

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (275)

УДК 656.212.5

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГРАВІТАЦІЙНО-ПРИЦІЛЬНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ

Д-р техн. наук О. М. Огар, кандидати техн. наук І. В. Берестов, М. Ю. Куценко, інженер Т. Т. Берестова, магістрант В. В. Рабін

DETERMINATION OF THE CONDITIONS FOR APPLYING THE TECHNOLOGY OF TARGET GRAVITY BRAKING OF UNCOUPLED CARS

Dr. Sc. (Tech.) O. Ohar, PhD (Tech.) I. Berestov, PhD (Tech.) M. Kutsenko, engineer T. Berestova, master V. Rabin.

***Анотація.** Робота спрямована на визначення умов застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відцепів, реалізація якої можлива за наявності спеціального профілю сортувального пристрою без гальмових позицій на спускній частині. Обґрунтування умов застосування цієї технології базується на аналізі результатів розрахунку показників процесу скочування розрахункових вагонів при різних значеннях швидкості розпуску, швидкості і напрямку вітру. Основними причинами незастосовності запропонованої технології є перевищення допустимої швидкості руху вагонів по стрілочних переводах і перевищення допустимої швидкості їх входу на уповільнювачі паркової гальмової позиції.*

***Ключові слова:** сортувальний пристрій, гравітаційно-прицільне гальмування відцепів, поздовжній профіль, розпуск вагонів.*

***Abstract.** Improving the efficiency of the process of train uncoupling remains one of the most urgent problems in railway transport. The priority areas for solving this problem today include the development and implementation of integrated automation systems for hump technologies, the use of artificial intelligence in decision support systems and procedures for calculating the control parameters of car retarders. These systems provide high accuracy in designing and implementing control actions, taking into account indeterminacy and multiple random parameters.*

However, a number of factors that are quite difficult to take into account, predict, or formalize. Such factors include the technical condition of rail car retarders, their random braking characteristics, constant changes in wind speed and direction, the condition of wheel pairs, the response rate of hump operators, and others. These factors can have significant impact on the quality of the marshalling process, even on automated marshalling humps.

To increase the efficiency of the train uncoupling technology, researchers have developed a number of scientific approaches and technical solutions: approaches to control using the equipment for controlling the speed of rolling uncoupled cars in automated mode have been formed, new designs of car retarders have been developed and the existing ones were improved, optimizing methods for braking modes of uncoupled cars, the longitudinal profile of marshalling humps and the design of hump necks have been proposed.

The introduction of target gravity braking technology for uncoupled cars is one of the ways to improve the efficiency of the marshalling process. This technology can be implemented provided that a special profile design of the marshalling device is used.

To determine the conditions for applying the target gravity braking technology for uncoupled cars, simulation modeling of rolling of model cars in favorable and unfavorable meteorological conditions was carried out.

The results of simulation modeling showed that the proposed technology can be definitely used, if the number of tracks in the marshalling yard is up to 32 and estimated wind speeds up to 6 m/s, when it provides an uncoupling rate of up to 1,8 m/s. If the marshalling yard has a larger number of tracks and/or in case of powerful winds, the technology can be applied if the uncoupling rate is reduced. In this case, the feasibility of using the technology should be verified with technical and economic calculations.

Keywords: marshalling system, target gravity car braking, longitudinal profile, uncoupling of cars.

Вступ. Підвищення ефективності процесу розформування составів залишається однією з актуальних проблем на залізничному транспорті. Пріоритетними напрямками рішення вказаної проблеми на сьогодні є розроблення та впровадження систем комплексної автоматизації гіркових технологічних процесів, застосування штучного інтелекту в системах підтримки прийняття рішення і процедурах розрахунку параметрів керування вагонними уповільнювачами. Ці системи забезпечують високу точність розрахунку та реалізації керуючих дій з урахуванням невизначеності та наявності великої кількості параметрів, що мають випадкову природу.

Однак є ряд факторів, які досить складно врахувати, спрогнозувати або формалізувати. Такими факторами є технічний стан вагонних уповільнювачів, їх випадкові гальмові характеристики, постійна зміна швидкості і напрямку вітру, стан колісних пар вагонів, швидкість реакції операторів гірки та інші. Зазначені фактори можуть суттєво впливати на якість сортувального процесу навіть на автоматизованих сортувальних гірках.

Гірка є дуже складною системою, що складається з великої кількості взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів та функціонує в умовах впливу множини зовнішніх і внутрішніх випадкових факторів. Виходячи з цього, певну складність має

завдання формування математичних моделей гіркових технологічних процесів, що враховують всі особливості функціонування гірки та забезпечують велику точність конструктивних і технологічних розрахунків. Слід зазначити, що на сьогодні закінченого рішення цього завдання поки що нема.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для підвищення ефективності процесу розформування составів розроблено ряд наукових підходів і технічних рішень, а саме сформовано підходи до управління засобами регулювання швидкості скочування відцепів в автоматизованому режимі [1–3], розроблено нові та удосконалено існуючі конструкції вагонних уповільнювачів [4, 5], запропоновано методи оптимізації режимів гальмування відцепів [6–8], поздовжнього профілю сортувальних гірок [9–11] і конструкції гіркових горловин [12, 13].

Основними недоліками систем комплексної автоматизації процесу розформування составів є недосконалість методів розрахунку оптимальних параметрів керуючих дій, математичних моделей скочування відцепів з гірки і способів реалізації потрібних режимів їх гальмування. Невирішеними залишаються питання урахування інерційності вагонних уповільнювачів при гальмуванні відцепів, прогнозування їх гальмових сил, ходових якостей вагонів і параметрів метеорологічних умов. Застосування

елементів штучного інтелекту для визначення ефективних режимів гальмування відцепів на позиціях гірки теж не дозволяє досягти високих якісних показників сортувального процесу.

Разом з тим слід відзначити, що нові конструкції вагонних уповільнювачів характеризуються більшою надійністю і швидкістю, що є дуже важливим з позиції забезпечення більшої точності реалізації керуючих дій.

Створені методи оптимізації режимів гальмування відцепів в основному спрямовані на зменшення енерговитрат на регулювання швидкості їх скочування. Варто відзначити, що ці витрати складають невелику частку витрат сортувальних пристроїв за життєвий цикл їх експлуатації і, можливо, зазначену оптимізацію слід виконувати за іншими, більш значущими критеріями.

Для оптимізації профілю гірок і конструкції їх горловин вчені використовували окремі якісні показники. При цьому вони не аналізували ступінь їх впливу на загальносистемний ефект.

Таким чином, для підвищення ефективності процесу розформування

составів потребує вирішення ряд складних проблем. Й одним з рішень цих проблем може бути розроблення нових технологій регулювання швидкості скочування відцепів.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою даного дослідження є визначення умов застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відцепів. Впровадження даної технології в певних умовах експлуатації дозволить підвищити ефективність процесу розформування составів.

Основними завданнями дослідження є проведення імітаційного моделювання процесу скочування розрахункових вагонів у заданих метеорологічних умовах і розроблення рекомендацій щодо умов застосування запропонованої технології.

Основна частина дослідження. Впровадження технології гравітаційно-прицільного гальмування відцепів є одним із шляхів підвищення ефективності сортувального процесу. Зазначена технологія може бути реалізована за умови застосування спеціальної конструкції профілю сортувального пристрою (рис. 1).

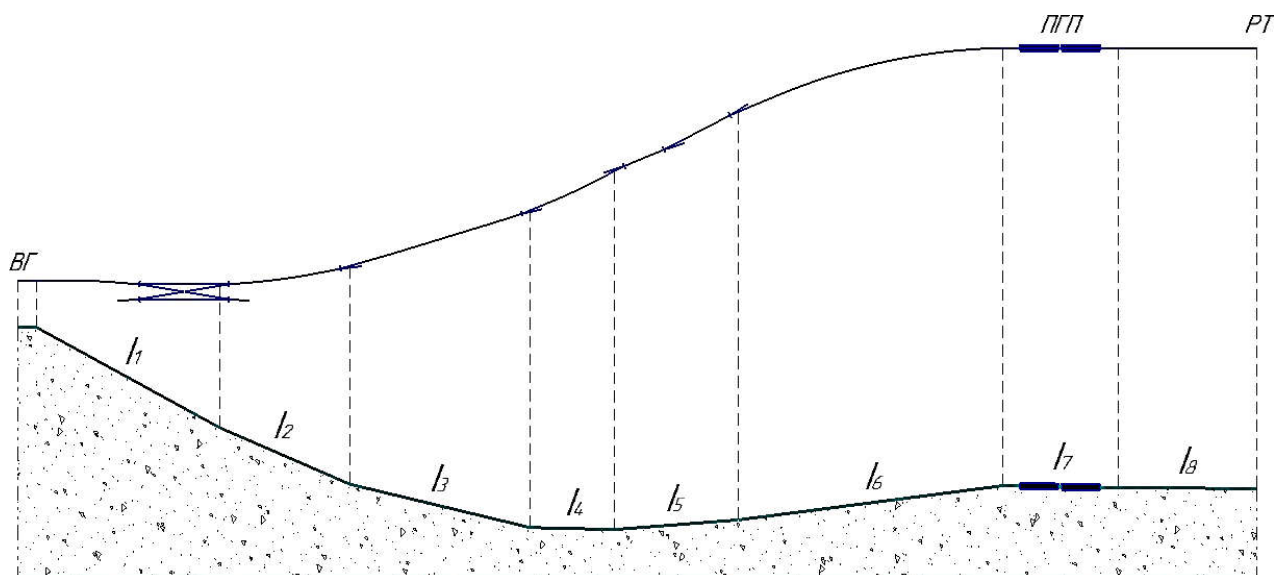


Рис. 1. Поздовжній профіль сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відцепів

Така конструкція характеризується розміщенням на підйомі стрілочної зони (СЗ) і дільниці сортувальних колій до паркової гальмової позиції (ПГП). В окремих випадках на підйомі може розміщуватися тільки частина СЗ. Інші елементи поздовжнього профілю по маршруту скочування відчепів від вершини гірки (ВГ) до розрахункової точки (РТ) розташовуються на спуску.

Конструктивні параметри сортувального пристрою мають забезпечувати виконання таких умов:

- докочування повільного легкого бігуна (ПЛ) в зимових несприятливих умовах від ВГ до РТ найбільш трудної за опором колії;

- достатні інтервали на роздільних стрілочних переводах у сполученні

ПЛ – ШВ ($\delta_{ПЛ-ШВ}$), де ШВ – швидкий важкий бігун.

Обмеженням у застосуванні запропонованого пристрою є перевищення швидкості руху вагонів по стрілочних переводах, що розміщені на спускній частині, і (або) допустимої швидкості входу вагонів на уповільнювачі ПГП. На спускній частині пристрою укладено симетричні стрілочні переводи з маркою хрестовини 1/6. Рух по цих стрілочних переводах дозволено зі швидкістю, що не перевищує 40 км/год, або 11,1 м/с. Допустима швидкість входу вагонів на сучасні уповільнювачі складає 8 м/с і 8,5 м/с. Для подальших досліджень за верхню межу швидкості входу вагонів на уповільнювачі ПГП прийнято швидкість 8,5 м/с.

Для визначення умов застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відчепів проведено імітаційне моделювання скочування розрахункових вагонів (ПЛ, ШВ) у розрахунковому

сполученні ПЛ – ШВ у сприятливих і несприятливих метеорологічних умовах при початкових швидкостях їх розпуску (V_0) 1,4 м/с, 1,6 м/с і 1,8 м/с та швидкостях вітру (V_B) 4 м/с, 6 м/с і 8 м/с.

Моделювання зазначеного процесу виконано при таких вихідних даних:

- кількість колій у сортувальному парку – 32;

- маса ШВ – 85 т;

- основний питомий опір ШВ – 0,5 Н/кН;

- маса ПЛ – 22 т;

- основний питомий опір ПЛ – 4,5 Н/кН;

- розрахункова температура зовнішнього повітря у несприятливих умовах скочування вагонів – $-15\text{ }^\circ\text{C}$, у сприятливих – $+30\text{ }^\circ\text{C}$;

- розрахункова швидкість вітру у сприятливих умовах скочування вагонів – 8 м/с;

- кут між віссю колії на ВГ і поздовжньою віссю сортувального парку – $0,41\text{ }^\circ$;

- кількість елементів поздовжнього профілю від ВГ до РТ – 8;

- ухил першого (швидкісного) елемента профілю (I_1) – $50\text{ }^\circ\text{‰}$;

- ухил елемента профілю, на якому розміщено ПГП, (I_7) – $1,5\text{ }^\circ\text{‰}$;

- ухил сортувальних колій від кінця ПГП до РТ (I_8) – $0,6\text{ }^\circ\text{‰}$.

Висоту (H) і поздовжній профіль сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відчепів для заданих умов експлуатації і при припущенні, що різниця ухилів другого (I_2) і третього (I_3), третього і четвертого (I_4) елементів профілю максимальна ($25\text{ }^\circ\text{‰}$), розраховано з використанням такої оптимізаційної моделі:

$$H = \left(\begin{array}{l} 50 \cdot l_1 + I_2 \cdot l_2 + (I_2 - 25) \cdot l_3 + (I_2 - 50) \cdot l_4 + \\ + I_5 \cdot l_5 + I_6 \cdot l_6 + 1,5 \cdot l_7 + 0,6 \cdot l_8 \end{array} \right) \cdot 10^{-3} \rightarrow H_{\min}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} 25 \leq I_2 \leq 105; \\ h^{ПЛ} (I_4, I_5, I_6) = H + h^{ПЛ}; \\ \delta_{ПЛ-ШВ}^{\omega} (I_2, I_5, I_6) = 1, \end{cases} \quad (2)$$

де I_5, I_6 – ухили п'ятого і шостого елементів поздовжнього профілю, ‰;

l_1, \dots, l_8 – довжина першого, ..., восьмого елементів поздовжнього профілю, м;

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

$h_0^{ПЛ} (I_2, I_5, I_6)$ – витрачена енергетична висота ПЛ на подолання всіх видів опору при скочуванні у несприятливих метеорологічних умовах від ВГ до РТ важкої за опором руху колії, м.ен.в.;

$h_0^{ПЛ}$ – початкова енергетична висота ПЛ на ВГ, м.ен.в.;

$\delta_{ПЛ-ШВ}^{СТР} (I_2, I_5, I_6)$ – інтервал на останньому стрілочному переводі при скочуванні ПЛ на важку за опором руху колію і ШВ на суміжну з нею колію, с.

Для зменшення обсягу обчислень визначено кут між напрямком вітру і поздовжньою віссю сортувального парку (β), при якому має місце найбільший і найменший опір руху вагонів від середовища і вітру при скочуванні їх від ВГ до РТ. За виконаними дослідженнями, цей кут для несприятливих метеорологічних умов складає $36,5^\circ$, для сприятливих – 200° .

Результати імітаційного моделювання скочування розрахункових вагонів (рис. 2–4) доводять, що можливість застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відцепів суттєво залежить від розрахункових метеорологічних умов. Так, швидкість скочування ШВ по спускній частині у сприятливих метеорологічних умовах не перевищує допустиму швидкість руху по симетричних стрілочних переводах

при початкових швидкостях розпуску до 1,53 м/с і висоті пристрою, розрахованій за умовою докочування ПЛ від ВГ до РТ при температурі зовнішнього повітря -15°C , $\beta = 36,5^\circ$ і $V_B = 8$ м/с (рис. 2). При висотах сортувального пристрою, розрахованих при швидкостях зустрічного вітру 6 м/с і 4 м/с, допустима швидкість руху ШВ по стрілочних переводах забезпечується при початкових швидкостях розпуску відповідно до 1,79 м/с і до 2 м/с.

Аналогічна ситуація спостерігається зі швидкістю входу вагонів на ПГП (рис. 3). При висотах сортувального пристрою, розрахованих при швидкостях зустрічного вітру 4 м/с, 6 м/с і 8 м/с, допустима швидкість входу ШВ у сприятливих метеорологічних умовах забезпечується при швидкостях розпуску відповідно до 2,8 м/с, 1,9 м/с і 0,75 м/с.

Залежності, наведені на рис. 4, свідчать про те, що при висоті сортувального пристрою, розрахованій при швидкості вітру до 6,2 м/с, застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відцепів обмежує допустима швидкість руху вагонів по симетричних стрілочних переводах, а при висоті сортувального пристрою, розрахованій при швидкості вітру більше 6,2 м/с, – допустима швидкість входу вагонів на уповільнювачі ПГП.

З огляду на отримані результати, можна зробити висновок, що при більшій кількості колій у сортувальному парку запропонована технологія може застосовуватись тільки на місцевостях зі слабкими вітрами у несприятливі для скочування вагонів періоди року.

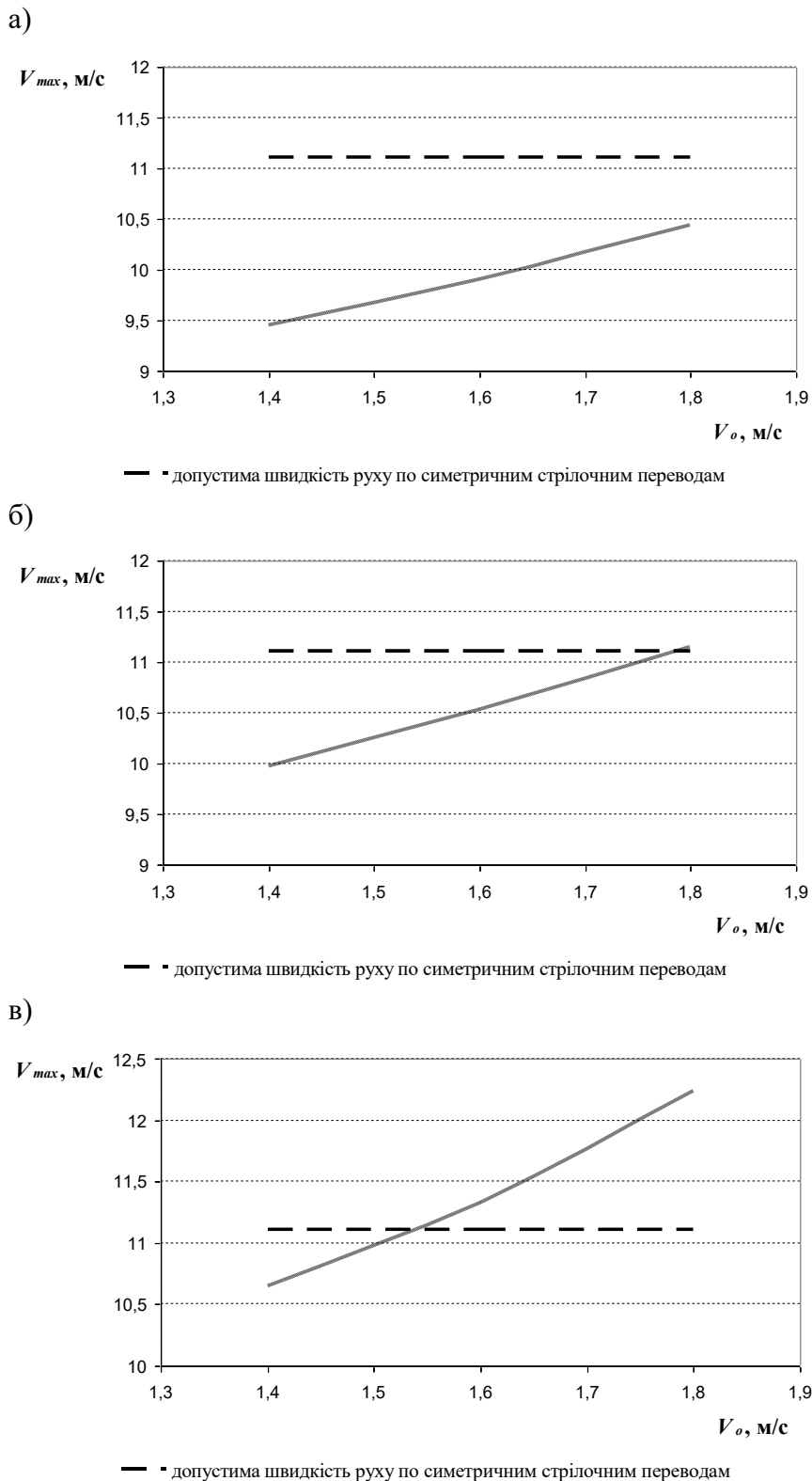


Рис. 2. Залежність максимальної швидкості скочування ШВ на спускній частині у сприятливих метеорологічних умовах (V_{max}) від початкової швидкості розпуску:
 а – при швидкості вітру, що прийнята для розрахунку висоти пристрою, 4 м/с;
 б – при швидкості вітру, що прийнята для розрахунку висоти пристрою, 6 м/с;
 в – при швидкості вітру, що прийнята для розрахунку висоти пристрою, 8 м/с

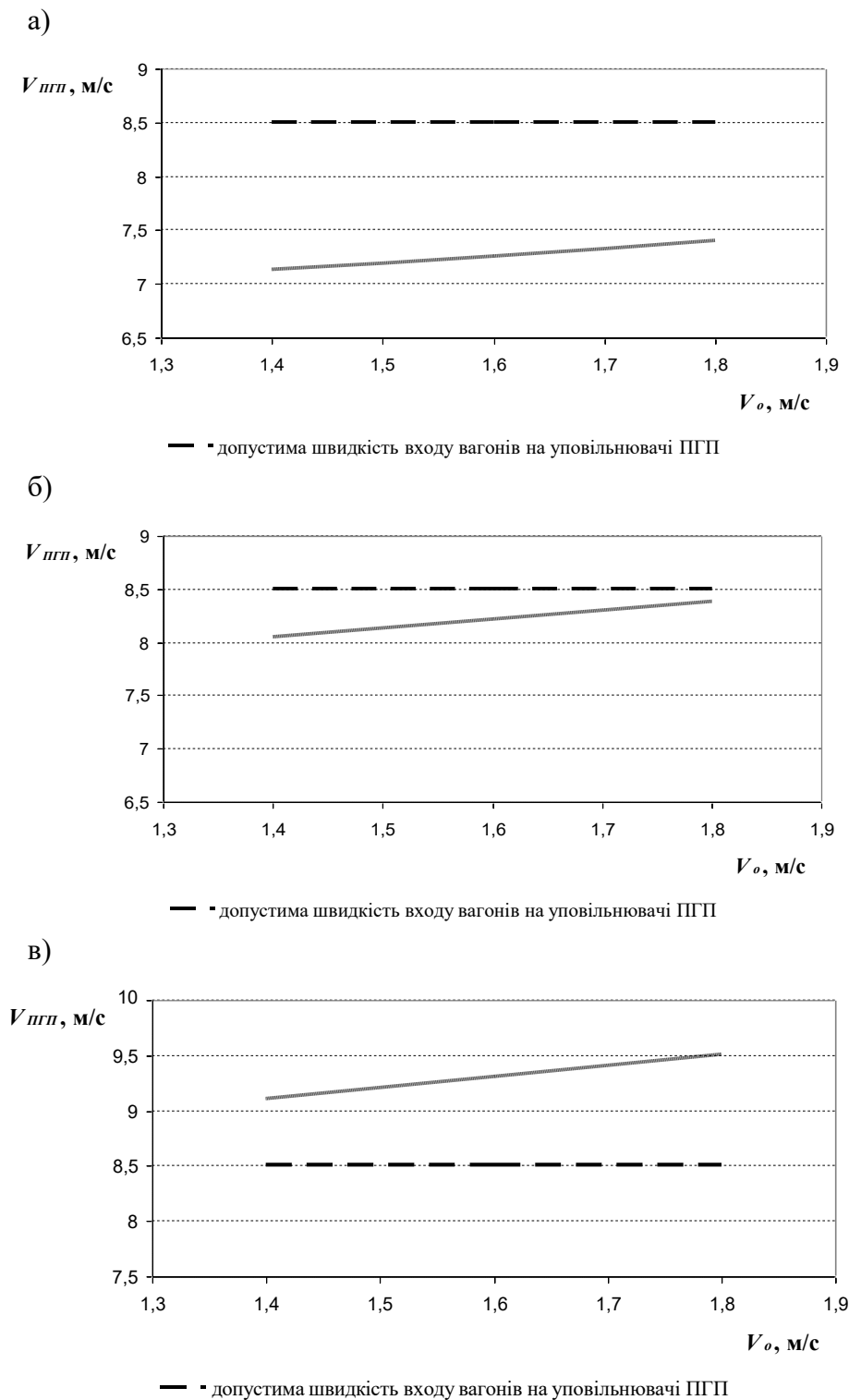


Рис. 3. Залежність швидкості входу ШВ на ПГП ($V_{пгп}$) у сприятливих метеорологічних умовах від початкової швидкості розпуску:

- а – при швидкості вітру, що прийнята для розрахунку висоти пристрою, 4 м/с;
- б – при швидкості вітру, що прийнята для розрахунку висоти пристрою, 6 м/с;
- в – при швидкості вітру, що прийнята для розрахунку висоти пристрою, 8 м/с

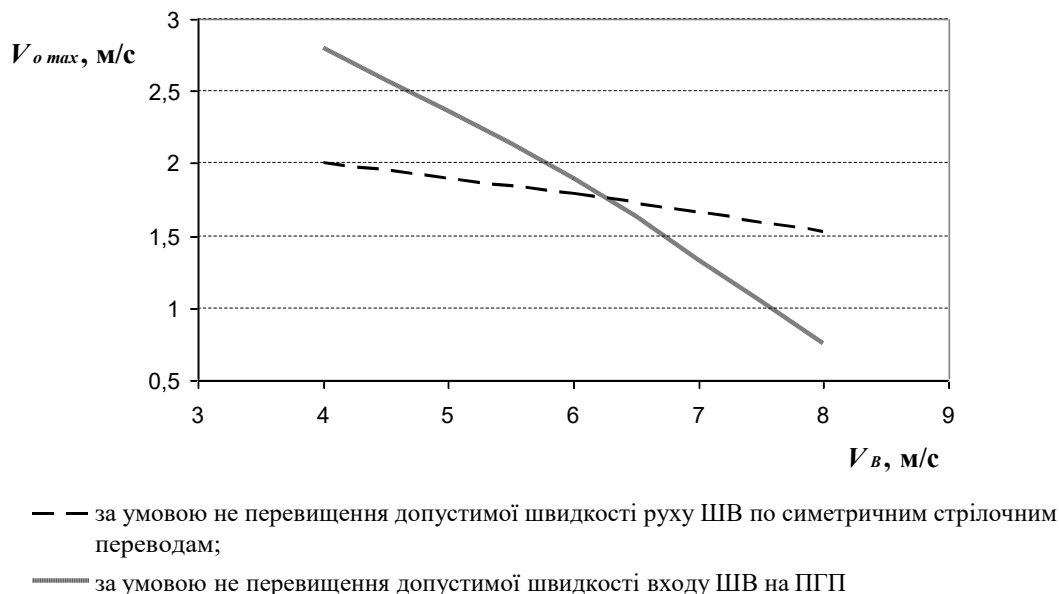


Рис. 4. Залежність максимальної швидкості розпуску вагонів ($V_{0\max}$) від швидкості вітру, що прийнята для розрахунку висоти пристрою

Висновки. Результати імітаційного моделювання процесу скочування розрахункових вагонів від вершини гірки до розрахункової точки в заданих метеорологічних умовах дають підставу сформулювати такі рекомендації щодо умов застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відчепів:

- 1) кількість колій у сортувальному парку – до 32;
- 2) розрахункова швидкість вітру – до 6 м/с.

Аналіз отриманих результатів доводить, що запропонована технологія дозволяє реалізувати досить високу швидкість розпуску вагонів (до 1,8 м/с) і відповідно забезпечити переробку значного обсягу вагонопотоку.

З огляду на отримані залежності, слід також відзначити, що технологія гравітаційно-прицільного гальмування відчепів може застосовуватись і при більшій кількості колій у сортувальному парку і (або) більш потужних вітрах. В таких випадках доцільність застосування технології рекомендується перевіряти

шляхом техніко-економічних розрахунків, оскільки зі зменшенням швидкості розпуску збільшуються витрати дизельного палива на насув і розформування составів та додаткові витрати, пов'язані з простоем составів у парку приймання в очікуванні розформування.

Застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відчепів має ряд переваг порівняно з традиційною технологією гальмування:

- 1) суттєво спрощується технологія регулювання швидкості скочування відчепів: нема необхідності гальмувати відчепа на спускній частині;
- 2) в умовах застосування систем комплексної автоматизації гіркових технологічних процесів автоматизується робота тільки паркової гальмової позиції;
- 3) суттєво зменшується вплив зовнішніх і внутрішніх випадкових факторів, що позитивно впливає на безпеку сортувального процесу;
- 4) зменшується вплив «людського» фактора на ефективність процесу розформування составів.

Попередня оцінка економічної ефективності застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відчепів доводить, що в умовах автоматизації сортувального процесу витрати за розрахунковий період 10 років з приведенням вартісних оцінок результатів і витрат різних років до першого року на 20 % менші, ніж при застосуванні традиційної технології регулювання швидкості скочування відчепів.

З метою підвищення економічної ефективності запропонованої технології подальші дослідження необхідно спрямувати на оптимізацію плану колійного розвитку сортувального пристрою та удосконалення процедур розрахунку параметрів керування вагонними уповільнювачами паркової гальмової позиції.

Список використаних джерел

1. Шелухин В. И. Универсальный модуль управления тормозными позициями. *Автоматика, связь, информатика*. 2000. № 5. С. 12–14.
2. Шабельников А. Н., Ольгейзер И. А., Рогов С. А. Управление тормозными средствами сортировочных горок: повышение качества и эффективности. *Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения*. 2015. № 2. С. 74–79.
3. 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, ITI 2017, Varna, Bulgaria*. 2017. P. 138–145. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-68324-9_15 (last access: 01.03.2021).
4. Кобзев В. А. Новые вагонные замедлители. *Автоматика, связь, информатика*. 2009. № 10. С. 10–12.
5. Кобзев В. А. Развитие технических средств механизации сортировочных горок. *Автоматика, связь, информатика*. 2011. № 2. С. 13–14.
6. Бессоненко С. А. Режимы торможения отцепов на тормозных позициях. *Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог : сб. науч. трудов*. Новосибирск, 2007. С. 129–144.
7. 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.
8. 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> (last access: 03.03.2021).
9. 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> (last access: 05.03.2021).
10. Бобровский В. И., Колесник А. И. Определение рациональной конструкции продольного профиля сортировочной горки. *Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. праць* Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. Вип. 4. С. 19–24.
11. Бессоненко С. А. Оптимизация основных параметров сортировочной горки. *Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: сб. науч. трудов*. Новосибирск, 2008. С. 4–25.

12. Бобровский В. И., Колесник А. И., Дорош А. С. Совершенствование конструкции плана путевого развития горочных горловин. *Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. праць* Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. Вип. 1. С. 27–33.

13. Розсоха О. В. Ефективність роботи сортувальних гірок при застосуванні нових гіркових горловин. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2008. 5/3 (35). С. 51–59.

Огар Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-1967-5828. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@kart.edu.ua.

Берестов Ігор В'ячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-1209-6885. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: berestov@kart.edu.ua.

Кущенко Максим Юрійович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-6020-7749. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: kucenko@kart.edu.ua.

Берестова Тетяна Тимофіївна, провідний інженер кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: berestova@kart.edu.ua.

Рабін Вікторія Віталіївна, магістрант, група 221-ОПУТ-Д19 Українського державного університету залізничного транспорту.

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.

Berestov Igor, PhD (Tech), Associate Professor, department of Railroad stations and junctions, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-1209-6885. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: berestov@kart.edu.ua.

Kutsenko Maksym, PhD (Tech), Associate Professor, department of Railroad stations and junctions, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-6020-7749. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: kucenko@kart.edu.ua.

Berestova Tatiana, Senior Engineer, department of Railroad stations and junctions, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: berestova@kart.edu.ua.

Rabin Victoria, master, group 221-OPUT-D19, Ukrainian State University of Railway Transport

Статтю прийнято 19.03.2021 р.