

УДК 656.212

*О.О. Незнаєв,
канд. техн. наук С.В. Кошевий*

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК ЗА РАХУНОК СКОРОЧЕННЯ ВАГОННИХ СПОВІЛЬНЮВАЧІВ ТРЕТЬОЇ ГАЛЬМІВНОЇ ПОЗИЦІЇ

Представив д-р техн. наук, професор В.І. Мойсеєнко

Вступ. Невід'ємною частиною перевізного процесу на залізничному транспорті є технологічна робота, пов'язана з переробкою вантажних поїздів на сортувальних станціях. У сучасних умовах, коли зростають вимоги до економічної ефективності залізничного транспорту, роль сортувальних станцій, і особливо сортувальних гірок, не лише не знизилася, але ще більше зросла. Адже значною мірою від роботи сортувальної станції залежить час доставки вантажів клієнтам, скорочення простоїв вагонів, забезпечення їх збереження, а також підсумки роботи всієї мережі залізниць.

Постановка проблеми. Системи залізничної автоматики (ЗА), у тому числі і гіркової автоматичної централізації (ГАЦ), що функціонують на сьогодні на залізницях України, розроблялися в минулому столітті, істотно застаріли і мають ряд недоліків [1]:

- не задовольняють сучасні вимоги комплексної автоматизації перевізного процесу;
- недостатня швидкодія;
- низька інформативність, заснована на простоті елементної бази;
- орієнтованість на перехід до ручного управління в будь-яких нестандартних ситуаціях;

- відсутність засобів діагностики і контролю параметрів системи;
- мала автоматизація процесу технічної обробки вантажних вагонів (рівень механізації 22 сортувальних гірок 15 станцій – всього 60 %);
- стримують процеси масового впровадження в галузь нових інформаційних технологій;
- вимагають значних експлуатаційних витрат, регламентних методів обслуговування для підтримки їх працездатного стану.

Таким чином, більшість традиційних технологій вичерпали свій резерв підвищення економічної і технологічної ефективності. Тому подальше інвестування засобів у старі ресурсозатратні технології означає неминуче зниження конкурентоспроможності залізничного транспорту.

У сучасних економічних умовах процес оновлення і переоснащення господарства сигналізації та зв'язку вимагає залучення значних капіталовкладень для впровадження сучасних технічних засобів і технологій. Тому сьогодні при експлуатації діючих пристроїв ЗА актуальною є проблема енергозбереження, зменшення матеріальних та експлуатаційних витрат.

Аналіз досліджень і публікацій. На залізницях України експлуатується 54 сортувальні станції, на яких є гірки великої та середньої потужності. На них встановлено більше 5000 одиниць гальмівної гіркової техніки різних типів. Усі вони розроблялися з урахуванням вантажообігу колишнього СРСР, а із набуттям Україною незалежності об'єми вантажних перевезень скоротилися втричі.

Вагонні сповільнювачі, призначені для експлуатації на спусковій частині гірки і сортувальних коліях, були розроблені і поставлені на виробництво у 80-х роках минулого століття. У той же час ними обладнувалися і сортувальні гірки.

При цьому спускова частина гірки обладнувалася балочними вагонними сповільнювачами важкого типу, такими як КВ-3 або КНП-5, що встановлюються, як правило, попарно, а паркові сортувальні колії – легкими сповільнювачами типу РНЗ-2, які встановлювалися по 3 одиниці на гальмівній позиції (ГП) [2]. Це зумовлено застосуванням на сортувальних гірках технології інтервально-прицільного регулювання швидкості скочування відчепів, згідно з якою гірки обладнують ГП, що розташовуються, як правило, відповідно перед розподільною стрілкою (І ГП), за пучковою стрілкою (ІІ ГП), і на початку паркових колій (ІІІ ГП).

Час і досвід експлуатації цих сповільнювачів дозволив систематизувати їхні недоліки і виділити головні:

- складність і громіздкість конструкції;
- надмірна питома металоемність при низькій допустимій швидкості входу відчепів на сповільнювач;
- значна витрата енергоресурсів на одиницю гальмівної потужності;
- велика інерційність спрацьовування і нестабільність гальмівних характеристик.

Вказані недоліки дуже ускладнили їх експлуатацію, збільшили вірогідність

пошкодження вагонів і вантажів у процесі розформування поїздів, призводили до значних енергетичних і ресурсовитрат.

У зв'язку з цим виникла проблема розроблення і впровадження сучасних гальмівних механізмів, а також організації їх ефективної експлуатації, включаючи обслуговування і ремонт.

З'явилася необхідність у реконструкції головних сортувальних станцій із заміною гіркових і паркових вагонних сповільнювачів, що виробили ресурс, на гальмівні пристрої нового покоління, що відповідають сучасним експлуатаційно-технічним вимогам, у першу чергу з надійності і економічності, а також з металоємності, швидкодії і трудовитрат на обслуговування. У той же час стає актуальним перерахування необхідної потужності гальмових засобів. У зв'язку з багаторічною експлуатацією сортувальних гірок на них суттєво змінилися поздовжній і поперечний профілі, опір, що долається відчепами при скочуванні з гірки, та ін. Це має підвищити ефективність використання вагонних сповільнювачів для сучасних умов скочування відчепів з гірки.

Мета роботи – розроблення заходів щодо зниження експлуатаційних витрат на утримання сортувальних гірок, що дозволить досягти економічного ефекту без істотних капіталовкладень і реконструкції діючих пристроїв, а також без суттєвого впливу на вантажообіг реалізувати подальшу оптимізацію сортувального процесу.

Визначення інформаційних ознак для вирішення завдання управління скочування відчепів на сортувальній гірці. Основним критерієм при завданні регулювання швидкості скочування відчепів є досягнення необхідної величини гасіння і забезпечення плавності зниження швидкості. Тому пропонується ввести поняття початкового і кінцевого (бажаного) стану керованого об'єкта, що позначаються відповідно як

$$S_H^i = (x_{H1}^i, \dots, x_{Hm}^i), \quad (1)$$

$$S_K^i = (y_{K1}^i, \dots, y_{Kn}^i), \quad (2)$$

де i – номери ситуацій;

$x_{Hp}^i, p = \overline{1, m}, y_{Kq}^i, q = \overline{1, n}$ – ознаки, що характеризують початковий і кінцевий стани.

Для керування Ш ГП сортувальної гірки приймаємо такі початкові параметри [3]:

- x_1 – маса вагона, що впливає на силу опору відчепа, що скочується;
- x_2 – тип підшипника, що значною мірою впливає на процес скочування взимку і на пологих ділянках гірки;
- x_3 – температура навколишнього середовища;
- x_4 – профіль колії, що впливає на ступінь прискорення при скочуванні залежно від ступеня ухилу;
- x_5 – стан верхньої будови колії, що впливає на тертя кочення і тертя ковзання колісних пар по рейках;
- x_6 – швидкість відчепа, що впливає на ступінь подальшого гальмування і визначення місця зупинки відчепа;
- x_7 – тип маршруту, від якого залежить опір руху відчепів від кривих у колії (включаючи криві стрілочних переводів), що виникає від тертя у вузлах вагонів при вході і виході з кривої і від

тертя об зовнішню рейку кривої коліс, що притискуються до нього дією інерційної відцентрової сили. Цей опір залежить в основному від швидкості скочування відчепів так само, як і опір від ударів об гостряки і хрестовини на стрілках;

- x_8 – пора року, що впливає на опір руху вагона від снігу та інею, який слід враховувати для зимових умов у межах стрілочної зони і на сортувальних коліях, встановлюється залежно від маси вагонів (x_1) і температури навколишнього середовища (x_3).

Кінцеві параметри:

- y_1 – прискорення відчепа по всьому маршруту;
- y_2 – інтервал слідування відчепів;
- y_3 – швидкість входу відчепів у Ш ГП;
- y_4 – зіткнення відчепа з вагонами в парку формування зі встановленою швидкістю;
- y_5 – зупинка відчепа в розрахунковій точці.

Кінцеві параметри є розрахунковими і знаходяться виходячи зі значень початкових параметрів $x_1 - x_8$.

Для визначення динаміки скочування вагона по початкових ознаках у роботі [3] використані диференціальні рівняння руху вагона і теорема про зміну кінетичної енергії.

Розглянемо вагон, який рухається по похилій площині (рис. 1).

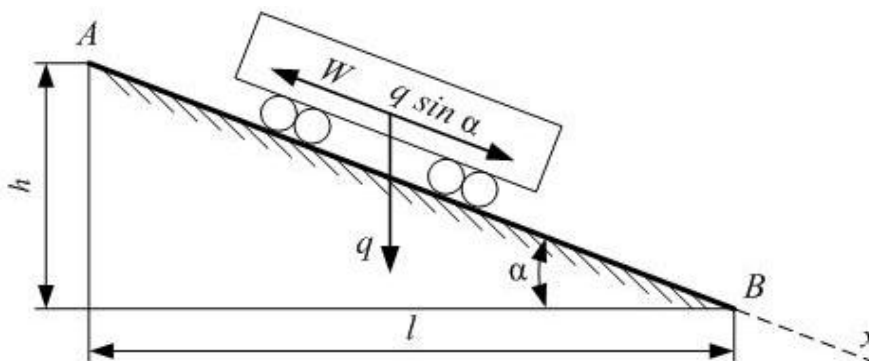


Рис. 1. Сили, які діють на вагон при скочуванні з гірки

На нього діє сила тяжіння q і сила опору W (вагон приймаємо за матеріальну точку). Диференціальне рівняння руху вагона уздовж осі Ax має вигляд

$$mx = q \cdot \sin \alpha - W, \quad (3)$$

де m , x – відповідно маса та прискорення вагона.

Враховуючи, що величина кута α не перевищує 3° (при максимальних значеннях ухилів на гірці), приймаємо

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l} = i \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

де i – уклін, ‰.

Крім того, приблизно можна вважати, що сила опору пропорційна вазі вагона. Тому

$$W = qw \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

де w – загальний питомий ходовий опір вагона, кгс/тс або ‰.

Тепер диференціальне рівняння руху вагона набуває вигляду

$$mx = q(i - w) \cdot 10^{-3}. \quad (6)$$

З рівняння (6) видно, що якщо на деякій ділянці гірки $i > w$, вагон рухається прискорено, при $i < w$ – сповільнено, при $i = w$ – рівномірно.

Для довгих відчепів, що знаходяться на декількох елементах гіркового профілю, профільну силу (питому силу тяжіння) визначають за середньозваженим ухилом \bar{i} руху центра тяжіння в цей момент:

$$i = \frac{\sum_{j=1}^k i_j \cdot q_j}{\sum_{j=1}^k q_j}, \quad (7)$$

де i_j – уклін, на якому знаходиться j -й вагон відчепа;

q_j – вага j -го вагона відчепа;

k – кількість вагонів у відчепі.

З наведеного диференціального рівняння можна отримати величину загального питомого ходового опору вагона:

$$w = i - \frac{a}{g} \cdot 10^{-3}, \quad (8)$$

де $a = x$;

q – приведені прискорення сили тяжіння з урахуванням впливу частин вагона, що обертаються.

Звідси випливає, що завдання визначення величини w , що характеризує ходові властивості вагона, пов'язане з вимірюванням прискорення вагона на ділянці.

Розглянемо питання про енергетичну висоту, за величиною якої зручно вести облік сил, які діють на вагон, що скочується.

Згідно з теоремою про зміну кінетичній енергії

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = q(i - w) \cdot l \cdot 10^{-3}. \quad (9)$$

Тут права частина є роботою сили тяжіння і середньої сили опору на ділянці l , ухил якого i ; v_0 та v_1 – відповідно початкова і кінцева швидкості руху вагона на ділянці l .

Виразивши величину m через $\frac{q}{g}$, і скоротивши на q обидві частини рівності, отримаємо рівняння кінетичної енергії, віднесене до одиниці ваги вагона:

$$\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} = q(i - w) \cdot l \cdot 10^{-3}. \quad (10)$$

Переходячи до енергетичних висот

$$h_{v_1} - h_{v_2} = (i - w) \cdot l \cdot 10^{-3}. \quad (11)$$

Стосовно сортувальної гірки (рис. 2) будемо мати

$$h + h_{v_0} = h_{v_1} + h_w, \quad (12)$$

або

$$h_{v_1} - h_{v_0} = h - h_w, \quad (13)$$

де h_{v_1} – енергетична висота вагона наприкінці ділянки, l ;

h_{v_0} – енергетична висота, що відповідає початковій швидкості (швидкості розпуску);

h – висота похилої площини (висота гірки);

h_w – робота сил опору (втрата енергетичної висоти), витрачена на подолання всіх видів опору на ділянці l .

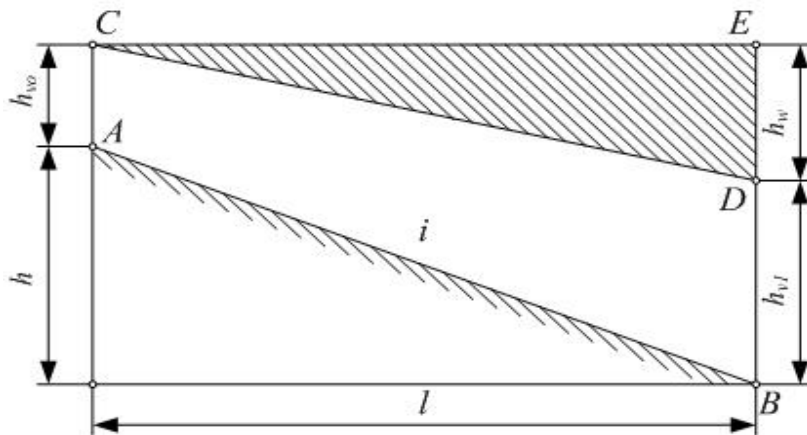


Рис. 2. Графічне зображення енергетичних висот

Геометричне місце енергетичних висот опорів, відкладених вниз по горизонтальній прямій (лінія CE), називається лінією енергетичних висот $hw = f(l)$ (лінія CD). Висота h_w , виміряна в будь-якій точці профілю по вертикалі між лінією профілю AB і лінією енергетичних висот CD , характеризує вільну або залишкову енергетичну висоту вагона в даній точці. За величиною вільної енергетичної висоти вагона легко

визначити його швидкість, м/с:

$$v = \sqrt{2g \cdot h_v}. \quad (14)$$

Величина приведенного прискорення сили тяжіння g' залежить від відношення ваги частин вагона, що обертаються, до його повної ваги, тобто від числа осей і навантаження, і може бути підрахована за формулою

$$g = \frac{9,81}{1 + \gamma}, \quad (15)$$

де g – прискорення сили тяжіння, дорівнює 9,81 м/с²;

γ - коефіцієнт збільшення маси вагона при врахуванні його частин, що обертаються, дорівнює $\frac{0,42n}{g}$. Тут n – число осей; q - вага вагона брутто, тс.

Тоді

$$g = \frac{9,81}{1 + \frac{0,42n}{q}}. \quad (16)$$

Місце зупинки вагона визначається як точка перетину лінії енергетичних висот з лінією профілю ($h_v = 0$). Виходячи з цього

умову докочування розрахункового бігуна до розрахункової точки (точки прицілювання) можна записати таким чином:

$$H_{\Gamma} = h_{v_0} \geq h_w. \quad (17)$$

Втрати енергетичних висот при вільному скочуванні та частковому гальмуванні. Згідно з визначеними початковими параметрами розраховуємо втрати енергетичних висот. Розрахункові параметри бігунів наведено у табл. 1.

Питомі роботи сил опору ($h_{v_0}, h_{v_{св}}, h_{v_{ск}}$) визначаються згідно з роботою [4]. Дані розрахунків зведені в табл. 2 і 3. Криві $h_w^{on}(S)$ і $h_w^{ox}(S)$ згідно з табл. 2 та 3 наведено на рис. 3.

Таблиця 1

Розрахункові параметри бігунів

Характеристики бігунів	Розрахункові бігуни			
	ОП	П	Х	ОХ
Розрахункова вага, тс	22	25	70	85
Основний питомий опір w_0 , кгс/тс	4,5	4,0	0,8	0,5

Таблиця 2

Розрахунок даних для побудови кривих енергетичних висот для ОП

№ ділянки	Довжина розрахункових ділянок, м	ОП, піввагон, $q = 22$ тс, $w_0^{on} = 4,5$ кгс/тс, $S = 8,5$ м ² , розрахунковий румб – північний, $\beta = 50^0$, $t = -21^0$ С										
		v_0 , м/с	α , °	C_x	v_i , м/с	v_{om}^2	$w_{св}$, кгс/тс	$h_{w_{св}}$, м.е.в.	h_{w_0} , м.е.в.	$h_{w_{ск}}$, м.е.в.	$h_{w_i}^{OP}$, м.е.в.	$\sum h_{w_i}^{OP}$, м.е.в.
1	45,50	5,0	27,32	1,78	4,2	69,6	3,38	0,154	0,205	0,017	0,376	0,376
2	127,90	5,0	23,72	1,80	5,5	90,6	4,45	0,570	0,576	0,243	1,389	1,765
3	167,90	5,0	25,00	1,80	5,0	82,1	4,03	0,678	0,756	0,280	1,714	3,479
4	66,10	5,0	35,12	1,59	2,0	44,3	1,92	0,127	0,297	0,012	0,436	3,915

Розрахунок даних для побудови кривих енергетичних висот для ОХ

№ ділянки	Довжина розрахункових ділянок, м	ОХ, піввагон, $q = 85$ тс, $w_0^{ox} = 0,5$ кгс/тс, $S = 8,5$ м ² , розрахунковий румб – північний $\beta = 50^0$, $t = -21^0$ С										
		v_0 , м/с	α , °	C_x	v_i , м/с	v_{om}^2	$w_{св}$, кгс/тс	$h_{w_{св}}$, м.е.в.	h_{w_0} , м.е.в.	$h_{w_{св}}$, м.е.в.	$h_{w_i}^{OX}$, м.е.в.	$\sum h_{w_i}^{OX}$, м.е.в.
1	45,50	5,0	27,32	1,78	4,2	69,6	0,88	0,040	0,023	0,017	0,080	0,080
2	127,90	5,0	23,72	1,80	5,5	90,6	1,15	0,147	0,064	0,243	0,454	0,534
3	167,90	5,0	25,00	1,80	5,0	82,1	1,04	0,175	0,084	0,280	0,497	1,031
4	66,10	5,0	35,12	1,59	2,0	44,3	0,50	0,033	0,033	0,012	0,076	1,107

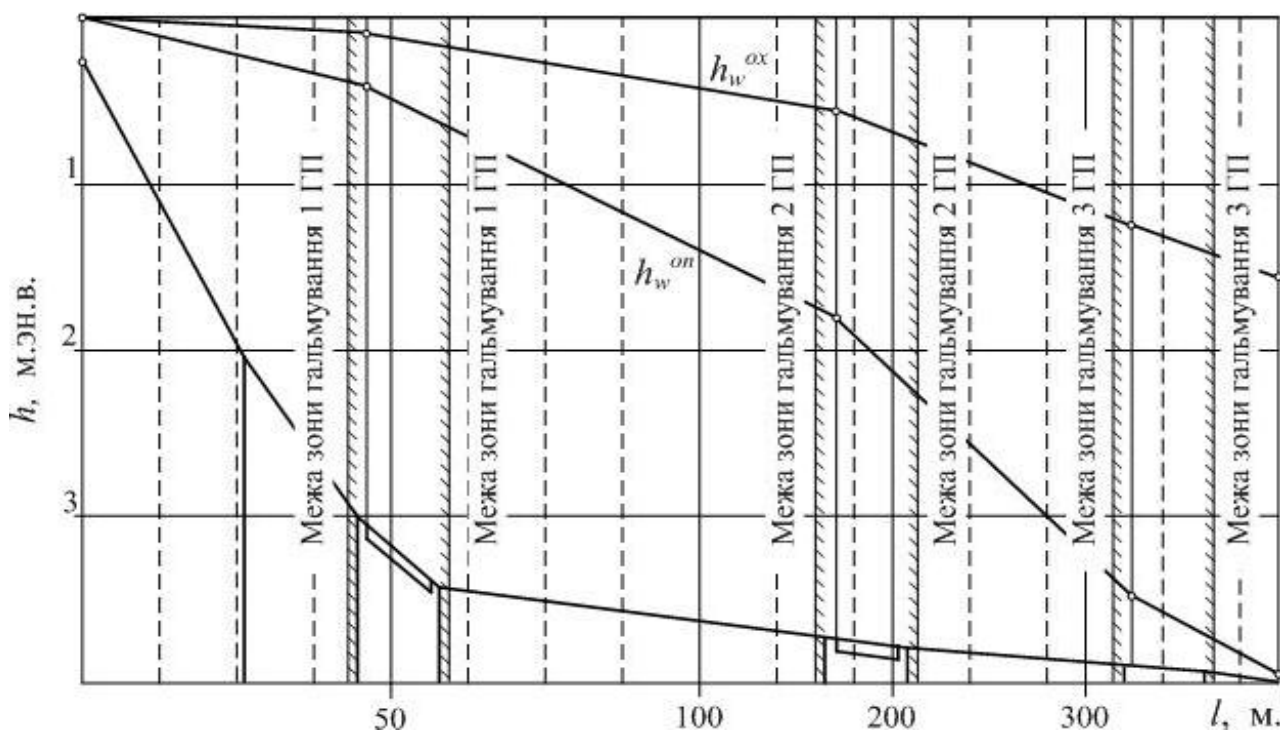


Рис. 3. Криві втрат енергетичних висот розрахункових бігунів при вільному скочунанні

Як видно з кривої $h_w^{ox}(S)$, залишкова енергетична висота в розрахунковій точці для ОХ, що скочується за несприятливих умов без гальмування, велика і не забезпечує безпеки розпуску. Дуже добрий бігун повинен

пригальмовуватися для підведення до розрахункової точки. Крива $h_w^{ox}(S)$ з урахуванням пригальмування зображена на рис. 4.

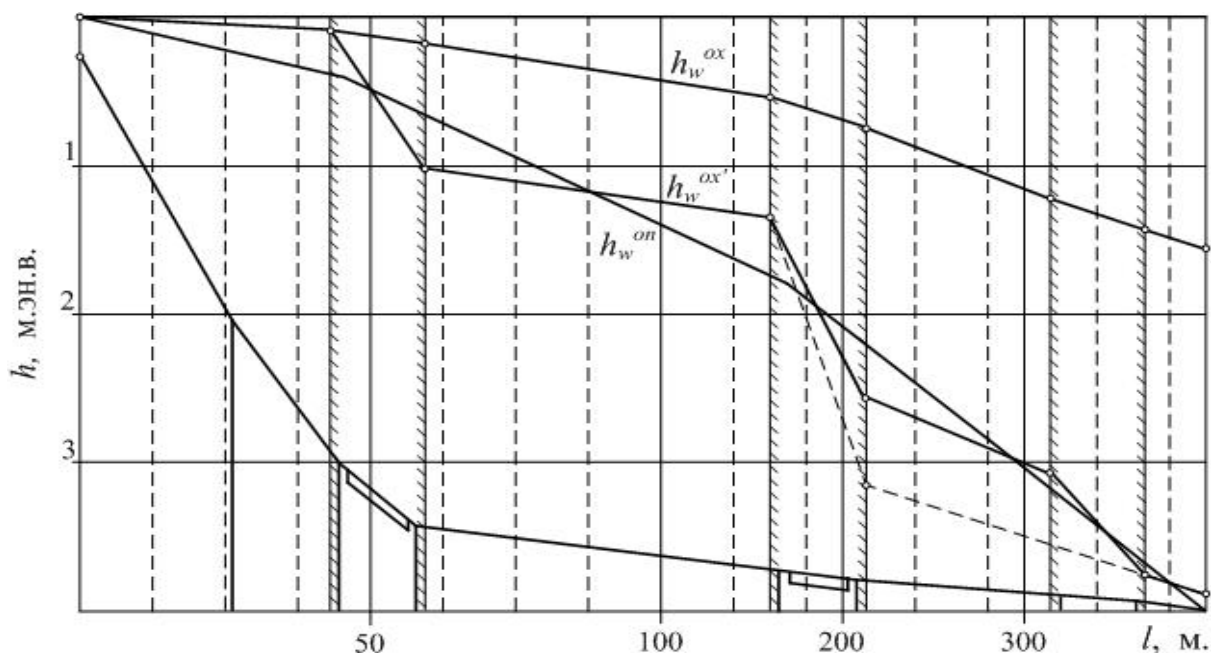


Рис. 4. Криві втрат енергетичних висот ОХ бігуна при частковому гальмуванні

Висновки

1. На сьогодні значна кількість сортувальних гірок, що експлуатуються на залізницях України, була розрахована та спроектована за часів колишнього СРСР. Протягом багаторічної експлуатації сортувальних гірок на них суттєво змінилися поздовжній і поперечний профілі, опір, що долається відчепами при скочуванні з гірки, та ін. Все це значною мірою позначається на ефективності розпуску та зайвих витратах енергоресурсів, що в умовах постійного збільшення ціни на енергоносії має стати одним з основних завдань, які вимагають вирішення.

2. На сортувальних гірках реалізується концепція інтервально-прицільного регулювання швидкості відчепів, відповідно до якої гірки обладнані гальмівними позиціями, що розташовуються, як правило, перед розділовою стрілкою (I ГП), за розділовою стрілкою (II ГП) і на початку паркових колій (III ГП). При цьому значна кількість вагонних уповільнювачів припадає на III ГП. Криві енергетичних втрат показують, що вільне скочування бігунів неможливе тому, що не

забезпечується безпека розпуску. Але є можливим пригальмування на I ГП та II ГП, так щоб бігун доходив до розрахункової точки без пригальмування на III ГП. Таке рішення потребує розроблення методики розрахунку для сортувальних гірок необхідної потужності гальмівних засобів, що на сьогодні знаходяться в експлуатації.

3. Розроблення методики з урахуванням швидкісного уклону, розрахункової швидкості розпуску, наявної потужності гальмівних засобів та інших параметрів, що впливатимуть на режим розпуску відчепів, має дозволити визначити необхідну потужність гальмівних засобів, а також обирати тип і кількість вагонних уповільнювачів на гальмівних позиціях.

4. Визначення необхідної потужності гальмівних засобів діючих сортувальних гірок дозволить скоротити, де це можливо, кількість уповільнювачів на III ГП, а в окремих випадках повністю відмовитися від III ГП. Це має дати значний економічний ефект за рахунок зниження споживання стиснутого повітря, скорочення витрат на матеріальне забезпечення та обслуговування, відсутності потреби в операторах на паркових позиціях.

Список літератури

1. Шелухин, В.И. Автоматизация и механизация сортировочных горок [Текст]: учеб. для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. / В.И. Шелухин. – М.: Маршрут, 2005. – 240 с.
2. Шейкин, В.П. Эксплуатация механизированных сортировочных горок [Текст] / В.П. Шейкин. – М.: Транспорт, 1992. – 240 с.
3. Иванкова, Л.Н. Расчет и проектирование сортировочных горок большой и средней мощности [Текст]: учеб. пособие / Л.Н. Иванкова, А.Н. Иванков. – Иркутск: ИрГУПС, 2009. – 106 с.

Ключові слова: поздовжній і поперечний профілі гірки, гальмівна позиція, динаміка скочування вагона, розрахункова точка, енергетична висота.

Анотації

Досліджено можливість енергозбереження та зниження витрат на обслуговування вагонних сповільнювачів на сортувальних гірках за рахунок скорочення їхньої кількості на третій гальмівній позиції шляхом перерахунку необхідної потужності гальмівних засобів.

Исследована возможность энергосбережения и снижения затрат на обслуживании вагонных замедлителей на сортировочных горках за счет сокращения количества вагонных замедлителей на третьей тормозной позиции путем перерасчета необходимой мощности тормозных средств.

The possibility of energy savings and reduced maintenance costs of car retarders for humps by reducing the number of car brake retarders on the third position by recalculating the required capacity of the brake.