

УДК 656.212.5(23.01)

А. С. ДОРОШ^{1*}

^{1*} Каф. «Транспортні вузли», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 927 84 62, ел. пошта dorosh.andrii@gmail.com, ORCID 0000-0002-5393-0004

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ

Мета. На етапі розробки сучасних інформаційних систем керування процесом розформування составів на сортувальних гірках головною задачею залишається встановлення таких умов скочування кожного відчепа составу, при яких виконуються встановлені вимоги безпеки розпуску, а також вимоги схоронності вагонів та вантажів у них. Встановлення таких режимів скочування беззаперечно є достатньо складною оптимізаційною задачею, вирішенням якої займається велика кількість науковців. У зв'язку з цим можна вважати, що вказана задача залишається актуальною, тому метою даної дослідницької роботи є визначення таких режимів гальмування відчепів состава, при яких забезпечується їх надійне розділення при скочуванні від вершини гірки до сортувальних колій. **Методика.** Для виконання досліджень процесу розформування составів на сортувальній гірці було використано метод імітаційного моделювання, а для пошуку режимів гальмування відчепів розрахункової групи використано комплексний метод Бокса. **Результати.** Досліджено умови розділення відчепів розрахункової групи состава, а також розроблено ітераційну процедуру оптимізації режимів гальмування всіх відчепів состава, яка дозволяє забезпечити максимальне значення мінімального інтервалу в розрахунковій групі. При цьому вказана процедура враховує інтервали між відчепами як на стрілках, так і на уповільнювачах гальмових позицій спускної частини гірки. **Наукова новизна.** В роботі встановлено, що при визначенні режимів гальмування відчепів состава необхідно враховувати можливі розділення відчепів на всіх елементах спускної частини гірки – стрілках і уповільнювачах. Формалізовано і вирішено задачу пошуку оптимальних режимів гальмування всіх відчепів состава, які, в свою чергу, дозволяють забезпечити надійні умови розділення суміжних відчепів на стрілочних переводах і гальмових позиціях спускної частини гірки. **Практична значимість.** Розроблений метод може бути використаний при дослідженні сортувального процесу, а також у системах автоматизації розформування составів на сортувальних гірках при визначенні режимів гальмування відчепів.

Ключові слова: відчеп, режим гальмування, сортувальна гірка, розділовий елемент, інтервал.

Вступ

Однією з основних задач управління розпуском составів на сортувальних гірках є забезпечення вимог безпеки розпуску і необхідної якості інтервального регулювання швидкості відчепів, що скочуються. З цією метою необхідно встановити раціональний режим гальмування (РГ) для кожного відчепа составу, при якому забезпечуються найкращі умови їх розділення на стрілках.

Для вирішення даної задачі в роботах [3, 4] запропоновано інтелектуальну модель управління на базі нечіткої логіки, яка дозволяє визначити швидкості виходу відчепів з гальмових позицій в умовах адаптації до поточної ситуації на спускній частині гірки.

В той же час, в роботі [5] вирішення задачі оптимізації РГ відчепів составу виконано з використанням ітераційного методу. Вказаний метод дозволяє встановити до розпуску составу такі РГ

відчепів, при яких розрахункові інтервали на стрілках у всіх парах відчепів, що розділяються, у тому числі і несуміжних, приймають максимально можливі значення [6]. Проте недоліком даного методу є вирішення задачі оптимізації РГ відчепів у детермінованій постановці. Так, виконані дослідження [9] показали, що вплив випадкових факторів істотно ускладнює визначення режимів гальмування відчепів при розформуванні составів. У зв'язку з цим у [10, 11] оптимізацію режимів інтервального регулювання швидкості відчепів запропоновано виконувати за критерієм мінімуму ймовірності нерозділення відчепів на стрілочних переводах. Такий підхід дозволяє вирішувати задачу пошуку РГ відчепів при стохастичних умовах скочування, що дозволяє більш повно врахувати вплив випадкових факторів у процесі розформування составів на гірці. Задача визначення РГ відчепів за запропонованим критерієм вирішена в [8]; при цьому встановлені режими забезпечують мінімальну

величину вікон на сортувальних коліях та мінімальний ризик нерозділення відцепів на стрілках при заданому рівні безпеки сортувального процесу.

Аналіз існуючих підходів до вирішення вказаної задачі показав, що визначення РГ відцепів виконується лише за умови забезпечення їх розділення тільки на стрілочних перекладах, а умови розділення відцепів на гальмових позиціях (ГП) спускної частини гірки взагалі не враховуються, або розглядаються тільки у якості додаткового обмеження [12]. Слід відмітити, що такий підхід не дозволяє максимально підвищити якість інтервального регулювання на всіх розділових елементах спускної частини гірки. До того ж, запропонована в [12] методика визначення вказаних обмежень достатньо складна та

потребує застосування методів регресійного аналізу та імітаційного моделювання, що ускладнює її реалізацію при розробці інтелектуальних систем управління розформуванням составів на гірках.

Дослідження, виконані на основі імітаційного моделювання розпуску составів на гірках, показали, що в деяких випадках при достатньо великих інтервалах між відцепами на стрілках мають місце нерозділення відцепів на перших уповільнювачах другої гальмової позиції (СГП). В таких випадках розрахункові РГ, встановлені за допомогою методу [5], забезпечують максимальні інтервали на стрілках, тоді як інтервали на уповільнювачах $\delta t^{ГП}$ мають недостатню величину (див рис. 1).

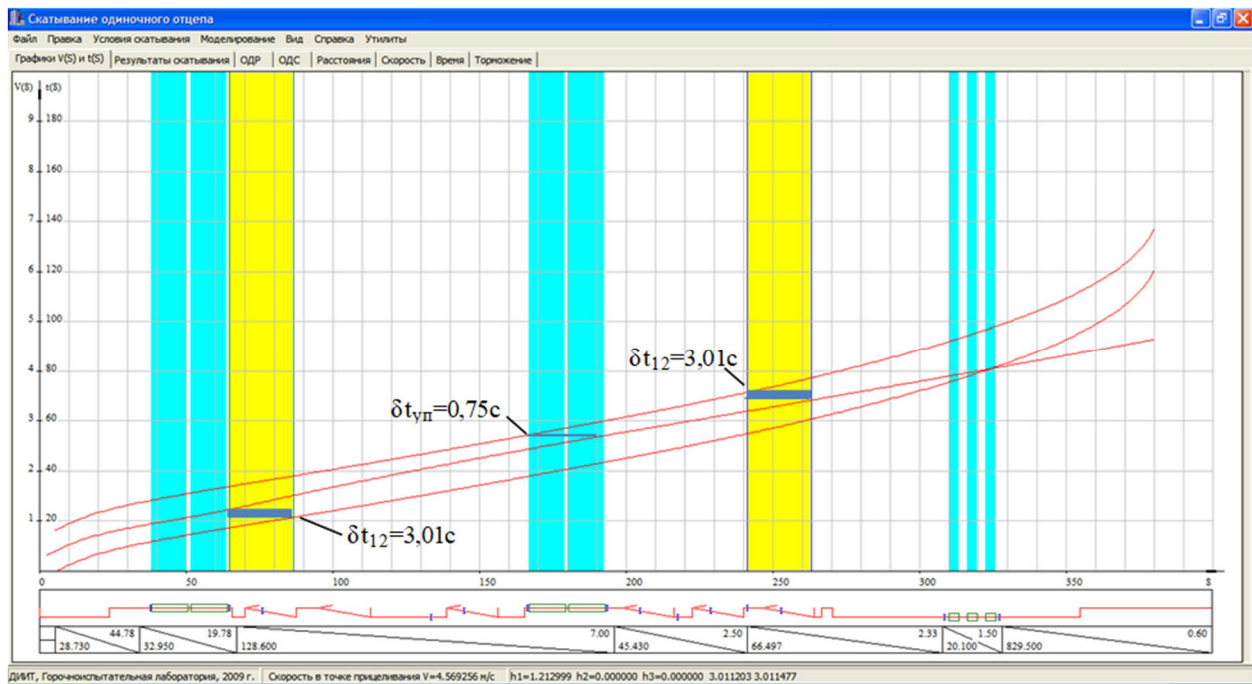


Рис. 1. Скочування розрахункової групи відцепів ДП-ДХ-ДП

Методика

Відповідно до вимог безпеки сортувального процесу інтервал між відцепами на вхідних уповільнювачах ГП повинен бути не менше часу $t_{пб}$, необхідного для переведення балок уповільнювача з одного положення в інше до входу на нього чергового відцепу. Дійсно, запропонована в [12] методика дозволяє знайти такі режими, при яких інтервали на стрілках максимальні, але інтервали на уповільнювачах $\delta t^{ГП}$ лише незначно перевищують $t_{пб}$. В такій ситуації навіть незначні похибки у реалізації розрахункових режимів гальмування можуть призводити до нерозділення відцепів на ГП.

Авторами в роботах [1, 7] відмічено, що при оптимізації режимів гальмування відцепів розрахункової групи необхідно враховувати інтервали не лише на розділових стрілочних переходах, а і на перших уповільнювачах першої (ВГП) та другої (СГП) гальмових позицій. Такий підхід при вирішенні задачі оптимізації РГ дозволить підвищити якість інтервального регулювання на всіх розділових елементах спускної частини гірки і, відповідно, безпеку процесу розформування составів.

Таким чином, задача оптимізації режимів гальмування відцепів состава, що розформується, полягає в пошуку таких режимів гальму-

вання $\mathbf{R}_r = (\mathbf{U}_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$, при яких забезпечується максимальна надійність розділення відчепів на всіх розділових елементах по маршруту скочування на колії сортувального парку.

Відомо, що в групі з 3-х відчепів існує два інтервали між ними на стрілках (δt_{12} , δt_{23}), а також може бути до 4-х інтервалів на уповільнювачах верхньої (ВГП) і середньої (СГП) гальмових позицій $\delta t_{12}^{\text{ВГП}}$, $\delta t_{12}^{\text{СГП}}$, $\delta t_{23}^{\text{ВГП}}$, $\delta t_{23}^{\text{СГП}}$.

У зв'язку з цим задача оптимізації режиму гальмування \mathbf{U} керованого відчепа розрахункової групи полягає у пошуку такого режиму, при якому забезпечується надійне розділення всіх відчепів групи як на стрілочних переводах, так і на уповільнювачах ВГП та СГП. При цьому найкращим для керованого відчепа є такий режим гальмування \mathbf{U} , при якому найменший з інтервалів в групі досягає максимуму:

$$f = \min\{\delta t_{12}(\mathbf{U}), \delta t_{23}(\mathbf{U}), \delta t_{12}^{\text{ВГП}}(\mathbf{U}), \delta t_{12}^{\text{СГП}}(\mathbf{U}), \delta t_{23}^{\text{ВГП}}(\mathbf{U}), \delta t_{23}^{\text{СГП}}(\mathbf{U})\} \rightarrow \max \quad (1)$$

з наступними обмеженнями

$$\delta t_i \geq \delta t_{\min}, i = 1, \dots, m + 2, \mathbf{U} \in \Omega,$$

де δt_{\min} – мінімальний інтервал на розділовому елементі гірки;

m – кількість розділень на ГП;

Ω – область допустимих швидкостей (ОДШ) виходу відчепа з ВГП та СГП.

Як видно з (1) при розділенні групи з 3-х суміжних відчепів максимальна кількість інтервалів, що може виникати при цьому становить 6. З метою визначення кількості таких інтервалів у кожному окремому випадку необхідно виконати аналіз умов розділення групи суміжних відчепів на сортувальних гірках різної конструкції.

Конкретна кількість інтервалів в (1) залежить як від взаємного розташування стрілок і гальмових позицій на сортувальній гірці, так і від маршрутів проходження відчепів групи. Як показав аналіз, на гірках, що мають 4 пучки сортувальних колій, існує 9 комбінацій розділових стрілок групи з 3-х відчепів, які відрізняються числом і розташуванням розділових елементів на гальмових позиціях спускної частини гірки i , відповідно, числом інтервалів у цільовій функції (1). Для аналізу особливостей розділення відчепів такої групи в табл. 1 наведені 9 зазначених комбінацій розділових стрілок, у яких кожна пара відчепів розділяється або на головній стрілці ($\sigma = 1$), або на стрілці, що визначає вибір пучка ($\sigma = 2$), або на одній зі стрілок пучка ($\sigma = 3 - 5$). Слід відмітити, що дана таблиця отримана для гірки, на якій ВГП розташована після головної стрілки.

Таблиця 1

Умови розділення групи з 3-х відчепів на сортувальній гірці (ВГП розташована після головної стрілки)

Комбінація	Розділові стрілки		Інтервали на розділових елементах в парах відчепів групи						Кількість розділень на ГП		
	σ_1	σ_2	1-а пара			2-а пара			1-а пара	2-а пара	Всього
			Стрілка	ВГП	СГП	Стрілка	ВГП	СГП			
1	1	1	$\delta t_{12}^1 *$	–	–	$\delta t_{23}^1 *$	–	–	0	0	0
2	1	2	$\delta t_{12}^1 *$	–	–	$\delta t_{23}^2 (U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}} (U_2')$	–	0	1	1
3	1	3-5	$\delta t_{12}^1 *$	–	–	$\delta t_{23}^{3-5} (U_2', U_2'')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}} (U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{СГП}} (U_2', U_2'')$	0	2	2
4	2	1	$\delta t_{12}^2 (U_2')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	–	$\delta t_{23}^1 *$	–	–	1	0	1
5	2	2	$\delta t_{12}^2 (U_2')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	–	$\delta t_{23}^2 (U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}} (U_2')$	–	1	1	2
6	2	3-5	$\delta t_{12}^2 (U_2')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	–	$\delta t_{23}^{3-5} (U_2', U_2'')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}} (U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{СГП}} (U_2', U_2'')$	1	2	3
7	3-5	1	$\delta t_{12}^{3-5} (U_2', U_2'')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	$\delta t_{12}^{\text{СГП}} (U_2')$	$\delta t_{23}^1 *$	–	–	2	0	2
8	3-5	2	$\delta t_{12}^{3-5} (U_2', U_2'')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	$\delta t_{12}^{\text{СГП}} (U_2')$	$\delta t_{23}^2 (U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}} (U_2')$	–	2	1	3
9	3-5	3-5	$\delta t_{12}^{3-5} (U_2', U_2'')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	$\delta t_{12}^{\text{СГП}} (U_2')$	$\delta t_{23}^{3-5} (U_2', U_2'')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}} (U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{СГП}} (U_2', U_2'')$	2	2	4

Примітка:

« – » – інтервал в парі відчепів на даному розділовому елементі відсутній;

« * » – інтервал в парі відчепів на даному розділовому елементі нерегульований.

Як видно з табл.1, умови розділення відчепів групи в 9 зазначених комбінаціях істотно відрізняються як числом інтервалів на розділових елементах, так і умовами їх регулювання. Так, число інтервалів у групі може змінюватися від 2 (комб. 1, $\sigma_1 = 1$, $\sigma_2 = 1$) до 6 (комб. 9, $\sigma_1 = 3 - 5$, $\sigma_2 = 3 - 5$). Зазначені відмінності викликані тим, що при окремих комбінаціях призначень групи відсутні розділення відчепів на ВГП і/або СГП. Одночасно при цьому можуть відрізнитися й умови регулювання інтервалів між відчепами – інтервал може бути нерегульованим (позначені в табл. 1 знаком ‘*’), може залежати від гальмування середнього відчепу тільки на ВГП ($\delta t_{i,i+1}^\sigma(U_2')$), або на обох гальмових позиціях – ВГП і СГП ($\delta t_{i,i+1}^\sigma(U_2', U_2'')$). Так, наприклад, інтервал між суміжними відчепами

на першому стрілочному переводі ($\sigma = 1$) не залежить від режиму гальмування, оскільки вказана стрілка знаходиться перед ВГП і достатній інтервал на ній повинен забезпечуватись конструкцією поздовжнього профілю сортувальної гірки. Очевидно, що перераховані особливості істотно ускладнюють вибір оптимального РГ керованого відчепу групи.

Також слід відзначити, що умови розділення відчепів групи на 1-й розділовій стрілці та на ВГП, а також особливості регулювання інтервалів на цих елементах істотно залежать від взаємного розташування головної стрілки гірки і ВГП. У цьому зв'язку в табл. 2 наведені 9 комбінацій розділових стрілок для групи з 3-х відчепів, розглянутих вище, але для гірки, на якій ВГП розташована до головної стрілки.

Таблиця 2

Умови розділення групи з 3-х відчепів на сортувальній гірці (ВГП розташована перед головною стрілкою)

Комбінація	Розділові стрілки		Інтервали на розділових елементах в парах відчепів групи						Кількість розділень на ГП		
	σ_1	σ_2	1-а пара			2-а пара			1-а пара	2-а пара	Всього
			Стрілка	ВГП	СГП	Стрілка	ВГП	СГП			
1	1	1	$\delta t_{12}^1(U_2')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	–	$\delta t_{23}^1(U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}}(U_2')$	–	1	1	2
2	1	2	$\delta t_{12}^1(U_2')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	–	$\delta t_{23}^2(U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}}(U_2')$	–	1	1	2
3	1	3-5	$\delta t_{12}^1(U_2')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	–	$\delta t_{23}^{3-5}(U_2', U_2'')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}}(U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{СГП}}(U_2', U_2'')$	1	2	3
4	2	1	$\delta t_{12}^2(U_2')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	–	$\delta t_{23}^1(U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}}(U_2')$	–	1	1	2
5	2	2	$\delta t_{12}^2(U_2')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	–	$\delta t_{23}^2(U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}}(U_2')$	–	1	1	2
6	2	3-5	$\delta t_{12}^2(U_2')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	–	$\delta t_{23}^{3-5}(U_2', U_2'')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}}(U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{СГП}}(U_2', U_2'')$	1	2	3
7	3-5	1	$\delta t_{12}^{3-5}(U_2', U_2'')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	$\delta t_{12}^{\text{СГП}}(U_2')$	$\delta t_{23}^1(U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}}(U_2')$	–	2	1	3
8	3-5	2	$\delta t_{12}^{3-5}(U_2', U_2'')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	$\delta t_{12}^{\text{СГП}}(U_2')$	$\delta t_{23}^2(U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}}(U_2')$	–	2	1	3
9	3-5	3-5	$\delta t_{12}^{3-5}(U_2', U_2'')$	$\delta t_{12}^{\text{ВГП}} *$	$\delta t_{12}^{\text{СГП}}(U_2')$	$\delta t_{23}^{3-5}(U_2', U_2'')$	$\delta t_{23}^{\text{ВГП}}(U_2')$	$\delta t_{23}^{\text{СГП}}(U_2', U_2'')$	2	2	4

Примітка:

« – » – інтервал в парі відчепів на даному розділовому елементі відсутній;

« * » – інтервал в парі відчепів на даному розділовому елементі нерегульований

На даній гірці інтервали на 1-й стрілці залежать від гальмування середнього відчепу групи на ВГП ($\delta t_{i,i+1}^1(U_2')$), тоді як раніше вони були нерегульовані. Крім того, у цьому випадку інтервали на ВГП мають місце у всіх 9 комбінаціях; при цьому в 1-й парі відчепів вони нерегульовані, а в 2-й парі вони залежать лише від гальмування середнього відчепу на ВГП

($\delta t_{23}^{\text{ВГП}}(U_2')$). Очевидно, що вибір режимів гальмування на даній гірці трохи складніше, ніж на гірці, на якій ВГП розташована за головною стрілкою.

В роботі [2] для вирішення задачі (1) було зроблено ітераційну процедуру оптимізації режиму гальмування керованого відчепу групи з

використанням методу прямого пошуку - комплексного методу Бокса. Даний метод передбачає пошук мінімуму функції шляхом переміщення точок комплексу в напрямку її мінімізації всередині області допустимих швидкостей виходу відчепів з ВГП та СГП. Аналіз результатів виконаних експериментів [2] показав, що розроблений метод є достатньо ефективним і може бути використаний при вирішенні багатокритеріальної задачі оптимізації РГ всіх відчепів состава, що розформовується на сортувальній гірці.

В загальному вигляді задача оптимізації режимів гальмування потоку відчепів полягає в максимізації мінімальних інтервалів на всіх розділових елементах між суміжними відчепами

$$\delta t = \max \min \{ \delta t_1(\mathbf{U}), \delta t_2(\mathbf{U}), \dots, \delta t_{n-1}(\mathbf{U}) \},$$

з наступними обмеженнями

$$\delta t_i \geq \delta t_{\min}, \quad i=1, \dots, m+2, \quad \mathbf{U} \in \Omega,$$

де n – кількість відчепів состава.

Вказаний критерій оптимізації дозволяє знайти такі режими гальмування, реалізація яких забезпечує достатньо високу надійність успішного розділення всіх відчепів состава на всіх розділових елементах (стрілках, уповільнювачах).

На кожному кроці процесу оптимізації обирається критична група з трьох відчепів, для якої абсолютна величина різниці мінімальних інтервалів в кожній парі суміжних відчепів $|\Delta t_i|$ максимальна

$$\Delta t_i = \delta t_i(\mathbf{U}_i, \mathbf{U}_{i+1}) - \delta t_{i-1}(\mathbf{U}_{i-1}, \mathbf{U}_i), \quad i \in [2, n-1],$$

$$\delta t_i(\mathbf{U}_i, \mathbf{U}_{i+1}) = \min \{ \delta t_{(i,i+1)}, \delta t_{(i,i+1)}^{\text{ВГП}}, \delta t_{(i,i+1)}^{\text{СГП}} \},$$

$$\delta t_{i-1}(\mathbf{U}_{i-1}, \mathbf{U}_i) = \min \{ \delta t_{(i-1,i)}, \delta t_{(i-1,i)}^{\text{ВГП}}, \delta t_{(i-1,i)}^{\text{СГП}} \}.$$

З огляду на локальний характер оптимізації, інтервали δt_{i-1} , δt_i , відповідно, між відчепами першої та другої пари критичної групи розглядаються як функції режиму гальмування i -го відчепу \mathbf{U}_i при фіксованих режимах $(i-1)$ -го та $(i+1)$ -го відчепів:

$$\delta t_{i-1}(\mathbf{U}_i) = t_{0,i-1} + t_i(\mathbf{U}_i, \sigma_{i-1}) - \tau_{i-1}(\sigma_{i-1}),$$

$$\delta t_i(\mathbf{U}_i) = t_{0,i} + t_{i+1}(\sigma_i) - \tau_i(\mathbf{U}_i, \sigma_i)$$

При цьому для обраної критичної групи повинна виконуватись одна з двох умов:

якщо $\Delta t_i(\mathbf{U}_i) > 0$, то $\mathbf{U}_i < \mathbf{U}_{i,\max}$ або

якщо $\Delta t_i(\mathbf{U}_i) < 0$, то $\mathbf{U}_i > \mathbf{U}_{i,\min}$

Якщо ж жодна з цих умов не виконується, то це означає, що для i -го відчепу встановлений один з двох граничних режимів гальмування, який не може бути змінений і, отже, групу не слід розглядати як критичну. Так, якщо

$\Delta t_i(\mathbf{U}_i) > 0$, тобто $\delta t_i > \delta t_{i-1}$, а $\mathbf{U}_i = \mathbf{U}_{i,\max}$, то це означає, що попереду i -го відчепу розташована група з несприятливими умовами розділення, а за ним - зі сприятливими. Встановлений при цьому для i -го відчепу режим повільного скочування $\mathbf{U}_{i,\max}$ забезпечує максимально можливі інтервали в групі відчепів попереду нього за рахунок скорочення інтервалів в наступній за цим відчепом сприятливій групі.

Навпаки, якщо $\Delta t_i(\mathbf{U}_i) < 0$, тобто $\delta t_i < \delta t_{i-1}$, то для i -го відчепу встановлюється режим швидкого скочування ($\mathbf{U}_i > \mathbf{U}_{i,\min}$), який дозволяє максимізувати інтервали в групі за цим відчепом за рахунок їх зменшення в попередній сприятливій групі.

Таким чином, на кожному кроці ітерації виконується оптимізація РГ середнього відчепу критичної групи, в результаті чого коригуються інтервали на стрілках та уповільнювачах в парах суміжних відчепів. Після цього виконується перехід до наступного кроку ітерації, на якому обирається нова критична група. Ітераційний процес триває до тих пір, доки не буде виконана умова

$$\max |\Delta t_i| \leq \varepsilon, \quad i=2, \dots, n-1,$$

де ε – допустима різниця мінімальних інтервалів в суміжних парах відчепів.

Результати

Для оцінки ефективності удосконаленого ітераційного методу було виконано оптимізацію РГ відчепів состава при встановленій для гірок великої потужності швидкості розпуску $v_0 = 1,7$ м/с. Для порівняння в табл. 3 наведені показники інтервального регулювання при оптимізації РГ відчепів існуючим та удосконаленим ітераційними методами.

Як видно з таблиці при використанні ітераційного методу, що не враховує розділення відчепів на гальмових позиціях з'являються випадки нерозділення відчепів на гальмових, що призводить до порушення вимог безпеки при розформуванні составів на гірках.

Аналіз результатів процесу розформування потоку составів на сортувальній гірці дозволив встановити, що при режимах гальмування, визначених за допомогою методу, що не враховує розділення на ГП близько 6-8 % інтервалів $\delta t_{\text{уп}}$ на СГП мають значення менші за необхідне $\delta t_{\text{мін}}^{\text{уп}} = 1,2$ с. Наявність таких інтервалів призводить до порушень умов безпеки розпуску, і, як

наслідок, до додаткових експлуатаційних витрат на їх ліквідацію.

В той же час, як видно з таблиці 3, удосконалений ітераційний метод оптимізації режимів гальмування дозволяє виключити випадки нерозділення відцепів состава на уповільнювачах гальмових позицій, про що свідчить мінімальне значення інтервалу $\delta t_{\min}^{yn} = 3,29$ с. Слід відзначити, що збільшення

інтервалів між суміжними відцепами на уповільнювачах можливе лише за рахунок їх деякого зменшення на розділових стрілочних переводах. Підтвердженням цьому є зменшення мінімального значення інтервалу на стрілці δt_{\min}^{cp} з 6,40 с до 5,12 с, але таке незначне зменшення δt_{\min}^{cp} несуттєво погіршує умови інтервального регулювання на розділових стрілках.

Таблиця 3

Показники інтервального регулювання при оптимізації режимів гальмування

Показник	Без урахування розділення на ГП	З урахуванням розділення на ГП
Мінімальний інтервал на уповільнювачах δt_{\min}^{yn} , с	-2,28	3,29
Максимальний інтервал на уповільнювачах δt_{\max}^{yn} , с	15,55	16,48
Мінімальний інтервал на розділовій стрілці δt_{\min}^{cp} , с	6,40	5,12
Максимальний інтервал на розділовій стрілці δt_{\max}^{cp} , с	9,58	15,73
Математичне очікування величини інтервалу на розділовому елементі $M[\delta t]$, с	7,22	7,85
Ймовірність появи інтервалів на розділовому елементі $\delta t < 3,5$ с	0,035	0,001

Висновки

1. Виконано формалізацію задачі оптимізації режимів гальмування відцепів состава з урахуванням розділення відцепів на стрілочних переводах і уповільнювачах гальмових позицій спускної частини гірки. Вказаний підхід дозволяє забезпечити надійне розділення відцепів групи на всіх елементах по маршруту скочування від вершини гірки на колії сортувального парку.

2. Удосконалення ітераційного методу оптимізації режимів гальмування відцепів состава дозволяє встановити такі режими гальмування, при яких відсутні випадки нерозділення відцепів на уповільнювачах ВГП та СГП, а ймовірність появи на розділових елементах інтервалів менше 3,5 с не перевищує 0,001. Тому, удосконалений ітераційний метод визначення режимів гальмування може бути використаний для встановлення оптимальних швидкостей виходу відцепів з гальмових позицій в системах автоматизації сортувального процесу на гірках.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Bobrovskiy, V. Probabilistic approach for the determination of cuts permissible braking modes on the gravity humps / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, A. Dorosh, E. Demchenko, T. Bolvanovska, A. Kolesnik // *Transport Problems*. – 2016. – Vol. 11, is. 1. – PP. 147-155.
2. Dorosh, A. S. Determination of braking optimal mode of controlled cut of design group / A.S. Dorosh // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. – 2015. – № 3(57) – С. 36-44.
3. Jing ming, YAO. Study on Neural Network Based Space-interval Speed-control Model / YAO Jing ming, LI Xue ren, LIU Hu xing // *China Railway Science*. – 2001. – № 02. – P. 127-133.
4. Wan-an, XU. Calculating Exit Speed of Rolling Cuts Based on Fuzzy Neural Networks / XU Wanan, SHI Xuan, LIN Tong-yuan // *China Railway Science*. – 2001. – №. 03 – P. 161-165.
5. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках / В. И. Бобровский, Н. В. Рогов // *Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім.акад. В. Лазаряна*. – Д. : ДНУЖТ, 2004. – Вип. 4.– С. 174-182.
6. Бобровский, В. И. Совершенствование методики оптимизации режимов расформирования составов на горках / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов // *Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім.*

акад. В. Лазаряна. – Д. :ДНУЗТ, 2011. – Вип. 1. – С. 17–21.

7. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов расчетной группы состава / В. И. Бобровский, А. С. Дорош // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – № 1(43). – С. 104–112.

8. Козаченко, Д. М. Эффективные режимы гальмування відцепів на сортувальних гірках / Д. Н. Козаченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. :ДНУЗТ, 2011. – Вип. 2. – С. 55–59.

9. Козаченко, Д. М. Моделирование работы сортувальної гірки в умовах невизначеності параметрів відцепів та характеристик навколишнього середовища / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, О. І. Таранець // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2007. – Вип. 16. – С. 73–76.

10. Козаченко, Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках / Д. Н. Козаченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. :ДНУЗТ, 2010. – Вип. 34. – С. 46–50.

11. Козаченко, Д. Н. Критерий оптимизации режимов торможения отцепов расчетной группы в условиях действия случайных факторов / Д. Н. Козаченко // Зб. наук. праць Донецького ін-ту залізн. трансп. укр. державної акад. залізн. трансп. – Дн. : Вид-во ДонІЗТ, 2010. – Вип. 23. – С. 14–21.

12. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках: монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. П. Божко, Н. В. Рогов, Н. И. Березовый, А. В. Кудряшов. – Д. : Изд-во Маковецкий, 2010. – 260 с.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Огарем О. М. (Україна)

Надійшла в редколегію 15.11.2021

Прийнята до друку 20.11.2021

А. С. ДОРОШ

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ТОРМОЖЕНИЯ ОТЦЕПОВ НА СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКЕ

Цель. На этапе разработки современных информационных систем управления процессом расформирования составов на сортировочных горках главной задачей остается выбор таких условий скатывания каждого отцепов состава, при которых выполняются установленные требования безопасности роспуска, а также требования сохранности вагонов и грузов в них. Обеспечение таких режимов скатывания, безусловно, является достаточно сложной оптимизационной задачей, решением которой занимается большое количество ученых. В этой связи можно утверждать, что указанная задача остается актуальной, поэтому целью данной исследовательской работы является определение таких режимов торможения отцепов состава, при которых обеспечивается их надежное разделение на всех элементах при скатывании от вершины горки на сортировочные пути. **Методика.** Для выполнения исследований процесса расформирования составов на сортировочной горке был использован метод имитационного моделирования, а для поиска режимов торможения отцепов расчетной группы использован комплексный метод Бокса. **Результаты.** Выполнены исследования условий разделения отцепов расчетной группы состава, а также разработана итерационная процедура оптимизации режимов торможения всех отцепов состава, позволяющая обеспечить максимальное значение минимального интервала в расчетной группе. Указанная процедура учитывает интервалы между отцепами, как на стрелках, так и на замедлителях тормозных позиций спускной части горки. **Научная новизна.** В работе установлено, что при определении режимов торможения отцепов состава нужно учитывать возможные разделения отцепов на всех элементах спускной части горки – стрелках и замедлителях. Формализована и решена задача поиска оптимальных режимов торможения всех отцепов состава, которые, в свою очередь, позволяют обеспечить надежные условия разделения смежных отцепов на стрелочных переводах и тормозных позициях спускной части горки. **Практическая значимость.** Разработанный метод может быть использован при исследовании сортировочного процесса, а также в системах автоматизации расформирования составов на сортировочных горках при определении режимов торможения отцепов.

Ключевые слова: отцеп, режим торможения, сортировочная горка, разделительный элемент, интервал.

OPTIMIZATION OF CUTS BRAKING MODES ON THE GRAVITY HUMPS

Purpose. At the stage of developing modern information systems for controlling of trains breaking-up process on the humps, the main task is to determine the cuts rolling conditions, under which the breaking-up safety requirements are met, as well as the requirements for the safety of wagons and cargo in them. Determination of such rolling modes, of course, is a rather complex optimization problem, the solution of which a large number of scientists are engaged in. This task is relevant, therefore, the purpose of this work is to determine the cuts' braking modes, which ensure their reliable separation on all elements when rolling from the top of the hump to sorting tracks. **Methodology.** To study the train breaking-up process on the hump, the simulation method was used, and to search the cuts braking modes of the design group, the Box complex method was used. **Findings.** The conditions for separating cuts of the design group were investigated. The iterative procedure for determining cuts' optimal braking modes was developed. This procedure maximizes the smallest controlled time interval in the group and takes into account the intervals between the cuts, on the switches and on the retarders of the brake positions. **Originality.** It has been established that when determining cuts' braking modes, it is necessary to take into account possible separation of cuts on all elements of the downhill part of the gravity hump - switches and retarders. Author formalized the task of optimizing braking modes for all cuts of train, taking into account the cuts separation of design group at all elements (switches, retarders) during cuts rolling to the classification track. **Practical value.** The developed procedure can be used in the study of the sorting process, as well for determining the cuts braking modes in the automation systems of trains breaking up on the gravity humps.

Keywords: cut, braking mode, gravity hump, separating element, interval.