

УДК 656.212.5(23.01)

А. С. ДОРОШ^{1*}, Є. Б. ДЕМЧЕНКО^{2*}, І. Я. СКОВРОН^{3*}

^{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

^{2*} Каф. «Транспортні вузли», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 799 16 75, ел. пошта: e.b.dmch@gmail.com, ORCID 0000-0003-1411-6744

^{3*} Каф. «Транспортні вузли», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (095) 230 50 34, ел. пошта: norvoks@gmail.com, ORCID 0000-0003-0697-2698

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМУ ГАЛЬМУВАННЯ КЕРОВАНОГО ВІДЧЕПА РОЗРАХУНКОВОЇ ГРУПИ

Мета. Впровадження систем автоматизації процесу розформування составів на сортувальних гірках спрямоване в основному на підвищення ефективності їх функціонування, безумовне забезпечення вимог безпеки розпуску составів, а також покращення умов праці персоналу гірки. Одна із основних задач вказаних систем – забезпечення надійного розділення відцепів состава на всіх елементах маршруту їх скочування на колії сортувального парку, яка є досить складною оптимізаційною задачею і не отримала остаточного вирішення. Тому задача визначення режимів гальмування відцепів состава достатньо актуальна. Метою даної роботи є пошук оптимального режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи. **Методика.** Для досягнення поставленої у роботі мети пропонується використовувати прямі методи пошуку, а саме – комплексний метод Бокса. Даний метод не вимагає гладкості цільової функції, враховує її обмеження, а також не потребує розрахунку похідних функції, а використовує лише її значення. **Результати.** З використанням методу Бокса було розроблено ітераційну процедуру визначення оптимального режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи, яка дозволяє максимізувати найменший із керованих інтервалів у групі. Для оцінки ефективності розробленої процедури проведено ряд імітаційних експериментів із визначення режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи. Отримані результати підтвердили ефективність розробленої процедури оптимізації. **Наукова новизна.** Авторами була формалізована задача оптимізації режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи з урахуванням розділення відцепів групи на всіх елементах (стрілках, уповільнювачах) при їх скочуванні на колії сортувального парку. Вирішено задачу пошуку оптимального режиму гальмування керованого відчепа групи, при якому забезпечується надійне розділення відцепів групи не лише на стрілочних переводах, а й на уповільнювачах гальмових позицій спускної частини гірки. **Практична значимість.** Розроблена процедура може бути успішно використана при визначенні оптимальних режимів гальмування відцепів у системах автоматизації розформування составів на сортувальних гірках.

Ключові слова: сортувальна гірка; режим гальмування; відцеп; комплексний метод Бокса

Вступ

Керування розформуванням составів на сортувальних гірках – достатньо складна як математична, так і технічна задача, якій характерні високий ступінь динамічності, недостатність або відсутність точної інформації про об'єкт керування, неможливість формалізації всіх випадкових факторів та процесів.

Основним напрямком підвищення ефективності роботи сортувальних гірок є автоматизація процесу розформування составів [19]. Однією із головних і найбільш складних задач процесу керування розформуванням составів в автоматичному режимі є визначення раціональних режимів гальмування (РГ) відцепів состава, що забезпечують найкращі умови їх роз-

ділення на розділових елементах (стрілках та уповільнювачах), а також виконання вимог прицільного регулювання швидкості [16-18]. Вирішенню цієї оптимізаційної задачі присвячено цілий ряд наукових праць; при цьому, як правило, в якості елементарної розрахункової групи розглядається група із трьох відцепів з керованим середнім відцепом. В роботі [7] цільову функцію задачі оптимізації режимів гальмування розрахункової групи відцепів формалізовано у вигляді

$$\min\{\delta t_{12}, \delta t_{23}\} \rightarrow \max, \quad (1)$$

де $\delta t_{12}, \delta t_{23}$ – інтервали на розділових стрілках, відповідно в першій та другій парах відцепів розрахункової групи.

Для вирішення задачі оптимізації за критерієм (1) в роботі [5] автором запропоновано використовувати градієнтні методи. Однак використання градієнтних методів при вирішенні задачі (1) вимагає перетворення її в негладку, що значно ускладнює процедуру оптимізації. В роботі [2] запропоновано більш універсальний метод, який дозволяє оптимізувати режими гальмування не лише розрахункової групи відчепів, а й складає в цілому. Але, по-перше, цей метод є достатньо складним і громіздким, а подруге, не завжди забезпечує необхідну точність вирішення, оскільки цільова функція в даній задачі є негладкою. Для усунення вказаних недоліків в роботі [4] вирішення задачі оптимізації РГ відчепів складає виконано з використанням ітераційного методу. Вказаний метод дозволяє визначити до розпуску складає такі РГ відчепів, при яких інтервали на стрічках у всіх парах відчепів, в тому числі і несуміжних, приймають максимальні значення [3].

Однак характерним недоліком методів [2-5, 7] є вирішення задачі оптимізації РГ відчепів в детермінованій постановці. Виконані в [11] дослідження показали, що вплив випадкових факторів, а також неточність інформації істотно ускладнює визначення раціональних РГ відчепів при розформуванні складає. У зв'язку з цим в [9, 10] оптимізацію режимів інтервального регулювання швидкості відчепів пропонується виконувати за критерієм мінімального ризику нерозділення відчепів на стрілочних переводах. Такий підхід дозволяє вирішувати задачу оптимізації РГ відчепів при стохастичних умовах скочування, що дозволяє більш повно врахувати вплив випадкових факторів в процесі розформування складає на гірці. Задача визначення РГ відчепів за запропонованим в [9, 10] критерієм вирішена в [8]; при цьому отримані режими забезпечують мінімальну величину вікон на сортувальних коліях і мінімальний ризик нерозділення відчепів на стрічках при заданому рівні безпеки сортувального процесу.

Виконаний аналіз наукових праць показав, що оптимізація РГ відчепів виконується за умови забезпечення їх надійного розділення тільки на стрілочних переводах; при цьому розділення відчепів на уповільнювачах спускної частини гірки не враховується, або розглядається як обмеження [12], що не дозволяє максимально підвищити якість інтервального регулювання на всіх розділових елементах спускної частини гірки. Крім того, наведена в [12] методика пошуку вказаних обмежень є достат-

ньо складною та вимагає для її реалізації використання імітаційного моделювання і регресійного аналізу, що, в свою чергу, ускладнює реалізацію даної методики в системах автоматизації розформування складає на гірках.

Авторами в роботі [6] відмічено, що при оптимізації режимів гальмування відчепів розрахункової групи необхідно враховувати інтервали не лише на розділових стрілочних переводах, 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 складає.

Мета

Метою даної роботи є вирішення задачі оптимізації режимів гальмування розрахункової групи відчепів з урахуванням інтервалів між ними на розділових стрічках та уповільнювачах гальмових позицій.

Методика

Режим гальмування $U(U', U'')$ керованого відчепа розрахункової групи характеризується заданою швидкістю його виходу з ВГП та СГП, відповідно U' та U'' .

Задача оптимізації режиму гальмування U керованого відчепа 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 U , при якому найменший з інтервалів в групі досягає максимуму:

$$f = \min\{\delta t_{12}(U), \delta t_{23}(U), \delta t_{12}^{ВГП}(U), \delta t_{12}^{СГП}(U), \delta t_{23}^{ВГП}(U), \delta t_{23}^{СГП}(U)\} \rightarrow \max, \quad (2)$$

при $U \in \Omega$

де $\delta t^{ВГП}, \delta t^{СГП}$ – інтервали між суміжними відчепами групи на перших уповільнювачах ВГП та СГП відповідно;

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

Слід відмітити, що кількість змінних в (2) залежить не лише від маршрутів руху відчепів групи, а і від схеми взаємного розташування стрілочних переводів та гальмових позицій на сортувальній гірці.

В роботі [6] встановлено, що для гіркових горловин з 4-х пучків сортувальних колій існує 9 характерних комбінацій колій призначення та, відповідно, розділових стрілок для групи з 3-х відчепів, які відрізняються кількістю та розміщенням розділових елементів на ВГП та СГП і, відповідно, кількістю інтервалів цільової функції (2). Так, згідно з [6], кількість інтервалів в групі може змінюватись від 2 до 6, що пояснюється відсутністю розділення відчепів на ВГП і(або) на СГП при певних комбінаціях маршрутів їх руху. До того ж, одночасно з цим, можуть відрізнятися і умови регулювання інтервалів між відчепами - інтервал може бути нерегульованим, може залежати лише від гальмування на ВГП або від гальмування на обох позиціях - ВГП та СГП. Вказані особливості суттєво ускладнюють вирішення задачі оптимізації режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи.

Цільова функція (2) являє собою недиференційовану, негладку та нелінійну функцію, при цьому її похідні мають розриви в точках, в яких $\delta t_i = \delta t_j, i \neq j$. Враховуючи вказані особливос-

ті, для вирішення задачі оптимізації (2) доцільно використовувати методи прямого пошуку (нульового порядку), оскільки вони не вимагають гладкості і розрахунку похідних цільової функції, а використовують лише її значення. В даній роботі для вирішення задачі (2) було використано комплексний метод Бокса [15]. Пошук мінімуму функції виконується переміщенням точок комплексу в напрямку її мінімізації всередині області обмежень. Оскільки вказаний метод мінімізує цільову функцію, тому знак цільової функції f було змінено на $-f$.

Комплексний метод Бокса передбачає послідовний вибір k випадкових точок, які утворюють комплекс. Кількість таких точок становить $k = 2n$, де n – розмірність задачі. Оскільки режим гальмування відчепа представлений швидкостями U' і U'' , то розмірність задачі становить $n = 2$. В загальному вигляді процедуру оптимізації РГ окремого відчепа з використанням комплексного методу Бокса можна представити у вигляді ітеративної схеми, яка наведена на рис. 1.

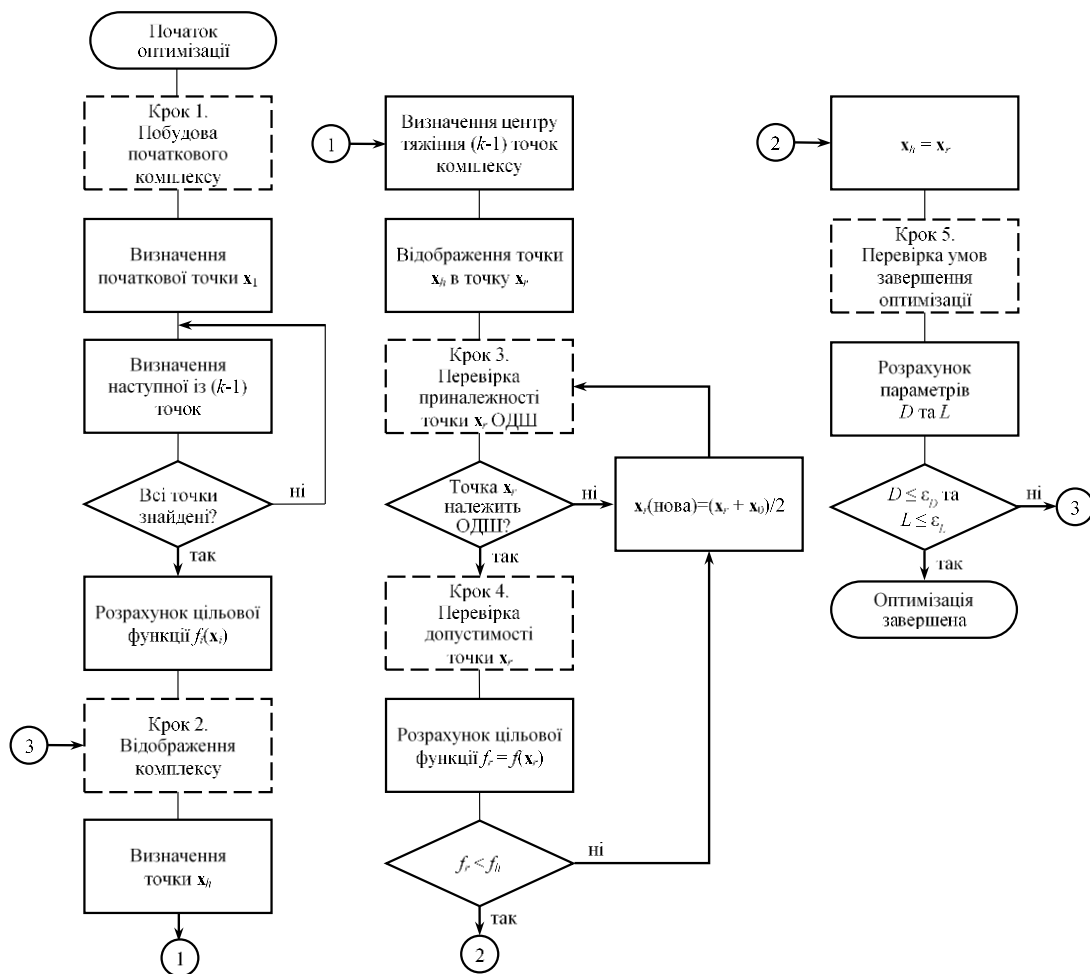


Рис. 1. Процедура оптимізації РГ керованого відчепа з використанням комплексного методу Бокса

Крок 1. На першому кроці процесу оптимізації необхідно отримати комплекс із k точок. В свою чергу кожна точка комплексу \mathbf{x}_i характеризується параметрами U_i', U_i'' , значення кожного з яких визначаються за формулами

$$U_i' = U_{i,\min}' + r_i(U_{i,\max}' - U_{i,\min}')$$

$$U_i'' = f(U_i') = U_{i,\min}'' + r_i(U_{i,\max}'' - U_{i,\min}''),$$

де i – номер точки комплексу, $i=1,2,\dots, k$;

r_i – випадкові числа, рівномірно розподілені в інтервалі $[0;1]$;

$U_{i,\min}^{(c)}, U_{i,\max}^{(c)}$ – відповідно мінімальна та максимальна швидкості виходу відчепа з ВГП (СГП), яка визначається за його ОДШ (див. рис. 2).

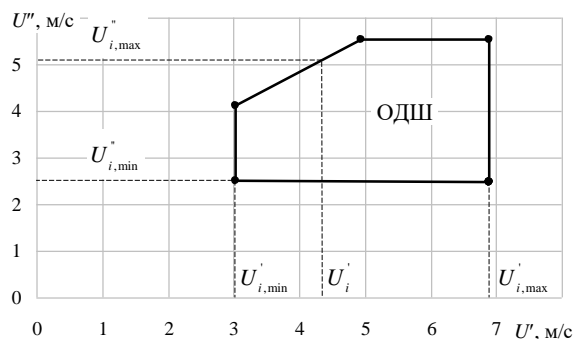


Рис. 2. Визначення U_i', U_i'' в ОДШ керованого відчепа

Слід відмітити, що всі точки \mathbf{x}_i початкового комплексу є допустимими, оскільки визначаються в межах ОДШ. В кожній із k точок комплексу визначається значення цільової функції $f_i(\mathbf{x}_i)$

Крок 2. Обирається точка \mathbf{x}_h з найбільшим значенням функції $f(\mathbf{x})$, тобто $f_h = f(\mathbf{x}_h) = \max\{f_1, f_2, \dots, f_k\}$, і вона відкидається.

Нова точка комплексу \mathbf{x}_r визначається шляхом відображення точки \mathbf{x}_h через центр тяжіння \mathbf{x}_0 інших $k-1$ точок

$$\mathbf{x}_r = (1 + \alpha)\mathbf{x}_0 - \alpha\mathbf{x}_h,$$

де α – емпіричний коефіцієнт відображення (згідно з [14] прийнято $\alpha = 1,3$).

В свою чергу центр тяжіння $k-1$ точок комплексу визначається за формулою

$$\mathbf{x}_0 = \frac{1}{k-1} \left(\sum_{i=1}^k \mathbf{x}_i - \mathbf{x}_h \right).$$

Крок 3. На даному кроці виконується перевірка отриманої точки \mathbf{x}_r на приналежність її області допустимих швидкостей виходу відчепа з ВГП та СГП. Для виконання даної перевірки використовується метод обчислювальної геометрії [13], заснований на перевірці положення точки \mathbf{x}_r відносно кожної із сторін ОДШ.

Якщо точка \mathbf{x}_r не належить ОДШ, то її переміщують на половину відстані між \mathbf{x}_r та \mathbf{x}_0 , тобто

$$\mathbf{x}_r(\text{нова}) = \frac{(\mathbf{x}_r + \mathbf{x}_0)}{2} \quad (3)$$

Після цього виконується повторна перевірка на приналежність \mathbf{x}_r ОДШ; даний крок виконується до тих пір, доки не буде отримана допустима точка \mathbf{x}_r .

Крок 4. На цьому кроці виконується перевірка на допустимість точки \mathbf{x}_r . Розраховується значення функції $f_r = f(\mathbf{x}_r)$ і порівнюється з f_h . Якщо $f_r < f_h$ (покращення цільової функції), то точка \mathbf{x}_r замінює точку \mathbf{x}_h і переходимо на крок 5.

У випадку якщо $f_r > f_h$, тобто «гірше», ніж найбільше значення, отримане раніше, то точка \mathbf{x}_r зміщується до центру \mathbf{x}_0 на половину відстані між ними за формулою (3), і процес розрахунку повертається до кроку 3. Вказана процедура виконується до тих пір, доки не буде виконана умова $f_r < f_h$.

Крок 5. Даний крок передбачає перевірку умов завершення оптимізації. З цією метою виконується розрахунок дисперсії D для k значень цільової функції і відстані L між точками комплексу \mathbf{x}_i , і їх центром тяжіння \mathbf{x}_0 :

$$D = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (f(\mathbf{x}_i) - \bar{f})^2,$$

$$L = \sum_{i=1}^k (\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_0)^2.$$

Процес оптимізації завершується якщо $D \leq \varepsilon_D$ і $L \leq \varepsilon_L$ ($\varepsilon_D, \varepsilon_L$ – допустима похибка рішення), інакше необхідно перейти до кроку 2 і повторити процес оптимізації.

Результати

Для перевірки ефективності розробленої процедури оптимізації режиму гальмування керованого відчепа групи виконано серію екс-

периментів. Зокрема, було вирішено задачу оптимізації режиму гальмування середнього відчепа розрахункової групи ДП-ДХ-ДП при різних комбінаціях їх маршрутів скочування; при цьому, для порівняння, оптимізація виконувалась двома методами.

В першому методі, розробленому в даній

роботі, пошук оптимального режиму гальмування виконувався за критерієм (2), а другий метод, запропонований в [12], передбачає максимізацію інтервалів між відчепами лише на стрілках. Результати оптимізації з використанням двох вказаних методів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати оптимізації режиму гальмування середнього відчепа групи ДП1-ДХ2-ДП3

Комб.	σ_1	σ_2	Метод	U' , м/с	U'' , м/с	δt_{12} , с	$\delta t_{12}^{ВГП}$, с	$\delta t_{12}^{СГП}$, с	δt_{23} , с	$\delta t_{23}^{ВГП}$, с	$\delta t_{23}^{СГП}$, с
1	1	1	1	~	~	2,27	–	–	4,23	–	–
			2	~	~	2,27	–	–	4,23	–	–
2	1	2	1	6,90	3,15	2,27	–	–	8,10	6,37	–
			2	3,43	4,40	2,27	–	–	2,28	5,91	–
3	1	5	1	6,90	5,19	2,27	–	–	9,35	6,37	8,68
			2	4,21	4,99	2,27	–	–	2,27	5,91	2,45
4	2	1	1	3,03	3,79	5,60	2,45	–	4,23	–	–
			2	4,60	2,50	4,23	2,45	–	4,23	–	–
5	2	2	1	4,43	2,86	4,39	2,45	–	4,39	5,91	–
			2	4,44	5,16	4,38	2,45	–	4,39	5,91	–
6	2	5	1	4,72	5,36	4,12	2,45	–	5,38	5,91	4,12
			2	4,53	5,23	4,29	2,45	–	4,30	5,91	3,55
7	5	1	1	3,03	3,79	17,67	2,45	9,77	4,23	–	–
			2	6,90	4,27	4,23	2,45	1,23	4,23	–	–
8	5	2	1	4,79	3,39	14,62	2,45	5,02	5,02	5,91	–
			2	6,90	3,46	8,08	2,45	1,23	8,10	6,37	–
9	5	5	1	4,96	5,36	4,65	2,45	4,65	5,91	5,91	4,65
			2	4,70	5,36	5,27	2,45	5,20	5,28	5,91	4,06

Примітка: «~» – режим гальмування довільний

Як видно з таблиці, при використанні другого методу встановлений режим гальмування забезпечує максимальні і рівні інтервали на стрілках, але це призводить до значного зменшення деяких із них (комб. 7). В той же час, перший метод дозволяє збільшити величину інтервалів не лише на розділових стрілках, а і на уповільнювачах ВГП та СГП (комб. 2-4, 7), що, в свою чергу, зменшує ризик нерозділення відчепів в умовах похибки реалізації встановлених режимів їх гальмування [1].

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна роботи полягає в розробці процедури оптимізації режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи, яка дозволяє забезпечити найкращі умови розділення відчепів як на стрілочних переводах, так і уповільнювачах гальмових позицій спускної частини гірки. Розроблена процедура може бути використана при вирішенні задачі керування процесом скочування відчепів на автоматизо-

ваних сортувальних гірках.

Висновки

1. Формалізована задача оптимізації режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи з урахуванням розділення відчепів групи на стрілочних переводах і уповільнювачах гальмових позицій спускної частини гірки. Такий підхід дозволяє забезпечити надійне розділення відчепів групи на всіх елементах (стрілках, уповільнювачах) при їх скочуванні на колії сортувального парку.

2. Розроблено ітераційну процедуру оптимізації режиму гальмування керованого відчепа групи з використанням комплексного методу Бокса. Аналіз результатів виконаних експериментів показав, що вказаний метод є достатньо ефективним і може бути успішно використаний при вирішенні багатокритеріальної задачі оптимізації режимів гальмування відчепів состава, що розформовується на сортувальній гірці.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бобровський, В. І. Дослідження впливу параметрів керування уповільнювачами на точність гальмування відцепів / В. І. Бобровський, А. С. Дорош // Транспортні системи та технології перевезень. – 2013. – Вип. 6. – С. 10-14. – DOI : 10.15802/tstt2013/24443
2. Бобровский, В. И. Многошаговый двухэтапный метод оптимизации режимов роспуска составов на горках / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2004. – № 2. – С. 8-14.
3. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов расформирования составов на сортировочных горках / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 32. – С. 224-229.
4. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках / В. И. Бобровский, Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2004. – Вип. 4. – С. 174-182.
5. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках / В. И. Бобровский // Транспорт : зб. наук. пр. / Дніпропетр. держ. техн. ун-т залізн. трансп. – Дніпропетровськ, 2000. – С. 43-47.
6. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов расчетной группы состава / В. И. Бобровский, А. С. Дорош // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 1 (43). – С. 103-112. – DOI : 10.15802/stp2013/9582.
7. Бобровский, В. И. Поиск оптимальных режимов торможения на проектируемых сортировочных горках / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1999. – № 5. – С. 50-54.
8. Козаченко, Д. М. Ефективні режими гальмування відцепів на сортувальних гірках / Д. М. Козаченко // Транспортні системи та технології перевезень. – 2011. – Вип. 2. – С. 55-59.
9. Козаченко, Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках / Д. Н. Козаченко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені акаде-

міка В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 34. – С. 46-50.

10. Козаченко, Д. Н. Критерий оптимизации режимов торможения отцепов расчетной группы в условиях действия случайных факторов / Д. Н. Козаченко // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – 2010. – Вип. 23. – С. 14-21.

11. 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 Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – С. 73-76.

12. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. П. Божко [и др.]. – Днепропетровск : Изд-во Маковецкий, 2010. – 260 с.

13. Препарата, Ф. Вычислительная геометрия: Введение : монография / Ф. Препарата, М. Шеймос. – Москва : Мир, 1989. – 478 с.

14. Реклейтис, Г. Оптимизация в технике : В двух кн. Кн. 1. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсел. – Москва : Мир, 1986. – 349 с.

15. Box, M. J. A new method of constrained optimization and a comparison with other methods / M. J. Box // The Computer J. – 1965. – Vol. 8. – Iss. 1. – P. 42-52. – DOI : 10.1093/comjnl/8.1.42.

16. Ning, H. Discussion on Hump Rolling Vehicle Speed Control Problem / H. Ning, L. Xinghan // Retarders & Speed Control Technology. – 2011. – Iss. 3. – P. 9-16.

17. Shengjun, F. Research on Application of Braking Retarder Speed Control System / F. Shengjun // Retarders & Speed Control Technology. – 2012. – Iss. 4. – P. 11-16.

18. Tian-ming, M. The Research of Hump Retarder Assistant Speed Control System / M. Tian-ming, Z. Lian-xiang // Retarders & Speed Control Technology. – 2011. – Iss. 1. – P. 1-7.

19. Zářecký, S. The newest trends in marshalling yards automation / S. Zářecký, J. Grůň, J. Žilka // Transport problems. – 2008. – T. 3. – Vol. 4. – Part 1. – P. 87-95.

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

Надійшла в редколегію 18.11.2018.

Прийнята до друку 20.11.2018.

А. С. ДОРОШ, Е. Б. ДЕМЧЕНКО, И. Я. СКОВРОН

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМА ТОРМОЖЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО ОТЦЕПА РАСЧЕТНОЙ ГРУППЫ

Цель. Внедрение систем автоматизации процесса расформирования составов на сортировочных горках направлено в основном на повышение эффективности их функционирования, безусловное обеспечение требований безопасности роспуска составов, а также улучшение условий труда персонала горки. Одна из основных задач указанных систем – обеспечение надежного разделения отцепов состава на всех элементах по маршруту их скатывания на пути сортировочного парка, которая является достаточно сложной оптимиза-

ционной задачей и не получила окончательного решения. Поэтому, задача определения режимов торможения отцепов состава является достаточно актуальной. Целью данной работы является поиск оптимального режима торможения управляемого отцепа расчетной группы. **Методика.** Для достижения поставленной в работе цели предлагается использовать прямые методы поиска, а именно комплексный метод Бокса. Данный метод не требует гладкости целевой функции, учитывает ее ограничения, а также не требует расчета производных функции, а использует только ее значение. **Результаты.** С использованием метода Бокса была разработана итерационная процедура определения оптимального режима торможения управляемого отцепа расчетной группы, которая позволяет максимизировать наименьший из управляемых интервалов в группе. Для оценки эффективности разработанной процедуры проведен ряд имитационных экспериментов по определению режима торможения управляемого отцепа расчетной группы. Полученные результаты подтвердили эффективность разработанной процедуры оптимизации. **Научная новизна.** Авторами была формализована задача оптимизации режима торможения управляемого отцепа расчетной группы с учетом разделения отцепов группы на всех элементах (стрелках, замедлителях) при их скатывании на сортировочные пути. Решена задача поиска оптимального режима торможения управляемого отцепа группы, при котором обеспечивается надежное разделение отцепов группы не только на стрелочных переводах, а и на замедлителях тормозных позиций спускной части горки. **Практическая значимость.** Разработанная процедура может быть успешно использована при поиске оптимальных режимов торможения отцепов в системах автоматизации расформирования составов на сортировочных горках.

Ключевые слова: сортировочная горка; режим торможения; отцеп; комплексный метод Бокса

A. DOROSH, Ye. DEMCHENKO, I. SKOVRON

IMPROVEMENT THE DETERMINING METHOD OF BRAKING MODE OF CONTROLLED CUT OF DESIGN GROUP

Purpose. The application of automation systems of breaking up process on the gravity hump is the efficiency improvement of their operation, absolute provision of trains breaking up safety demands, as well as improvement of hump staff working conditions. One of the main tasks of the indicated systems is the assurance of cuts reliable separation at all elements of their rolling route to the classification track. This task is a sophisticated optimization problem and has not received a final decision. Therefore, the task of determining the cuts braking mode is quite relevant. The purpose of this research is to find the optimal braking mode of control cut of design group. **Methodology.** In order to achieve the purpose is offered to use the direct search methods in the work, namely the Box complex method. This method does not require smoothness of the objective function, takes into account its limitations and does not require calculation of the function derivatives, and uses only its value. **Findings.** Using the Box method was developed iterative procedure for determining the control cut optimal braking mode of design group. The procedure maximizes the smallest controlled time interval in the group. To evaluate the effectiveness of designed procedure the series of simulation experiments of determining the control cut braking mode of design group was performed. The results confirmed the efficiency of the developed optimization procedure. **Originality.** Authors formalized the task of optimizing control cut braking mode of design group, taking into account the cuts separation of design group at all elements (switches, retarders) during cuts rolling to the classification track. The problem of determining the optimal control cut braking mode of design group was solved. The developed braking mode ensures cuts reliable separation of the group not only at the switches but at the retarders of brake position. **Practical value.** The developed procedure can be successfully used to determine the optimal braking modes of cuts in automation systems of trains breaking up on the gravity humps.

Keywords: marshalling yard; gravity hump; braking mode; cut; Box method.