

УДК 656.212.5

НАУКОВИЙ ПІДХІД ДО ЗМЕНШЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ПАРКОВОЇ ГАЛЬМОВОЇ ПОЗИЦІЇ СОРТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ З ГРАВІТАЦІЙНО-ПРИЦІЛЬНИМ ГАЛЬМУВАННЯМ ВІДЧЕПІВ

Д-р техн. наук О. М. Огар, аспіранти А. О. Левченко, І. В. Кондратьєв, магістранти Р. В. Кустов, М. І. Зав'ялов

SCIENTIFIC APPROACH TO REDUCING THE ENERGY OF THE PARKING RETARDER POSITION OF A SORTING DEVICE WITH TARGET GRAVITY BRAKING OF CUTS

Dr. Sc. (Tech.) O. Ohar, Ph.D. Student A. Levchenko, Ph.D. Student I. Kondratiev, master R. Kustov, master M. Zavialov

Анотація. Для зменшення потужності паркової гальмової позиції сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відчепів запропоновано встановлення на його спускній частині допоміжної гальмової позиції з перенесенням на неї частини роботи з регулювання швидкості скочування вагонів певної маси. Визначено для заданих умов експлуатації потрібну потужність цих позицій, оптимальні конструкційні параметри сортувального пристрою і розроблено рекомендації щодо гальмування відчепів на допоміжній гальмовій позиції на основі результатів імітаційного моделювання скочування розрахункових бігунів.

Ключові слова: сортувальний пристрій, поздовжній профіль, гальмування відчепів, гальмова позиція, вагонний уповільнювач.

Abstract. The main disadvantage of a sorting device with target gravity braking of cuts is the necessity to use a powerful parking retarder position. In order to reduce the energy of this position, it is proposed to install an auxiliary brake position on the descending part of the device to transfer there part of the work on regulating the rolling speed of cuts of a certain mass. For the given

operating conditions, the required energy of these positions and the optimal design parameters of the sorting device were determined, and recommendations were developed for braking the cuts at the auxiliary brake position based on the results of simulation modeling of the rolling of the design runners. The structural parameters were optimized using the developed mathematical model, where the height of the sorting device is the optimization criterion. The optimization calculations were performed both for favorable and unfavorable conditions of the runners rolling. The results of the simulation modeling of the rolling of the design runners proved that the maximum braking value at the auxiliary brake position (0.74 m e. h.) for the specified operating conditions is provided when braking the cuts weighing more than 34.8 tons. To simplify the process of braking such cuts at the auxiliary braking position, it is proposed to use low-energy retarders whose rated energy is less than the maximum possible braking value at this position. The reason of it is that when more powerful retarders are used at the auxiliary braking position, not only the degree of braking of each cut should be determined, but also the duration of their braking, which to some extent complicates the process of speed control and may require automation of operation of this position. If low-energy retarders UVSK-11 with the rated energy of 0.6 m e. h. are used at the auxiliary brake position, the required energy of the park brake position is reduced by 0.57 m e. h. At the same time, all cuts weighing more than 30.8 tons should be braked at the auxiliary brake position. Based on the studies, it was concluded that the installation of an auxiliary brake position on the descending part of the sorting device with target gravity braking of cuts would reduce capital investments in construction and mechanization, as well as the costs associated with the operation of this device.

Keywords: *sorting device, longitudinal profile, braking of cuts, braking position, car retarder.*

Вступ. Зменшення витрат сортувальних пристроїв протягом розрахункового періоду є одним із актуальних завдань залізничної галузі. На сьогодні в багатьох країнах світу велику увагу приділяють модернізації конструкції і технічному оснащенню сортувальних пристроїв. Найбільш популярними заходами є впровадження нових та удосконалення наявних гіркових автоматизованих комплексів, систем інтелектуальної підтримки прийняття рішень, засобів і режимів гальмування відчепів, алгоритмів керування вагонними уповільнювачами. Отже, за рахунок додаткових капіталовкладень можна досягти підвищення ефективності функціонування цих пристроїв.

До непопулярних заходів підвищення ефективності роботи сортувальних пристроїв належить застосування раціональних конструкцій плану і поздовжнього профілю таких пристроїв. Це пов'язано з тим, що згадані заходи передбачають реконструкцію наявних пристроїв з дуже великими

капіталовкладеннями. Замовники, можливо, недооцінюють економічний ефект, який можна отримати від впровадження таких заходів. А цей ефект дійсно може бути вагомим, оскільки зміна конструкційних параметрів в окремих випадках дає змогу застосовувати, наприклад, нові технології гальмування відчепів, які менш чутливі до впливу різних випадкових факторів (гальмових характеристик засобів регулювання швидкості скочування відчепів, їхніх ходових властивостей, метеорологічних умов, стану колісних пар вагонів, темпу роботи операторів гірки тощо) і дають можливість зменшити потужність паркової гальмової позиції.

Отже, формування нових науково-обґрунтованих конструкційних і технологічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності функціонування сортувальних пристроїв, є одним із важливих завдань залізничного транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням підвищення ефективності функціонування сортувальних пристроїв присвячено велику кількість

праць в Україні і за її межами. Загальною особливістю є удосконалення сучасних конструкційних, технічних і технологічних параметрів сортувальних пристроїв. При цьому принципово нових конструкцій таких пристроїв на сьогодні не розроблено.

Так, достатньо уваги приділено автоматизації керування вагонними уповільнювачами, розробленню нових конструкцій засобів регулювання швидкості скочування відчепів і удосконаленню технічних параметрів наявних уповільнювачів, оптимізації режимів розформування составів на гірках, удосконаленню конструкцій плану і профілю сортувальних пристроїв. У роботі [1] запропоновано процедури керування процесами сортування вагонів на основі використання експертної інформації та ітеративного навчання машини прийняття рішень. У роботі [2] розроблено методику дослідження і алгоритмічні основи побудови цифрових систем керування уповільнювачами гальмових позицій, принципи ідентифікації параметрів об'єктів і регулятора, метод розрахунку впливів, що задають, у системах автоматизованого регулювання швидкості на сортувальній гірці та запропоновано технічну реалізацію цих систем. У статті [3] визначено техніко-експлуатаційні характеристики нового вагонного уповільнювача вітчизняного виробництва УВСК. У роботах [4-9] обґрунтовано раціональні режими гальмування відчепів на основі оптимізації інтервалів між відчепами, що скочуються з гірки, і з урахуванням нечіткості інформації про їхні ходові властивості. У статтях [10, 11] запропоновано метод розрахунку кінцевої швидкості відчепів і досліджено моделі просторово-інтервального контролю швидкості їх скочування на основі нейронної мережі. У роботах [12-15] визначено раціональні конструкційні параметри поздовжнього профілю сортувальних гірок і плану колійного розвитку гіркових горловин.

Запропоновані наукові підходи, безумовно, підвищують ефективність

сортувального процесу, але не дають змогу вирішити проблеми, пов'язані з точністю реалізації розрахункових швидкостей виходу відчепів із гальмових позицій унаслідок наявності множини стохастичних параметрів. І навіть використання елементів штучного інтелекту для визначення параметрів гальмування відчепів не виключає помилки в роботі систем комплексної автоматизації сортувального процесу.

Також при визначенні раціональних режимів гальмування відчепів доцільно було б вибирати значущі критерії оптимізації, оскільки енерговитрати на регулювання швидкості їх скочування складають невелику частку витрат сортувальних гірок.

Крім того, бажано було б оцінювати загальносистемний ефект за впровадження конструкційних параметрів сортувальних пристроїв, що отримані шляхом оптимізаційних розрахунків і впливають на потужність гальмових засобів.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою цього дослідження є зменшення потужності паркової гальмової позиції сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відчепів шляхом перенесення частини роботи з регулювання їхньої швидкості на спускну частину зазначеного пристрою.

Основними завданнями дослідження є визначення для заданих умов експлуатації потрібної потужності гальмових позицій сортувального пристрою, його оптимальних конструкційних параметрів і розроблення рекомендацій щодо гальмування відчепів на гальмовій позиції, що розміщується на спускній частині пристрою.

Основна частина дослідження. Основним недоліком сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відчепів (рис. 1) є необхідність застосування потужної паркової гальмової позиції (ПП) [16]. Наявна потужність такої позиції може бути у два-три рази більшою, ніж потужність ПП сортувальної гірки з традиційною конструкцією.

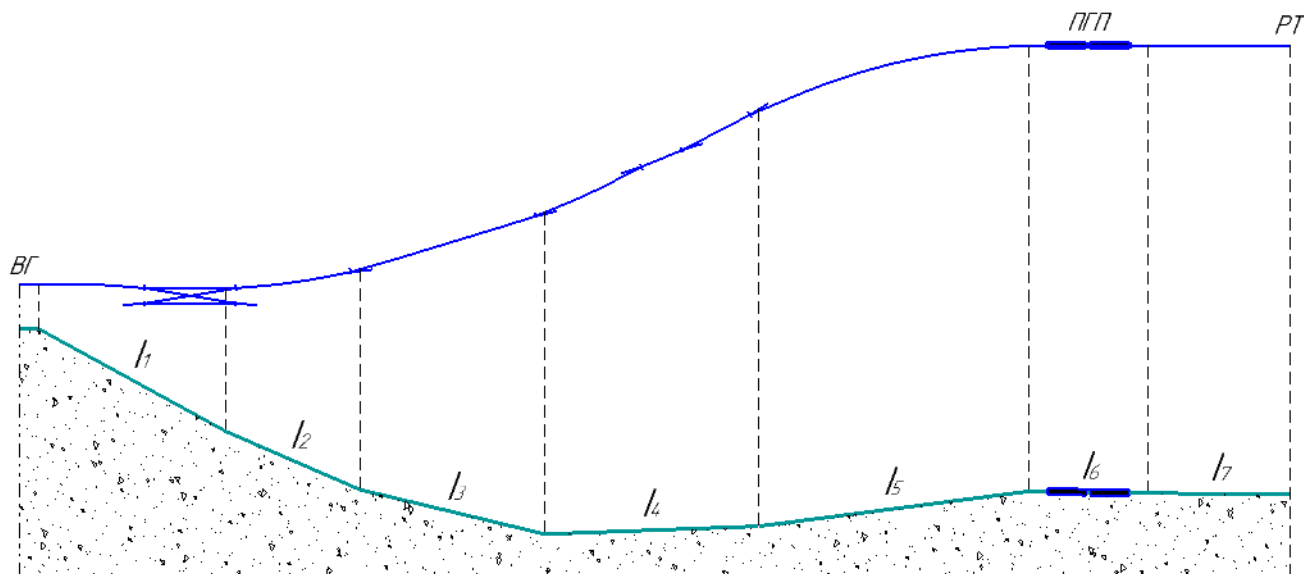


Рис. 1. Конструкція сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відчепів

Одним із можливих рішень цієї проблеми є застосування на спускній частині сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відчепів допоміжної гальмової позиції (ДГП), технологічним призначенням якого є гальмування за будь-яких метеорологічних умов відчепів тільки певної маси.

Отже, для заданих умов експлуатації необхідно встановити такі параметри:

1) граничну масу відчепа ($Q_{гр.}$) – масу, за якої забезпечені такі умови:

– якщо $22 \leq Q_{відч.} < Q_{гр.}$, відцеп на ДГП не гальмується;

– якщо $Q_{відч.} \geq Q_{гр.}$, відцеп на ДГП гальмується.

У наведених умовах $Q_{відч.}$ – маса відчепа, що скочується з сортувального пристрою;

2) максимально можливу величину гальмування відчепів на ДГП ($H_z^{ДГП}$), за якої будуть забезпечені достатні інтервали на розділових стрілочних переводах, що розміщені після вказаної позиції (для такого сортувального пристрою лімітуючим є

останній стрілочний перевід на маршруті скочування відчепів).

Визначення $Q_{гр.}$ і $H_z^{ДГП}$ має базуватися на результатах імітаційного моделювання скочування бігунів у найбільш складних розрахункових сполученнях ПЛ-Ш і П-ШВ, де ПЛ – повільний легкий бігун, маса якого складає 22 т, основний питомий опір – 4,5 Н/кН, Ш – швидкий бігун, основний питомий опір якого складає 0,5 Н/кН, а маса не перевищує $Q_{гр.}$, П – повільний бігун, маса якого дорівнює або перевищує $Q_{гр.}$, а основний питомий опір має найбільше значення залежно від маси бігуна, ШВ – швидкий важкий бігун, маса якого складає 100 т, основний питомий опір – 0,5 Н/кН.

Виходячи з викладеного вище, технологічні розрахунки слід здійснювати без гальмування ПЛ і Ш і з гальмуванням П і ШВ.

Оптимальні конструкційні параметри сортувального пристрою (висоту і крутизну елементів профілю) можна визначити з використанням такої моделі з урахуванням припущення, що ухил першого елемента

профілю (I_1) – 50 ‰, ухил елемента профілю, на якому розміщено ПГП, (I_6) – 1,5 ‰, ухил сортувальних колій від кінця ПГП до розрахункової точки (РТ) (I_7) – 0,6 ‰,

різниця ухилів другого (I_2) і третього (I_3), третього і четвертого (I_4) елементів профілю максимальна (25 ‰):

$$H = \left(\begin{array}{l} 50 \cdot l_1 + I_2 \cdot l_2 + (I_2 - 25) \cdot l_3 + (I_2 - 50) \cdot l_4 + \\ + I_5 \cdot l_5 + 1,5 \cdot l_6 + 0,6 \cdot l_7 \end{array} \right) \cdot 10^{-3} \rightarrow H_{\min}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} 25 \leq I_2 \leq 105; \\ I_4 - I_5 \leq 25; \\ h_{\omega}^{ПЛ}(I_2, I_5) = H + h_o^{ПЛ}; \\ H_{\text{ДГП}}^{ШВ} > 0; \\ T_{ПЛ-ШВ}^{СТР}(I_2, I_5) \geq 1, \end{cases} \quad (2)$$

де I_5 – ухил п'ятого елемента поздовжнього профілю, ‰;

l_1, \dots, l_7 – довжина першого, ..., сьомого елементів поздовжнього профілю, м;

H_{\min} – мінімально можлива висота сортувального пристрою, м;

$h_{\omega}^{ПЛ}(I_2, I_5)$ – витрачена енергетична висота ПЛ на подолання всіх видів опору при скочуванні за несприятливих метеорологічних умов від вершини гірки (ВГ) до РТ важкої за опором руху колії, м ен. в.;

$h_o^{ПЛ}$ – початкова енергетична висота ПЛ на ВГ, м ен. в.;

$H_{\text{ДГП}}^{ШВ}$ – величина гальмування ШВ на ДГП, м ен. в.;

$T_{ПЛ-ШВ}^{СТР}(I_2, I_5)$ – інтервал на останньому стрілочному переводі при скочуванні ПЛ на важку за опором руху колію і ШВ на суміжну з нею колію, с.

Результати оптимізації конструкційних параметрів сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відчепів за різних значень $H_{\text{ДГП}}^{ШВ}$ наведено в таблиці. Оптимізаційні розрахунки виконано за таких вихідних даних:

– кількість колій у сортувальному парку – 32;

– розрахункова температура зовнішнього повітря за несприятливих умов скочування вагонів – -15 °С, сприятливих – +32 °С;

– розрахункова швидкість вітру за несприятливих умов скочування вагонів – 5 м/с, сприятливих – 8 м/с;

– розрахунковий напрямок вітру відносно осі сортувального парку за несприятливих умов скочування вагонів – 36°, сприятливих – 175°;

– кут між віссю колії на ВГ і поздовжньою віссю сортувального парку – 0,41°.

Результати імітаційного моделювання скочування розрахункових бігунів у розрахункових сполученнях ПЛ-ШВ і П-ШВ показують, що за величини гальмування П і ШВ на ДГП 0,5 м ен. в. достатні інтервали на останньому розділовому стрілочному переводі забезпечені при масі П більше 28,6 т (рис. 2), величини гальмування 0,6 м ен. в. – маса П більше 30,8 т (рис. 3), величини гальмування 0,7 м ен. в. – маса П більше 33,5 т (рис. 4). Також у цих трьох випадках достатніми є інтервали на останньому стрілочному переводі при скочуванні бігунів у розрахунковому сполученні ПЛ-Ш без їх гальмування на ДГП.

Таблиця

Оптимальні конструкційні параметри сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відцепів і величини гальмування ШВ на ПГП за умови його зупинки

$H_{\text{ШВ}}^{\text{ДГП}}$, м ен. в.	h_2 , м	I_1 , ‰	I_2 , ‰	I_3 , ‰	I_4 , ‰	I_5 , ‰	I_6 , ‰	I_7 , ‰	$H_{\text{НУ}}^{\text{ПГП}}$, м ен. в.	$H_{\text{СВ}}^{\text{ПГП}}$, м ен. в.
0,5	4,93	50	47,6	22,6	-2,4	-15,1	1,5	0,6	2,37	2,83
0,6	4,86	50	46,2	21,2	-3,8	-13,0	1,5	0,6	2,28	2,74
0,7	4,79	50	44,8	19,8	-5,2	-11,0	1,5	0,6	2,19	2,64
0,8	4,73	50	43,4	18,4	-6,6	-8,9	1,5	0,6	2,11	2,55

Примітки: 1. h_2 – висота гірки, м; $H_{\text{НУ}}^{\text{ПГП}}$, $H_{\text{СВ}}^{\text{ПГП}}$ – величина гальмування ШВ на ПГП за умови його зупинки відповідно за несприятливих і сприятливих умов скочування вагонів, м ен. в.

2. За $H_{\text{ШВ}}^{\text{ДГП}}=0$ м ен. в. $h_2=5,26$ м, $H_{\text{НУ}}^{\text{ПГП}}=2,8$ м ен. в., $H_{\text{СВ}}^{\text{ПГП}}=3,31$ м ен. в.

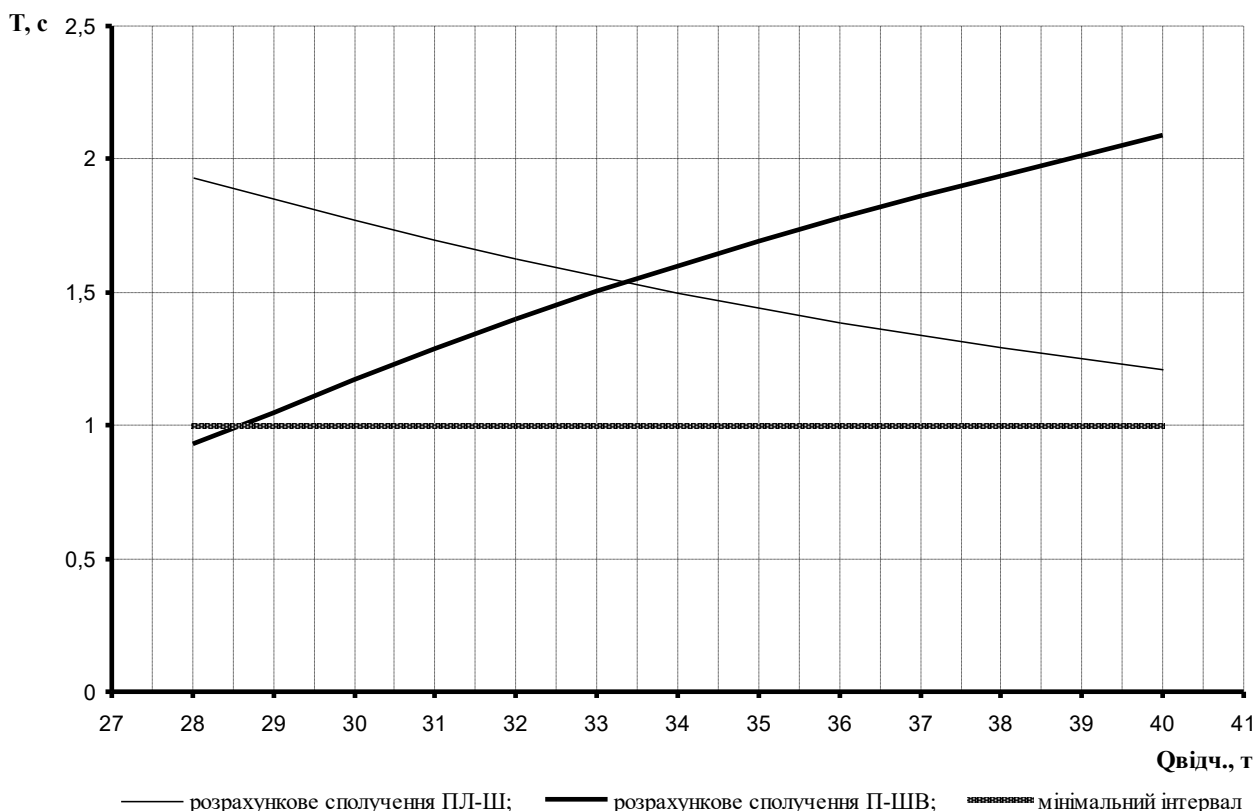


Рис. 2. Залежність інтервалу на останньому розділовому стрілочному переводі за маршрутом скочування розрахункових бігунів при величині гальмування П і ШВ на ДГП 0,5 м ен. в.

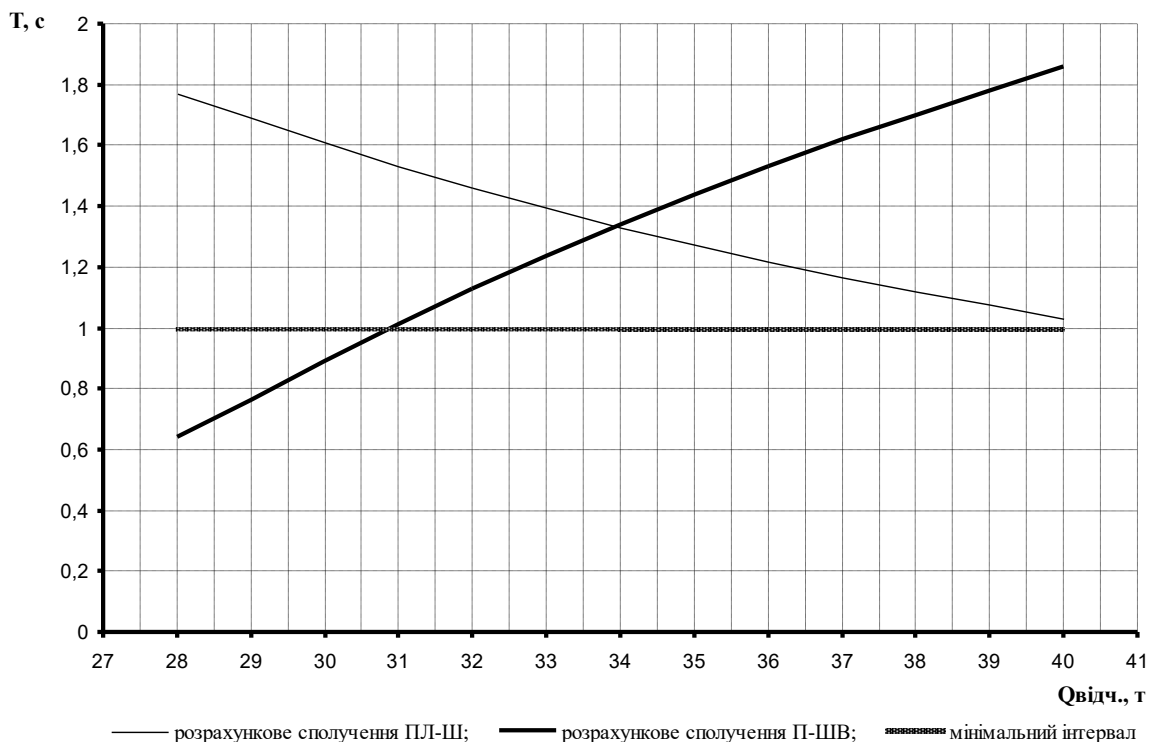


Рис. 3. Залежність інтервалу на останньому розділовому стрілочному переводі за маршрутом скочування розрахункових бігунів при величині гальмування П і ШВ на ДГП 0,6 м ен. в.

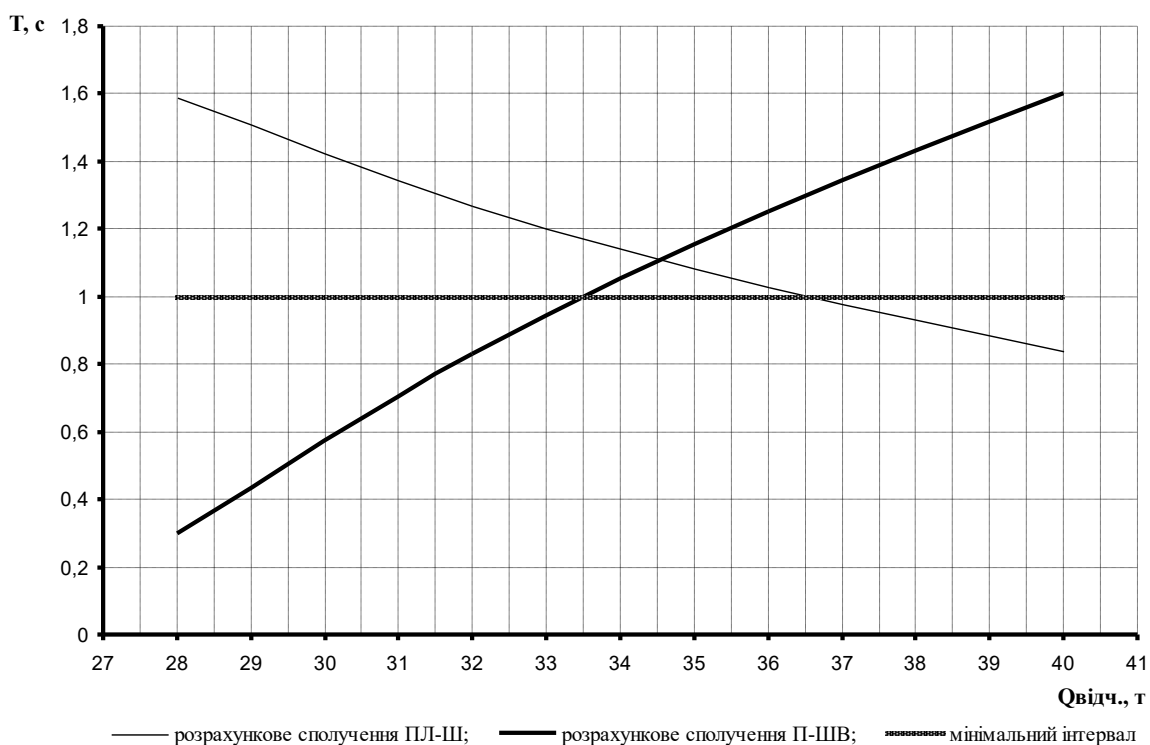


Рис. 4. Залежність інтервалу на останньому розділовому стрілочному переводі за маршрутом скочування розрахункових бігунів при величині гальмування П і ШВ на ДГП 0,7 м ен. в.

За величини гальмування П і ШВ на ДГП 0,8 м ен. в. і скочування бігунів ПЛ і Ш без гальмування ситуація інша: достатні інтервали на останньому розділовому стрілочному переводі при скочуванні бігунів у розрахункових сполученнях ПЛ-Ш і П-ШВ не забезпечені при масі Ш більше 33 т і масі П менше 36,7 т, тобто, якщо маса бігуна буде в діапазоні від 33 до 36,7 т, то матиме місце нагін відчепів (рис. 5).

Найбільша величина гальмування П і ШВ на ДГП, яку можна реалізувати для заданих умов експлуатації за умови забезпечення достатніх інтервалів на розділових елементах, складає 0,74 м ен. в. (рис. 6). Гранична маса відчепа при цьому складає 34,8 т, висота сортувального пристрою – 4,76 м і потрібна потужність ПГП 2,6 м ен. в.

Для реалізації величини гальмування відчепів на ДГП 0,74 м ен. в., маса яких перевищує 34,8 т, можна застосувати триланкові вагонні уповільнювачі (УВСК-10 (номінальна потужність – 1,3 м ен. в.), ЗВУ-05 (номінальна потужність – 1,3 м ен. в.), НК 114-02 (номінальна потужність – 1,2 м ен. в.) тощо). Однак у цьому випадку, окрім задачі визначення ступеня гальмування кожного відчепа, необхідно ще визначити тривалість їхнього гальмування. Це дещо ускладнює процес регулювання швидкості на ДГП і може потребувати автоматизації роботи цієї позиції, що відповідно призведе до збільшення капітальних вкладень і експлуатаційних витрат сортувального пристрою. Крім того, не виключені помилки в реалізації величини гальмування відчепів 0,74 м ен. в.

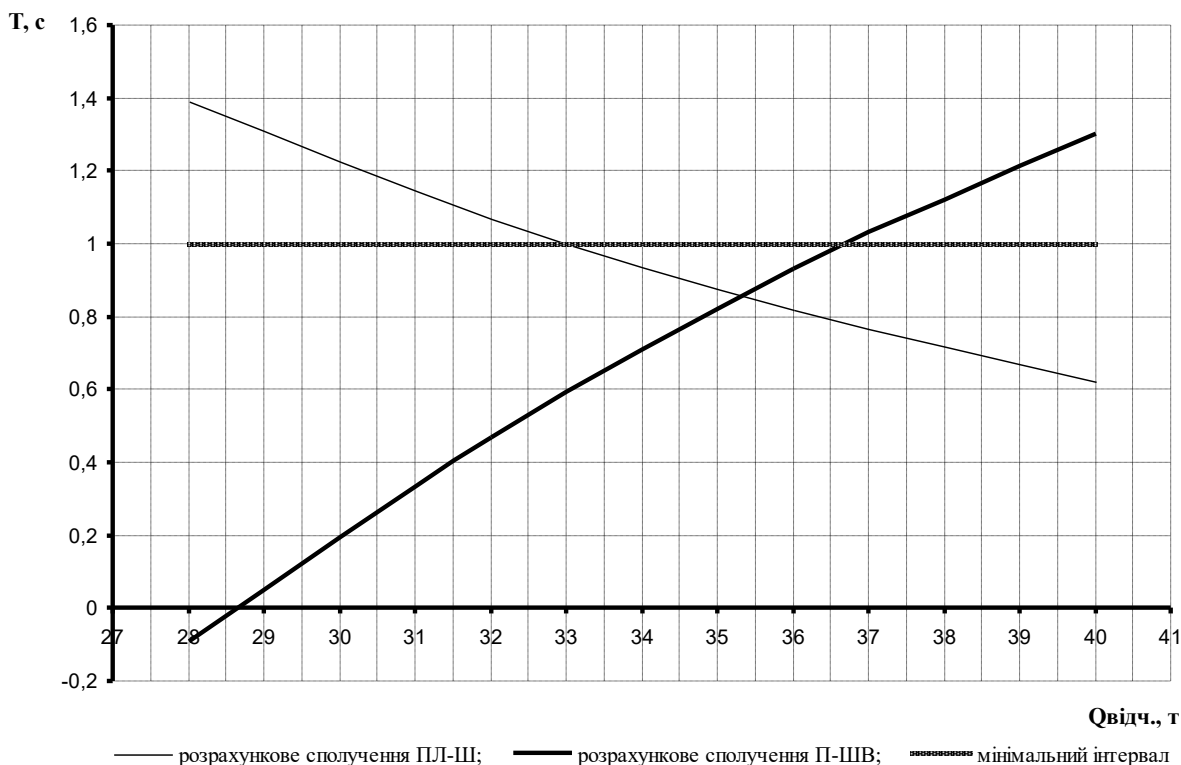


Рис. 5. Залежність інтервалу на останньому розділовому стрілочному переводі за маршрутом скочування розрахункових бігунів при величині гальмування П і ШВ на ДГП 0,8 м ен. в.

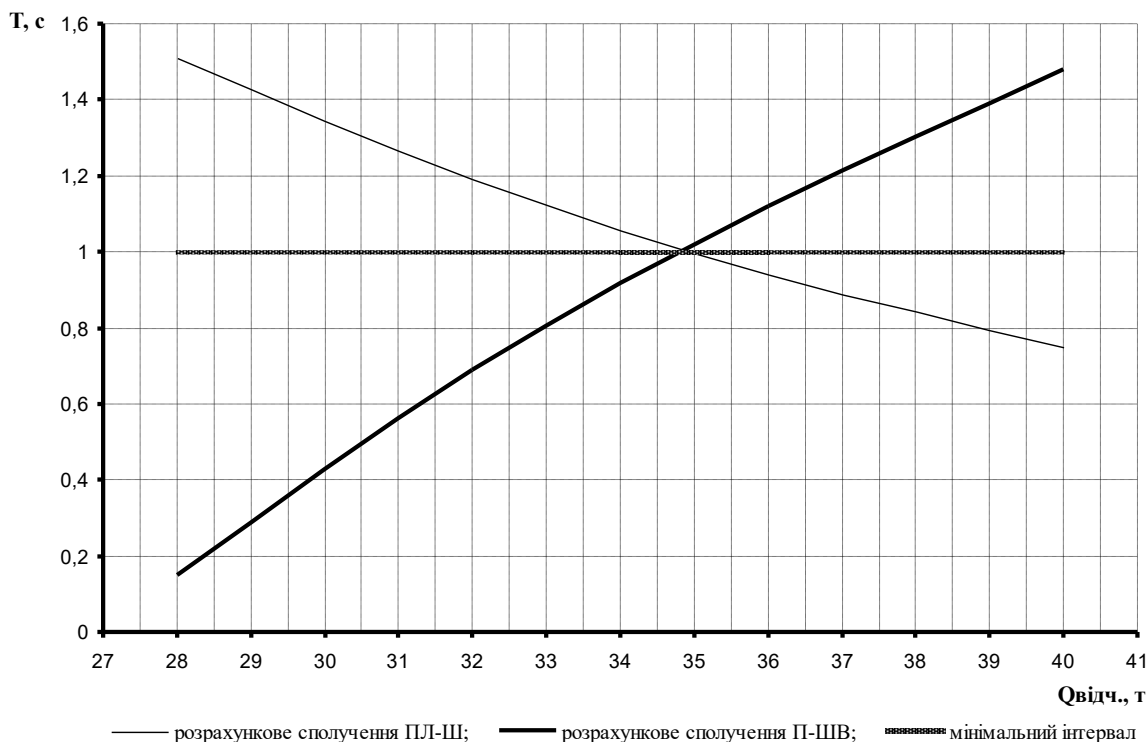


Рис. 6. Залежність інтервалу на останньому розділовому стрілочному переводі за маршрутом скочування розрахункових бігунів при величині гальмування П і ШВ на ДГП 0,74 м ен. в.

Виходячи з цього можна розглянути варіант застосування на ДГП малопотужних вагонних уповільнювачів з допустимою швидкістю входу на них більше 8 м/с (наприклад УВСК-11, номінальна потужність якого складає 0,6 м ен. в.). У цьому випадку нема необхідності розраховувати тривалість гальмування відцепів, достатньо тільки визначити ступінь гальмування кожного з них, що значно спрощує регулювання їхньої швидкості і дає змогу керувати вагонними уповільнювачами ДГП в ручному режимі. Недоліком такого варіанта є тільки зменшення величини гальмування відцепів (з 0,74 м ен. в. до 0,60 м ен. в. за умови застосування вагонних уповільнювачів УВСК-11), унаслідок чого буде потрібна більша потужність ПГП.

Разом із тим слід зазначити, що номінальна потужність вагонних уповіль-

нювачів ($H_{ун.}$) нормується для повновантажних вагонів. Гальмова потужність, реалізована уповільнювачами для гальмування вагонів довільної маси, буде залежати від тиску робочого тіла в гальмових циліндрах ($P_{ГЦ}$). В. І. Бобровським у роботі [17] було запропоновано цю потужність розраховувати за формулою

$$H_{ун.}^Q = \frac{H_{ун.} \cdot Q_{П} \cdot (P_{ГЦ} - P_0)}{Q \cdot (P_{НГЦ} - P_0)}, \quad (3)$$

де $Q_{П}$ – маса повновантажного вагона, т;

P_0 – частина $P_{ГЦ}$, витрачена на підйом (переміщення) маси гальмової системи, кгс/см²;

Q – маса вагона, що гальмується уповільнювачем, т;

$P_{НГЦ}$ – номінальний тиск у гальмових циліндрах, якому відповідає номінальна потужність, кгс/см².

На першому ступені гальмування тиск робочого тіла в гальмових циліндрах складає від 1,24 до 1,86 кгс/см² (середнє значення – 1,55 кгс/см²), на другому – від 2,27 до 3,31 кгс/см² (середнє значення – 2,79 кгс/см²), на третьому – від 3,93 до 4,96 кгс/см² (середнє значення – 4,45 кгс/см²), на четвертому – повний тиск у гальмовій магістралі (розраховували, наприклад, потужність вагонних уповільнювачів УВСК-11 за тиску в гальмовій магістралі 0,65 кПа або 6,6 кгс/см²) [18].

Наказом АТ «Укрзалізниця» дано такі рекомендації щодо гальмування відцепів [19]:

– вагони важкої і середньо-важкої вагових категорій мають починати гальмувати на четвертому ступені, а зі зниженням швидкості відчепа переходити на нижчий ступінь;

– вагони легкої, середньо-легкої і середньої вагових категорій мають гальмувати на меншому ступені, а за необхідності переходити на більш високий ступінь. Гальмування уповільнювачами натискного типу порожніх і легковагонних вагонів, навантаження на вісь у яких становить менше 12 т (усі вагони легкої і середньо-легкої вагових категорій і частина вагонів середньої вагової категорії), необхідно здійснювати з використанням першого або другого ступеня гальмування.

З урахуванням наведених вище даних і рекомендацій при гальмуванні на четвертому ступені вагонів масою 80 т уповільнювачами УВСК-11

$H_{ун.}^0 = 0,69$ м ен. в., вагонів масою 70 т –

$H_{ун.}^0 = 0,79$ м ен. в., тобто зі зменшенням

маси відчепа, гальмова потужність на четвертому ступені збільшується, що призведе до збільшення інтервалу в розрахунковому сполученні ПГ-ШСВ, де ПГ – повільний бігун, маса якого відповідає

граничній масі відчепа, визначеній розрахунками за величини гальмування на ДГП 0,6 м ен. в. (30,8 т); ШСВ – швидкий бігун середньо-важкої категорії.

При гальмуванні ПГ на ДГП на другому ступені при середньому значенні тиску (2,79 кгс/см²) $H_{ун.}^0$ складе 0,67 м ен. в., що на 11,7 % більше, ніж величина гальмування повновантажного вагона на четвертій позиції. Оскільки в цьому випадку інтервал на останньому розділовому стрілочному переводі може бути недостатнім при скочуванні бігунів у сполученні П-ШВ, для гальмування П, маса якого буде близькою до граничної маси, можна використовувати перший ступінь гальмування. Слід зазначити, що вже при масі П 35 т можна гальмувати на другому ступені за середнього значення тиску робочого тіла в гальмових циліндрах ($H_{ун.}^0 = 0,59$ м ен. в.).

Отже, для застосування ДГП в конкретних умовах експлуатації, у тому числі з урахуванням фактичних гальмових характеристик вагонних уповільнювачів, необхідно на підставі результатів імітаційного моделювання визначити ступінь гальмування відцепів залежно від їхньої маси.

Висновки. Результати виконаних досліджень довели, що зменшення потужності ПГП за рахунок застосування на спускній частині сортувального пристрою ДГП є можливим. Максимальна величина гальмування на ДГП (0,74 м ен. в.) для заданих умов експлуатації забезпечена при гальмуванні відцепів, маса яких більше 34,8 т. Для спрощення процесу гальмування таких відцепів на ДГП (тобто регулювання їхньої швидкості шляхом повного використання потужності вагонних уповільнювачів на заданому ступені гальмування) доцільним є застосування малопотужних уповільнювачів, номінальна потужність яких менше максимально можливої величини гальмування на цій позиції.

У разі використання на ДГП вагонних уповільнювачів УВСК-11 їхня номінальна потужність на 0,14 м ен. в. менше за максимально можливу величину гальмування на зазначеній позиції. При цьому порівняння потрібної потужності ППП при $H_{\text{ДГП}}^{\text{ДГП}}=0$ м ен. в. і $H_{\text{ДГП}}^{\text{ДГП}}=0,6$ м ен. в. показує її зменшення на 0,57 м ен. в. Крім того, при $H_{\text{ДГП}}^{\text{ДГП}}=0,6$ м ен. в. висота сортувального пристрою зменшується на 0,4 м, а гранична маса відчепа складає 30,8 т, що на 4,0 т менше, ніж за максимально можливою величиною гальмування на ДГП.

За попередньою оцінкою, встановлення ДГП на спускній частині сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відчепів дасть змогу зменшити витрати за розрахунковий період 10 років із приведенням вартісних оцінок результатів і витрат різних років до першого року на 15 %.

Для отримання додаткового економічного ефекту подальші дослідження слід спрямувати на визначення раціональних параметрів плану колійного розвитку сортувального пристрою та удосконалення алгоритмів розрахунку керуючих впливів на вагонні уповільнювачі паркової гальмової позиції.

Список використаних джерел

1. Shabelnikov A. N., Lyabakh N. N. Intellectualization of sorting processes control on the basis of instrumental determination of analogies. *2nd International Conference on Intelligent Information Technologies for Industry, IITI 2017, Varna, Bulgaria*. 2017. P. 138–145. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-68324-9_15.
2. Жуковицкий И. В. Цифровые системы управления скоростью скатывания отцепов на сортировочных горках: монография. Днепропетровск : изд-во Маковецкий, 2012. 203 с.
3. Новий вагонний уповільнювач УВСК українського виробництва / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, М. І. Березовий, А. А. Гарбузов. *Залізничний транспорт України*. 2010. № 2. С. 34–38.
4. 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.
5. Kozachenko D., Bobrovskiy V., Demchenko Y. A method for optimization of time intervals between rolling cuts on sorting humps. *Journal of Modern Transportation*. 2018. 26(3). P. 189–199. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40534-018-0161-2>.
6. Probabilistic approach for the determination of cuts permissible braking modes on the sorting humps / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, A. Dorosh et al. *Transport Problems*. 2016. 11(1). P. 147–155. URL: <http://dx.doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.14>.
7. Дорош А. С. Оптимізація режимів гальмування відчепів на сортувальній гірці. *Транспортні системи та технології перевезень: збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2021. Вип. 22. С. 28–35.
8. Kozachenko D., Grevtsov S., Titova A. Determination of the Optimal Cars Exit Speeds from the Retarders on Sorting Humps. *Proceedings of 27th International Scientific Conference Transport Means 2023. Part II*. 2023. P. 966–971.
9. Kozachenko D. M., Bobrovskiy V. I., Grevtsov C. V., Berezoviy M. I. Controlling the speed of rolling cuts in conditions of reduction of brake power of car retarders. *Science and Transport Progress*. 2021. 3(63). P. 28–40. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2016/74710>.
10. Calculating Exit Speed of Rolling Cuts Based on Fuzzy Neural Networks / XU Wan-an, SHI Xuan, LIN Tong-yuan. *China Railway Science*. 2001. No. 03. P. 161–165.

11. Study on Neural Network Based Space-interval Speed-control Model / YAO Jing ming, LI Xue ren, LIU Hu xing. *China Railway Science*. 2001. No 02. P. 127–133.
12. Research on profile optimization design method for coupling area in marshalling yard under application of heavy haul freight car / H. Zhang , H. Yang, S. Xia, J. Wang, R. Li. *Journal of the China Railway Society*. 2016. 38(10). P. 14–19. URL: <https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/tdxb201610002>.
13. Бобровский В. И., Колесник А. И. Определение рациональной конструкции продольного профиля сортировочной горки. *Транспортні системи та технології перевезень: збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. Вип. 4. С. 19–24.
14. Бобровский В. И., Колесник А. И., Дорош А. С. Совершенствование конструкции плана путевого развития горочных горловин. *Транспортні системи та технології перевезень: збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2011. Вип. 1. С. 27–33.
15. Розсоха О. В. Эффективность работы сортувальних гірок при застосуванні нових гіркових горловин. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2008. 5/3(35). С. 51–59.
16. Огар О. М., Таратушка К. В. Дослідження ефективності застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відцепів. *Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2015. Вип. 9. С. 49-56.
17. Бобровский В. И. Теоретические основы совершенствования конструкции и технологии работы железнодорожных станций: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.20. Днепропетровск, 2002. 534 с.
18. Бобровський В. І. , Козаченко Д. М. , Коробйова Р. Г. Моделювання роботи вагонних уповільнювачів в задачах дослідження сортувального процесу. *Залізничний транспорт України*. 2010. № 1. С. 5–8.
19. Методичні рекомендації операторам сортувальних гірок щодо управління пристроями на механізованих і автоматизованих сортувальних гірках: Наказ Укрзалізниці від 22.02.2013 р. № 042-Ц/од. Київ: ТОВ «Інпрес», 2013. 108 с.

Огар Александр Миколайович, доктор технічних наук, професор кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-1967-5828. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@kart.edu.ua.

Левченко Антон Александрович, аспірант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: Anton.Levchenko.post@gmail.com.

Кондратьев Игорь Викторович, аспірант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: oves.prod@gmail.com.

Кустов Рубен Валерійович, магістрант, група 221-ОПУТ-Д22, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: kustov@kart.edu.ua.

Зав'ялов Макар Ігорович, магістрант, група 221-ОПУТ-Д22, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: zavyalov@kart.edu.ua.

Ohar Oleksandr, Dr. Sc. (Tech.), professor, department of Railroad stations and junctions, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-1967-5828. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@kart.edu.ua.

Levchenko Anton, Ph.D. Student, department of Railroad stations and junctions, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: Anton.Levchenko.post@gmail.com.

Kondratyev Ihor, Ph.D. Student, department of Railroad stations and junctions, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: oves.prod@gmail.com.

Kustov Ruben, master, group 221-OPUT-D22, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: kustov@kart.edu.ua.

Zavialov Makar, master, group 221-OPUT-D22, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: zavyalov@kart.edu.ua.

Статтю прийнято 17.06.24 р.