

А. В. КУДРЯШОВ (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

## УДОСКНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ КЕРУВАННЯ СКОЧУВАННЯМ ВІДЧЕПІВ НА АВТОМАТИЗОВАНИХ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

Розглянуто можливість використання методу оптимізації режиму розформування составів для розрахунку швидкостей виходу відцепів з гальмівних позицій на автоматизованих сортувальних гірках з метою підвищення якості сортувального процесу. Запропонований метод враховує умови розділення як суміжних, так і несуміжних відцепів составу і використовує математичну модель скочування відцепів з гірки, що дозволяє реалізувати задані швидкості виходу з гальмівних позицій при регулюванні зони гальмування відцепу.

*Ключові слова:* режим гальмування, відцеп, сортувальна гірка, метод оптимізації, автоматизована система

Рассмотрена возможность использования метода оптимизации режима расформирования составов для расчета скоростей выхода отцепов из тормозных позиций на автоматизированных сортировочных горках с целью повышения качества сортировочного процесса. Предложенный метод учитывает условия разделения как смежных, так и несмежных отцепов состава и использует математическую модель скатывания отцепов с горки, позволяющую реализовать заданные скорости выхода из тормозных позиций при регулировании зоны торможения отцепа.

*Ключевые слова:* режим торможения, отцеп, сортировочная горка, метод оптимизации, автоматизированная система

The possibility of using the method of optimization of the breaking up of formulations for calculating the rates of release of cuts from the retarding position on the automated humps in order to improve the quality of the sorting process were considered. The offered method takes into account the separation conditions as adjacent and non-adjacent cuts of a train and uses a mathematical model of rolling the cuts down the hump, which allows to realize the desired rate of release of the retarding position when adjusting braking zone of a cut.

*Keywords:* braking mode, cut, sorting hump, optimization method, the automated system

### Вводна частина

Значні експлуатаційні витрати у господарстві перевезень припадають на великі сортувальні станції, що виконують операції по масовому розформуванню і формуванню поїздів, і, зокрема, на сортувальні гірки. Сортувальні гірки відіграють важливу роль у прискоренні доставки вантажів і скороченні простоїв вагонів.

Автоматизація технологічного процесу розформування составів є одним із напрямків підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок, поліпшення якості процесу розформування составів та ефективного використання технічних засобів [1-3]. Створення сучасної автоматизованої системи управління сортувальним процесом буде сприяти поліпшенню економічних показників роботи станцій, зниженню собівартості переробки вагонів, економії енергоресурсів на гальмування вагонів і на маневрову роботу. Крім того, автоматизація гірок дозволить скоротити вплив «людського фактору» в регулюванні процесу розформування поїздів та забезпечити максимально про-

дуктивне функціонування комплексу технічних засобів сортувальних гірок.

Елементом створення комплексної системи автоматизації є впровадження мікропроцесорної системи автоматичного регулювання швидкості відцепів, що скочуються з сортувальної гірки [4, 5]. Система автоматичного регулювання швидкості призначена для розрахунку і наступного завдання в реальному масштабі часу значень швидкостей виходу відцепів з гальмових позицій. Вказані швидкості повинні забезпечувати виконання умов розділення маршрутів скочування відцепів на розділових стрілочних переводах (інтервальне регулювання) і безпечно з'єднання вагонів на сортувальних коліях (прицільне регулювання).

Визначення раціональних режимів розформування составів і їх подальша реалізація дозволить забезпечити максимальні інтервали на стрілках між усіма парами відцепів і, таким чином, мінімізувати ймовірність їх нерозділень при умові виконання вимог прицільного регулювання.

## Основна частина

Математичні моделі скочування відчепів, в яких їх гальмування здійснюється при рівномірному розподілі енергетичної висоти, яка погашається, по всій зоні дії гальмівної позиції не цілком відповідають реальному процесу гальмування.

В [6] було запропоновано математичну модель скочування відчепу з гірки, яка дозволяє керувати вибором зони гальмування відчепу. Гальмування відчепу здійснюється номінальною потужністю уповільнювача при вибраній ступені гальмування. В моделі режим гальмування кожного відчепу, який скочується з гірки представлено вектором  $\mathbf{U} = (U', U'')$  швидкостей його виходу з гальмівних позицій спускної частини гірки і вектором  $\mathbf{S}_{\text{гг}} = (S'_{\text{гг}}, S''_{\text{гг}})$  точок початку гальмування на відповідних ГП.

Як показав аналіз, в реальних умовах задану швидкість виходу відчепу  $U$  можна реалізувати з використанням багатьох режимів, що відрізняються координатою точки початку гальмування  $S_{\text{гг}}$ . При цьому довжина зони гальмування  $L_{\text{г}}$  однозначно визначається координатою  $S_{\text{гг}}$  і заданою швидкістю  $U$ .

Координата  $S_{\text{гг}}$  може змінюватися від мінімального  $S_{\text{ггmin}}$  (див. рис. 1, в) до максимального  $S_{\text{ггmax}}$  (див. рис. 1, а) значення. Необхідно відзначити, що при будь-яких значеннях  $S_{\text{гг}}$  ( $S_{\text{ггmin}} \leq S_{\text{гг}} \leq S_{\text{ггmax}}$ ) задана швидкість  $U$  виходу відчепу досягається у момент виходу його останньої осі з ГП.

Вибір координати  $S_{\text{гг}}$  впливає на швидкість руху відчепу в межах ГП. Граничним значенням  $S_{\text{ггmin}}$  та  $S_{\text{ггmax}}$  відповідають максимальна  $V_{\text{max}}$  та мінімальна  $V_{\text{min}}$  швидкості руху по ГП (див. рис. 1, б). Проміжним значенням  $S_{\text{гг}}$  відповідає множина значень швидкостей в межах  $[V_{\text{min}}; V_{\text{max}}]$ .

Виконаний в [7] аналіз показав, що кожна з швидкостей виходу  $U'$ ,  $U''$  може мати кілька обмежень різного характеру; всі можливі значення вектора  $\mathbf{U} = (U', U'')$  належать області допустимих швидкостей (ОДШ) виходу з верхньої (ВГП) та середньої (СГП) гальмівних позицій.

Обмеження, що утворюють ОДШ, визначаються чотирма групами факторів:

- гальмівної потужністю уповільнювачів гальмівних позицій;
- допустимою швидкістю скочування відче-

пів на спускній частині гірки;

– вимогами прицільного регулювання швидкості відчепів;

– можливістю реалізації заданої швидкості виходу відчепу з ГП.

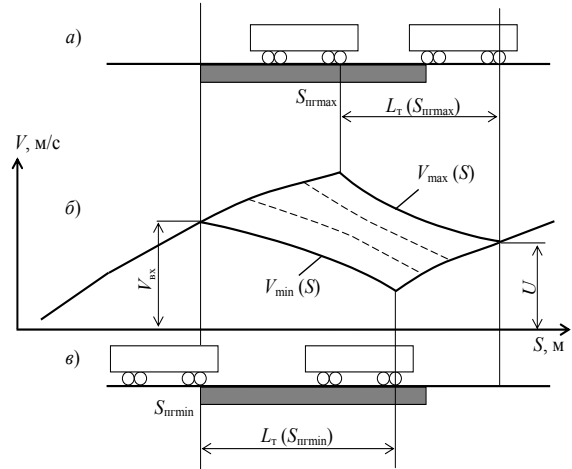


Рис. 1. Граничні режими гальмування відчепу: а) гальмування від точки  $S_{\text{ггmax}}$ ; б) графіки швидкості скочування; в) гальмування від точки  $S_{\text{ггmin}}$

На рис. 2 наведена ОДШ для відчепу ОХ, яка є неправильним шестикутником з вершинами 1-2-3-4-5-6; при цьому вершині 1 відповідає швидкий режим скочування відчепу (Б), а вершині 4 – повільний (М). Зазначені режими забезпечують, відповідно, мінімальний та максимальний час скочування відчепу з гірки. Всі сторони вказаного шестикутника являють собою обмеження, які можуть бути активними, тобто на них може бути розташований оптимальний режим гальмування.

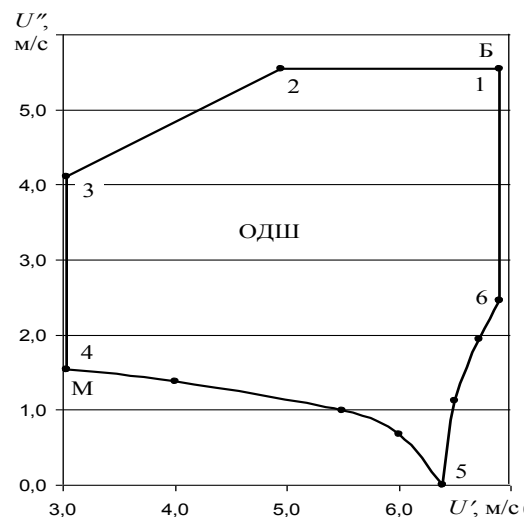


Рис. 2. ОДШ відчепу ОХ з активними обмеженнями швидкостей виходу з ГП

Результати досліджень показали, що конфігурація, розміри і положення ОДШ істотно залежать від конструкції гірки, а також від параметрів відчепу і умов скочування. Тому була формалізована методика та розроблено алгоритм побудови ОДШ з урахуванням згаданих вище параметрів. Методика заснована на використанні імітаційного моделювання скочування відчепів з гірки; вона дозволяє також ідентифікувати і виключити неактивні обмеження швидкостей виходу відчепів з ГП до початку розв'язання задачі оптимізації.

Вибір режимів гальмування визначається як параметрами скочуються відчепів складу, так і послідовністю номерів стрілок їх розділення. Так, практично в усіх системах автоматизації сортувального процесу [8] вибір режимів розпуску складів і скочування відчепів здійснюється з урахуванням координат стрілок розділення, які, у свою чергу, визначаються маршрутами скочування суміжних відчепів складу.

Тим часом в роботі [9] відзначена можливість виникнення нагонів на пучкових стрілках між несуміжними відчепами складу (відчепи, розділені у складі одним або декількома іншими відчепами) і, отже, необхідності врахування таких ситуацій між цими відчепами.

Виконаний в [10] аналіз розділень відчепів на стрілках з використанням ймовірнісного підходу дозволив отримати аналітичний вираз (1) для визначення ймовірності розділення довільної пари відчепів складу  $i$  та  $(i+k)$  на деякій стрілці  $\sigma$  (див. рис. 3)

$$P_{i,i+k}(\sigma) = \frac{2m_n(\sigma) \cdot m_n(\sigma) \cdot (M - m_n(\sigma) - m_n(\sigma))^{k-1}}{M(M-1)^k} \quad (1)$$

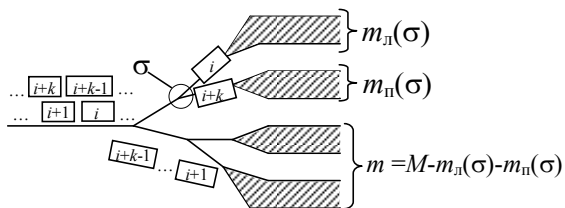


Рис. 3. Схема визначення ймовірності вторинного розділення крайніх відчепів групи  $i$  та  $(i+k)$  на розділовій стрілці  $\sigma$

Було показано, що умови розділення несуміжних відчепів не менше впливають на якість управління розпуском, ніж зазвичай контрольовані умови розділення суміжних відчепів складу.

Для зручності аналізу розділень маршрутів конкретного складу їх було представлено верхньою трикутною матрицею  $\|\sigma\|$  (див. рис. 4), рядкам і стовпцям якої поставлено у відповідність номери колій призначення його відчепів.

Елементами матриці  $\sigma_{ij}$ ,  $i < j$  є номери стрілочних позицій, на яких розділяються маршрути  $i$ -го та  $j$ -го відчепів, що слідують, відповідно, на колії  $W_i, W_j$ .

	$W_1$	$W_2$	$W_3$	...	$W_{n-1}$	$W_n$
$W_1$	0	$\sigma_{12}$	$\sigma_{13}$	...	$\sigma_{1,n-1}$	$\sigma_{1,n}$
$W_2$		0	$\sigma_{23}$	...	$\sigma_{2,n-1}$	$\sigma_{2,n}$
$W_3$			0	...	$\sigma_{3,n-1}$	$\sigma_{3,n}$
...				...		
$W_{n-1}$					0	$\sigma_{n-1,n}$
$W_n$						0

Рис. 4. Верхня трикутна матриця номерів розділових стрілок відчепів складу

Всі елементи матриці  $\|\sigma\|$  для конкретної гірки і складу визначаються за допомогою будь-яких функцій:

$$\sigma_{ij} = \varphi(\zeta_i, \zeta_j), \quad (2)$$

де  $\zeta_i, \zeta_j$  – коди колій призначення  $i$ -го и  $j$ -го відчепів.

Код кожної сортувальної колії  $\zeta$  формується таким чином, щоб по ньому можна було визначити положення стрілок у маршруті на цю колію. Зазначений код у двійковій формі складається з  $N$  розрядів за кількістю стрілочних позицій на гірці.

Запропонована методика дозволяє визначати елементи трикутної матриці  $\|\sigma\|$  для кожного конкретного складу, що розформовується на гірці з будь-якою конструкцією стрілочної горловини. Аналіз матриці дозволяє встановити загальну кількість розділень відчепів складу, а також їх розподіл по окремих стрілочних позиціях.

Результати статистичної обробки сортувальних листків [11] на ряді сортувальних станцій України показали, що загальна кількість розділень в середньому в 1,5–1,8 рази перевищує число розділень суміжних пар відчепів. Кількість розділень має лінійну залежність від числа відчепів в складі (див. рис. 5); коефіцієнт кореляції між числом відчепів і числом розділень дорівнює 0,95–0,97.

Таким чином, отримані дані дозволяють зробити висновок про те, що багаторазові розділення несуміжних відчепів необхідно врахувати при вирішенні широкого кола практичних задач, спрямованих на підвищення ефективності сортувального процесу на гірках, в т. ч. і при оптимізації режимів розформування составів.

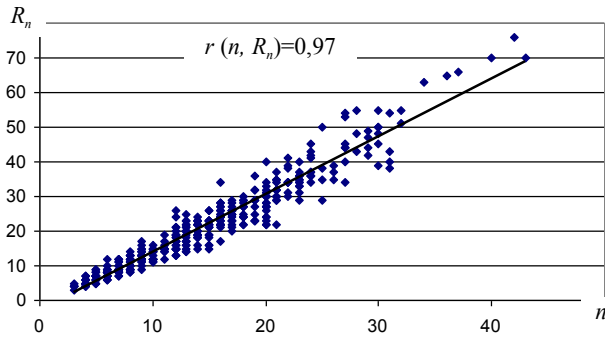


Рис. 5. Кореляційна залежність між кількістю розділень  $R_n$  і числом відчепів  $n$  в составі для ст. Знам'янка

В [12] розроблено метод оптимізації режиму розформування составу, який враховує умови розділення між несуміжними відчепами составу.

Метою оптимізації режиму розформування составів для підвищення якості інтервального регулювання швидкості є максимізація інтервалів на стрілках між усіма парами відчепів составу. Тому в якості критерію оптимізації

доцільно використати вектор інтервалів між відчепами составу, який побудований з урахуванням багаторазових розділень кожного з них:

$$\delta t = (\delta t_1, \delta t_2, \dots, \delta t_c) \cdot \max \quad (3)$$

де  $c$  – загальна кількість розділень відчепів в составі з урахуванням вторинних

Як показав аналіз, інтервали  $\delta t_i$  в (3) не є незалежними. Зміна режиму гальмування деякого відчепу призводить до зміни значень декількох інтервалів  $\delta t_i$  вектора  $\delta t$ . При цьому змінюються ті інтервали, з якими цей відчеп має розділення на стрілках, в т. ч. і вторинні.

У зв'язку з цим очевидна необхідність контролю всіх зазначених інтервалів в процесі розв'язання задачі оптимізації. З цією метою при виборі режиму гальмування керованого  $i$ -го відчепу було запропоновано розглядати кортеж всіх відчепів составу, які мають розділення з цим відчепом (див. рис. 6). У даний кортеж, крім керованого  $i$ -го відчепу і суміжних з ним відчепів з номерами  $p_1=(i-1)$  і  $q_1=(i+1)$  необхідно включити всі інші відчепи составу, які мають розділення з  $i$ -м відчепом. Це відчепи з номерами  $p_2, \dots, p_N$ , які розташовані в составі до  $i$ -го ( $p_N < \dots < p_2 < p_1 = i-1$ ), а також відчепи з номерами  $q_2, \dots, q_N$ , які розташовані після нього ( $q_1 = i+1 < q_1 < q_2 < \dots < q_N$ ); тут  $N$  – число стрілочних позицій на гірці.

Склад кортежу  $i$ -го відчепу може бути однозначно визначено за даними матриці  $\|\sigma\|$  номерів розділових стрілок відчепів составу.

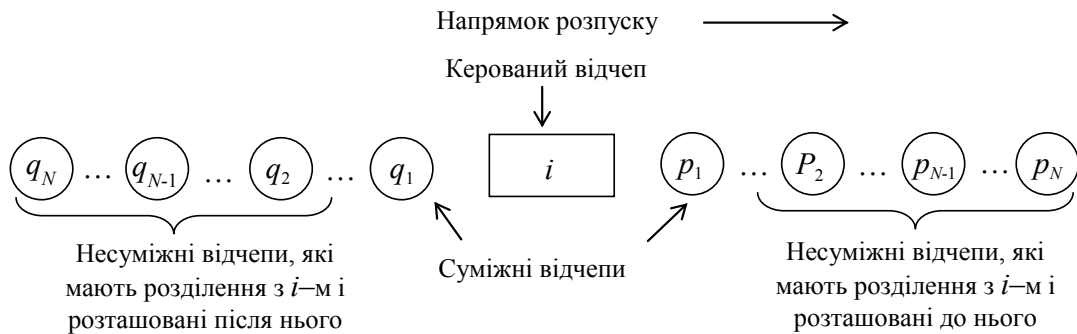


Рис. 6. Схема кортежу керованого відчепу

В цих умовах частинним критерієм оптимальності режиму гальмування  $r_i$  керованого  $i$ -го відчепу, що визначається при фіксованих режимах всіх відчепів, які мають з ним розділення, прийнято абсолютну величину різниці мінімальних інтервалів  $i$ -го відчепу з відчепами, які розташовані у составі до і після нього.

$$\Delta t_i(r_i) = \left| \begin{array}{l} \min \{ \delta t_{p_1}, \delta t_{p_2}, \dots, \delta t_{p_N} \} \\ - \min \{ \delta t_{q_1}, \delta t_{q_2}, \dots, \delta t_{q_N} \} \end{array} \right| \rightarrow \min \quad (4)$$

Використовуючи наведений частинний критерій для окремих відчепів можна була побудована цільова функція для оптимізації режиму

розформування складу:

$$\Delta T = \{\Delta t_2, \Delta t_3, \dots\} \rightarrow \min \quad (5)$$

В даному виразі всі величини  $\Delta t_i$  пов'язані з відповідними відчепами  $\overline{2, n-1}$  і впорядковані за їхнім розташуванням у складі.

Для врахування взаємозв'язку між інтервальним і прицільним регулюванням швидкості відчепів, а також існуючих обмежень швидкості їх скокування при виборі режимів гальмування контролюється їх приналежність області допустимих швидкостей їх виходу з ВТП і

СТП. Зазначені області повинні бути визначені для кожного відчепу складу до початку розв'язання задачі оптимізації і є її обмеженнями.

У процесі оптимізації склад поступово розбивається на групи, в яких відбувається вирівнювання величин суміжних інтервалів (див. рис. 7). Даний результат досягається за рахунок використання резервів інтервалів між відчепами складу, що знаходяться в групах зі сприятливими умовами розділення, і перерозподілу цих резервів між відчепами складу, що знаходяться в групах із несприятливими умовами розділення.

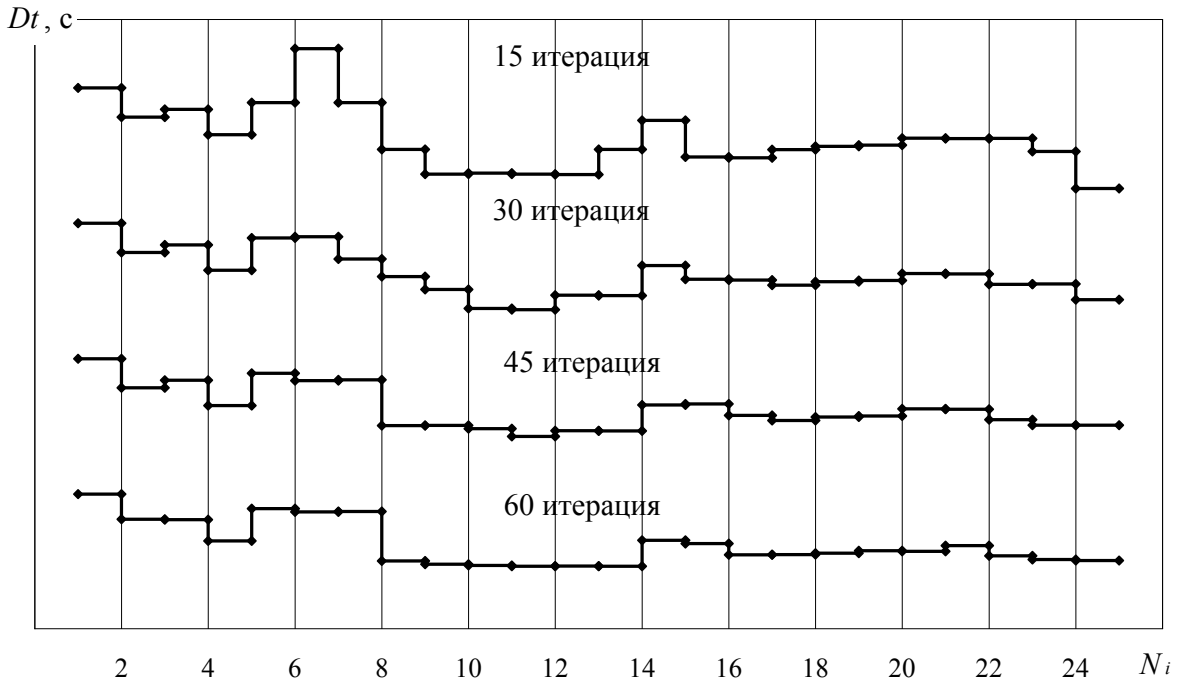


Рис. 7. Зміна величини суміжних інтервалів в процесі оптимізації

В результаті оптимізації встановлюються такі режими гальмування відчепів складу, при яких забезпечуються максимально можливі інтервали на розділових стрілках для всіх не-

сприятливих за умовами розділення груп відчепів (див. рис. 8). Межами груп є відчепи з екстремальними режимами скокування: швидкий (Ш) та повільний (П).

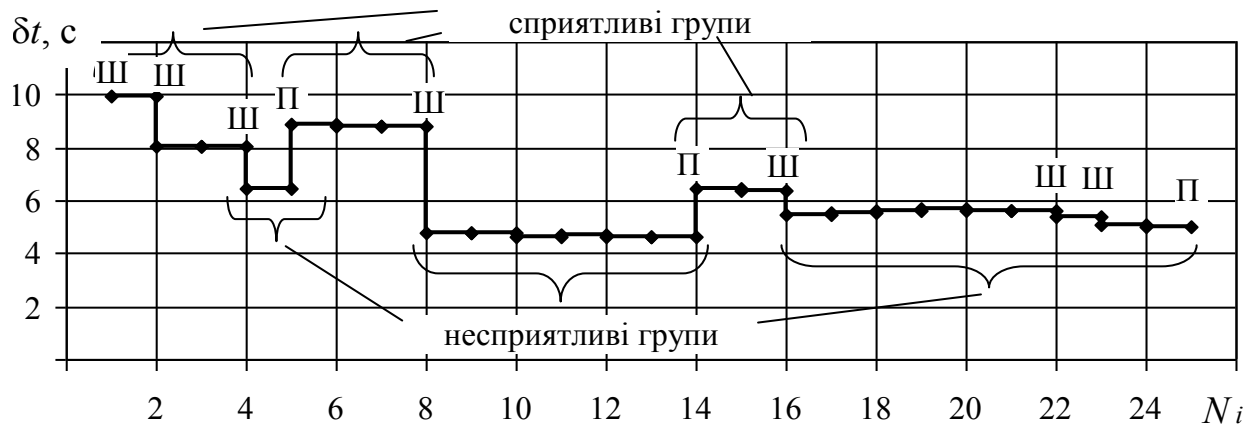


Рис. 8. Розподіл інтервалів між відчепами після закінчення оптимізації РГ

Статистична обробка величини інтервалів (див. рис. 9), отриманих в результаті оптимізації, показала, що значення математичного очі

кування величини інтервалу між суміжними відчепами становить  $M[\delta t_{\text{см}}] = 6,24$  с, між несуміжними відчепами, відповідно,  $M[\delta t_{\text{нс}}] = 39,0$  с.

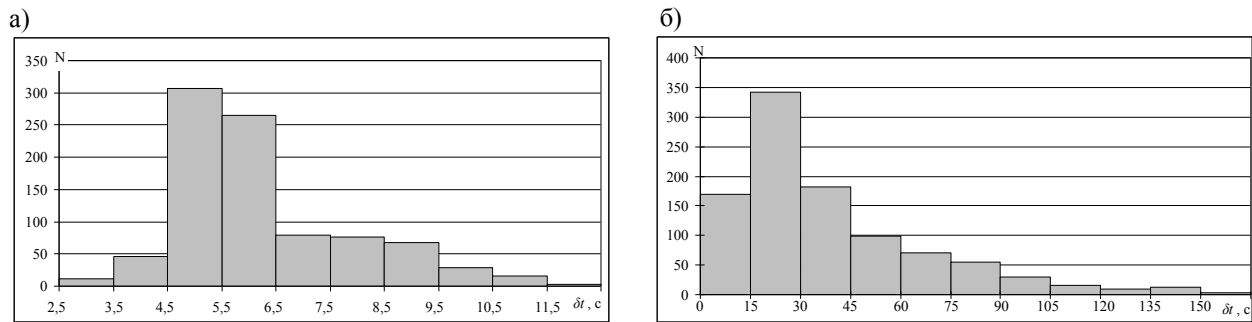


Рис. 9. Гістограма розподілу величини інтервалів між відчепами: а) суміжними; б) несуміжними

В [13] була виконана кількісна оцінка показників сортувального процесу при використанні розробленого методу оптимізації режимів гальмування відчепів для керування процесом розформування составів на автоматизованих сортувальних гірках

Для оцінки ефективності розробленого методу було виконано моделювання розформування потоку составів та визначено показники, що характеризують якість сортувального процесу при оптимальних режимах гальмування відчепів.

Для досліджень була використана імітаційна модель процесу розформування составів на автоматизованих гірках. Модель імітує процеси насуву составу і керованого скочування всіх його відчепів; в результаті моделювання отримують основні показники якості сортувального процесу.

Модель забезпечує розрахунок сил, що діють на відчепи, які скочуються, імітацію роботи уповільнювачів та переведення стрілок, контроль нерозділень і нагонів відчепів, а також моделювання проштовхування вагонів на сортувальних коліях.

Для реалізації визначених швидкостей виходу відчепів з ГП в моделі використовуються алгоритми функціонування відомих автоматизованих систем. Це дозволяє порівняти результати моделювання з реальними показниками якості сортувального процесу на автоматизованих гірках, обладнаних системами АРШ

Як показав аналіз розподілу інтервалів між відчепами на розділових елементах (рис. 10, а), в цілому якість інтервального регулювання на гірці задовільна, тому що негативні значення  $\delta t$  в отриманій вибірці відсутні. Величина  $\delta t$  має близьке до нормального симетричне розподілення.

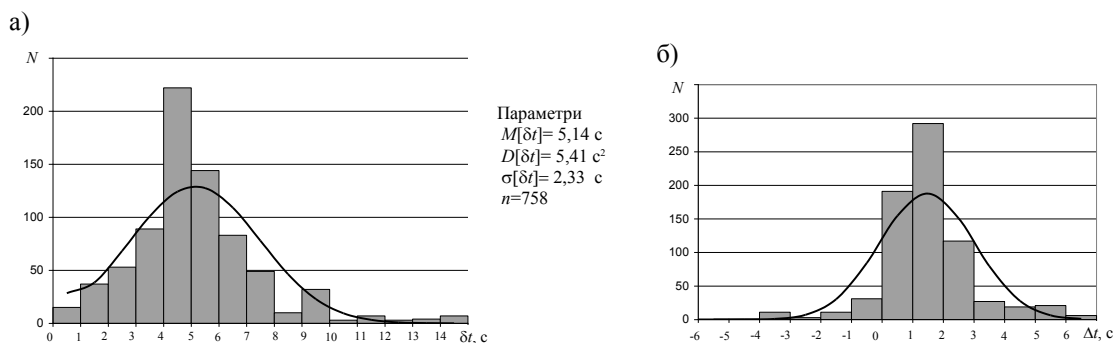


Рис. 10. Гістограма і теоретична функція щільності розподілу: а) фактичної величини інтервалів між суміжними відчепами; б) похибки реалізації інтервалів між суміжними відчепами

У той же час в отриманому розподілу близько 2% загального числа інтервалів становлять значення  $\delta t < 1$ с. Такі інтервали ускладнюють процес функціонування системи ГАЦ на

гірці і можуть послужити причиною нерозділення деяких відчепів. Слід зауважити, що в сукупності інтервалів  $\delta t$ , отриманих при оптимізації режимів гальмування для розглянутих

составів, такі малі значення  $\delta t$  відсутні. Це означає, що вони були отримані в результаті помилок реалізації заданих режимів гальмування окремих відчепів.

На підтвердження був виконаний аналіз розподілу різниці  $\Delta t = \delta t_p - \delta t_\phi$  між розрахунковими інтервалами  $\delta t_p$ , що отримані в результаті оптимізації режимів гальмування, і фактичними інтервалами  $\delta t_\phi$  (див. рис. 10, б).

### Висновки

Виконаний аналіз показників сортувального процесу показав достатню ефективність розробленого в [12] метода оптимізації режимів розформування составів, який може бути рекомендований для розрахунку швидкостей виходу відчепів з гальмівних позицій в системах автоматизації сортувального процесу.

Отримані в результаті оптимізації режими гальмування забезпечують достатньо високу якість інтервального регулювання, а також можливість реалізації безпечної швидкості зіткнення вагонів на сортувальних коліях автоматизованих гірок.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гапанович, В. О разработке автоматизированных сортировочных систем [Текст] / В. А. Гапанович, А. Н. Шабельников // Ж.-д. трансп. – 2010. – № 8. – С. 23-25.
2. Ададунов, С. Е. Комплексная система автоматизации сортировочных процессов [Текст] / С. Е. Ададунов, В. Н. Соколов // Ж.-д. трансп. – 2010. – № 8. – С. 37-38.
3. Сепетый, А. А. Система комплексной автоматизации сортировочных процессов [Текст] / А. А. Сепетый, А. Ю. Сергеев // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 2. – С. 6-7.
4. 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.
5. Шелухин, В. И. Универсальный модуль управления тормозными позициями [Текст] / В. И. Шелу-

хин, И. Н. Малышев // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – № 5. – С. 12-14.

6. Бобровский, В. И. Влияние режимов гальмування на тривалість скочування відчепів з гірки [Текст] / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов, Л. О. Ельникова // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 102. – С. 147-15.

7. Бобровский, В. И. Ограничения режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, Р. В. Вернигора, А. В. Кудряшов, Л. О. Ельникова // Вісник ДПТУ.– Д.: ДПТ, 2009. – Вип. 27. – С. 30-35.

8. Модин, Н. К. Механизация и автоматизация станционных процессов [Текст] / Н. К. Модин // – М.: Транспорт, 1985. – 224 с.

9. Шафит, Е. М. К вопросу алгоритмизации расчёта переменной скорости распуска составов на сортировочных горках [Текст] / Е. М. Шафит, А. Г. Савицкий // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на железнодорожных станциях: Межвуз. сб. науч. тр. ДИИТ. – Днепропетровск, 1982. – Вып. 224/11. – С. 39-47.

10. Бобровский, В. И. Вероятностные характеристики разделений отцепов состава на стрелках [Текст] / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов, Ю. В. Чибисов // Вісник ДПТУ.– Д.: ДПТ, 2007. – Вип. 18. – С. 146-150.

11. Бобровский, В. И. Анализ числа разделений отцепов в составах, расформируемых на действующих сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов // Транспортні системи та технології перевезень: Зб. наук. праць.– Д.: ДНУЗТ, 2011. – Вип. 2. – С. 17-21.

12. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов расформирования составов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов // Вісник ДПТУ. – Д.: ДПТ, 2010. – Вип. 32. – С. 224-229.

13. Бобровский, В. И. Оценка влияния режимов торможения на качество процесса расформирования составов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов, А. И. Колесник // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 113. – С. 121-127.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., доц. І. О. Тараном (Україна)*

Надійшла до редколегії 05.12.2013.

Прийнята до друку 06.12.2013.