різниці інтервалів (2) на розділових стрілках та побудовані гістограми величини зміни інтервалів на розділових стрілках, що наведені на рисунках 3 – 5.

Як видно з рис. 3 – 5 збільшення погрішності реалізації заданих швидкостей виходу відчепа з гальмових позицій приводить до збільшення відхилення значень інтервалів від їхнього оптимального значення.

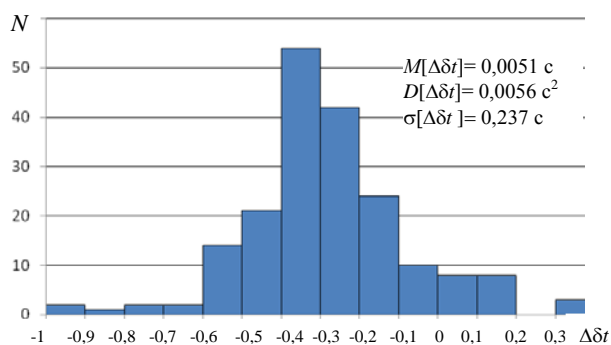


Рис. 3 – Гістограма величини зміни інтервалів на розділових стрілках при погрішності 0,1 м/с

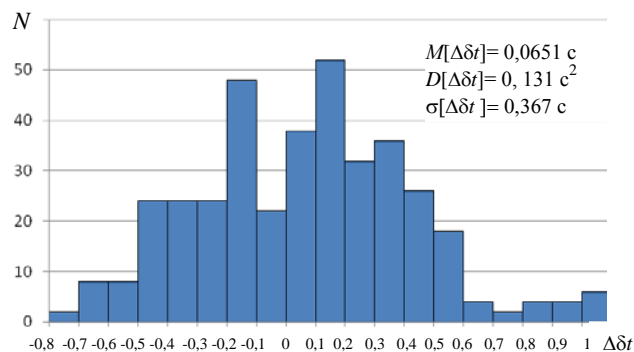


Рис. 4 – Гістограма величини зміни інтервалів на розділових стрілках при погрішності 0,3 м/с

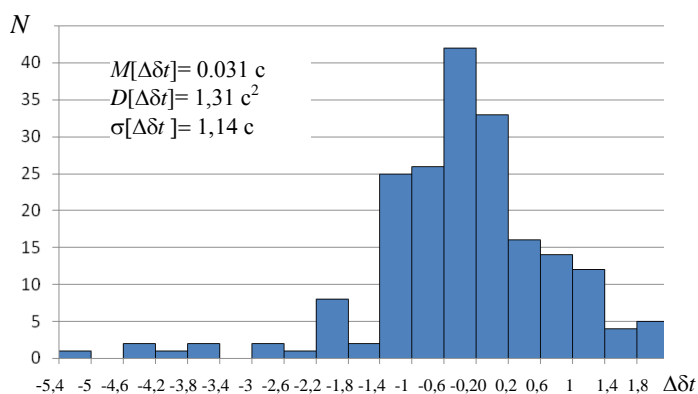


Рис. 5 – Гістограма величини зміни інтервалів на розділових стрілках при погрішності 0,5 м/с

**Дослідження впливу обмеження швидкості виходу з гальмової позиції на величину інтервалів між відчепами на стрілках.** Як показав аналіз результатів моделювання, при розформуванні окремих составів мали місце нагони відчепів на спускній частині гірки. Причиною появи нагонів були задані низькі швидкості виходу з середньої гальмівної позиції (СГП) окремих відчепів; в цих випадках суттєво зростають погрішності реалізації заданих швидкостей, що викликані збільшенням нелінійності швидкості при її зменшенні, а також інерційністю сповільнювачів. Враховуючи недосконалість діючої системи керування роботою сповільнювачів, було прийнято рішення обмежити область допустимих швидкостей [10] в області мінімальних швидкостей виходу зі СГП. Це дозволить поліпшити якість реалізації швидкостей виходу відчепів зі СГП за рахунок деякого можливого зменшення інтервалів між відчепами состава.

Для оцінки даного рішення було виконане дослідження впливу обмеження по мінімальній швидкості виходу відчепу з СГП ще на етапі оптимізації на величину інтервалів. Для дослідження зазначеного впливу, для кожного состава за допомогою ітераційного методу були знайдені режими гальмування й отримані значення інтервалів при різному обмеженні по мінімальній швидкості виходу відчепів із СГП ( $U''_{\min} = 2,0-3,5$  м/с).

За результатами статистичної обробки різниці між інтервалами, отриманими при мінімально можливій швидкості виходу відчепу із ГП, і інтервалами, отриманими при обмеженні швидкості виходу на рівні 3,5 м/с побудована гістограма величини різниці зазначених інтервалів, що наведена на рис. 6.

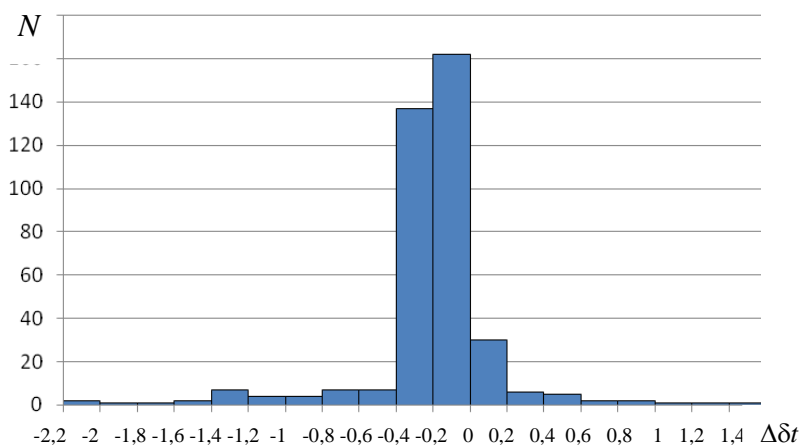


Рис. 6 - Гістограма розподілу різниці величини інтервалів при обмеженні швидкості виходу до 3,5 м/с

Як показав аналіз результатів, близько 8-12 % відчепів мають після оптимізації режимів гальмування мінімальну швидкість виходу зі СГП. Введення додаткового обмеження по мінімальній швидкості виходу спричиняє зміну величини інтервалів. При цьому для інтервалів між суміжними відчепами ця зміна стосується до 25 % їх загального числа, а з урахуванням вторинних розділень зміна величини інтервалів становить близько 40 % від загальної кількості всіх інтервалів. Однак, незважаючи на досить велику частку інтервалів, що змінилися, їх величина за рахунок перерозподілу між сприятливими й несприятливими групами змінюється неістотно.

У цілому зміна величини інтервалів між суміжними відчепами становить близько 10% від величини при мінімально припустимій швидкості виходу й практично не знижує якості інтервального регулювання швидкості відчепів, що скочуються.

Виконане моделювання розформування составів при різному обмеженні мінімальної швидкості  $U''_{\min}$  виходу зі СГП показало, що її збільшення до 3,5 м/с забезпечує для всіх розформованих составів необхідну якість сортувального процесу за рахунок ліквідації всіх нерозділень, відчепів, що скочуються.

**Висновки.** Таким чином, виконані дослідження показали, що навіть при комплексному впливі ряду випадкових факторів (випадкове значення основного опору, погрішність реалізації заданих швидкостей) отримані в результаті оптимізації режими гальмування можуть забезпечити досить високу якість інтервального регулювання, а також можливість реалізації безпечної швидкості співударяння вагонів на сортувальних коліях автоматизованих гірок.

Для подальшого підвищення якості інтервального регулювання необхідне вдосконалювання автоматизованої системи керування рухом відчепів на

сповільнювачах для забезпечення досить високої точності реалізації швидкостей виходу з гальмових позицій.

**Список літератури:** 1. *Нагорный, Е. В.* К вопросу автоматизации процесса расформирования-формирования составов на сортировочных горках [Текст] / *Е. В. Нагорный, И. В. Берестов* // Информ.- управл. системы на ж.-д. трансп. - 1996. - №1,2. - С. 12-15. 2. *Савицкий, А. Г.* Управление движением составов и отцепов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / *А. Г. Савицкий, В. И. Шелухин, В. Н. Соколов* // Автоматика, связь, информатика – 2004. – №7.– С. 15-19. 3. *Шелухин, В. И.* Универсальный модуль управления тормозными позициями [Текст] / *В. И. Шелухин, И. Н. Малышев* // Автоматика, связь, информатика. - 2000. - №5.- С. 12-14. 4. *B`using, Christina.* Robust algorithms for sorting railway cars [Text] / *Christina B`using and Jens Maue* // In Proc. of the 18th Annual European Symposium on Algorithms (ESA-10), – 2010. – volume 6346 of LNCS, pages 350–361. 5. *Hansmann, R. S.* Optimal sorting of rolling stock at hump yards [Text] / *R. S. Hansmann, U. T. Zimmermann* // In: Mathematics - Key Technology for the Future: Joint Projects Between Universities and Industry, 2007. - P. 189–203. 6. *Козаченко, Д. М.* Моделювання роботи сортувальної гірки в умовах невизначеності параметрів відчепів та характеристик навколишнього середовища [Текст] / *Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, О. І. Таранець* // Вісник ДНУЗТ. – Дніпропетровськ. - 2007. - Вип. 16. - С. 73-76. 7. *Муха, Ю. А.* Динамика скатывания отцепов с горки и проблема оценки их ходовых свойств [Текст] / *Ю. А. Муха, А. И. Павловский* // Тр. ДИИТа, вып. 216/14. Днепропетровск, 1981. - С. 37-47. 8. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207 - 89. - М.: Транспорт, 1992. - 104 с. 9. *Бобровский, В. И.* Оптимизация режимов расформирования составов на сортировочных горках [Текст] / *В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов* // Вісник ДІІТу, Вип. 32 – Д.: ДІІТ, 2010. – С. 224-229. 10. *Бобровский, В. И.* Ограничения режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] / *В. И. Бобровский, Р. В. Вернигора, А. В. Кудряшов, Л. О. Ельникова* // Вісник ДІІТу, Вип. 27 – Д.: ДІІТ, 2009. – С. 30-35.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Nagornyiy, E. V., Berestov, I. V.* (1996). K voprosu avtomatizatsii protsessa rasformirovaniya-formirovaniya sostavov na sortirovochnyih gorkah. Inform. Upravl. sistemyi na zh.-d. Transp, 1, 2, 12-15. 2. *Savitskiy, A. G., Sheluhin, V. I., Sokolov, V. N.,* (2004). Upravlenie dvizheniem sostavov i ottsepov na av-tomatizirovannyih sortirovochnyih gorkah. Avtomatika, svyaz, informatika, 7, 15-19. 3. *Sheluhin, V. I., Malyishev, V. I.* (2000). Universalnyi modul upravleniya tormoznyimi pozitsiyami. Avtomatika, svyaz, informatika, 5, 12-14. 4. *B`using, C., Jens, M.* (2010). Robust algorithms for sorting railway cars. In Proc. of the 18th Annual European Symposium on Algorithms (ESA-10), 6346, 350–361. 5. *Hansmann, R. S., Zimmermann, U. T.* (2007). Optimal sorting of rolling stock at hump yards. In: Mathematics - Key Technology for the Future: Joint Projects Between Universities and Industry, 189–203. 6. *Kozachenko, D. M., Berezoviy, M. I., Taranets, O. I.* (2007). Modelyuvannya roboti sortovalnoi girki v umovah nevznachenosti parametriv vidchepiv ta harakteristik navkolishnogo seredovischa. Visnik DNUZT, 16, 73-76. 7. *Muha, Yu. A., Pavlovskiy, A. I.* (1981). Dinamika skatyvaniya ottsepov s gorki i problema otsenki ih hodovyih svoystv. Tr. ДИИТа, 216/14, 37-47. 8. Правила i normy proektirovaniya sortirovochnyih ustroystv na zheleznyih dorogah Soyuzа SSR. Transport, 1992, 104. 9. *Bobrovskiy, V. I., Kudryashov, A. V.* (2010). Optimizatsiya rezhimov rasformirovaniya sostavov na sortirovochnyih gorkah. Visnik ДІІТу, 32, 224-229. 10. *Bobrovskiy, V. I., Vernigora, R. V., Kudryashov, A. V., Elnikova, L. O.* (2009). Ogranicheniya rezhimov tormozheniya ottsepov na sortirovochnyih gorkah. Visnik ДІІТу, 27, 30-35.

*Надійшла (received) 21.02.2015*