

УДК 656.2

В. І. БОБРОВСЬКИЙ<sup>1\*</sup>, Є. Б. ДЕМЧЕНКО<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 33-19-13, ел. пошта bvi1973@yandex.ua, ORCID 0000-0001-8622-2920

<sup>2\*</sup> Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-12, ел. пошта eugene\_demchenko@mail.ru, ORCID 0000-0003-1411-6744

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ З ГОРБАМИ РІЗНОЇ ВИСОТИ

В теперішній час експлуатація сортувальних комплексів залізничних станцій характеризується значною нерівномірністю вхідного потоку поїздів. В цьому зв'язку виникає необхідність оперативно змінювати режим роботи комплексу у відповідності до інтенсивності надходження поїздів в розформування. Для вирішення вказаної задачі була запропонована конструкція сортувальної гірки з горбами різної висоти. Даний сортувальний пристрій складається з основної та пониженої гірки. Використання основної гірки під час згущеного прибуття поїздів забезпечить високу інтенсивність розформування составів, а виконання розпуску на пониженій гірці в періоди зменшення обсягів переробки дозволить скоротити витрати енергоресурсів на сортувальний процес. Оцінка ефективності розробленої конструкції гірки виконана на основі імітаційного моделювання процесу розформування потоку составів. В результаті моделювання для основної та пониженої гірок встановлені залежності величин витрат палива гірковим локомотивом, інтервалу між відчепами на розділових стрілках, довжини вікон та швидкості співударання вагонів на сортувальних коліях від швидкості розпуску. Як показали дослідження, використання пониженої гірки для розформування составів не призводить до істотного погіршення показників сортувального процесу та дозволяє скоротити витрати палива в середньому на 10 %; при цьому для забезпечення сприятливих умов розділення відцепів розпуск на цій гірці доцільно виконувати зі зменшеною швидкістю.

*Ключові слова:* сортувальний комплекс, сортувальна гірка з горбами різної висоти, режим розформування составів, економія енергоресурсів.

В настоящее время эксплуатация сортировочных комплексов железнодорожных станций характеризуется значительной неравномерностью входящего потока поездов. В этой связи возникает необходимость оперативно изменять режим работы комплекса в соответствии с интенсивностью поступления поездов в расформирование. Для решения указанной задачи была предложена конструкция сортировочной горки с горбами различной высоты. Данное сортировочное устройство состоит из основной и пониженной горки. Использование основной горки во время сгущенного прибытия поездов обеспечит высокую интенсивность расформирования составов, а выполнение роспуска на пониженной горке в периоды уменьшения объемов переработки позволит сократить затраты энергоресурсов на сортировочный процесс. Оценка эффективности разработанной конструкции горки выполнена на основе имитационного моделирования процесса расформирования потока составов. В результате моделирования для основной и пониженной горок установлены зависимости величин расхода топлива горочным локомотивом, интервала между отцепами на разделительных стрелках, длины окон и скорости соударения вагонов на сортировочных путях от скорости роспуска. Как показали исследования, использование пониженной горки для расформирования составов не приводит к существенному ухудшению показателей сортировочного процесса и позволяет сократить расход топлива в среднем на 10%; при этом для обеспечения благоприятных условий разделения отцепов роспуск на этой горке целесообразно выполнять с уменьшенной скоростью.

*Ключевые слова:* сортировочный комплекс, сортировочная горка с горбами разной высоты, режим расформирования составов, экономия энергоресурсов.

Nowadays the operation of sorting complexes of railway stations is characterized by the considerable irregularity of the incoming flow of trains. In this regard, it is necessary to change dynamically the operation mode of the complex in accordance with the train arrival intensity. To solve this problem the hump with crests placed at different levels was designed. This classification device consists of the main and low humps. Usage of the first one during condensed arrival of trains provides high humping intensity. The application of the low hump at periods of falling traffic volumes will reduce the sorting process energy expenditure. The performance evaluation of the designed hump construction was made on the basis of the simulation of train flow breaking-up process. As a result of the simulation the dependencies of the fuel consumption rate, the time spacing between cuts, the car impact

velocity, the quantity and length of the spacing between cars at the classification tracks on the breaking-up speed were established for both humps. As studies showing the usage of the low hump for the trains breaking-up does not lead to a significant deterioration in the sorting process and reduces fuel consumption by an average of 10 %. At the same time to provide favorable conditions for cut separation the breaking-up process at this hump must be performed with reduced speed.

*Keywords:* sorting complex, hump with crests placed at different levels, humping mode, fuel consumption.

В сучасних умовах функціонування залізничного транспорту, які характеризуються падінням обсягів перевезень і постійним підвищенням вартості енергоресурсів, все більшої актуальності набувають проблеми скорочення експлуатаційних витрат, пов'язаних з розформуванням составів вантажних поїздів.

Відомо, що вхідний потік поїздів, які надходять у розформування, характеризується високим ступенем нерівномірності. В цьому зв'язку виникає необхідність оперативно змінювати інтенсивність сортувального процесу у відповідності до поточної ситуації на станції та підходах до неї. Крім того, як показали дослідження [1], на мережі залізниць України внаслідок падіння обсягів переробки вагонопотоків потужність переважної більшості сортувальних гірок (СГ) використовується не в повній мірі, що, як наслідок, негативно впливає на економічні показники процесу розформування составів.

Як показав аналіз публікацій, вирішення проблеми адаптації потужності сортувальних пристроїв до поточних експлуатаційних умов може виконуватись в декількох напрямках.

Так, в роботі [2] на СГ станцій, що знаходяться в зонах низьких температур, колії насуву запропоновано розташовувати в різних рівнях, розрахованих для роботи в зимових та літніх погодних умовах.

Авторами [3] з метою скорочення експлуатаційних витрат на розформування составів представлено проект перевлаштування СГ з однією колією насуву на сортувальній станції Батайськ (РФ) в суміщену гірку. Вказаним проектом передбачено, що для переробки порожніх вагонів необхідно реконструювати існуючу СГ шляхом збільшення її висоти та демонтажу першої та другої (для 1-го та 2-го пучків колій сортувального парку (СП)) гальмівних позицій. Розформування составів навантажених вагонів пропонується виконувати на колії 3-го пучка СП з гірки малої потужності, яку слід спорудити паралельно існуючій СГ. Економічний ефект від впровадження суміщеної гірки планується отримати за рахунок скорочення енерговитрат на гальмування відцепів та поточних витрат на утримання уповільнювачів і компресорного обладнання.

Як видно, вказані технічні рішення носять специфічний характер та не можуть бути в пов-

ній мірі використані для реалізації адаптивної технології розформування составів на залізничних станціях України.

З метою вирішення вказаної проблеми було розроблено сортувальну гірку з горбами різної висоти (рис. 1); при цьому вказаний сортувальний пристрій складається з основної (ОГ) та пониженої (ПГ) гірок. Висота ОГ розрахована згідно діючих вимог [4] та забезпечує скочування відцепів до розрахункової точки в несприятливих метеорологічних умовах. Зменшення висоти ПГ відносно ОГ досягнуто за рахунок використання мінімально допустимого ухилу, передбаченого [4] для швидкісної ділянки спускної частини гірок великої потужності. Насувна частина ОГ та ПГ запроектована у відповідності до типових рішень, наведених в [4]; при цьому насувна колія ОГ виконана з використанням профільного розділового елемента.

Як видно з рис. 1, поздовжній профіль ОГ відрізняється від профілю ПГ тільки в межах між початком насувної частини гірок та першою розділовою стрілкою. Таким чином, кожна з вказаних гірок може використовуватись як самостійний сортувальний пристрій, який забезпечує розпуск составів на всі колії сортувального парку.

Передбачається, що у відповідності до оперативної обстановки розформування составів повинно виконуватись на гірці різної висоти. При цьому в період згущеного прибуття поїздів доцільно використовувати ОГ, яка забезпечить високу інтенсивність сортувального процесу і, як наслідок, дозволить скоротити простій составів в очікуванні розформування та уникнути затримок поїздів на підходах до станції. І, навпаки, при відсутності черги в парку прийому сортувальна робота може здійснюватись зі зменшеною інтенсивністю на ПГ, що дозволить скоротити експлуатаційні витрати на насув та розпуск составів.

Оцінка запропонованої конструкції СГ з горбами різної висоти виконана на основі імітаційного моделювання процесу розформування потоку составів. З цією метою було побудовано моделі ОГ і ПГ та підготовлено 20 составів, які складаються з 57 вагонів, об'єднаних в 35 відцепів. Кількість вагонів у відцепі моделювалась як дискретна випадкова величина, закон розподілення якої прийнято згідно [5].

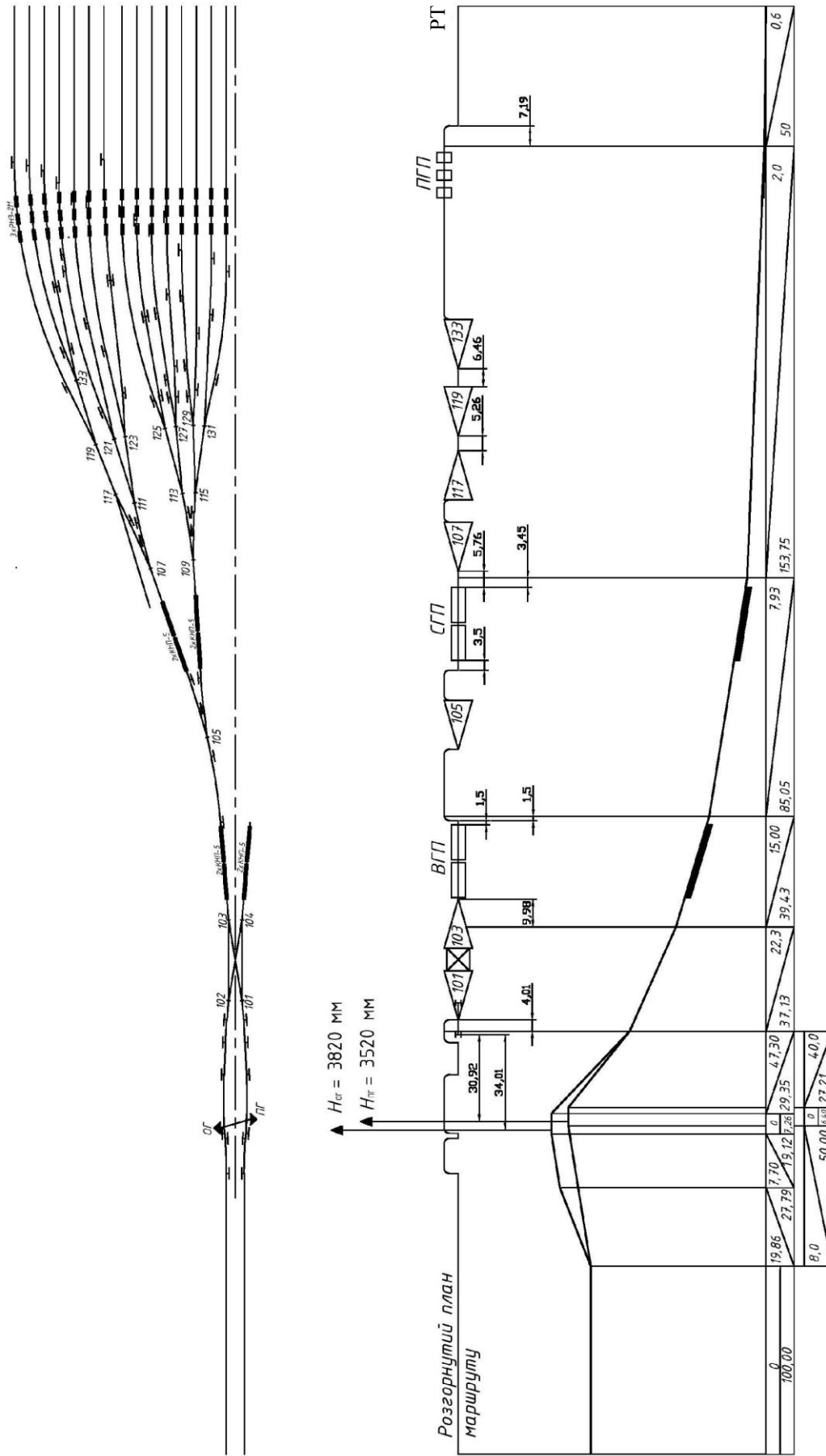


Рис. 1. Поздовжній профіль сортувальної гірки з горбами різної висоти

Потрібна дальність пробігу для кожного відчепа визначалась з врахуванням надходження на відповідні сортувальні колії вагонів з попередніх розформованих составів. Моделювання процесу розформування проводилось окремо для кожної гірки при різній швидкості розпуску ( $v_0 = 1,2; 1,5$  та  $1,7$  м/с) для зимових та літніх погодних умов.

Дослідження процесу насуву составів на ОГ та ПГ виконувалось за допомогою імітаційної моделі [6]; при цьому було прийнято, що розформування составів виконується маневровим тепловозом ЧМЭЗ, а колія парку прийому, з якої виконується насув, має підйом 2 ‰ в бік СГ. В результаті моделювання були визначені витрати палива  $G$  гірковим тепловозом на розформування составів при різній швидкості розпуску на кожній СГ (рис. 2).

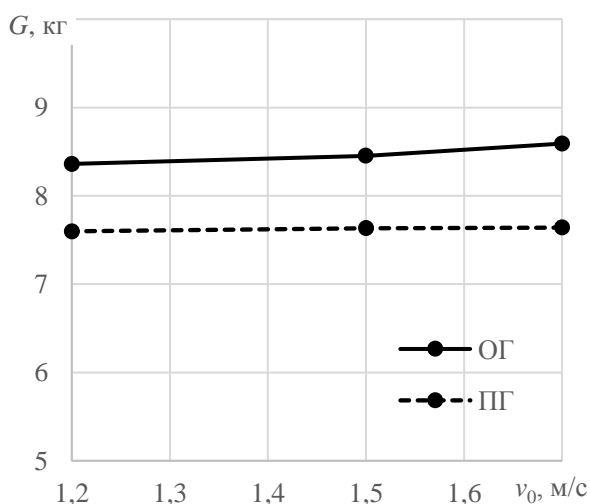


Рис. 2. Залежність витрат палива гірковим тепловозом від швидкості розпуску составів

Як видно з рисунка, витрати палива на розформування одного состава на ПГ в середньому на 10 % менші аналогічних витрат на ОГ; при цьому вказана різниця зростає зі збільшенням швидкості розпуску. В той же час величина  $G$  для кожної з гірок з підвищенням швидкості  $v_0$  від 1,2 м/с до 1,7 м/с збільшується неістотно. Вказана обставина пояснюється тим, що зміна швидкості руху на 0,5 м/с (1,8 км/год) несуттєво впливає на режим роботи дизеля тепловоза; при цьому зниження  $v_0$  призводить до відповідного зростання тривалості операцій насуву та розпуску.

Окрім витрат палива в результаті моделювання процесу насуву та розпуску составів було отримано початкові швидкості відчепів при їх відриві від составу на вершині гірки. Вказані швидкості були використані при подальшому

моделюванні скочування відчепів з ОГ та ПГ. При цьому слід зазначити, що у зв'язку з нерівномірністю руху маневрового состава отримані початкові швидкості відчепів дещо відрізняються від заданої швидкості розпуску. Врахування даної особливості при оптимізації режимів гальмування відчепів та при імітації їх скочування з гірки дозволило підвищити точність отриманих показників сортувального процесу.

Як зазначалося раніше, висота ПГ менша за розрахункову висоту, яка забезпечує скочування розрахункового поганого бігуна за несприятливих умов до розрахункової точки. В цьому зв'язку були виконані дослідження дальності пробігу  $S_{п}$  поганого бігуна при його скочуванні з ОГ та ПГ на розрахункову важку колію при різних значеннях початкової швидкості  $v_0$ , температури навколишнього середовища  $t$ , швидкості  $v_{в}$  та напрямку  $\beta$  вітру.

Як свідчать результати досліджень, з вказаної множини факторів на величину дальності  $S_{п}$  істотно впливають лише швидкість та напрямок вітру. При цьому для ОГ в зимових умовах при початковій швидкості відчепа  $v_0 = 1,2$  м/с та зустрічному вітрі швидкістю  $v_{в} = 0; 2; 5; 7$  м/с дальність пробігу  $S_{п}$  склала, відповідно, 642; 552; 426; 362 м. В той же час для ПГ при вказаних значеннях швидкостей  $v_0$  та  $v_{в}$  величина дальності  $S_{п}$  склала, відповідно, 606; 522; 406; 342 м, що в середньому на 6 % менше аналогічних показників для ОГ. Таким чином можна стверджувати, що конструкція ПГ не призводить до істотного скорочення дальності пробігу відчепів; при цьому з метою підвищення якості заповнення сортувальних колій вказану гірку доцільно застосовувати в умовах відсутності зустрічного вітру з високою швидкістю.

Одним з основних показників процесу розпуску є величина інтервалів  $\delta t$  між суміжними відчепами на розділових стрілках. В результаті моделювання розформування составів на ОГ та ПГ в зимових та літніх умовах при різній швидкості розпуску були отримані значення величини інтервалів  $\delta t$ . Як показали дослідження, випадкова величина  $\delta t$  у всіх випадках має нормальний розподіл. Статистична обробка результатів моделювання для кожної гірки дозволила встановити числові характеристики випадкової величини інтервалу  $\delta t$  при різній швидкості розпуску  $v_0$  в зимових (табл. 1) та літніх (табл. 2) умовах.

На основі вказаних даних для ОГ та ПГ отримано залежності середньої величини інтервалу  $M[\delta t]$  між суміжними відчепами на розділових стрілках від швидкості  $v_0$  (рис. 3).

Таблиця 1

**Числові характеристики випадкової величини інтервалу  $\delta t$  на стрілках (зимові умови)**

Гірка	$v_0$ , м/с	$M[\delta t]$ , с	$D[\delta t]$ , с <sup>2</sup>	$\sigma[\delta t]$ , с	$P(\delta t < 1 \text{ с})$
ОГ	1,2	13,028	14,402	3,795	0
	1,5	9,331	8,361	2,892	0
	1,7	7,681	5,381	2,320	0
ПГ	1,2	12,759	12,951	3,599	0
	1,5	9,119	8,192	2,862	0
	1,7	7,341	5,401	2,324	0,001

Таблиця 2

**Числові характеристики випадкової величини інтервалу  $\delta t$  на стрілках (літні умови)**

Гірка	$v_0$ , м/с	$M[\delta t]$ , с	$D[\delta t]$ , с <sup>2</sup>	$\sigma[\delta t]$ , с	$P(\delta t < 1 \text{ с})$
ОГ	1,2	12,912	11,230	3,351	0
	1,5	9,200	6,410	2,532	0
	1,7	7,665	3,891	1,972	0
ПГ	1,2	12,630	8,849	2,975	0
	1,5	8,894	5,945	2,438	0
	1,7	7,306	3,615	1,901	0

Як видно з рисунка, при збільшенні швидкості розпуску на ОГ з 1,2 м/с до 1,7 м/с математичне очікування інтервалу на розділових стрілках скоротилося в зимових умовах на 5,35 с (41 %), а в літніх – на 5,25 с (41 %). Аналогічно на ПГ спостерігається скорочення величини  $M[\delta t]$  в зимових умовах на 5,42 с (42 %), а в літніх – на 5,32 с (42 %). При цьому в результаті моделювання процесу розформування потоку составів було зафіксовано лише один випадок нерозділення відчепів, який виник під час розпуску на ПГ зі швидкістю  $v_0 = 1,7$  м/с в зимових умовах ( $P(\delta t < 1 \text{ с}) = 0,001$ ).

Слід зазначити, що різниця між величиною  $M[\delta t]$  на ОГ та ПГ достатньо невелика і складає при швидкості розпуску  $v_0 = 1,2$  м/с в зимових та літніх умовах, відповідно, 0,27 с та 0,28 с. Аналогічно, при швидкості  $v_0 = 1,7$  м/с вказана

різниця становить 0,34 с та 0,36 с. Таким чином можна стверджувати, що використання ПГ для розпуску составів не призводить до суттєвого погіршення умов інтервального регулювання швидкості відчепів; при цьому з метою підвищення надійності їх розділення сортувальну роботу на вказаній гірці доцільно проводити зі зменшеною швидкістю.

Іншою важливою характеристикою якості сортувального процесу є швидкість співударання вагонів  $v_c$  на сортувальних коліях, величина якої згідно з [7] не повинна перевищувати 5 км/год. Вказана вимога була виконана в результаті оптимізації режимів гальмування відчепів за методикою [8]. Числові характеристики випадкової величини  $v_c$  для ОГ та ПГ при різній швидкості розпуску представлені в табл. 3.

Таблиця 3

**Числові характеристики випадкової величини швидкості співударання вагонів  $v_c$**

Гірка	$v_0$ , м/с	$M[v_c]$ , м/с	$D[v_c]$ , (м/с) <sup>2</sup>	$\sigma[v_c]$ , м/с	$P(v_c > 1,5)$
ОГ	1,2	0,967	0,438	0,662	0
	1,5	0,988	0,431	0,656	0
	1,7	1,005	0,427	0,653	0
ПГ	1,2	0,962	0,440	0,664	0
	1,5	0,981	0,435	0,659	0
	1,7	1,003	0,427	0,654	0

Як видно з таблиці, зі збільшенням швидкості розпуску для ОГ та ПГ спостерігається незначне зростання математичного очікування  $M[v_c]$  швидкості співударання; при цьому в результаті моделювання не виявлено випадків перевищення допустимої величини вказаної швидкості ( $v_c \leq 1,5$  м/с). Крім того, величини  $M[v_c]$  для кожної швидкості розпуску на ОГ та ПГ практично однакові. Таким чином, запропонована конструкція гірки з горбами різної висоти дозволяє забезпечити реалізацію допустимої швидкості співударання відчепів.

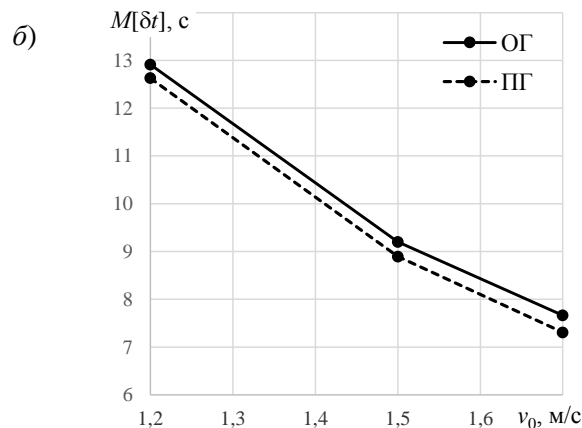
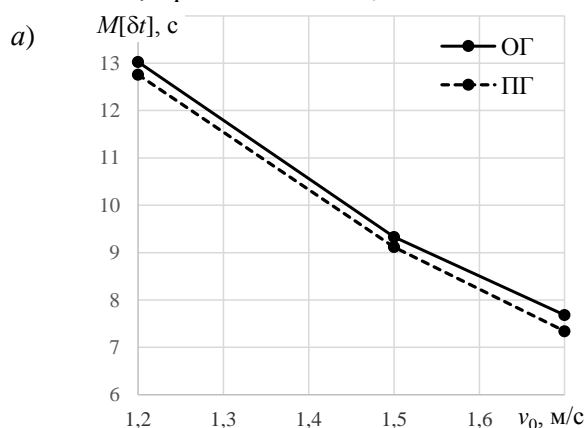


Рис. 3. Залежності середньої величини інтервалу  $M[\delta t]$  від швидкості розпуску  $v_0$ : а) зимові умови; б) літні умови

Висота гірки впливає і на дальність пробігу відчепів у сортувальний парк і, відповідно, на обсяг маневрової роботи з осаджування вагонів для ліквідації вікон між ними та пов'язані з її виконанням експлуатаційні витрати. З метою оцінки вказаного впливу в результаті моделювання процесу розформування потоку составів на ОГ та ПГ при різній швидкості розпуску  $v_0$  були отримані числові характеристики випадкової  $L_B$  величини довжини вікна на сортувальних коліях (табл. 4).

Як видно з таблиці, і для ОГ, і для ПГ збільшення швидкості розпуску  $v_0$  з 1,2 м/с до 1,7 м/с практично не впливає на кількість вікон. В той же час вказане підвищення швидкості призводить до скорочення математичного очікування довжини вікна на 6,6 м (4 %) для ОГ та на 5,5 м (3 %) для ПГ. При цьому під час розпуску з ПГ на сортувальних коліях утворюється в середньому на 6 % більше вікон, ніж при розпуску з ОГ.

На основі представлених в табл. 4 даних отримано залежності середньої довжини вікна  $M[L_B]$  в розрахунку на один відчеп (рис. 4, а) та на один перероблений вагон (рис. 4, б) від швидкості розпуску. Як видно з рисунка, вказані

питомі величини довжини вікон, які виникають під час розформування составів на ПГ, в середньому більші на 17 % від аналогічних показників, отриманих для ОГ. При цьому підвищення швидкості розпуску для обох гірок не призводить до істотного скорочення середньої довжини вікна  $M[L_B]$ . Так, при підвищенні швидкості  $v_0$  з 1,2 м/с до 1,7 м/с величина  $M[L_B]$  для ОГ та ПГ зменшилась, відповідно, на 0,6 м/ваг (0,93 м/відчеп) та 0,8 м/ваг (1,24 м/відчеп). Таким чином, використання ПГ для розформування составів не викликає істотного (в порівнянні з ОГ) зростання кількості та довжини вікон на сортувальних коліях.

Таблиця 4

**Числові характеристики випадкової величини довжини вікна  $L_B$**

Гірка	$v_0$ , м/с	$n$	$M[L_B]$ , м	$D[L_B]$ , м <sup>2</sup>	$\sigma[L_B]$ , м
ОГ	1,2	101	169,059	11 499,362	107,235
	1,5	101	164,604	11 550,339	107,473
	1,7	100	162,500	11 568,750	107,558
ПГ	1,2	108	182,870	10 887,131	104,341
	1,5	107	176,869	10 931,085	104,552
	1,7	106	177,358	11 244,438	106,040

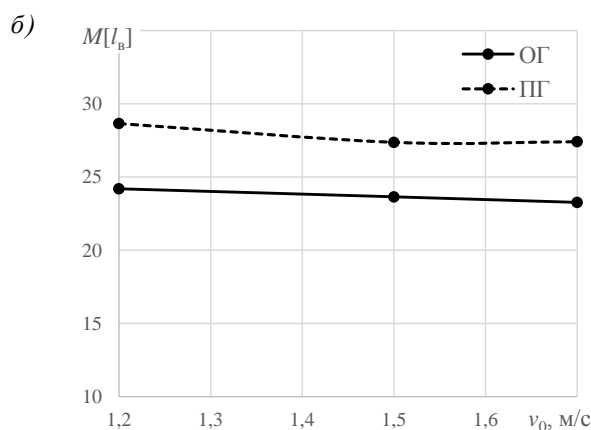
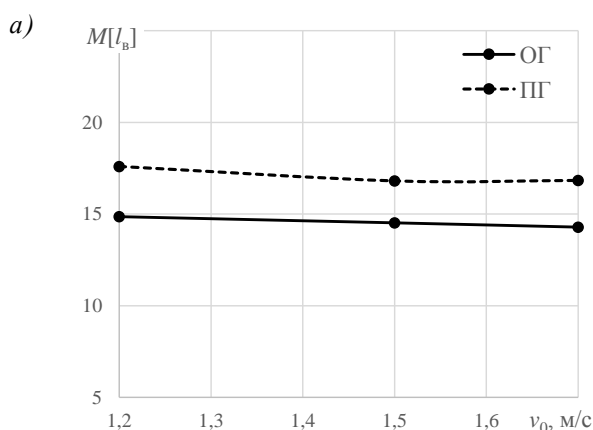


Рис. 4. Залежності середньої довжини вікна від швидкості розпуску в розрахунку: а) на один перероблений вагон; б) на один відчеп

Аналізуючи результати моделювання процесу розформування потоку составів на запропонованій гірці з горбами різної висоти, можна стверджувати, що в діапазоні швидкостей розпуску 1,2..1,7 м/с її конструкція забезпечує достатню якість та надійність сортувального процесу. Як показали дослідження, використання пониженої гірки для розформування составів не призводить до істотного погіршення параметрів процесу скочування відчепів та їх накопичення на сортувальних коліях; при цьому з метою збільшення інтервалів між відчепами на розділових стрілках розпуск на даній гірці доцільно

виконувати зі зменшеною швидкістю. В той же час слід зазначити, що конструкція пониженої гірки дозволяє скоротити витрати палива на виконання насуву та розпуску составів в середньому на 10 %.

Таким чином, розроблена конструкція гірки з горбами різної висоти може бути використана з метою реалізації адаптивної технології розформування составів; при цьому застосування основної гірки дозволяє забезпечити високу інтенсивність сортувального процесу, а пониженої – досягти економії енергоресурсів на насув та розпуск составів. Рішення щодо використання

основної чи пониженої гірки та відповідного режиму розформування конкретного складу на ній повинно прийматися в оперативних умовах у відповідності до поточної ситуації на станції та метеорологічних умов. При цьому основою для прийняття вказаного рішення може бути попередня оцінка його ефективності, виконана з використанням автоматизованої системи керування сортувальним комплексом, в склад якої повинна бути включена відповідна задача.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Макаренко, М. В. Проблеми та основні напрямки реформування залізничного транспорту України [Текст]: монографія / М. В. Макаренко, Ю. М. Цвєтов. – Київ: КУЕТТ. – 2007. – 222 с.
2. Бузанов, С. П. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных устройств [Текст]: учебное пособие для вузов / С. П. Бузанов, А. М. Карпов, М. А. Рыцарев. – Москва : Транспорт, 1965. – 232 с.
3. Жуков, В. А. Снижение эксплуатационных расходов при расформировании вагонов на совмещенных сортировочных горках [Текст] / В. А. Жуков, А. Д. Петрушин, Н. Н. Числов, О. Н. Числов // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 9. – С. 32-35.
4. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207-89. – Москва : Транспорт, 1992. – 104 с.

5. Совершенствование конструкции и технологии работы сортировочных комплексов железнодорожных станций [Текст]: монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, А. И. Колесник, Е. Б. Демченко, А. С. Дорош. – Днепропетровск : Изд-во Маковецкий, 2012. – 232 с.

6. Бобровський, В. І. Моделювання процесу насування та розпуску складів на сортувальній гірці [Текст] / В. І. Бобровський, Є. Б. Демченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. націон. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. націон. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. – Вип. 4. – С. 13-19.

7. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]: затв. наказом МТУ від 20.12.1996 р. № 411 / Мін-во трансп. України. – Київ : Поліграфсервіс, 2003. – 133 с.

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

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Бутько Т. І. (Україна)*

Надійшла до редколегії 17.12.2014.  
Прийнята до друку 19.12.2014.