

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.212.5:[656.259.1-047.44:004.896]

М. І. БЕРЕЗОВИЙ^{1*}, М. П. БОЖКО^{2*}, В. В. МАЛАШКІН^{3*}, Т. В. БОЛВАНОВСЬКА^{4*},
О. О. МАЗУРЕНКО^{5*}

^{1*}Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІПТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (099) 555 80 69, ел. пошта m.i.berezovyi@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6774-6737

^{2*}Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІПТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (096) 934 40 93, ел. пошта prbojko@gmail.com, ORCID 0009-0002-6280-5157

^{3*}Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІПТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (068) 409 61 85, ел. пошта v.v.malashkin@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-5650-1571

^{4*}Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІПТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 742 66 37, ел. пошта t.v.bolvanovska@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6462-8524

^{5*}Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІПТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 727 58 00, ел. пошта o.o.mazurenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-5591-1790

Аналіз впливу взаємного розташування уповільнювачів та обхідних колій на довжину гіркових горловин і їх автоматизоване проєктування

Мета. Метою даного дослідження є пошук способів скорочення довжини гіркових горловин сортувальних парків шляхом аналізу взаємного розташування уповільнювачів спускної частини та інших елементів колійного розвитку гірок – стрілочних переводів, їх ізольованих передстрілочних ділянок, кривих ділянок колій та суміжних, у т.ч. обхідних, колій. **Методика.** Одним з напрямків скорочення енерговитрат на розформування та формування составів на сортувальних гірках є удосконалення конструкції їх колійного розвитку, зокрема розробка та впровадження заходів для скорочення довжини гіркових горловин. Для вирішення задачі виконано комплексний аналіз технології розпуску составів на сортувальних гірках, застосовано методи наукового аналізу і синтезу конструкції колійного розвитку на базі аналітичної геометрії, методи імітаційного моделювання з метою визначення взаємного положення уповільнювачів спускної частини та суміжних обхідних колій. **Результати.** В роботі на підставі аналізу нижньої частини габариту наближення будівель С та габаритних розмірів балкових вагонних уповільнювачів з пневматичним приводом розроблено технічні рішення, що дозволяють наблизити до котловану уповільнювача колію з крайнього пучка сортувальних колій в обхід горба гірки. Розрахунок параметрів примикань обхідної колії з пучка сортувальних колій показав, що скорочення прямої ділянки колії за гальмівною позицією становить в середньому 5,65 м в залежності від типу нижнього уповільнювача, укладеного на даній гальмівній позиції. **Наукова новизна.** В роботі удосконалено методи проєктування спускної частини сортувальних гірок та обхідних колій; вперше встановлена залежність величини скорочення довжини стрілочної горловини крайнього пучка колій сортувального парку від типів уповільнювачів, якими обладнана гальмівна позиція. **Практична значимість.** Практична значимість роботи полягає у можливості використання отриманих рішень інженерами-проєктувальниками при проведенні реконструктивних заходів на існуючих сортувальних гірках та при проєктуванні нових гіркових сортувальних пристроїв на магістральних залізницях та об'єктах промислового залізничного транспорту.

Ключові слова: сортувальна гірка; вагонний уповільнювач; обхідна колія; габаритна відстань; автоматизоване проєктування

Вступ

Сортувальні станції відіграють ключову роль у поїздоутворенні на залізницях. При цьому механізовані сортувальні гірки забезпечу-

ють виконання основного обсягу маневрової роботи залізничних станцій [13–15, 17] з розформування та формування поїздів. Виконання цієї маневрової роботи пов'язано не лише зі значними витратами часу, а й з високою собі-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

вартістю і необхідністю застосування відповідних маневрових засобів. Дослідження, що ставлять на меті удосконалення процесу маневрової роботи на гірках діляться на два напрямки – удосконалення технології виконання маневрових операцій та удосконалення конструкції колійного розвитку сортувальних станцій загалом і механізованих гірок зокрема.

Механізовані сортувальні гірки українських залізниць обладнані балковими вагонними уповільнювачами з пневматичним приводом для зменшення швидкості скочування відчепів в процесі розпуску составів. Їх застосування забезпечує інтервальне та прицільне гальмування відчепів.

Перші такі механічні засоби, що прийшли на заміну башмачному гальмуванню, з'явилися у 1933 році на станції Красний Лиман. Ці пристрої називали ретардери (англ. retarder – уповільнювач), вони мали пневматичний привід, а їх конструкція з певними змінами була запозичена у ретардерів, що експлуатувалися у той час на залізницях США. Принцип їх дії полягає у притисненні чотирьох гальмівних балок, розташованих вздовж рейок по дві на кожен рейку, до ободів коліс з обох боків.

Формалізація схем взаємного укладання вагонних уповільнювачів, суміжних стрілочних переводів і кривих ділянок колії була розпочата ще в роботі [8] і завершена для тогочасного технічного оснащення сортувальних гірок в роботі [2]. У подальшому ці норми практично не зазнали принципових змін.

За часів незалежності в Україні було розроблено та впроваджено три нових типи вагонних уповільнювачів у різних виконаннях за кількістю секцій – НК–114 Новокраматорського машинобудівного заводу, УВСК Старокраматорського машинобудівного заводу, ЗВУ заводу Донецькгірмаш. Також на початку 21-го сторіччя українськими залізницями було придбано та встановлено на сортувальних гірках значну кількість уповільнювачів російського виробництва типу КЗ у триланковому та п'ятиланковому виконанні.

Уповільнювачі, що експлуатуються на залізницях України, відрізняються довжиною по балках, шириною конструкції та глибиною залягання відносно рівня головки рейки. Ці пара-

метри визначають конструкцію котловану для їх розміщення.

Необхідно відзначити, що уповільнювачі, під час розпуску, так же як і розділові стрілки та граничні стовпчики останніх розділових стрілок, є розділовими елементами. Гальмування відчепів в процесі розпуску повинно забезпечувати не тільки розділення відчепів на розділових елементах, а й допустиму швидкість співударяння вагонів в глибині сортувального парку, можливість зупинки відчепів при виникненні нестандартних ситуацій.

Сортувальні гірки характеризуються багатьма технічними параметрами – кількістю сортувальних колій, їх поділом на «пучки» колій, взаємним розташуванням стрілок і уповільнювачів та їх кількістю, кількістю колій насуву та спускних колій, наявністю обхідних колій, довжиною окремих елементів, висотою гірки та її поздовжнім профілем.

В роботі [16] доведено, що забезпечення максимальних інтервалів на розділових елементах, при яких забезпечуються найкращі умови розпуску, шляхом гальмування відчепів залежить від взаємного розташування розділових елементів та довжини маршруту скочування відчепів від вершини гірки до розрахункової точки.

У зв'язку з цим, дослідження, спрямовані на удосконалення конструкції сортувальних гірок з метою покращення умов розпуску составів в умовах зростання потреби в реконструктивних заходах на сортувальних гірках, мають практичне значення для залізниць.

Мета

Метою даного дослідження є пошук способів скорочення довжини гіркових горловин сортувальних парків шляхом аналізу взаємного розташування уповільнювачів спускної частини та інших елементів колійного розвитку гірок – стрілочних переводів, їх ізольованих передстрілочних ділянок, кривих ділянок колій та суміжних, у т.ч. обхідних, колій.

Методика

Галузевими будівельними нормами [10] п. 7.13 встановлено, що «у горловинах гірок будь-якої потужності слід передбачати прямі ділянки колії для укладання вагонних уповіль-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

нювачів. довжина цих ділянок визначається залежно від кількості і типу уповільнювачів на кожній гальмівній позиції». П. 7.14 [10] встановлює, що «уповільнювачі на гальмівних позиціях слід вкладати за затвердженими епюрами з урахуванням вимог до їх взаємного розташування», однак самі епюри в даному нормативному документі відсутні.

Недіючий в нинішній час документ – «Правила і норми проектування сортувальних пристроїв ВСН 207–89» [7], містить схеми взаємного розташування уповільнювачів суміжних пучкових (других) гальмівних позицій (ГП2). В діючих правилах і нормах проектування сортувальних пристроїв [10] ці схеми та інформація про їх заміну чи скасування відсутні. Тому далі в статті проведено критичний аналіз вказаних схем, що наведені саме в [7].

Основні параметри розташування уповільнювачів на ГП2 та обхідної колії наведені на рис. 1.

Наприклад для уповільнювачів КВ–3 відстань між осями колій в перерізі початку гальмівних балок становить $e_{гб} = 4\,150$ мм; мінімальна відстань від осі суміжної колії до елементів конструкції уповільнювача – $C = 2\,750$ мм.

При ширині конструкції уповільнювача КВ–3 $S_{КВ-3} = 3\,800$ мм мінімальна ширина технологічного зазору між елементами конструкції уповільнювачів залежить від кута між коліями. В спрощеному вигляді з достатнім ступенем точності вона може бути розрахована за виразом:

$$E = e_{гб} - 2 \times S_{КВ-3} / 2 = 4150 - 3800 = 350 \text{ мм.}$$

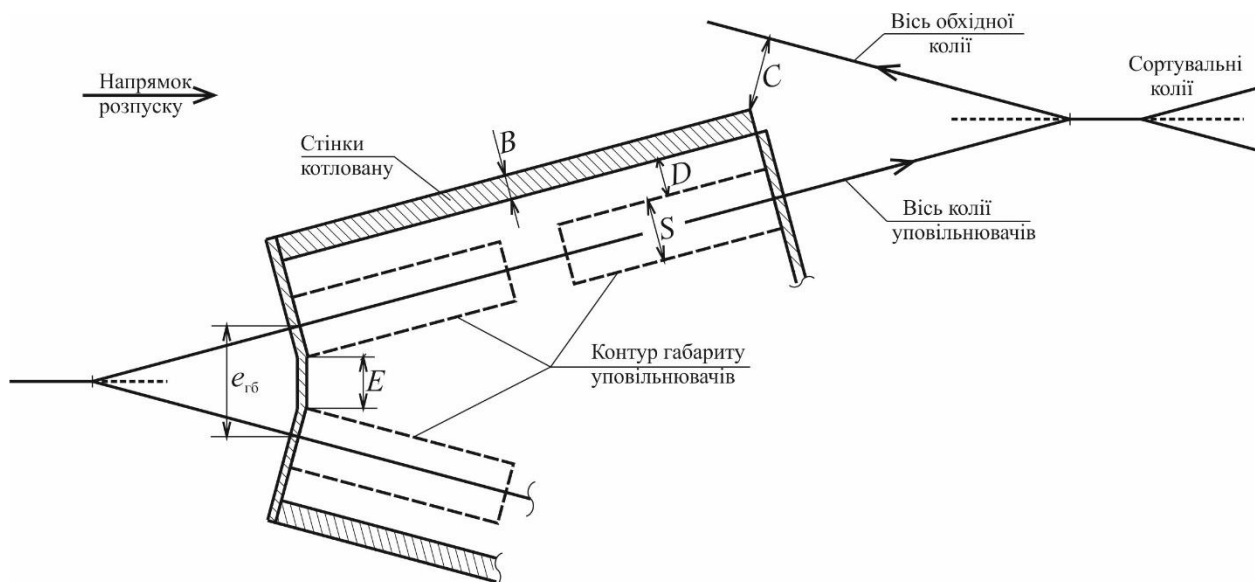


Рис. 1. Основні параметри розташування уповільнювачів на ГП2 та обхідної колії:

B – ширина стіни котловану; C – розрахункова габаритна відстань;

D – ширина проходу між уповільнювачем і стіною котловану;

S – ширина уповільнювача; E – зазор між елементами конструкції уповільнювачів; $e_{гб}$ – відстань між осями колій в перерізі початку гальмівних балок

Fig. 2. Basic parameters for the location of retarders on GP2 and the bypass track:

B – width of the excavation wall; C – calculated overall distance;

D – width of the passage between the retarder and the wall of the excavation pit;

S – width of the retarder; E – gap between the structural elements of the retarders;

e_{gb} – distance between the axes of the tracks in the cross-section at the beginning of the brake beams

Результати розрахунку величини E для уповільнювачів інших типів на суміжних ГП2, схеми яких наведені в [7], представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунок мінімальної ширини технологічного зазору E

Table 1

Calculating the minimum width of the process gap E

Тип уповільнювачів	$e_{гб}$, мм	$S_{уп}$, мм	E , мм
КВ–3	4 150	3 800	350
КНП–5	4 400	3 900	500
ВЗПГ–5, ВЗПГ–3	3 800	3 250	550

Величина $e_{гб}$ впливає на довжину стрілочної горловини, але не пов'язана з примиканням обхідної колії.

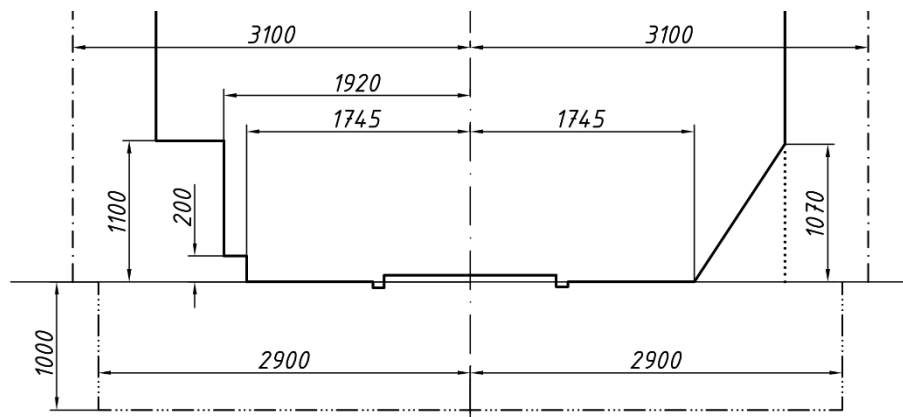
На взаємне розташування нижнього уповільнювача ГП2 та обхідної колії впливають (див. рис. 1): ширина уповільнювача S , ширина проходу між уповільнювачем і стіною котловану D , товщина стіни котловану B і відстань від осі обхідної колії до стіни котловану C .

В подальших дослідженнях та розрахунках ширина технологічного зазору між елементами конструкції уповільнювачів прийнята рівною $D = 500$ мм, що відповідає мінімальній ширині проходу.

Для визначення мінімальної відстані від осі суміжної обхідної колії до стіни котловану гальмівної позиції ГП2 проаналізуємо вимоги габариту наближення споруд C [10] з урахуванням будівельних норм [9], де вимоги до мінімальної міжколійної відстані між суміжними коліями трактуються з урахуванням здійснення на цих коліях необхідних технічних та технологічних операцій.

На рис. 2 наведено нижню частину габариту наближення будівель C , та лінію наближення фундаментів будівель і опор, підземних тросів, кабелів, трубопроводів і інших споруд, що не відносяться до колій, на перегонах і станціях, за винятком інженерних споруд і пристроїв СЦБ у місцях розташування сигнальних і трансляційних точок.

Уповільнювач разом з основою та конструктивними елементами котловану є пристроєм, який вмонтовано в залізничну колію і відноситься до залізничної колії. Із конструктивних елементів уповільнювача вище головки рейки розташовуються тільки балки із вмонтованими в них гальмівними шинами, що безпосередньо взаємодіють з ободами коліс вагонів під час їх гальмування.



----- Лінія наближення фундаментів будівель і опор

Рис. 2. Нижня частина габариту наближення будівель C Fig. 2. Lower part of the building approach dimension C

Це означає, що конструктивні елементи уповільнювача, його основи та котловану, які розташовуються нижче рівня головки рейки, можуть бути розміщені всередині контуру лінії наближення фундаментів будівель і опор не

тільки колії, на якій вмонтовано уповільнювач, а також, за необхідності, і суміжної обхідної колії. Відстань від осі колії уповільнювача визначається не тільки вимогами габариту C , а й потрібною шириною проходу D між упові-

Для розв'язання поставленої задачі виконано комплексний аналіз технології розпуску составів на сортувальних гірках; для аналізу взаємного розташування елементів гіркових горловини сортувальних парків на підставі правил і норм проєктування відповідних елементів залізничних станцій застосовано методи наукового аналізу і синтезу конструкції колійного розвитку та аналітичної геометрії; методи імітаційного моделювання використані для спрощення і прискорення процедури визначення взаємного положення технічного оснащення уповільнювачів спускної частини та суміжних обхідних колій.

Згідно з наведеною на рис. 3 схемою примикання обхідної колії з пучка сортувальних колій довжина прямої ділянки від центру стрілочного перевodu (ЦСП) до початку уповільнювача $L_{\text{ПР}}$ залежить від:

- габаритної відстані між віссю обхідної колії та підпірною стіною (C);
- товщини підпірної стіни (B);
- ширини технологічного зазору між підпірною стіною та уповільнювачем (D);
- конструкційної ширини уповільнювача (S).

Складність проектування примикання обхідної колії полягає у необхідності дотримання розрахункової габаритної відстані C , яка вимірюється по лінії від кута підпірної стіни (точка А на рис. 3) перпендикулярно лінії, дотичної до осі кривої ділянки обхідної колії. Для спрощення процесу проектування і отримання проєктних рішень в середовищі AutoCAD доцільно використовувати інструментарій автоматизованого проектування. Для практичного визначення положення елементів котлованів уповільнювачів, стрілочного переводу примикання обхідної колії доцільно застосовано програмний комплекс, розглянутий в роботах [5, 6], який і дає можливість формування графічної моделі в системі AutoCAD.

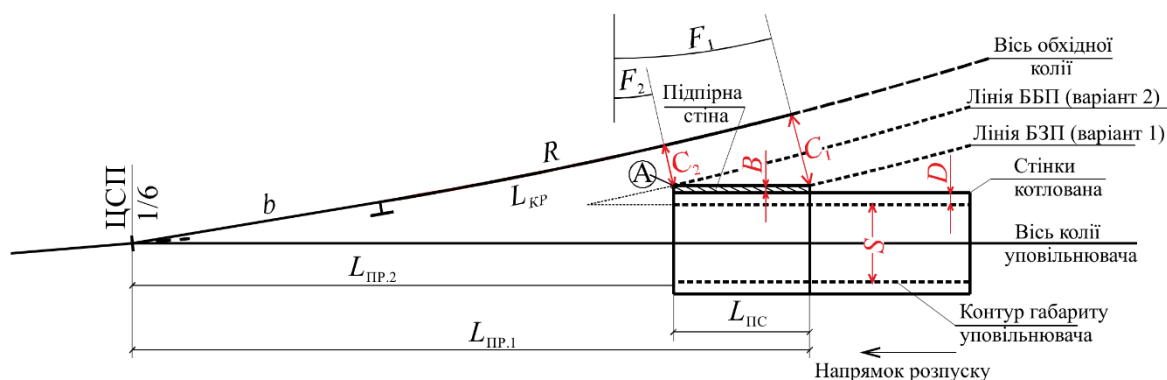


Fig. 3. Design diagram of the junction of a bypass track with a marshalling track bundle

місці – точці А. Попередньо прийнято, що рівні верху головок рейок колій (РГР) співпадають.

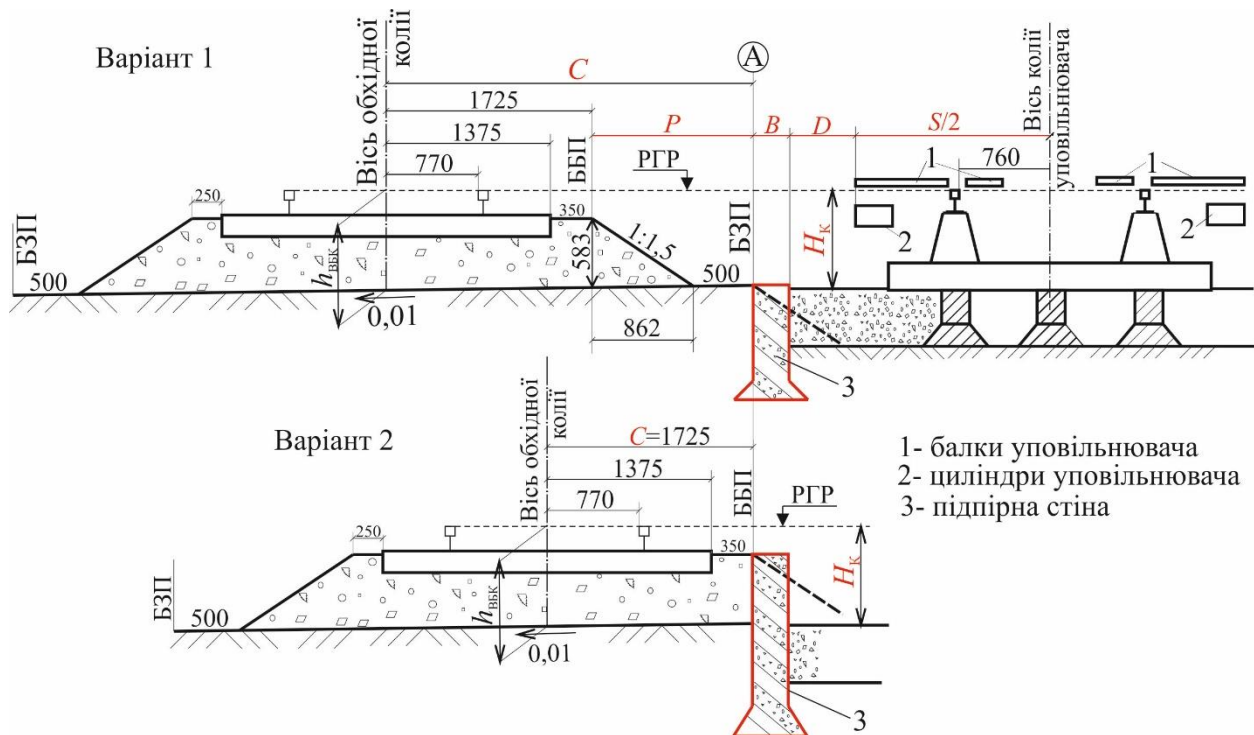


Рис. 4. Схема поперечного перетину суміжних колій

Fig. 4. Diagram of the cross section of adjacent tracks

З метою наочності розрахунків для кривої ділянки обхідної колії радіусом $R = 200$ м прийнято згідно з [4] наступні вихідні дані:

- рейки колії типу Р65;
- шпали дерев'яні;
- плече баластної призми $0,35$ м з урахуванням його поширення із зовнішнього боку кривої.

Слід відзначити, що при відповідному обґрунтуванні радіус кривої ділянки обхідної колії може бути зменшений згідно з вимогами [9].

За цими даними згідно з [4] встановлено:

- відстань між віссю колії та брівкою баластної призми (ББП) $1,725$ м;
- висота верхньої будови колії по осі колії $h_{\text{ВБК}} = 0,835$ м;
- земляне полотно односкісне крутизною $0,01$ від уповільнювача;
- товщина баластного шару під брівкою баластної призми (ББП) $h = 0,583$ м;
- крутизна відкосу баласту $1:1,5$;
- ширина обочини земляного полотна $0,5$ м.

За наведеними даними за нормальних умов (варіант 1 на рис. 4) розраховано:

$$P = 0,862 + 0,5 = 1,362 \text{ м};$$

$$C_1 = 1,725 + 1,362 = 3,087 \text{ м}.$$

За відсутності відкосу земляного полотна після брівки (БЗП) його функції виконує підпірна стіна, яка сприймає бокові навантаження.

Відповідно до наведеної на рис. 3 схеми величини $L_{\text{пр}}$ визначається за виразом

$$L_{\text{пр}} = b \cos \alpha + R \sin F - R \sin \alpha + C \sin F, \quad (1)$$

а величина кута F визначається з рівняння:

$$b \sin \alpha + R \cos \alpha - R \cos F - C \cos F = B + D + S/2. \quad (2)$$

Далі наведено розрахунок параметрів укладання уповільнювача ВЗПГ–5 та стрілочного переходу примикання обхідної колії марки 1/6 з рейок Р65 за наступними даними: $S = 3,25$ м; $B = 0,3$ м; $D = 0,5$ м.

З рівнянь відповідно (2) та (1):

$$F_1 = \arccos\left(\frac{b \sin \alpha + R \cos \alpha - (B + D + S/2)}{R + C_1}\right) =$$

$$= \arccos\left(\frac{10,563 \sin \alpha + 200 \cos \alpha - (0,3 + 0,5 + 3,25/2)}{200 + 3,087}\right) = 14^\circ 31' 53,2''$$

$$L_{\text{пр}} = 10,563 \cos \alpha + 200 \sin F_1 - 200 \sin \alpha + 3,087 \sin F_1 = 28,496 \text{ м}$$

З метою скорочення відстані $L_{\text{пр}}$ можливо зменшити габаритну відстань C , якщо наблизити БПП обхідної колії до підпірної стіни, тобто на відстань $C_2 = 1,725$ м (див. варіант 2 на рис. 4). При цьому підпірна стіна стає вищою

і витримує бокове навантаження не тільки від земляного полотна а й від баластного шару. Порівняно з попередніми розрахунками змінюється тільки величина C , а розрахункові параметри становлять:

$$F_2 = \arccos\left(\frac{10,563 \sin \alpha + 200 \cos \alpha - (0,3 + 0,5 + 3,25/2)}{200 + 1,725}\right) = 12^\circ 57' 18,5''$$

$$L_{\text{пр.2}} = 10,563 \cos \alpha + 200 \sin F_2 - 200 \sin \alpha + 1,725 \sin F_2 = 22,763 \text{ м}$$

Скорочення довжини прямої ділянки становить:

$$L_{\text{ПС}} = 28,496 - 22,763 = 5,733 \text{ м},$$

що дорівнює довжині підпірної стіни (див. рис. 4).

Отже, скорочення довжини стрілочної горловини крайнього пучка колій сортувального парку на $L_{\text{ПС}} = 5,7$ м досягається будівництвом підпірної стіни. Економічне обґрунтування да-

ного технічного рішення в даній статті не розглядається, а вказана відстань може бути додатково зменшена шляхом влаштування радіусу кривої ділянки обхідної колії меншого ніж 200 м.

Оскільки довжина підпірної стінки залежить від габаритної ширини уповільнювача, в табл. 2 наведені результати розрахунків для різних типів уповільнювачів.

Таблиця 2

Розрахункові параметри примикання обхідної колії з пучка сортувальних колій

Table 2

Design parameters for the junction of a bypass track with a marshalling track bundle

Тип уповільнювача	S, м	B+D+S/2, м	L _{пр} , м при C=		L _{ПС} , м
			3,087 м (варіант 1)	1,725 м (варіант 2)	
ВЗПГ–3, 5	3,25	2,425	28,496	22,763	5,733
ВЗП–3, 5	3,30	2,450	28,592	22,872	5,720
НК–114, УВСК, ЗВУ	3,60	2,600	29,166	23,517	5,649
КЗ–3, 5	3,68	2,640	29,318	23,688	5,630
КВ–3	3,80	2,700	29,545	23,942	5,603
КНП–5	3,90	2,750	29,733	24,153	5,580

При влаштуванні обхідної колії за варіантом 2 (див. рис. 4) в розрахунковому перерізі та на певній розрахунковій відстані від перерізу унеможливується проходження щебенечисних машин. Така ситуація виникає через

те, що мінімальна ширина вирізання баласту становить $B_{\text{min}} = 3\,800$ мм [11, 12], тобто відстань від осі колії до краю зони опускання вигрібного пристрою $b_{\text{вп}} = 1\,900$ мм перевищує

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

відстань від осі обхідної колії до підпірної стіни у варіанті 2 (див. рис. 4) – $C = 1\,725$ мм.

Такі місця мають бути відповідним чином помічені на схемах станцій і, при виникненні необхідності очищення чи заміни баластного шару на них, повинна використовуватись інша колійна техніка.

Для оцінки можливої різниці рівнів РГР суміжних колій на рис. 5 наведено схему розташування колій у поздовжньому профілі з можливими ухилами елементів. Аналіз рис. 5 показує, що обхідна колія може бути нижче колії уповільнювача на $64..106$ мм і це не впливає на мінімальну відстань між коліями у плані.

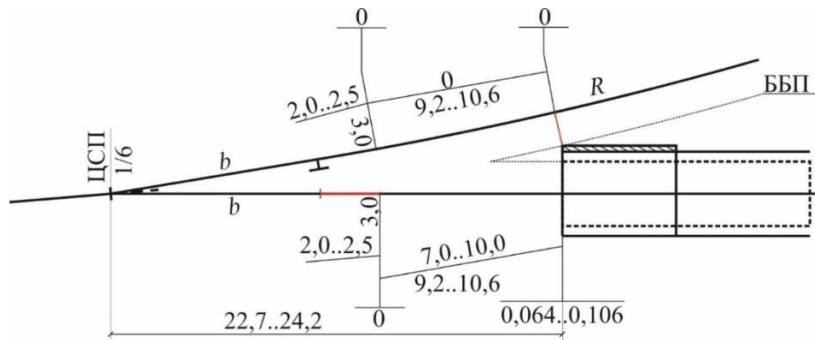


Рис. 5. Розташування суміжних колій у поздовжньому профілі

Fig. 5. Location of adjacent tracks in the longitudinal profile

Зі схеми на рис. 5 видно, що зміна рівня головки рейки обхідної колії відносно рівня спускної колії на початку уповільнювача не впливає на відстань між ними, а впливає тільки на загальну висоту підпірної стіни.

Наукова новизна та практична значимість

В роботі удосконалено методи проєктування спускної частини сортувальних гірок та обхідних колій; вперше встановлена залежність величини скорочення довжини стрілочної горловини крайнього пучка колій сортувального парку від типів уповільнювачів, якими обладнана гальмівна позиція.

Практична значимість роботи полягає у можливості використання отриманих рішень інженерами-проектувальниками при проведенні реконструктивних заходів на існуючих сортувальних гірках та при проєктуванні нових гіркових сортувальних пристроїв на магістральних залізницях та об'єктах промислового залізничного транспорту.

Висновки

Дослідження, виконані в роботі, дозволяють зробити наступні висновки.

1. В діючій нормативній документації, що регламентує норми проєктування гіркових сорту-

вальних пристроїв, відсутні затверджені епюри укладання уповільнювачів. В роботі на підставі аналізу габаритних розмірів балкових вагонних уповільнювачів з пневматичним приводом, які експлуатуються на українських залізницях, розроблені технічні рішення взаємного укладання уповільнювачів та суміжних обхідних колій.

2. Розроблені за наведеною методикою технічні рішення дозволяють наблизити до котловану уповільнювача колію з крайнього пучка сортувальних колій в обхід горба гірки. Розрахунок параметрів примикань обхідної колії з пучка сортувальних колій показав, що скорочення прямої ділянки колії за гальмівною позицією в бік сортувальних колій становить в середньому $5,65$ м в залежності від типу нижнього уповільнювача, укладеного на даній гальмівній позиції. Наведене значення може бути збільшене шляхом укладання кривої ділянки на обхідній колії радіусом менше 200 м за відповідним обґрунтуванням.

3. Аналіз поздовжнього профілю колій гальмівної позиції та обхідної колії показав, що зміна рівня головки рейки обхідної колії відносно рівня спускної колії на початку уповільнювача не впливає на відстань між ними, а впливає тільки на загальну висоту підпірної стіни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Березовий М. І., Божко М. П., Малашкін В. В., Болвановська Т. В., Мазуренко О. О. Аналіз конструкції обхідних колій в сортувальних парках та їх автоматизоване проектування. *Транспортні системи та технології перевезення*. 2025. № 29. С. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2025/325346>
2. Бузанов С. П., Карпов А. М., Рыцарев М. А. *Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных устройств*. Москва : Транспорт, 1965. 232 с.
3. ДСТУ В В.2.3-29:2011. Габарити наближення будівель і рухомого складу залізниць колії 1520 (1524) мм. На заміну ГОСТ 9238-83 ; чинний від 2012-12-01. Вид. офіц. Київ : М-во регіон. розвитку, буд-ва та житлово-комун. госп-ва України, 2012. 50 с.
4. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України : ЦП-0269 / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. Київ : Трансп. України, 2012. 456 с.
5. Козаченко Д. М., Божко М. П., Березовий М. І., Малашкін В. В. Автоматизація розрахунку положення граничного стовпчика між суміжними коліями різної конструкції. *Транспортні системи і технології перевезень*. 2023. № 25. С. 84–91. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2023/284497>
6. Козаченко Д. М., Божко М. П., Березовий М. І., Малашкін В. В. Аналіз існуючих методів розрахунку положення граничних стовпчиків. *Транспортні системи і технології перевезень*. 2022. № 24. С. 75–80. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2022/272303>
7. *Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР : ВСН 207-89 / МПС СССР*. Москва : Транспорт, 1992. 104 с.
8. Рогинский Н. О., Родимов Б. А., Зубрилин Г. И. *Механизация сортировочных горок*. Москва : Трансжелдориздат, 1949. 248 с.
9. *Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування : ДБН В.2.3-19:2018* / Укр. держ. ун-т залізн. трансп. Київ : Мінрегіон України, 2018. 126 с.
10. *Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування : ГБН В.2.3-37472062-1:2012* / Держ. підприємство Н.-д. та проект.-вишукув. ін-т транспорт. буд-ва «Київдіпротранс». Київ : М-во інфраструктури України, 2012. 112 с.
11. Сушков В. Ф., Шраменко В. П., Белорусов О. І., Возненко А. Д. *Технологія ремонту й утримання колії*. Харків : Укр. держ. акад. залізн. трансп., 2010. 327 с.
12. Уманов М. І., Гнатенко В. П., Мойсеєнко К. В., Патласов О. М., Бабенко В. К., Черник В. І. *Збірник типових технологічних процесів капітального та середнього ремонтів залізничної колії : ЦП-2-1198*. Дніпропетровськ : ДПТ, Арт-Прес, 2000. 108 с.
13. Fischer S. Investigation of the Horizontal Track Geometry regarding Geogrid Reinforcement under Ballast. *Acta Polytechnica Hungarica*, 2022. № 19 (3). P. 89–101. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.8>
14. Fischer S. Geogrid reinforcement of ballasted railway superstructure for stabilization of the railway track geometry – A case study. *Geotextiles and Geomembranes*. 2022. № 50 (5). P.1036–1051. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2022.05.005>
15. Kou L., Sysyn M., Fischer S., Liu J., Nabochenko O. Optical Rail Surface Crack Detection Method Based on Semantic Segmentation Replacement for Magnetic Particle Inspection. *Sensors*. 2022. № 22 (21), 8214. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22218214>
16. Kozachenko D., Bobrovskyi V., Demchenko Y. A method for optimization of time intervals between rolling cuts on sorting humps. *Journal of Modern Transportation*. 2018. Vol. 26, no. 3. P. 189–199. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40534-018-0161-2>
17. Szalai S., Szívós B.F., Kurhan D., Németh A., Sysyn M., Fischer S. Optimization of Surface Preparation and Painting Processes for Railway and Automotive Steel Sheets. *Infrastructures*. 2023. № 8 (2), P. 28. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures8020028>

M. I. BEREZOVYI^{1*}, M. P. BOZHKO^{2*}, V. V. MALASHKIN^{3*}, T. V. BOLVANOVSKA^{4*},
O. O. MAZURENKO^{5*}

^{1*}Dep. «Transport Hubs», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (099) 555 80 69, e-mail m.i.berezovyi@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6774-6737

^{2*}Dep. «Transport Hubs», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 934 40 93, e-mail npbojko@gmail.com, ORCID 0009-0002-6280-5157

^{3*}Dep. «Transport Hubs», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (068) 409 61 85, e-mail v.v.malashkin@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-5650-1571

^{4*}Dep. «Transport Hubs», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 742 66 37, e-mail t.v.bolvanovska@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6462-8524

^{5*}Dep. «Transport Hubs», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (097) 727 58 00, e-mail o.o.mazurenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-5591-1790

Analysis of the Influence of the Relative Position of Retarders and Bypass Tracks on the Length of the Neck of the Sorting Slide and Their Automated Design

Purpose. The purpose of this study is to find ways to reduce the length of sorting yard humps by analyzing the relative positioning of the decelerators on the descent section and other elements of the track layout of the humps, such as turnouts, their isolated pre-switch sections, curved track sections and adjacent tracks, including bypass tracks. **Methodology.** One of the approaches to reducing energy consumption during the breaking up and formation of trains on classification humps is the improvement of their track layout design, in particular the development and implementation of measures to reduce the length of hump throats. To solve the problem, a comprehensive analysis of the technology of dissolving trains on sorting humps was used, methods of scientific analysis and synthesis of track development design based on analytical geometry were applied, as well as simulation modelling methods to determine the mutual position of the decelerators of the descent section and adjacent bypass tracks. **Findings.** Based on an analysis of the lower clearance limits for structures (profile «C») and the dimensional characteristics of beam-type pneumatic wagon retarders, technical solutions were developed to allow a track from the outer group of classification tracks to approach the retarder pit area bypassing the hump body. The calculation of the parameters for connecting a bypass track from the group of classification tracks showed that the straight section of track behind the braking position can be reduced on average by 5.65 meters, depending on the type of lower retarder installed at the given braking point. **Originality.** The work improves the methods for designing the descent section of sorting humps and bypass tracks; for the first time, it establishes the dependence of the reduction in the length of the switch throat of the end track bundle of the sorting yard on the types of retarders with which the braking position is equipped. **Practical value.** The practical value of the study lies in the potential application of the obtained solutions by design engineers during reconstruction works on existing classification humps and in the design of new hump classification facilities on mainline railways and industrial railway systems.

Keywords: sorting hump; wagon decelerator; bypass track; gauge distance; automated design

REFERENCES

1. Berezovyi, M., Bozhko, M., Malashkin, V., Bolvanovska, T., & Mazurenko, O. (2025). Analysis of the Construction of Bypass Tracks in Sorting Parks and Their Automated Design. *Transport Systems and Transportation Technologies*, 29, 5–13. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2025/325346> (in Ukrainian)
2. Buzanov, S. P., Karpov, A. M., & Ryitsarev, M. A. (1965). *Proektirovanie mehanizirovannykh i avtomatizirovannykh sortirovochnykh ustroystv*. Moskva: Transport. (in Russian)
3. *Habaryty nablyzhennia budivel i rukhomoho skladu zaliznyts kolii 1520 (1524) mm, 50 DSTU B V.2.3-29:2011* (2012). (in Ukrainian)
4. Dnipropetrovskyyi natsionalnyi universytet zaliznychnoho transportu (2012). *Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy: TsP-0269*. Kyiv: Transport Ukrainy. (in Ukrainian)
5. Kozachenko, D. M., Bozhko, M. P., Berezovij, M. I. & Malashkin, V. V. (2023). Avtomatyzacija rozrakhunku polozhennja ghranychnogho stovpchyka mizh sumizhnymy kolijamy riznoji konstrukciji. *Transportni systemy i tekhnologiji perevezennja*, 25, 84–91. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2023/284497> (in Ukrainian)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

6. Kozachenko, D. M., Bozhko, M. P., Berezovyy, M. I. & Malashkin, V. V. (2022). Analiz isnujuchykh metodiv rozrakhunku polozhennja ghranychnykh stovpchykiv. *Transportni systemy i tekhnologhiji perevezenj*, 24, 75-80. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2022/272303> (in Ukrainian)
7. Ministerstvo putey soobscheniya SSSR. (1992). *Pravila i normy proektirovaniya sortirovochnyih ustroystv na zheleznyih dorogah Soyuzs SSR: VSN 207-89*. Moskva: Transport. (in Russian)
8. Roghynskij, N. O., Rodymov, B. A., & Zubrylyn, Gh. Y. (1949). *Mekhanizatsiya sortirovochnykh ghorok*. Moskva: Transzheldorizdat. (in Russian)
9. Ukrainnyi derzhavnyi universytet zaliznychnoho transportu. (2018). *Sporudy transportu. Zaliznytsi kolii 1520 mm. Normy proektuvannia: DBN V.2.3-19:2018*. Kyiv: Minrehion Ukrainy. (in Ukrainian)
10. Derzhavne pidpriemstvo Naukovo-doslidnyi ta proektno-vyshukuvalnyi instytut transportnoho budivnytstva «Kyivdiprotrans». (2012). *Sporudy transportu. Sortuvalni prystroi zaliznyts. Normy proektuvannia: HBN V.2.3-37472062-1:2012*. Kyiv: Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. (in Ukrainian)
11. Sushkov, V. F., Shramenko, V. P., Bjelorusov, O. I. & Voznenko, A. D. (2010). *Tekhnologhija remontu j utrymannja koliji*. Kharkiv: UkrSART. (in Ukrainian)
12. Umanov, M. I., Hnatenko, V. P., Moiseienko, K. V., Patlasov, O. M. & Babenko, V. K. (2000). *Zbirnyk ty-povykh tekhnologichnykh procesiv kapitalnogho ta serednjogho remontiv zaliznychoji koliji: TsP-2-1198*. Dnipropetrovsk: DIIT, Art-Pres. (in Ukrainian)
13. Fischer, S. (2022). Investigation of the Horizontal Track Geometry regarding Geogrid Reinforcement under Ballast. *Acta Polytechnica Hungarica*, 19(3), 89-101. DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.19.3.2022.3.8> (in English)
14. Fischer, S. (2022). Geogrid reinforcement of ballasted railway superstructure for stabilization of the railway track geometry – A case study. *Geotextiles and Geomembranes*, 50(5), 1036-1051. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2022.05.005> (in English)
15. Kou, L., Sysyn, M., Fischer, S., Liu, J., & Nabochenko, O. (2022). Optical Rail Surface Crack Detection Method Based on Semantic Segmentation Replacement for Magnetic Particle Inspection. *Sensors*, 22(21), 8214. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22218214> (in English)
16. Kozachenko, D., Bobrovskiy, V., & Demchenko, Y. (2018). A method for optimization of time intervals between rolling cuts on sorting humps. *Journal of Modern Transportation*, 26, no. 3. 189-199. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40534-018-0161-2> (in English)
17. Szalai, S., Szívós, B. F., Kurhan, D., Németh, A., Sysyn, M., & Fischer, S. (2023). Optimization of Surface Preparation and Painting Processes for Railway and Automotive Steel Sheets. *Infrastructures*, 8(2), 28. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures8020028> (in English)

Надійшла до редколегії: 23.05.2025

Прийнята до друку: 19.09.2025