

УДК 656.212.5

КУЦЕНКО М.Ю., канд. техн. наук

ТОКАРЕНКО С.О., магістрант

ВІВДИЧЕНКО С.В., аспірант

(Український державний університет залізничного транспорту)

Метод визначення положення одновагонних відцепів у момент їхнього відриву від состава при розпуску з гірки

Анотація. Найважливішим параметром сортувальної гірки є поздовжній профіль, від конструкції якого залежить продуктивність і безпека роботи всього сортувального комплексу. Окремим завданням є забезпечення відповідності параметрів поздовжнього профілю гірок проекту. У чинних правилах і нормах проектування сортувальних пристроїв подано діапазони допустимих значень визначення конструктивних параметрів перевальної частини гірок, при цьому методів і рекомендацій щодо визначення оптимальних значень не наведено. Отже, удосконалення методів розрахунку параметрів перевальної частини гірки є актуальним напрямом наукових досліджень. У статті розроблено новий аналітичний метод визначення положення одновагонних відцепів у момент їхнього відриву від состава під час розпуску з гірки, що забезпечує точність розрахунків, порівнянню з імітаційним моделюванням. Результати досліджень можуть бути використані при корегуванні норм проектування та утримання сортувальних гірок.

Ключові слова: сортувальна гірка, горб гірки, відцеп, точка відриву.

Вступ.

Сортувальні гірки є ключовими компонентами систем переробки потоків вагонів і визначають ефективність, надійність і результати їхньої роботи. Один із основних параметрів сортувальної гірки – це її поздовжній профіль, який впливає на продуктивність і безпеку всього сортувального комплексу. Особливо важливою є перевальна частина гірки, де состав розділяється на відцепи, створюються просторові інтервали між ними, що визначає різні параметри сортувального процесу, такі як швидкість розпуску, гірковий технологічний інтервал і переробна спроможність гірки.

Одним із важливих завдань є забезпечення відповідності параметрів поздовжнього профілю гірок проекту. Неоднорідності у профілі можуть призводити до зниження продуктивності і безпеки процесу сортування. Тому важливо вивчити вплив зміни поздовжнього профілю на експлуатаційні властивості гірки і визначити доцільність його корегування. У чинних правилах і нормах проектування сортувальних пристроїв наведено допустимі значення для параметрів гірок, але відсутні методи та рекомендації щодо визначення оптимальних параметрів. Отже, удосконалення методів розрахунку параметрів гірок є важливим напрямом наукових досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На сьогодні при розробленні та вдосконаленні конструкцій гірок для визначення моменту відділення вагонів від состава на гірці застосовують аналітичні методи. Ці методи базуються на припущенні, що момент відділення одновагонного відчепа на гірці відбувається в той момент, коли тангенс нахилу вагона до горизонтальної площини, еквівалентний питомій профільній прискорювальній силі чисельно перевищує сумарний питомий опір руху $\sum \omega$ [3–5]. Однак таке спрощене уявлення може призводити до появи неточностей під час розрахунків.

Застосування методу імітаційного моделювання процесу розпуску составів, який базується на концепції шарнірно-осьового подання відцепів, дає змогу отримувати більш точні результати згідно з дослідженнями [1, 2, 6]. За цією моделлю, від'єднання вагона від состава відбувається в той момент, коли середній нахил під осями вагона перевищує сумарне значення питомого опору руху. У зв'язку з тим, що вплив довжини бази візка вагона на розрахункове значення середнього нахилу є незначним, для спрощення подальших розрахунків у цьому дослідженні розглядають лише нахили колії під п'ятниками вагона. Умова від'єднання одновагонного відчепа від состава відповідно до шарнірно-осьової моделі вагона описується так [8]:

$$-(i_1 + i_2) / 2 > \sum \omega,$$

де i_1, i_2 – уклони поздовжнього профіля колії на горбі гірки під п'ятником вагона з боку насувної та спускної частин відповідно (знак мінус прийнято за прискорювального впливу уклону на відчеп), ‰;

$\sum \omega$ – сумарний питомий опір руху відчепа в момент відриву від состава, Н/кН.

У виразі (1) не враховано вплив нахилу поздовжньої осі вагона до горизонтальної площини, коли він проходить перевальну частину гірки. Тому в роботах [9, 10] використано рівняння рівноваги плоскої системи сил, що діють на п'ятники вагона, для виведення умови відриву одновагонного відчепа. Новий вираз враховує цей нахил:

$$\frac{\sin \alpha_2 \cos \alpha_1 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_2}{\cos \alpha_1 \cos \alpha_2 + \cos \alpha_2 \cos \alpha_1} > \sum \omega \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Подальше перетворення умови (3) дає змогу отримати таке:

$$\frac{tg \alpha_2 - tg \alpha_1}{2} > \sum \omega \cdot 10^{-3}$$

Водночас спрощену умову (4) доцільно перетворити до вигляду, аналогічному виразу (1):

$$\frac{-(i_1 + i_2)}{2} > \sum \omega,$$

де i_1, i_2 – значення уклонів поздовжнього профіля колії на горбі гірки під п'ятниками вагона з боку насувної та спускної частин відповідно (знак мінус

$$\frac{\sin \alpha_2 \cos(\alpha_1 + \beta) - \sin \alpha_1 \cos(\alpha_2 - \beta)}{\cos \alpha_1 \cos(\alpha_2 - \beta) + \cos \alpha_2 \cos(\alpha_1 + \beta)} > \sum \omega \cdot 10^{-3},$$

де α_1, α_2 – кути нахилу дотичних до лінії поздовжнього профілю перевальної частини гірки під заднім і переднім п'ятниками вагона відповідно;

β – кут нахилу поздовжньої осі вагона до горизонтальної осі.

Кути нахилу поздовжньої осі вагона на перевальній ділянці сортувальної гірки мають невелике значення (приблизно три градуси або менше). Тому в цій роботі припущено, що кут нахилу поздовжньої осі вагона до горизонтальної площини в момент відриву відчепа дорівнює нулю ($\beta = 0$), і вираз (2) набуває такого вигляду:

прийнято за прискорювального впливу уклону на відчеп), ‰.

Очевидно, що спрощена умова відриву одновагонного відчепа від состава (5), отримана з використанням рівняння рівноваги плоскої системи сил, має схожість із умовою відриву (1), яка базується на шарнірно-осьовій моделі, що використовують за імітаційного моделювання. Вирази (2) і (5) відрізняються в лівій частині, де визначають питому рушійну силу. Порівняння результатів розрахунку питомої рушійної сили, отриманих за допомогою виразу (2) і спрощених виразів (5) або (1), показало, що відносна різниця результатів не перевищує 0,2 % (табл. 1). Можна зробити висновок, що для практичного застосування при аналітичних розрахунках можна використовувати вираз (5).

Таблиця 1

Порівняння результатів розрахунку питомої рушійної сили, що діє на одновагонний відчеп

Уклон поздовжнього профілю колії під п'ятником вагона*, ‰		Кут нахилу поздовжньої осі вагона до горизонту, ‰	Питома рушійна (профільна) сила, Н/кН		Відносна різниця результатів, %
заднім	переднім		визначена з використанням виразу (2)	визначена з використанням спрощеного виразу (5)	
16	-20	10	2,00324	2,0	0,162
8	-10	5	1,00041	1,0	0,040
8	-20	0	6,00000	6,0	0,000
20	-30	-10	4,99375	5,0	-0,125
5	-25	-10	9,99775	10,0	-0,023
0	-25	-15	12,49766	12,5	-0,019
0	-50	-25	24,98438	25,0	-0,062
-20	-50	-35	34,99213	35,0	-0,022
-50	-50	-50	50,00000	50,0	0,000

Примітка. * – знак мінус приймається при прискорюючому впливі уклону на відчеп.

Визначення мети та завдання дослідження.

Метою дослідження є розроблення аналітичного методу визначення положення одновагонних відчепів у момент їхнього відриву від

состава при розпуску з гірки, який буде здатний забезпечити точність розрахунків, співставну з методом імітаційного моделювання за використання шарнірно-осьової моделі відчепа. Реалізація цієї мети

потребує постановки та вирішення таких завдань дослідження:

- визначити аналітичні залежності для опису проходження одновагонного відчепа по ділянках перевальної частини сортувальної гірки;
- визначити можливі варіанти розташувань п'ятників вагона на розрахункових ділянках у момент відриву від состава;
- сформулювати вирази для розрахунку координати точки відриву X_0 відповідно до різних варіантів розташувань п'ятників вагона;
- порівняти результати розрахунку координат одновагонних відцепів у момент їхнього відриву від состава, отриманих різними методами.

Основна частина дослідження.

Для отримання розв'язку нерівності (5) рекомендовано використовувати рівняння траєкторії руху п'ятників вагона по горбу гірки, які наведені в табл. 2. Для цього поздовжній профіль перевальної частини сортувальної гірки, показаний на рис. 1, розбивають на чотири ділянки, для кожної з яких складають рівняння траєкторії руху заднього та переднього п'ятників. При цьому тангенс кута нахилу дотичної до поздовжнього профілю горба гірки, який чисельно дорівнює уклону під п'ятником вагона, буде визначений через першу похідну рівняння його траєкторії руху.

Таблиця 2

Аналітичні залежності для опису проходження одновагонного відчепа по ділянках перевальної частини сортувальної гірки

Рівняння траєкторії руху п'ятників вагона на ділянках поздовжнього профілю горба гірки, $y = f(x)$		Рівняння тангенса кута нахилу дотичної під п'ятниками вагона на ділянках поздовжнього профілю горба гірки, $tg\alpha = y' = f'(x)$	
заднього	переднього	заднім	переднім
1	2	3	4
I – ділянка протиухилу			
$y_1 = i_n(x-l-T_n) \cdot 10^{-3}$, при $x-l \leq -2T_n$	-*	$tg\alpha_1 = i_n \cdot 10^{-3}$, при $x-l \leq -2T_n$	-*
II – ділянка вертикальної кривої з боку насувної частини			
$y_1 = -\frac{(x-l)^2}{2R_n}$, при $-2T_n < x-l < 0$	-*	$tg\alpha_1 = -\frac{x-l}{R_n}$, при $-2T_n < x-l < 0$	-*
III – ділянка вертикальної кривої з боку спускної частини			
$y_1 = -\frac{(x-l)^2}{2R_c}$, при $0 \leq x-l < 2T_c$	$y_2 = -\frac{(l+x)^2}{2R_c}$, при $0 < x+l < 2T_c$	$tg\alpha_1 = -\frac{x-l}{R_c}$, при $0 \leq x-l < 2T_c$	$tg\alpha_2 = -\frac{x+l}{R_c}$, при $0 < x+l < 2T_c$

Продовження табл. 2

1	2	3	4
IV – ділянка швидкісного елемента			
-*	$y_2 = -i_c(l+x-T_c) \cdot 10^{-3}$, при $x+l \geq 2T_c$	-*	$tg\alpha_2 = -i_c \cdot 10^{-3}$, при $x+l \geq 2T_c$

Примітки:

x – координата центра відчепа відносно вершини гірки, м;

l – половина бази вагона, м;

i_n – крутість протиухилу, ‰;

i_c – уклон швидкісного елемента, ‰;

R_n, R_c – радіуси вертикальних кривих з боку насувної і спускної частин відповідно, м;

T_n, T_c – значення тангенсів вертикальних кривих з боку насувної і спускної частин відповідно, м;

* – варіант не розглядають, оскільки при розташуванні п'ятника на цій ділянці відрив відчепа неможливий.

Під час подолання перевальної ділянки гірки можливі п'ять різних розташувань п'ятників вагона на розрахункових ділянках у момент відриву від состава (рис. 2).

Ця різноманітність обумовлена різними конструктивними параметрами гірок, різноманітністю моделей вагонів і різницею в значеннях сумарного питомого опору руху відцепів.

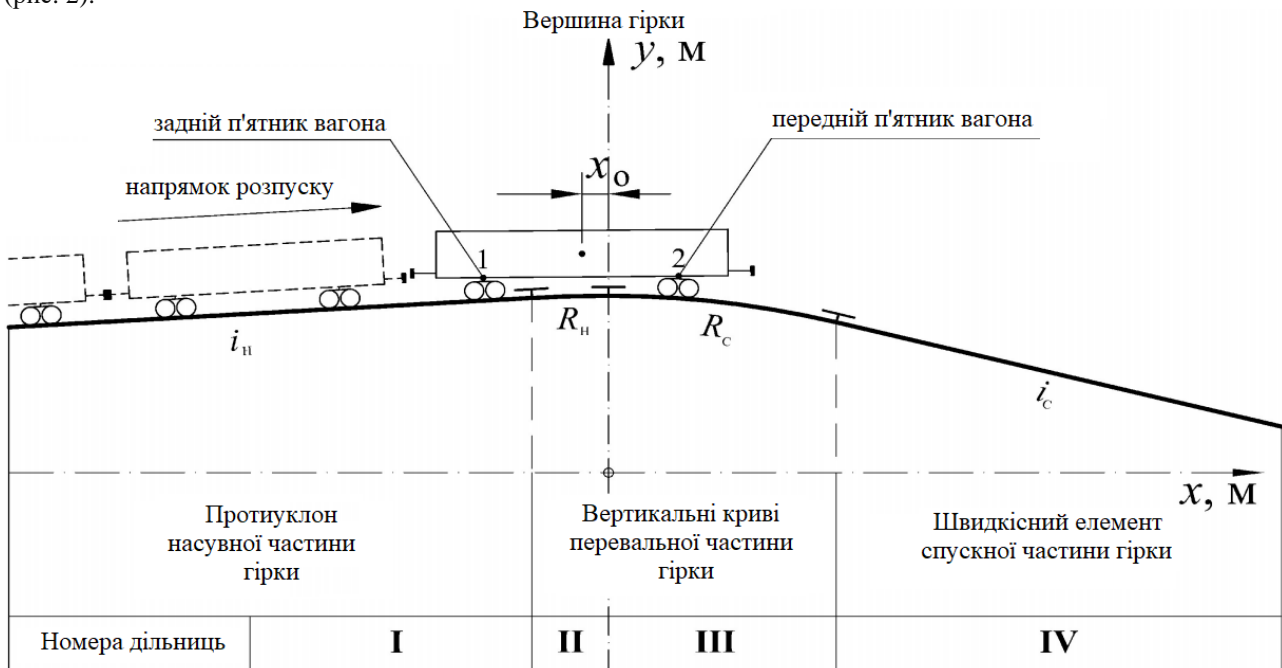


Рис. 1. Схема для визначення уклонів під п'ятниками вагона на ділянках поздовжнього профілю горба гірки

На рис. 1, 2 позначені зони гірки: I зона – насувної частини; III зона – вертикальна крива з боку спускної частини; IV зона – швидкісний елемент.

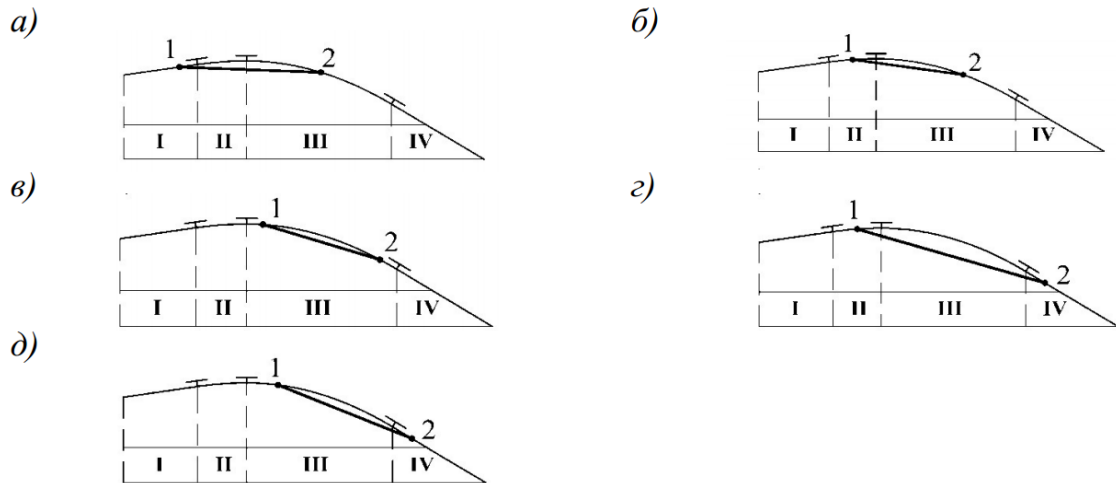


Рис. 2. Можливі варіанти розташування п'ятників вагона на горбі гірки в момент відриву одновагонного відцепу від состава

Очевидно, що для більшості типів гірок і конструкцій вагонів у момент відриву від состава найбільш імовірно місцезнаходження заднього п'ятника вагона буде на протиухилі, а переднього п'ятника – на вертикальній кривій з боку спускної частини або швидкісному елементі, як це показано на рис. 2, а. Отже, у першу чергу розраховують координати точки відриву x_0 відповідно до цього

розташування п'ятників, для чого підставляють у вираз (5) рівняння ухилів із табл. 2, які відповідають траєкторіям руху п'ятників вагона у вказаних зонах гірки. Отже, результатом розв'язання виразу (5) буде визначення координати центра вагона відносно вершини гірки в момент його відриву від состава за формулою

$$x_0 = R_c(2\sum\omega + i_n) \cdot 10^{-3} - l, \text{ якщо } \begin{cases} x_0 \leq l - 2T_n, \\ -l \leq x_0 \leq 2T_c - l. \end{cases} \quad (6)$$

У випадку, коли значення x_0 не задовольняє умови виразу (6), розташування п'ятників не буде відповідати розрахунковій схемі варіанта 1 (рис. 2, а).

$$x_0 = \frac{2\sum\omega \cdot 10^{-3} \cdot R_c R_n - l(R_n - R_c)}{R_n + R_c}, \text{ якщо } \begin{cases} l - 2T_n \leq x_0 \leq l, \\ -l \leq x_0 \leq 2T_c - l. \end{cases} \quad (7)$$

Зазначене положення є найбільш характерним для короткобазних вагонів, крутих протиухилів чи великих значень сумарного питомого опору руху відчепа в момент відриву.

У випадку, коли значення x_0 не задовольняє і умови виразу (7), виконують подальший розрахунок для варіанта 3 (рис. 2, в). При цьому задній і передній

$$x_0 = R_c \sum\omega \cdot 10^{-3}, \text{ якщо } \begin{cases} l \leq x_0 \leq 2T_c + l, \\ -l \leq x_0 \leq 2T_c - l. \end{cases} \quad (8)$$

Якщо значення x_0 не відповідає умовам виразу (8), потрібно провести додатковий розрахунок для варіанта 4 (рис. 2, г). Таке положення є малоймовірним і можливе лише у випадку ускладнення відриву довгобазних вагонів або

$$x_0 = R_n(2\sum\omega - i_c) \cdot 10^{-3} + l, \text{ якщо } \begin{cases} x_0 \geq 2T_c - l, \\ l - 2T_n \leq x_0 \leq l. \end{cases} \quad (9)$$

Якщо значення x_0 і в цьому випадку не відповідає умовам виразу (9), то розташування п'ятників буде відповідати варіанту 5 (рис. 2, д). Така ситуація є найменш імовірною і можливою лише за значного сумарного питомого опору руху відчепа в момент його відриву від состава, спричиненого

$$x_0 = R_c(2\sum\omega - i_c) \cdot 10^{-3} + l, \text{ якщо } \begin{cases} x_0 \geq 2T_c - l, \\ l \leq x_0 < 2T_c + l. \end{cases} \quad (10)$$

Якщо значення x_0 , отримане за допомогою формул (6)–(10), не відповідає умовам для застосування цих виразів, то відрив відчепа від состава буде неможливим через силу надзвичайно великого значення сумарного питомого опору руху.

Слід зауважити, що зазвичай достатньо провести розрахунок для визначення координати точки відриву, використовуючи лише формулу (6), і лише за певних умов може знадобитися додатковий розрахунок за допомогою формули (7). Потреба в подальшому застосуванні формул (8)–(10) може

Тому необхідно зробити додатковий розрахунок для варіанта 2 (рис. 2, б) за формулою

п'ятники розташовують на вертикальній кривій з боку спускної частини. Таке положення можливе при ускладненні відриву вагонів і за високих значень сумарного питомого опору руху відчепа в момент його відриву. Для варіанта 3 координату відриву розраховують за формулою

незначного уклону швидкісного елемента, або значної суми питомого опору руху на момент відриву. Для варіанта 4 координата центра вагона в момент відриву визначатиметься за такою формулою:

сильним зустрічним вітром або (і) високим опором роз'єднанню взаємодіючих автозчеплень. У цьому випадку розрахунок координати проводиться за формулою

виникнути лише в разі високих значень сумарного питомого опору руху відчепа, що є малоймовірним.

У роботі було проведено аналіз координат точок відриву, визначених за допомогою розробленого аналітичного методу, і їхнє порівняння з результатами, отриманими за допомогою інших аналітичних методів. Порівняння було проведено для різних типів вагонів, конструктивних виконань горбів гірок і різних значень сумарного питомого опору руху в момент відриву (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняння результатів розрахунку координат одновагонних відчепів у момент їхнього відриву від состава, отриманих різними методами

Параметри профіля переваль-ної	Сумарний питомий опір руху відчепа,	Координата центра вагона (критий вагон довжиною 14,73 м / напіввагон довжиною 13,92 м) відносно вершини гірки в момент відриву від состава, м	
		Аналітичні методи	Метод

частини гірки	H/кН	Розроблений метод	Метод [3]	Метод [4, 11]	Метод [5]	імітаційного моделювання (крок 0,01 м)
$i_n = 5^0 / 00;$ $i_c = 50^0 / 00;$ $R_n = 350 \text{ м};$ $R_c = 250 \text{ м}$	0,5	-3,50/-2,83	0,13/0,13	-0,66/-0,40	-0,90/-0,58	-3,51/-2,84
	4,5	-1,50/-0,83	1,13/1,13	0,85/0,98	0,72/0,92	-1,51/-0,84
	10	1,25/1,92	2,50/2,50	2,45/2,48	2,47/2,55	1,22/1,85
	15	3,54/3,65	3,75/3,75	3,75/*	3,81/*	3,37/3,62
	25	6,25/6,25	6,25/6,25	*	*	6,247/6,246
	35	10,00/9,33	8,75/8,75	*	*	10,00/9,33
$i_n = 20^0 / 00;$ $i_c = 35^0 / 00;$ $R_n = 400 \text{ м};$ $R_c = 300 \text{ м}$	0,5	-0,54/-0,45	0,15/0,15	-0,12/-0,07	*	-0,544/-0,449
	4,5	0,83/0,93	1,35/1,35	1,23/1,27	*	0,82/0,92
	10	2,71/2,81	3,00/3,00	2,98/3,00	*	2,71/2,81
	15	4,43/4,50	4,50/4,50	*	*	4,40/4,45
	25	9,50/8,83	7,50/7,50	*	*	9,50/8,83

Примітка. * – застосування розрахункової формули неможливе через вихід вихідних даних за область допустимих значень.

У результаті використання спрощеної моделі вагона за аналітичних розрахунків, виконаних за методами, описаними в джерелах [3–5], було виявлено, що під час відриву одновагонних відцепів від состава їхнє положення може бути віддалене в бік спускної частини гірки на декілька метрів, що може призвести до неточностей у гіркових розрахунках.

Висновки.

Порівняння результатів, отриманих за допомогою аналітичного методу, розробленого в цьому дослідженні, з результатами, отриманими за допомогою методу імітаційного моделювання скочування вагонів з гірки в разі використання шарнірно-осьової моделі [6, 7], показало, що відхилення в координатах точок відриву одновагонних відцепів, отримане цими двома методами, не перевищує 0,01–0,2 м. Це свідчить про високу точність розрахунків за запропонованим методом.

Новий аналітичний метод ілюструє взаємозв'язок між впливовими факторами і забезпечує високу точність розрахунків при значно меншій трудомісткості порівняно з методом імітаційного моделювання. Порівняно з іншими аналітичними методами [3–5] запропонований метод не має обмежень на діапазон можливих вхідних значень параметрів гірки та величини питомого опору руху.

У розробленому методі розглядають лише одновагонні відцепи, оскільки саме вони використані для гіркових розрахунків. Це важливо для визначення

гранично допустимих рівнів технічних і технологічних параметрів гірок, що впливає на результати розпуску состава. Розроблення аналітичних методів визначення положення точок відриву багатовагонних відцепів є окремим завданням, яке може бути вирішено в майбутньому з використанням розроблених у цьому дослідженні підходів.

Список використаних джерел

1. Муха Ю. О., Харланович І. В., Шейкин В. П. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях: Транспорт, 1985. 248 с.
2. Бобровський В. І., Козаченко Д.М. Моделювання процесу скочування відцепів з сортувальної гірки. *Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ: ДЕТУТ, 2010. Вип. 16. С. 20–29.
3. Огар О. М. Удосконалення наукового підходу до розрахунку раціональних параметрів поздовжнього профілю спускної частини сортувальних гірок. *Східно-український журнал передових технологій*. Харків, 2009. Вип. 5/3 (41). С. 11–15.
4. Болвановська Т. В. Розрахунок переробної спроможності сортувальних комплексів. *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна*. 2014. Вип. 8. С. 27-34.
5. Огар О. М. Удосконалення підходів до управління процесом скочування відцепів з гірки. *Збірник наукових праць Укр. держ. ун-ту залізнич.*

трансп. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 158. Т. 1. С. 18-22.

6. Берестов І. В., Огар О. М., Ахієзер О. Б., Куценко М. Ю. До питання розробки методики комплексного розрахунку оптимальних конструктивних параметрів сортувальних гірок. *Східно-європейський журнал передових технологій*. Харків, 2009. Вип. 2/3 (38). С. 56-59.

7. Муха Ю. О., Муратов А. А. Імітаційне моделювання процесу скочування відчепів при виконанні гіркових розрахунків. *Механізація та автоматизація сортувального процесу на станціях: міжвуз. зб. наук. праць*. Дніпропетровськ: 1990. С. 11-20.

8. Огар О. М. Розрахунок координат осей вагона при скочуванні відчепів з гірки. *Збірник наукових праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2014. Вип. 143. С. 16-21.

9. Оптимізація режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках: монографія / В. І. Бобровський, Д. М. Козаченко, М. П. Божко [та ін.]. Дніпропетровськ: Вид-во Маковецький, 2010. 260 с.

10. Шабельников О. М. Системи автоматизованих сортувальних гірок на базі промислових комп'ютерів. *Автоматика, зв'язок, інформатика*. 2001. № 11. С. 13-16.

PhD (Tech.) M. Kutsenko, postgraduate student S. Tokarenko, master S. Vivdychenko METHOD FOR DETERMINING THE POSITION OF SINGLE RAILCARS AT THE MOMENT OF THEIR DETACHMENT FROM THE TRAIN DURING DOWNHILL DISSOLUTION

Abstract. The most important parameter of the hump yard is the longitudinal profile, the design of which determines the productivity and safety of the entire sorting complex operation. Of particular significance is the crest section of the hump, where the composition is distributed into cuts and initial spatial intervals are formed between them, which largely define the indicators of the entire sorting process, such as uncoupling speed, technological hump interval, and hump processing capacity.

A separate task is to ensure compliance with the parameters of the longitudinal profile of the project humps. Changes in the profile that occur during operation can lead not only to a decrease in hump productivity but also to a reduction in the level of sorting process safety.

Therefore, one of the important areas of research is to determine the impact of changes in the longitudinal profile of the crest section on the operational properties of the hump and to determine the feasibility of its correction, including economic criteria.

The existing rules and norms for designing sorting devices provide ranges of permissible values for determining the structural parameters of the crest sections of the humps, but methods and recommendations for determining optimal values are not provided. Thus, improving methods for calculating the parameters of the

crest section of the hump is a relevant direction for scientific research.

The methodological and theoretical basis of the research conducted in the article is the works of domestic and foreign scientists in the field of designing and operating humps. When solving tasks, data collection and processing on the operation of humps, analysis of longitudinal profile shooting materials, and field observations of the sorting process were carried out. The positions of the experimental design theory and reliability theory were used in the work.

The article proposes a new analytical method for determining the position of single-car cuts at the moment of their detachment from the composition during hump uncoupling, which ensures calculation accuracy comparable to simulation modeling. The results of the research can be used in adjusting the design standards and maintenance of sorting humps.

Keywords: *sorting hump, hump crest, railcars, detachment point.*

Куценко Максим Юрійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-6020-7749. Тел.: +38 (068) 953-37-86. E-mail: kucenko@kart.edu.ua.

Токаренко Сергій Олександрович, аспірант кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: +38 (050) 981-25-21. E-mail: maksimus84@meta.ua.

Вівдиченко Сергій Валентинович, магістрант, група 221-ОПУТ-Д22, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: +38 (066) 268-55-57. E-mail: kucenko@kart.edu.ua.

Kutsenko Maksym, PhD (Tech). Associate Professor, department of railway stations and units, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-6020-7749. Tel.: +38 (068) 953-37-86. E-mail: kucenko@kart.edu.ua.

Tokarenko Serhii, postgraduate student, department of railway stations and units, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 (050) 981-25-21. E-mail: maksimus84@meta.ua.

Vivdychenko Serhii, master, Group 221-ОПУТ-Д22, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 (066) 268-55-57. E-mail: kucenko@kart.edu.ua.