

Д. М. КОЗАЧЕНКО, Т. В. БОЛВАНОВСЬКА, П. О. ЯНОВСЬКИЙ

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ У СТОХАСТИЧНИХ УМОВАХ

Сортувальні гірки є основним технічним засобом, що забезпечують розформування та формування составів на залізницях. Управління вказаним процесом є досить складним через невизначеність ходових характеристик відцепів та неточності при реалізації режимів гальмування. Стаття направлена на розробку метода пошуку оптимальних режимів гальмування відцепів состава в стохастичних умовах з урахуванням вимог інтервального та прицільного регулювання їх швидкості. Наведено порівняння результатів вирішення задачі за допомогою розробленого методу в стохастичній та при вирішенні традиційними методами у детермінованій постановці.

Ключові слова: залізничний транспорт, сортувальна гірка, розформування поїзда, режим гальмування, оптимізація.

Сортировочные горки – основное техническое средство, обеспечивающее расформирование и формирование составов на железных дорогах. Управление этим процессом сложное из-за неопределенности ходовых характеристик отцепов и неточности при реализации режимов торможения. Статья направлена на разработку метода поиска оптимальных режимов торможения отцепов состава в стохастических условиях с учетом требований интервального и прицельного регулирования их скорости. Приведено сравнение результатов решения задачи с помощью разработанного метода в стохастической и при решении традиционными методами в детерминированной постановке.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, сортировочная горка, расформирование поезда, режим торможения, оптимизация.

Sorting humps are the main technical means providing the breaking and making-up of freight trains. Solving the problem of safety increases the marshalling process; improving the working conditions and reducing the operating costs are mainly achieved by the automation of sorting humps. At the same time the efficiency and quality of automated control of trains breaking-up at the humps depend on the choice of rational cuts braking modes. The control of cuts rolling process is significantly complicated because of the uncertainty of railcar running characteristics and environmental parameters and the inaccuracy of implementation of predetermined braking modes of cuts. The aim of the article is to develop a method for finding optimal modes of braking the cuts of a train set in stochastic conditions, taking into account the requirements of interval and target control of their speed. The comparison of the problem solution results with the help of the developed method and result of problem solution which was obtained by the traditional methods in the deterministic setting is given.

Keywords: railway transport, sorting hump, breaking-up of train, braking mode, optimization.

Вступ. Сортувальні гірки є основним технічним засобом, що забезпечує розформування-формування составів вантажних поїздів. Вирішення задач підвищення безпеки сортувального процесу, поліпшення умов праці і зменшення експлуатаційних витрат на переробку вагонопотоків в основному досягається за рахунок автоматизації сортувальних гірок. Сучасні системи автоматизації гіркових процесів [1–3] є дорогими комплексами, які обладнані значною кількістю різноманітних датчиків і складними системами управління гальмовими уповільнювачами. Не зменшуючи важливість задачі вдосконалення технічних засобів управління розпуском, необхідно відзначити і альтернативний підхід, заснований на підвищенні ефективності алгоритмів керування гальмовими позиціями в умовах невизначеності інформації про умови скочування, ходові характеристики відцепів і при неточній реалізації уповільнювачами заданих режимів гальмування. Це дозволить поліпшити якість сортувального процесу за рахунок удосконалення програмного забезпечення, а не за рахунок ускладнення технічних засобів і, в результаті, забезпечить зменшення вартості систем управління розпуском.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Проблема вибору режимів гальмування відцепів розглянута в [4]. У даній роботі пропонується встановлювати режим гальмування на першій гальмовій позиції, виходячи з умов збереження початкового інтервалу між відцепами на вершині гірки і забезпечення їх розділення на другій гальмовій позиції, а режим гальмування на другій позиції – з умови розділення відцепів на стрілках. В [1] пропонується використовувати першу гальмову позицію для забезпечення вимог інтервального регулювання швидкості скочування відцепів, а другу і третю – для забезпечення вимог прицільного регулювання їх швидкості. Недо-

ліком таких підходів є те, що вони дозволяють встановити лише один з множини допустимих режимів гальмування відцепів і при цьому не обов'язково кращий.

В [5, 6] запропоновано вирішувати задачу вибору режимів гальмування на підставі навчання нейромережі. Проблемою такого підходу є те, що засновані на використанні нейромережі методи є евристичними і часто призводять до неоднозначних рішень, в результаті чого поведінка навченої нейронної мережі не завжди може бути однозначно передбачена. Ця збільшує ризик їх застосування в системах реального часу, пов'язаних з безпекою руху.

Професором Бобровським В. І. запропоновано розглядати процес розпуску состава на гірці як взаємозв'язані процеси скочування окремих відцепів. В [7] запропонована методика оптимізації режимів гальмування відцепів, де величина інтервалу між відцепами розглядається як цільова функція

$$\delta T^*(\mathbf{v}_{1,c}) = \max_{\mathbf{v}_j \in \Theta_j} \min (\delta t_1(\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2), \delta t_2(\mathbf{v}_2, \mathbf{v}_3), \dots, \delta t_{c-1}(\mathbf{v}_{c-1}, \mathbf{v}_c)), \quad (1)$$

де \mathbf{v}_j – режим гальмування j -го відцепу, що характеризується швидкостями виходу відцепів з гальмових позицій спускної частини гірки; Θ – область допустимих режимів гальмування; c – кількість відцепів у составі.

При цьому режим гальмування відцепу визначається швидкістю його виходу з гальмових позицій спускної частини гірки. Для сортувальних гірок з двома гальмовими позиціями на спускній частині режим гальмування j -го відцепу визначається як

$$\mathbf{v}_j = \{v'_j, v''_j\},$$

де v'_j, v''_j – відповідно швидкості виходу j -го відчепа з першої та другої гальмових позицій гірки.

Режими гальмування повинні обиратися таким чином, щоб швидкості входу відчепів на другу гальмівну позицію $v_{\text{ГП2}}(\mathbf{v}_j)$, а також їх підходу до вагонів на сортувальних коліях $v_{\text{прц}}(\mathbf{v}_j)$ не перевищували допустимих значень, при цьому на сортувальних коліях не повинні утворюватися вікна.

$$\begin{cases} v_{\text{ГП2}}(\mathbf{v}_j) \leq v_{\text{ГП2}}^{\max}; \\ 0 \leq v_{\text{прц}}(\mathbf{v}_j) \leq v_{\text{прц}}^{\max} \end{cases}$$

де $v_{\text{ГП2}}^{\max}, v_{\text{прц}}^{\max}$ – відповідно, максимально допустимі швидкості входу відчепа на другу гальмову позицію та підходу відчепа до вагонів на сортувальних коліях.

Збільшення інтервалів між відчепами забезпечує створення резервів часу на розділових елементах та дає можливість виконати умови інтервального регулювання швидкості їх скочування в умовах відхилення фактичних параметрів відчепів від розрахункових та при неточній реалізації гальмовими позиціями заданих режимів гальмування. Наведена методика дозволяє успішно вирішувати широке коло задач аналізу конструкції плану та поздовжнього профілю гірок, де порівнюються параметри розподілу випадкової величини інтервалів на розділових елементах [8]. В той же час, питання достатності інтервалів, що утворюються при застосуванні отриманих в результаті вирішення оптимізаційної задачі за критерієм (1) режимів гальмування, в умовах невизначеності ходових характеристик відчепів та умов їх скочування залишається відкритим.

Враховуючи те, що процес скочування відчепів підлягає впливу значної кількості випадкових факторів, а гальмові позиції реалізують задачі швидкості виходу відчепів з похибками, то і результати скочування також є випадковими величинами. При цьому, виконані в [9] дослідження показали, що розташування розділових елементів по маршруту скочування та режими гальмування суттєво впливають як на математичні очікування, так і на середні квадратичні відхилення швидкості та часу скочування відчепів. У зв'язку з цим методи вибору режимів гальмування відчепів вимагають удосконалення.

Ціль та задачі дослідження. Ціллю дослідження є підвищення ефективності сортувального процесу на автоматизованих гірках за рахунок удосконалення методів вибору режимів гальмування відчепів. Поставлена ціль досягається за рахунок вирішення задач встановлення областей ефективних режимів гальмування окремих відчепів та оптимізації режимів гальмування відчепів у складі в цілому.

Матеріали та методи дослідження. Існуючі методи вибору режимів гальмування окремих відчепів складає спираються на розв'язання відповідної однокритеріальної задачі оптимізації у детермінованій постановці. При цьому мають місце дві суттєві проблеми. По-перше, в процесі вибору режимів гальмування відчепів одночасно вирішуються задачі інтервального

та прицільного регулювання швидкості відчепів, які мають різні, часто суперечливі цілі забезпечення розділення відчепів по маршрутам скочування та високого рівня забезпечення заповнення сортувальних колій вагонами. По друге, аналіз критерію (1) показує, що він фактично являє собою критерій Вальда [10]. Необхідно відмітити, що областю ефективного застосування критерію Вальда є задачі, в яких міра розсіяння випадкових величин невідома. В той же час, процеси скочування відчепів на сортувальних гірках мають масовий характер і підлягають статистичній оцінці. Врахування вказаних факторів потенційно створює умови для удосконалення методів вибору режимів гальмування відчепів.

Для урахування вимог як інтервального так і прицільного регулювання швидкості скочування відчепів сформульовано двокритеріальну задачу оптимізації режимів їх гальмування у стохастичній постановці

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^c \bar{I}_b(v''_j) &\rightarrow \min; \\ \sum_{j=1}^{c-1} r_n(\mathbf{v}_j, \mathbf{v}_{j+1}) &\rightarrow \min; \\ \mathbf{v}_j &\in \psi_j, j = 1..c, \end{aligned} \quad (2)$$

де $\bar{I}_b(v''_j)$ – середня величина вікна, що припадає на один вагон, м; $r_n(\mathbf{v}_j, \mathbf{v}_{j+1})$ – ризик нерозділення відчепів у j -й парі; ψ_j – область допустимих режимів гальмування j -го відчепа.

В якості ризику нерозділення розглядається імовірна кількість вагонів, яка прослідує на колії сортувального парку з порушенням плану розпуску. Принципи оцінки величин $r_n(\mathbf{v}_j, \mathbf{v}_{j+1})$ та побудови областей ψ_j у стохастичних умовах викладені в [11, 12].

Необхідно відмітити, що при гальмуванні відчепів може бути реалізований лише один режим гальмування. У зв'язку з цим виникає задача вибору єдиного режиму з ψ_j . При цьому аналізу може підлягати не вся область допустимих режимів гальмування, а лише її частина – область ефективних режимів гальмування j -го відчепа Ψ_{ej} . Принципи виділення областей ефективних режимів гальмування відчепів у стохастичних умовах викладені в [13].

Вирішення оптимізаційних задач при наявності декількох критеріїв ґрунтується на використовуються різних методів [14]: лінійного згортання; максимінного згортання, методу головної компоненти, методу лексикографічного упорядкування критеріїв. В даному дослідженні для вибору режиму гальмування в Ψ_{ej} використано метод лексикографічного упорядкування критеріїв. В подальшому прийнято, що режим \mathbf{v}_j є переважним над режимом \mathbf{u}_j при виконанні умов

$$\begin{aligned} \mathbf{d}(\mathbf{v}_j) \succ^{lex} \mathbf{d}(\mathbf{u}_j) &\Leftrightarrow q_{vj} \succ^{lex} q_{uj} \text{ якщо } \bar{I}_b(v''_j) < \bar{I}_b(u''_j) \\ \text{або } \bar{I}_b(v''_j) &= \bar{I}_b(u''_j) \text{ та } r_n(\mathbf{v}_j, \mathbf{v}_{j+1}) < r_n(\mathbf{u}_j, \mathbf{u}_{j+1}) \end{aligned}$$

Загальна оцінка режимів гальмування групи відчепів складає $\mathbf{d}_{l,c}$ визначається за виразом

$$\mathbf{d}_{1,c}(\mathbf{v}_{1,c}) = \sum_{j=1}^c \mathbf{d}_j(\mathbf{v}_j) = \left\{ \frac{\sum_{j=1}^c \bar{l}_{nj}(\mathbf{v}_j^*) m_j}{\sum_{j=1}^c m_j}; \sum_{j=1}^c r_{nj}(\mathbf{v}_j, \mathbf{v}_{j+1}) \right\}, \mathbf{v}_j \in \Psi_{ej}$$

В результаті оптимізаційна задача (2) зводиться до задачі з однією змінною виду

$$\mathbf{d}_{1,c}(\mathbf{v}_{1,c}) = \sum_{j=1}^c \mathbf{d}_j(\mathbf{v}_j) \rightarrow \min$$

$$\mathbf{v}_j \in \Psi_{ej}, \text{ де } j = 1..c$$

Состав, який розформовується, може розглядатися як деяка фізична система S , що покроково змінює свій стан в процесі розпуску. Окремим кроком є скокування одного відчепа. Процес розпуску є керованим; управління на j -му кроці можна представляти режимом гальмування $\mathbf{v}_j \in \Psi_{ej}$ j -го відчепа на гальмових позиціях спускної частини гірки. В цілому, управління розпуском всього состава з c відцепів можна представити сукупністю покрокових управлінь:

$$\mathbf{v}_{1,c} = (\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_c).$$

Враховуючи властивості задачі, вона може бути розв'язана методами динамічного програмування.

Процедура пошуку оптимального режиму виконується в два етапи. На першому етапі (умовна оптимізація) для кожного відчепа здійснюється пошук умовно оптимальних керувань $\mathbf{v}_{1,j}^*$, що враховують

лише стан системи до його скокування. На другому етапі (безумовна оптимізація) для кожного відчепа визначається безумовно оптимальне управління.

Умовно оптимальне управління на j -му кроці являє собою залежність $\mathbf{d}_{1,j}(\mathbf{v}_j^*)$, яка характеризує стан системи перед j -м кроком. Вказана функція визначає мінімальне значення оцінки режимів гальмування при оптимальному управлінні на попередніх $1 \dots j-1$ кроках і має рекурентний вигляд

$$\mathbf{d}_{1,j}(\mathbf{v}_j^*) = \min(\mathbf{d}_{1,j}(\mathbf{v}_{j-1}^*) + \mathbf{d}_j(\mathbf{v}_j)).$$

Область ефективних режимів першого відчепа у составі складається з одного режиму $\mathbf{v}_{1,опт}$ і не залежить від режимів гальмування інших відцепів.

Результати дослідження. Методика пошуку оптимального режиму гальмування проілюстровано на прикладі вибору режиму гальмування у составі з п'яти відцепів, характеристики яких наведені в табл. 1.

Попередньо вирішено задачу оптимізації режимів гальмування відцепів розрахункового состава у детермінованій постановці. При цьому параметри відцепів прийняті рівними їх математичним сподіванням. Згідно з визначеними швидкостями виходу відцепів з гальмових позицій отримано імовірнісні оцінки режимів гальмування (табл. 2).

Таблиця 1 – Характеристики відцепів розрахункового состава

№ п/п	Вагова категорія відчепа	Відстань до точки прицілювання, м	Стрілка розділення відчепа з наступним
1	Л	450	5
2	Т	510	5
3	Л	690	4
4	Л	765	2
5	ЛС	720	-

Таблиця 2 – Результати вирішення задачі оптимізації режиму гальмування відцепів у детермінованій постановці

№ відчепа	v' , м/с	v'' , м/с	v''' , м/с	δt , с	\bar{l}_b , м	p_n	r_n
1	6,77	7,22	4,12	5,86	29,5	0,1	0
2	6,52	5,65	1,60	4,61	31,0	0,1	0,008
3	6,66	6,00	4,56	4,61	58,7	0,1	0
4	6,15	6,73	5,21	7,42	67,8	0,1	0
5	3,06	4,78	3,78	-	96,1	0,1	-
Узагальнені показники					56,6	0,1	0,002

Аналіз отриманого рішення показує, що для досягнення оптимального значення критерію (1) було застосовано режими, які забезпечують рівність розділових інтервалів у другій та третій парах, відповідно на п'ятій та четвертій розділових стрілках. Імовірність підходу відцепів до вагонів на сортувальних коліях прийняла допустиме значення 0,1. Середня величина вікна, що припадає на один вагон, при цьому складає 56,6 м.

Для порівняння здійснено пошук рішення в стохастичній постановці. При цьому для першого відчепа безумовно оптимальним режимом є швидкий режим скокування $\mathbf{v}_1 = \{6,77; 7,22\}$.

Розділовою стрілкою у першій трійці відцепів є стрілки 5-5, у зв'язку з цим ефективні режими гальму-

вання другого відчепа розташовуються на лівій або на верхній межі області його допустимих режимів ψ_2 . Дослідження величини $\mathbf{d}_{1,2}(\mathbf{v}_2)$ вздовж вказаних меж області допустимих режимів показало, що показники регулювання швидкості скокування не змінюються.

Розділовими стрілками у другій трійці відцепів є стрілки 5-4. У зв'язку з цим пошук ефективних режимів гальмування третього відчепа здійснювався на правій та на нижній межі області його допустимих режимів (ОДР) ψ_3 . Дослідження величини $\mathbf{d}_{1,3}(\mathbf{v}_3)$ вздовж вказаних меж ОДР показало, що середня величина вікна в групі не змінюється і складає 39,7 м. Ризик нерозділення відцепів у групі змінюється при зміні швидкос-

ті виходу третього відчепа з другої гальмової позиції, і ця залежність представлена на рис. 1.

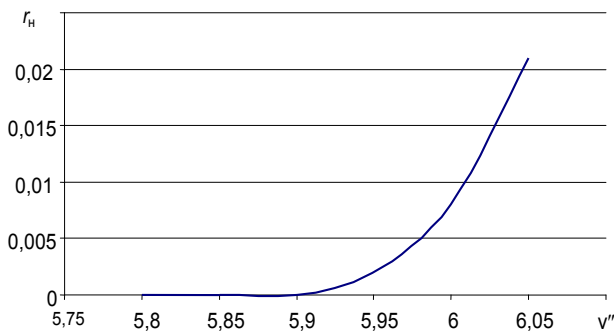


Рис. 1 – Залежність ризику нерозділення у групі з трьох перших відчепів состава від режиму гальмування третього відчепа

Аналогічним чином отримано умовно-оптимальні рішення для іншої частини состава. Рішення задачі вибору режиму гальмування відчепів состава у стохастичній постановці представлено у табл. 3.

Порівняння результатів вирішення задачі вибору режимів гальмування відчепів для розглянутого прикладу у детермінованій та стохастичній постановці показує, що у другому випадку було застосовано режими гальмування, які призвели до збільшення середньої величини розділового інтервалу між другим та третім відчепами з 4,61 с до 5,38 с. Це дозволило зменшити імовірність нерозділення відчепів у другій парі з 0,008 до 0. Зменшення середньої величини розділового інтервалу між третім та четвертим відчепами з 4,61 с до 4,16 с не призвело до погіршення статистичного показника якості інтервального регулювання швидкості скочування відчепів.

Таблиця 3 – Результати вирішення задачі оптимізації режиму гальмування відчепів у стохастичній постановці

№ відчепа	v' , м/с	v'' , м/с	v''' , м/с	δt , с	\bar{l}_b , м	p_n	r_n
1	6,77	7,22	4,12	5,86	29,5	0,1	0
2	6,52	5,65	1,60	5,38	31,0	0,1	0
3	6,66	5,90	4,56	4,16	58,7	0,1	0
4	6,15	6,73	5,21	7,42	67,8	0,1	0
5	3,06	4,78	3,78	-	96,1	0,1	-
Узагальнені показники					56,62	0,1	0

Обговорення результатів дослідження. Для перевірки ефективності розробленої методики виконано оптимізацію режимів гальмування при розпуску дослідних составів. Встановлено, що вирішення задачі у стохастичній постановці у порівнянні з рішенням задачі у детермінованій постановці дозволяє скоротити середню величину вікон на 20-27 % без погіршення показників інтервального регулювання швидкості скочування відчепів.

Висновки. В якості критеріїв оптимізації режимів гальмування відчепів у стохастичній постановці

розглядаються середня величина вікна, що припадає на один розформований вагон, та ризик нерозділення відчепів на розділових елементах. Вирішення задачі у стохастичній постановці у порівнянні з рішенням задачі у детермінованій постановці за рахунок перерозподілу інтервалів на розділових елементах дозволяє скоротити кількість недопустимих ризиків нерозділення відчепів без погіршення показників прицільного регулювання швидкості відчепів та скоротити середню величину вікон без погіршення показників інтервального регулювання швидкості скочування відчепів.

Список літератури:

1. Zarecky, S. The newest trends in marshalling yards automation [Text] / S. Zarecky, J. Grun, J. Zilka // Transport Problems. – 2008. – Issue 3 (4). – P. 87–95.
2. Judge, T. Yard Management Gets Smarter [Text] / T. Judge // Railway Age – Nov. – 2007. – P. 33–34.
3. Иванченко, В. Н. Современные информационные технологии управления сложными процессами расформирования-формирования поездов [Текст] / В. Н. Иванченко // Наука и транспорт. – 2013. – № 2 (6). – С. 64–69.
4. Бессоненко, С. А. Математическая модель расчета параметров интервального торможения отцепов и переменных скоростей роспуска составов [Текст] / С. А. Бессоненко, В. Н. Иванченко, А. М. Ляченко // Вестник РГУПС. – 2013. – № 1 (49). – С. 55–65.
5. Ming, Y. J. Study on Neural Network Based Space-interval Speed-control Model [Text] / Y. J. Ming, L. X. Ren, L. H. Xing // China Railway Science. – 2001. – Issue 02. – P. 127–133.
6. Пучков, Е. В. Применение нейроэмулятора NeuroNADS для определения ступени и времени торможения при управлении горочными замедлителями [Текст] / Е. В. Пучков // Инженерный вестник Дона. – 2010. – № 4 (14). – С. 157–162.
7. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках [Текст] / В. И. Бобровский, Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2004. – Вип. 4. – С. 174–182.
8. Бобровский, В. И. Анализ и оценка конструкции плана путевого развития горочных горловин [Текст] / В. И. Бобровский, А. С. Дорош, А. И. Колесник // Транспортні системи і технології перевезень. – 2011. – Вип. 1. – С. 22–26.
9. Козаченко, Д. М. Дослідження впливу параметрів відчепів та умов їх скочування на величину інтервалів на розділових стрічках [Текст] / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, Р. Г. Коробіюва // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 12. – С. 79–82.
10. Wald, A. Statistical Decision Functions Which Minimize the Maximum Risk [Text] / A. Wald // The Annals of Mathematics. – 1945. – Vol. 46, Issue 2. – P. 265. doi: [10.2307/1969022](https://doi.org/10.2307/1969022)
11. Козаченко, Д. М. Дослідження допустимих режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках [Текст] / Д. М. Козаченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 4, № 3 (64). – С. 25–28. – Режим доступа: <http://journals.urau.ru/eejet/article/view/16275/13794>

12. Bobrovskiy, V. Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps [Text] / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, A. Dorosh, E. Demchenko, T. Bolvanovska, A. Kolesnik // Transport Problems. – 2016. – Vol. 11, Issue 11. – P. 147–155. doi: [10.20858/tp.2016.11.1.14](https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.14)
13. Козаченко, Д. М. Ефективні режими гальмування відцепів на сортувальних гірках [Текст] / Д. М. Козаченко // Транспортні системи та технології перевезень. – 2011. – Вип. 2. – С. 55–59.
14. Подиновский, В. В. Парето оптимальные решения многокритериальных задач [Текст] / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256 с.

Bibliography (transliterated):

1. Zarecky, S., Grun, J., Zilka, J. (2008). The newest trends in marshalling yards automation. Transport Problems, 3 (4), 87–95.
2. Judge, T. (2007). Yard Management Gets Smarter. Railway Age – Nov, 33–34.
3. Ivanchenko, V. N. (2013). Sovremennye informacionnye tekhnologii upravleniya slozhnymi processami rasformirovaniya-formirovaniya poezdov [Modern information technologies for managing complex processes of disbanding and forming trains]. Nauka i transport [Science and transport], 2 (6), 64–69.
4. Bessonenko, S. A., Ivanchenko, V. N., Ljashhenko, A. M. (2013). Matematicheskaya model' rascheta parametrov interval'nogo tormozheniya otcenov i peremennykh skorostey rospuska sostavov [Mathematical model for calculating the parameters of interval braking of traps and variable rates of composition dissolution]. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta puty soobshcheniya [Bulletin of Rostov State Transport University], 1 (49), 55–65.
5. Ming, Y. J., Ren, L. X., Xing, L. H. (2001). Study on Neural Network Based Space-interval Speed-control Model. China Railway Science, 02, 127–133.
6. Puchkov, E. V. (2010). Primenenie neyroemulyatora NeuroNADS dlya opredeleniya stupeni i vremeni tormozheniya pri upravlenii gorochnymi zamedlityami [Application of neyroemulyator NeuroNADS for determination of degree and time of breaking in hump retarders controlling]. Inzhenerniy vestnik Dona [Engineering journal of Don], 4 (14), 157–162.
7. Bobrovskiy, V. I., Rogov, N. V. (2004). Optimizaciya rezhimov regulirovaniya skorosti otcenov pri rospuske sostavov na gorkah [Optimization of methods of cuts speed control in the dissolution of the rolling stocks on hump yards]. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 4, 174–182.
8. Bobrovskiy, V., Dorosh, A., Kolesnik, A. (2011). Analiz i otsenka konstruktivnykh planov putevogo razvitiya gorochnykh gorlovin [Analysis and evaluation of the design of the plan for the development of hump necks]. Transportni systemy ta tekhnolohiyi perevezen [Transport systems and transportation technologies], 1, 22–26.
9. Kozachenko, D. M., Korobiova, R. H., Berezoviy, M. I. (2006). Doslidzhennia vplyvu parametriv vidchepiv ta umov yikh skochuvannya na velychynu intervaliv na rozdielovykh strilkakh [Investigation of the influence of cuts parameters and conditions of their sliding on the value of intervals on separating arrows]. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 12, 79–82.
10. Wald, A. (1945). Statistical Decision Functions Which Minimize the Maximum Risk. The Annals of Mathematics, 46 (2), 265. doi: [10.2307/1969022](https://doi.org/10.2307/1969022)
11. Kozachenko, D. M. (2013). The study of allowed braking regimes on sorting humps. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (3 (64)), 25–28. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/16275/13794>
12. Bobrovskiy, V., Kozachenko, D., Dorosh, A., Demchenko, E., Bolvanovska, T., Kolesnik, A. (2016). Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps. Transport Problems, 11 (1), 147–155. doi: [10.20858/tp.2016.11.1.14](https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.14)
13. Kozachenko, D. M. (2011). Efektyvni rezhimy halmuvannya vidchepiv na sortuvальnykh hirkakh [Effective modes of trailer cuts on sorting]. Transportni systemy ta tekhnolohiyi perevezen [Transport systems and transportation technologies], 2, 55–59.
14. Podinovskiy, V. V., Nogin, V. D. (1982). Pareto optimalnye resheniya mnogokriterialnykh zadach [Pareto optimal solutions of multicriteria problems]. Moscow: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 256.

Надійшла (received) 07.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Оптимізація режимів гальмування відцепів на сортувальних гірках у стохастичних умовах/ Козаченко Д. М., Болвановська Т. В., Яновський П. О. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.97–102. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках в стохастических условиях/ Козаченко Д. М., Болвановская Т. В., Яновский П. А. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.97–102. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Optimization of braking regimes of cuts on sorting humps in stochastic conditions/ Kozachenko D., Bolvanovska T., Yanovsky P. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.97–102. – Bibliogr.:14. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Козаченко Дмитро Миколайович – доктор технічних наук, професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри «Управління експлуатаційною роботою»; вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010; e-mail: kozachenko@upr.dit.edu.ua

Козаченко Дмитрій Николаевич – доктор технічних наук, професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри «Управление эксплуатационной работой»; ул. Лазаряна, 2, г. Днепр, Украина, 49010; e-mail:

kozachenko@upp.diiit.edu.ua.

Kozachenko Dmytro – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Professor at the Department «Management of Operational Work»; Lazaryana str., 2, Dnipro, Ukraine; e-mail: kozachenko@upp.diiit.edu.ua.

Болвановська Тетяна Валентинівна – кандидат технічних наук, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, доцент кафедри станцій та вузлів; вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010; e-mail: valentinovna.upp@gmail.com.

Болвановская Татьяна Валентиновна – кандидат технических наук, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, доцент кафедры станций и узлов; ул. Лазаряна, 2, г. Днепр, Украина, 49010; e-mail: valentinovna.upp@gmail.com.

Bolvanovska Tetiana – PhD, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Associate Professor at the Department «Stations and Junction»; Lazaryana str., 2, Dnipro, Ukraine; e-mail: valentinovna.upp@gmail.com.

Яновський Петро Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, професор кафедри військової підготовки, пр. Космонавта Комарова, 1 м. Київ, 03058; e-mail: niklu@ukr.net.

Яновский Петр Александрович – кандидат технических наук, доцент, Национальный авиационный университет, профессор кафедры военной подготовки, пр. Космонавта Комарова, 1 г. Киев, 03058; e-mail: niklu@ukr.net.

Yanovsky Petro – PhD, Associate Professor, National Aviation University, Professor of the Military Training Department, 1 Kosmonavta Komarova Ave., Kyiv, 03058; e-mail: niklu@ukr.net.