

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет «Управління процесами перевезень»

Кафедра «Залізничні станції та вузли»

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ
ПАРАМЕТРІВ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ ПЕРЕВАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ
СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ**

**Пояснювальна записка та розрахунки
до кваліфікаційної роботи**

УПВРП.300.00.00.000 ПЗ

**Розробив студент групи 221-ОПУТ-Д24
спеціальності 275 / 275.02 (роботу виконано
самостійно, відповідно до принципів
академічної доброчесності)**

 **Іван ДЖУРАНЮК**

Керівник: доцент, канд. техн. наук

Максим КУЦЕНКО

Рецензент: доцент, канд. техн. наук

Олексій КОСТЄННІКОВ

2026 р.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет «Управління процесами перевезень»

Кафедра «Залізничні станції та вузли»

Освітній ступінь: магістр

Спеціальність: 275 Транспортні технології

275.02 «Транспортні технології (залізничний транспорт)»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

професор, д-р тех. наук

Олександр ОГАР

« 17 »

06

2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Джурапока Івана Миколайовича

1. Тема роботи «Удосконалення підходів до визначення раціональних параметрів поздовжнього профілю перевальної частини сортувальної гірки»

керівник роботи Куценко Максим Юрійович, канд. техн. наук, доцент

затверджені розпорядженням по факультету управління процесами перевезень від 23 червня 2026р №06/26

2. Строк подання студентом роботи «15» червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: техніко-технологічна характеристика сортувальної станції, докладна схема сортувальної станції, масштабний план гіркової горловини сортувальної гірки станції, поздовжній профіль сортувальної гірки станції, статистичні дані щодо структури вагонопотоку з переробкою по сортувальній станції

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз сучасного стану теорії і практики проектування поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок. Теоретичні дослідження процесу відриву відчепів від составу. Натурні дослідження процесу відриву відчепів від составу. Розробка методики визначення раціонального варіанта поздовжнього профілю перевальної частини. Техніко-економічне порівняння варіантів поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Титульний лист, мета роботи, об'єкт, предмет, задачі дослідження, наукова новизна, аналітичні залежності проходження відчепу по перевальній частині, схеми визначення положення відчепів на перевальній частині, робоче вікно програмного комплексу, аналіз впливу сил опору, проектний та фактичний поздовжній профіль, розрахунок економії експлуатаційних витрат, висновки. (Загалом 18 слайдів)

6. Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне порівняння варіантів поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок	Гриценко Н.В., доцент, к. е. н.		

7. Дата видачі завдання «23» лютого 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Сучасний стан теорії і практики проектування поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок	09.03.26	10 %
2	Теоретичні дослідження процесу відриву відчепів від составу на перевальній частині гірки під час розпуску	27.03.26	30 %
3	Натурні дослідження процесу відриву відчепів від составу на перевальній частині експлуатованих сортувальних гірок	10.04.26	50 %
4	Розробка методики визначення раціонального варіанта подовжного профілю перевальної частини сортувальної гірки	15.05.26	70 %
5	Техніко-економічне порівняння варіантів поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок	29.05.26	90 %
6	Оформлення роботи	12.06.26	100 %

Студент



Іван ДЖУРАНЮК

Керівник



Максим КУЦЕНКО

Зміст

Вступ	6
1 Сучасний стан теорії і практики проектування поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок	9
1.1 Історичний огляд розвитку конструкції поздовжнього профілю сортувальних гірок	9
1.2 Розвиток теорії та практики проектування поздовжнього профілю перевальної частини вітчизняних сортувальних гірок	13
1.3 Аналіз методів визначення положення відчепів в момент їх відриву від составу	17
1.4 Аналіз методів оцінки прохідності відчепів через перевальну частину гірки	23
2 Теоретичні дослідження процесу відриву відчепів від составу на перевальній частині гірки під час розпуску	27
2.1 Розробка аналітичного методу визначення положення однавогонних відчепів у момент відриву від составу під час розпуску з гірки	27
2.2 Визначення положення відчепів у момент відриву від составу під час розпуску з використанням імітаційного моделювання	35
3 Натурні дослідження процесу відриву відчепів від составу на перевальній частині експлуатованих сортувальних гірок	51
3.1 Методика проведення натурних спостережень за процесом відділення відчепів на перевальній частині гірки	51
3.2 Результати проведення натурних досліджень на експлуатованих сортувальних гірках	56
3.3 Зіставлення результатів натурних спостережень та теоретичних досліджень процесу відриву відчепів на перевальній частині гірки	58
3.4 Практичний додаток до результатів натурних спостережень	63
4 Розробка методики визначення раціонального варіанта подовжнього профілю перевальної частини сортувальної гірки	76

					УПВРП.300.00.00.000 ГІЗ			
Змн	Лист	№ докум.	Розроб.	Дат.				
Розробив		Давуранюк			Удосконалення підходів до визначення раціональних параметрів поздовжнього профілю перевальної частини сортувальної гірки	Пітера	Лист	Листів
Перевірив		Кущенко					4	113
Н. Контр.		Шаповал				УкрДУЗТ		
Затвер.		Огар						

4.1 Формулювання задачі	76
4.2 Вибір розрахункових моделей вагонів для оцінки якості поздовжнього профілю перевальної частини гірки	77
4.3 Розробка методики оцінки поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок	79
4.4 Результати експериментальних досліджень поздовжнього профілю перевальної частини експлуатованих сортувальних гірок	83
5 Техніко-економічне порівняння варіантів поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок	88
Висновки	106
Список використаних джерел	108

					УПВРП.300.00.00.000 ПЗ	Арх
Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дат		5

Вступ

Сортувальні гірки є найважливішими елементами технологічних систем переробки вагонопотоків і багато в чому визначають ефективність, надійність і результати їх функціонування.

Найважливішим параметром сортувальної гірки є поздовжній профіль, від конструкції якого залежить продуктивність і безпека роботи всього сортувального комплексу. Особливе значення має перевальна частина гірки, де відбувається розподіл составу на відчепи та утворення початкових просторових інтервалів між ними, що багато в чому визначає показники всього сортувального процесу, такі як: швидкість розпуску, гірковий технологічний інтервал і переробна спроможність гірки.

Окремим завданням є забезпечення відповідності параметрів поздовжнього профілю експлуатованих гірок проекту. Спотворення профілю, що виникають при експлуатації, можуть призводити не тільки до зменшення продуктивності гірки, але і до зниження рівня безпеки сортувального процесу.

Тому одним із важливих напрямів досліджень є визначення впливу спотворень поздовжнього профілю перевальної частини на експлуатаційні властивості гірки та визначення доцільності проведення її виправлення, у тому числі за економічними критеріями.

У діючих правилах і нормах проектування сортувальних пристроїв представлені діапазони допустимих значень визначення конструктивних параметрів перевальної частини гірок, при цьому методів і рекомендацій щодо визначення оптимальних значень не наведено. Таким чином, удосконалення методів розрахунку параметрів перевальної частини гірок є актуальним напрямом наукових досліджень.

Раніше виконані дослідження переважно були спрямовані на оптимізацію конструктивних та технологічних параметрів спускної частини гірок. При цьому дослідженню процесу проходження відчепів через горб гірки та визначення

раціональних конструктивних параметрів перевальної частини приділялася менша увага.

Підставою для розроблення теми цієї роботи стали положення Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту України, Закону України про енергозбереження, які спрямовані на підвищення ефективності діяльності галузі в умовах енерго- та ресурсозбереження з метою інтеграції до європейської та світової транспортної системи.

Вихідними даними слугували основні конструктивні параметри, технічне оснащення та кліматичні умови функціонування існуючої сортувальної гірки, типові конструкції гіркових горловин та наявні обсяги вагонопотоків з переробкою.

Метою роботи є удосконалення методів розрахунку параметрів поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок для інтенсифікації переробки вагонопотоків та підвищення безпеки сортувального процесу.

Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення наступних задач дослідження:

- виконати аналіз сучасного стану теорії та практики проектування поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок;
- удосконалити аналітичну та імітаційну моделі визначення положення відчепів у момент їх відриву від составу при розпуску з сортувальної гірки;
- виконати дослідження процесу відриву відчепів від составу під час розпуску та розробити пропозиції для удосконалення методики розрахунку гірок;
- удосконалити імітаційну модель та дослідити процес проходження зчепленими вагонами перевальної частини сортувальної гірки;
- розробити методику визначення раціонального варіанту поздовжнього профілю перевальної частини сортувальної гірки;
- обґрунтувати економічну доцільність запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження – процес функціонування сортувальної гірки.

Предмет дослідження – конструктивні параметри перевальної частини сортувальної гірки.

Методи дослідження. Виконані дослідження поставленої задачі базуються на використанні методу імітаційного моделювання процесу скочування розрахункових бігунів з використанням ПЕОМ, теорії математичної статистики, теорії ймовірності, математичного апарату нелінійного програмування, чисельних методів та економічного аналізу.

Елементом наукової новизни у роботі є те, що вперше розроблено методику визначення раціонального варіанта поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок, що дозволяє проводити порівняння варіантів за експлуатаційними та економічними критеріями.

1 Сучасний стан теорії і практики проектування поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок

1.1 Історичний огляд розвитку конструкції поздовжнього профілю сортувальних гірок

Поява сортувальних пристроїв була пов'язана з потребою у сортуванні вагонів, що виникла з розвитком мережі залізниць у першій половині XIX ст. Спочатку сортувальна робота виконувалася на горизонтальних коліях методом осадження, а згодом стали застосовувати підштовхування локомотивом. Поряд із цими способами в ряді країн пересування відцепів на відповідні колії виконувалося з використанням кінної тяги, наприклад, в Україні, а в США застосовувалися маневри за допомогою жердини [1].

Якісно новий виток розвитку сортувальних пристроїв стався в 1846 р., коли в Німеччині було збудовано першу залізничну станцію на уклоні (Дрезден-Фрідріхштадт), на якій маневри з розформування составів здійснювалися під дією сили тяжіння вагонів. Пізніше аналогічні станції були споруджені у Франції (Сент-Етьєн, 1863) і в Англії (Едж-Хілл, 1873). У США деякі станції чи окремі парки також почали проектуватися на уклоні (Грінвіль, Логанспорт, Шеридан та інших.) [2, 3]. На таких станціях розформування составів здійснювалося на суцільному змінному уклоні, на якому виділялися зони пасуву, розчеплення та вільного скочування вагонів.

Основним недоліком в експлуатації таких станцій та парків була необхідність розчеплення вагонів на уклоні. При виконанні цієї операції потрібно стиснути состав, для чого доводилося використовувати спеціальні гальмівні ручні засоби. Це суттєво ускладнювало процес розформування, вимагало додаткового часу та, відповідно, знижувало переробну спроможність усієї станції.

1876 р. на ст. Шнелльдорф (Німеччина) вперше була споруджена сортувальна гірка з виділенням насувної, перевальної та спускної частини як окремих ділянок поздовжнього профілю сортувального пристрою. Така конструкція дозволила розчіплювати вагони під час руху і без використання гальмових засобів. Це досягалося за рахунок наявності в профілі горба – перевальної частини гірки, перед якою насувна частина розташовувалася на підйомі (протиуклоні), забезпечуючи стиснення зчіпних пристроїв составу під час розчіплення вагонів. Таким чином, сформувалося основне призначення перевальної частини гірки, що полягає у забезпеченні зручності розчіплення вагонів біля вершини, а також плавного проходження рухомим складом горба гірки.

Подальша поява у світі станцій із сортувальними гірками (Терр-Нуар у 1888 р. у Франції тощо) стала поворотним моментом в історії розвитку сортувальних пристроїв та сортувальних станцій загалом, який закріпив нову «гіркову» технологію як основний спосіб масової переробки вагонопотоків [3, 4].

Згодом виникла необхідність збільшення продуктивності сортувальних гірок. Подальший розвиток гіркової технології був з механізацією процесу переробки вагонопотоків.

Першою дослідною сортувальною станцією, на якій було здійснено механізацію гірки, стала ст. Гам у Німеччині (1925 р.). Гірка мала одну механізовану гальмову позицію, що розташовувалась перед кожним пучком з семи-восьми сортувальних колій, і одну немеханізовану паркову гальмову позицію, протиуклон з боку насувної частини дорівнював 25 ‰. Профіль спускної частини був розбитий на три елементи: швидкісна ділянка – 36 ‰, проміжна ділянка – 15 ‰ і стрілочну зону, що розташовувалась на площадці [4, 5].

Такий тип гірок став основним не тільки у Німеччині, а й у інших країнах Європи. Німецька ст. Бремен була обладнана в 1929 р. новою механізованою сортувальною гіркою, що мала літній та зимовий поздовжній профіль перевальної частини. Гірка мала висоту 3,50 і 4,30 м, протиуклон 5 і 17 ‰, швидкісний уклон 50 і 67 ‰ відповідно для літнього та зимового горбів, проміжну ділянку 15 ‰ і стрілочну зону, що розташовувалась на горизонтальній площадці або уклоні 0,5 ‰.

Надалі за зразком німецьких гірок проводилося профілювання та механізація інших сортувальних гірок країн Європи (Англії, Австрії, Голландії, Німеччини, Данії, Фінляндії, Франції, Швейцарії, Швеції та ін.).

Новий тип механізованої гірки з «вершинними» уповільнювачами було введено в експлуатацію в 30-х роках XX ст. на ст. Дюмбург-Гохфельд-Південна у Німеччині. Гірка мала дві механізовані гальмові позиції та одну немеханізовану позицію парку. «Вершинні» уповільнювачі частково звільняли паровоз від роботи на гірці. Однак такий тип механізованих гірок надалі поширення не отримав [5].

Конструкція гірок у США відрізнялася від європейських наявністю великої кількості переломів поздовжнього профілю, більш пологими спусками, більшою висотою гірки та великою кількістю уповільнювачів. Механізовані гірки в США мали протилуклон 15-30 ‰, швидкісний уклон 25-40 ‰, кілька проміжних ділянок і стрілочну зону, що розташовувалася на уклонах до 3 ‰, а також три-чотири гальмові позиції. Широко застосовувалася ступінчаста конструкція поздовжнього профілю [6 – 8].

Причиною виникнення двох типів конструкції гірок (німецької та американської) є те, що в США був в основному великовантажний та багатовісний рухомий склад з автоматичним зчепленням, тим часом як у Німеччині та інших країнах Європи був змішаний вагонний парк, в основному без автозчеплення, з переважною кількістю вагонів малої вантажопідйомності. Крім того, в Німеччині та Європі основним завданням було підвищення пропускної спроможності гірок за рахунок збільшення швидкості розпуску, а США – зниження матеріальних витрат за рахунок ліквідації гальмових кондукторів і укладачів гальмових башмаків.

Поздовжній профіль перевальної частини, залежно від розташування вершини гірки, проектувався за двома варіантами. На більшості гірок перевальна частина сортувальної гірки проектувалася на коліях насуву за межами парку прийому. Проте на низці станцій перевальна частина знаходилася безпосередньо в межах парку прийому.

У першому варіанті сполучні криві на горбі гірці встановлювалися, як правило, найменшого радіусу, достатнього для пропуску більшості моделей вагонів

різних типів, за винятком деяких довгообазних моделей вагонів і зчепів, які пропускалися в обхід горба гірки по спеціальній колії. У другому варіанті радіуси сполучних кривих горба гірки повинні були забезпечувати можливість пропуску всіх типів вагонів (включаючи транспортери) і встановлюватися за мінімально можливим радіусом, що дорівнює 750 м. Згодом другий варіант поширення не отримав [2].

До 1934 р. в Україні з'явився власний проєкт механізованої сортувальної гірки, реалізований на ст. Червоний Ліман, особливістю якого стала параболічна форма гіркового профілю з двома гальмовими позиціями на спускній частині [9]. Надалі більшість українських гірок було побудовано за цим типом. Перші механізовані гірки мали протиуклон 7-20 ‰, швидкісний уклон 30-40 ‰ (обмежений за конструкцією паровозів [10]), кілька проміжних уклонів і стрілочну зону, що розташовувалася на уклонах до 2,5 ‰ [11]. Мінімальний радіус вертикальних кривих для перевальної частини гірок було встановлено 250 м.

Надалі розпочався етап автоматизації гірок, що разом із появою нового рухомого складу призвело до деяких змін плану та поздовжнього профілю, у тому числі й конструкції перевальної частини.

В даний час на залізницях Європи найбільш типовим є застосування так званої німецької схеми сортувальної гірки [12, 13]. Для таких гірок характерний наступний вид поздовжнього профілю: протиуклон 20-30 ‰, кругий швидкісний уклон 45-65 ‰, проміжні уклони 10-30 ‰, стрілочна зона та сортувальні колії на уклоні до 2,5 ‰. Мінімальний радіус вертикальних кривих, що сполучають елементи профілю, встановлений на сортувальних гірках Євросоюзу наступним чином [14]:

- для колії 1435 мм радіус вертикальної кривої на горбі гірки 250 м, на решті гірки 300 м;

- для колії 1520 мм радіус вертикальної кривої на горбі гірки 350 м, на решті частини 250 м (за винятком Словаччини, де радіус вертикальної кривої на горбі гірки встановлений рівним 300 м).

Для гірок США в даний час характерний наступний профіль: протилуклон до 30 ‰, перший швидкісний елемент з уклоном 30 ‰ з розміщеною на ньому позичії для зважування вагонів, наступний елемент, як правило, має більший уклон – 40 - 50 ‰, проміжні уклоги проектуються залежно від подальшого зниження висоти гірки з урахуванням прийнятого профілю в стрілочній зоні. уклон якої встановлюють з огляду на необхідність компенсації опору від кривих діляниць колії. Перевальна частина проектується виходячи з вимоги забезпечення достатнього нижнього зазору (кліренсу) при проході горба гірки вагонами, що переробляються. При цьому на горбі гірки можна проектувати вертикальні криві параболічного типу [15–17].

У ряді країн, наприклад, в Австралії, проектування вертикальної кривої мінімального радіусу на горбі гірки допускається лише за умови спорудження перевальної частини із залізобетонних плит. Ця вимога обгрунтовується необхідністю виключення можливості зменшення радіуса вертикальної кривої в процесі експлуатації до значення менше нормативного [18].

1.2 Розвиток теорії та практики проектування поздовжнього профілю перевальної частини вітчизняних сортувальних гірок

З розвитком сортувальних пристроїв та технології сортувальної роботи вдосконалювалася і теорія їхнього розрахунку. Наприкінці XIX ст. з'являються перші наукові дослідження з організації сортувальної роботи та проектування гірок. Основна увага приділялася розрахунку висоти гірки, а для визначення уклогів насувної і спускної частини гірки зазвичай наводилися вказівки переважно емпіричного характеру. В. Л. Арнольд вивів загальне рівняння руху відчепів і, досліджуючи його, дійшов висновку, що ідеальна форма профілю – циклоїд [19]. Основні положення про висоту та профіль сортувальних гірок розробив А. М. Фролов у 1906 р. [20]. У 1910 р. Г. Д. Дубелір розробив і вперше запропонував графічний метод розрахунку та перевірки профілю сортувальних гірок [21], який

пізніше Є. А. Гібшман значно удосконалив [22]. У 1916 р. В. М. Образцов розробляє графоаналітичний метод розрахунку та перевірки профілю сортувальних гірок [23].

Таким чином, у 20–30-х роках. XX ст. були сформовані основні положення теорії та практики проектування сортувальних гірок. Ці положення постійно вдосконалювалися та розвивалися з урахуванням сучасних вимог до влаштування, обладнання та організації роботи сортувальних гірок. Багато з цих положень тією чи іншою мірою використовуються в існуючій методичці проектування сортувальних гірок.

Значний внесок у розвиток теорії проектування та вдосконалення технології роботи сортувальних гірок внесли такі вчені та фахівці, як Є. В. Архангельський, С. А. Бессоненко, В. І. Бобровський, С. П. Бузанов, О. В. Бикадоров, М. Г. Дашков, О. М. Долаберідзе, Ю. І. Єфименко, В. І. Жуков, В. М. Іванченко, С. В. Карасьов, А. М. Карпов, А. А. Клімов, В. А. Кобзєв, М. Ю. Куценко, С. С. Мацкель, Ю. О. Муха, Є. В. Нагорний, В. Д. Нікітін, О. М. Огар, В. Є. Павлов, А. І. Павловський, М. В. Правдін, В. Д. Ратніков, С. М. Рудановський, А. Г. Савицький, Є. А. Сотников, І. П. Старшов, І. І. Страковський, Л. Б. Тишков, Х. Т. Туранов, М. І. Федотов, М. М. Ліхтарьов, А. М. Шабельников, В. П. Шейкін, В. М. Шелухін та ін.

Основна увага в дослідженнях приділялася оптимізації конструктивних та технологічних параметрів спускної частини гірки, які значною мірою визначають безпеку та ефективність сортувального процесу.

Водночас питання дослідження процесу проходження відчепів через горб гірки та визначення раціональних конструктивних параметрів перевальної частини гірки опрацьовано у меншому обсязі.

Основні етапи розвитку норм проектування перевальної частини гірки у хронологічному порядку представлені нижче [24].

1. Розвиток конструкції поздовжнього профілю перевальної частини багато в чому визначалося технічним прогресом у вагобудуванні. До початку переоснащення рухомого складу у 1935 р. з гвинтової упряжі на автоматичне зчеплення СА-3 (ІРТ-3) питання про саморозчеплення вагонів при проході горба гірки не ставили в принципі. Мінімальний радіус вертикальних кривих на

перевальній частині гірки проектувався виходячи з умови вертикального виписування найдовшого екіпажу, що проходить через гірку. Тому розрахунковий радіус кривих становив 200-250 м [5, 11, 25 – 27].

2. На перевальній частині сортувальних гірок тих часів, як правило, було дві гіркові колії насуву з різною висотою вершини горба гірки внаслідок великих перепадів температур протягом року. Зимовий горб гірки був вищий за літній для подолання додаткового опору вагонів при низьких температурах. На окремих станціях (у тому числі при одній колії на горбі), перед настанням зими здійснював тимчасовий підйом горбів шляхом подовження спускної частини у бік парку прийому, або за рахунок збільшення її ухилу або спільним застосуванням обох методів [28]. Також практикувалося нарощування горба зимової гірки на період сильних морозів на 20-25 см шляхом підйому його на напальники [10]. З появою рухомого складу на підшипниках кочення потреба в наявності зимового та літнього горбів відпала, тому горби гірок проектуються, як правило, в одному рівні, що відповідає зимовим умовам роботи.

3. При впровадженні автозчеплення, для скорочення випадків пошкодження автозчіпних пристроїв вагонів та їх саморозчеплення, вимоги до профілю перевальної частини змінилися, що знайшло відображення у новому нормативному документі «Технічні вказівки на проектування станцій і вузлів» (ТУПС-48), що вийшов в 1948 р. [29]. Були встановлені найменші радіуси вертикальних кривих при поділанні уклонів на горбі гірки: у бік насувної частини – не менше 350 м, а у бік спускної частини та на решті її елементів – не менше 250 м. Уклон підйому перед горбом гірки повинен був бути не менше 8 ‰, а перший елемент швидкісної ділянки гірки слід проектувати якомога кругішим, але не більше 40 ‰. Також було зазначено, що алгебраїчна різниця уклонів, що сполучаються на горбі гірки, не повинна перевищувати 55 ‰, щоб уникнути саморозчеплення вагонів. Ці вимоги збереглися й у наступній редакції ТУПС-54 [30].

4. Наступна зміна норм відбулася у ТУПС-61 у зв'язку з впровадженням нових видів тяги гіркових локомотивів [31]. Максимальна крутість першого елемента швидкісної ділянки гірки була збільшена до 50 ‰ при роботі тепловозів та

електровозів, але залишалася не крутіше 40 ‰ при збереженні на гірці паровозів. У зв'язку з цим, при сумі уклонів, що сполучаються на горбі гірці більше 55 ‰, щоб уникнути саморозчепу вагонів необхідно було влаштовувати на горбі гірки площадку довжиною, що дорівнює довжині бази вагона.

5. Завершення обладнання існуючого парку вагонів автозчіпкою до 1957 р. супроводжувалося впровадженням нових конструкцій вагонів, що призвело до зростання випадків саморозчеплення вагонів та пошкодження автозчіпних пристроїв при проході горба гірки довгобазними вагонами. Це відбито у документі «Зміни та доповнення № 1» 1965 р. до ТУПС-61 [32]. Найменший радіус вертикальної кривої при поєднанні уклонів на перевальній частині у бік спускної частини було збільшено на нових гірках з 250 до 350 м, що призвело до значного зниження випадків саморозчеплення та пошкодження вагонів на таких гірках.

6. Подальше поповнення парку восьмивісними та довгобазними вагонами призвело до збільшення випадків несвочасного відриву відчепів через заземлення розчеплених автозчепів на горбі гірки. В результаті цього в Інструкції з проєктування станцій і вузлів (ІПСУ-78), що вийшла в 1978 р. для полегшення роз'єднання розчеплених автозчепок, рекомендувалося влаштовувати між тангенсами сполучених вертикальних кривих на горбі гірки площадку, що дорівнює довжині бази вагона [33]. У зв'язку з цим максимальна крутість першого елемента швидкісної ділянки гірки була збільшена до 55‰. Виділився окремим нормативом другий варіант профілю насувної частини (підйом перед горбом гірки, з метою підвищення ефективності розпуску составів зі змінною швидкістю, рекомендовано було проєктувати на уклоні 12–16 ‰ довжиною 100–150 м). Найменші радіуси вертикальних кривих на перевальній частині слід було встановлювати на всіх гірках рівними 350 м, що практично виключило можливість саморозчеплення та наднормативних навантажень на автозчеплення для основної частини парку вагонів того часу.

7. Зміна норм проєктування в ІПСУ-78 покращила ситуацію із прохідністю довгобазних вагонів через горб гірки, проте посилила проблеми з несвочасним відривом та нерозчепами інших вагонів. Тому у зв'язку з удосконаленням

автозчеплення СА-3 та обладнанням восьмивісних вагонів новими автозчепленнями СА-3М і т. п., параметри сполучення були знову змінені, що знайшло відображення в Правилах і нормах проектування сортувальних пристроїв 1992 р. [34, 35]. Для поліпшення відділення відчепів найменший радіус вертикальної кривої при поєднанні елементів профілю на перевальній частині у бік спускної частини було зменшено з 350 до 250 м. З цієї ж метою вперше встановлено обмеження на найбільший радіус, який має бути на горбі гірки не більше 300 м з боку спускної частини та не більше 400 м з боку насувної частини. Крім цього, були скориговані норми проектування поздовжнього профілю перевальної частини з наявністю роздільного елемента, мінімальна довжина якого була зменшена з 19 до 10 м. з'явилася вимога про його розташування на підйомі (протиукливі крутістю не менше 5 ‰) замість площадки. Дані зміни були внесені з метою підвищення безпеки сортувального процесу для запобігання мимовільному скоченню відчепів при екстреній зупинці розпуску. В результаті цього через обмеження сумарної крутості елементів, які сполучаються на горбі гірки, що дорівнює 55 ‰, максимальний уклон першого елемента швидкісної ділянки спускної частини був зменшений з 55 до 50 ‰. Також з 1992 р. нормативи стали регламентувати значення спотворень профілю елементів гірки, що допускаються, в тому числі перевальної частини.

8. Зменшення мінімального радіусу сполучної вертикальної кривої з боку спускної частини з 350 до 250 м, а також обмеження максимальних радіусів дозволило покращити умови відриву відчепів на горбі гірки, але знову призвело до збільшення випадків саморозчеплення та пошкодження вагонів. Незважаючи на що обставину, з 1992 р. до теперішнього часу будь-яких змін, що стосуються норм проектування та утримання перевальної частини гірки, до нормативних документів не було внесено.

У свою чергу, дослідження за вказаними напрямками можуть проводитися для пошуку оптимальних проектних конструктивних параметрів горбів гірок, а також для оцінки якості фактичного поздовжнього профілю (конструкції) гіркових колій перевальної частини сортувальних гірок.

1.3 Аналіз методів визначення положення відчепів в момент їх відриву від составу

Точне визначення положення точок відриву відчепів від составу є важливим елементом у вирішенні багатьох завдань, що виникають при проектуванні плану та поздовжнього профілю спускної частини сортувальної гірки. Це завдання визначення інтервалів між відчепами, часу та швидкості скочування, вибору місця розміщення перших розділових елементів, а також обґрунтування ухилів та радіусів, що сполучають вертикальні криві на перевальній частині гірки.

Спочатку точкою відриву вагонів вважалася розрахункова вершина гірки, тобто точка перетину профільної лінії швидкісного ухилу з горизонтальною лінією, що проходить через вершину гірки. Надалі положення відчепа в момент його відриву від составу стали визначати такою його позицією на горбі гірки, при якій виникала рівність всіх сил, що діють на вагони. Таке уявлення зберігається і до теперішнього часу.

Розвиток методів розрахунку положень точок відриву відчепів від составу відбувався під впливом змін у поданні розрахункової моделі вагонів та точнішого обліку факторів, що діють на відчеп на перевальній частині [36].

Спочатку вагон розглядався як матеріальна точка. Питома рушійна сила, що діє на вагон, приймалася чисельно рівнозначною величині нахилу поздовжньої осі вагона, що дорівнює ухилу дільниці колії, якою рухається центр ваги вагона. Вважалось, що якщо вагон рухається опуклою дільницею профілю, то вільне скочування починається у той час, коли величина нахилу поздовжньої осі вагона чисельно перевищить його сумарний питомий опір руху. У перших роботах для визначення відстані від вершини гірки до точки відриву користувалися наближеною формулою, що включає лише основний питомий опір і радіус сполучної вертикальної кривої на горбі гірки [37]. До 30-х років XX ст. у розрахунках положення відчепів у останній момент їх відриву почали враховувати вже всі види відомих на той час питомих опорів руху вагонів [22, 23, 38].

Загальне рішення завдання визначення точки відриву як одновагонних, так і багатовагонних відчепів з'являється у праці [5]. Рішення рівняння рівноваги сил,

що діють на відцеп, проводилося ітераційним способом, що дозволило враховувати нерівномірний розподіл маси по довжині багатовагонного відцепу. Цьому методу, як і всім попереднім, властивий наступний недолік: внаслідок того, що рух вагона ототожнювався з рухом матеріальної точки по профілю горба гірки, при розрахунку виникає суттєва похибка визначення нахилу кузова і, як наслідок, значне відхилення розрахункового значення положення точок відриву від результатів натурних спостережень.

Поруч із аналітичними методами рішення широко застосовувалися і графічні методи визначення положення багатовагонних відцепів в останній момент їх відриву від составу. Є. А. Гібшман графічним методом визначав точку відриву рівномірно навантаженого відчепа виходячи із зміни середньозваженого ухилу відчепа при послідовному його переміщенні по горбу гірки [22]. Даному методу була властива відносна простота, але, як наслідок, недостатньо висока точність. Більш точний графічний метод М. О. Рогінського, заснований на побудові лінії енергетичних висот на профільних елементах перевальної частини гірки для відцепів з кількох вагонів, свого часу практично не застосовувався через високу трудомісткість і наявність похибок у розрахунках, особливо для довгих відцепів [39].

У 1950-ті роки, у роботах Г. І. Запорожця [40 – 42] було запропоновано формули розрахунку положення точки відриву відцепів, які враховують усі геометричні параметри поздовжнього профілю перевальної частини гірки. При визначенні нахилу поздовжньої осі кузова одновагонний відцеп розглядався не як матеріальна точка, а як опора, що дорівнює довжині бази вагона, що значно збільшувало точність розрахунку. Однак при розрахунку кута нахилу поздовжньої осі для чотиривісних та восьмивісних вагонів не враховувалася візкова схема їх ходових частин, що вносило деяку похибку у обчислення. Розрахунок точки відриву багатовагонних відцепів за формулою проводився лише за умови рівномірного розподілу маси відцепу по всій його довжині.

Вченими ВЗІІТу також розроблено методику аналітичного визначення точок відриву одновагонних відцепів на основі представлення моделі вагона як опори, що дорівнює довжині бази вагона [43]. У праці [44] запропоновано наближені формули

розрахунку для двох типів поздовжнього профілю горба гірки, що відповідають вимогам ІПСУ-78 [33]. Особливістю методу є заміна контуру вертикальною сполучною кривою ламаною лінією, близькою до цієї кривої.

У праці М. М. Бакалова для одновагонних та багатовагонних відцепів при складанні рівняння рівноваги в момент їх відриву від составу запропоновано осьову модель відцепів, яка згодом стала широко використовуватися при імітаційному моделюванні [45, 46]. Однак для аналітичного визначення точок відриву відцепів цей метод через свою складність поширення не отримав.

Надалі такі відомі вчені, як С. П. Бузанов, А. М. Карпов, Ю. О. Муха та низка інших розвивають аналітичний метод Г. І. Запорожця і у своїх працях [4] пропонують розраховувати точку відриву багатовагонних відцепів у момент рівноважного розподілу профільних сил та сил опору руху на елементах поздовжнього профілю гірки по довжині відцепу. Крім дослідження рівномірно навантажених відцепів, розглядаються також варіанти нерівномірно навантажених відцепів з важкими вагонами у хвості чи голові. Даний метод забезпечує досить точний результат для рівномірно навантаженого відцепу, але має низьку достовірність результатів для нерівномірно навантажених відцепів через усереднення багатьох параметрів при розрахунку.

Вчений НІІЗТ А. В. Бикадоров у своїх дослідженнях [47, 48] пропонував графічний метод визначення положення багатовагонних відцепів у момент їх відриву на основі зміни середньозваженого ухилу відцепу в залежності від його положення на перевальній частині гірки. Автор використовував такі припущення: профіль горба гірки окреслено відрізками прямих, довжина та ухил яких відповідають протяжності та крутості протиухилу, розділової площадки та швидкісного елемента; вагони у відцепі видаються як матеріальні точки. Метод дає досить точні результати, але також лише для рівномірно навантажених відцепів. В інших своїх роботах [49, 50] А. В. Бикадоров пропонував аналітичний метод розрахунку положення багатовагонних відцепів у момент відриву від составу, замінюючи сумарну профільну силу, що діє на відцеп, на рівняння двох кривих другого порядку та вирішуючи їх щодо повного питомого опору. В результаті було

розроблено наближену методику розрахунку, придатну для визначення точки відриву як для рівномірно, так і для нерівномірно навантажених відчепів.

У роботі [51] визначається положення точки відриву для довгих багатовагонних відчепів з використанням рівняння рівності різниці висот на пасувній і спускній частинах, фрагментів відчепа, що розташовуються на них, і енергетичних висот на подолання опору руху. Недоліком такого підходу є неможливість проведення досліджень із нерівномірно навантаженими відчепами, а також недостатньо висока точність розрахунку.

М. Г. Дашков у роботі [52] отримав формули розрахунку точок відриву одиночних вагонів для двох типів поздовжнього профілю горба гірки, що відповідають вимогам ПСУ-78. Положення вагона при відриві визначається, як і в методі Г. І. Запорожця, у момент, коли ухил осьової лінії автозчепів перевищить значення величини питомого опору руху. Наведені у цій праці рівняння враховують візкову схему ходових частин чотиривісних вагонів.

Використання методів розрахунку, в яких відрив одновагонних відчепів визначається через нахил їх поздовжньої осі та його порівнянням зі значенням сумарного питомого опору руху, було поширене і зустрічається при виконанні гіркових розрахунків в даний час [53].

Якісно новим етапом розвитку теорії скочування відчепів з гірки став перехід від аналітичних та графоаналітичних методів розрахунку до методів імітаційного моделювання, тобто вирішення диференціального рівняння руху відчепів ітераційними методами. Одним з перших з'явилися роботи В. К. Буянової, С. С. Мацкеля та Є. М. Шафіта, орієнтовані на моделювання на ЕОМ процесу розпуску вагонів методом послідовного дискретного переміщення відчепів. Однак рівень похибки розрахунків залишався досить високим через те, що моделювання процесу скочування відчепа – складна багатофункціональна математична задача, при вирішенні якої необхідно врахувати безліч змінних величин, у тому числі випадкових. Це значно збільшувало трудомісткість виконуваних робіт, яка часто перевищувала можливості ЕОМ на той час.

Зі зростанням можливостей обчислювальної техніки з'явилися імітаційні моделі процесу розформування составів з високим рівнем адекватності реальним умовам, що дозволило виконувати на них багатоваріантні експериментальні дослідження, у тому числі визначати положення відцепів у момент їхнього відриву від составу [54, 55]. Великий внесок у реалізацію та розвиток даних моделей зробили такі вчені, як Ю. О. Муха, В. І. Бобровський, Д. М. Козаченко, В. Є. Павлов, А. І. Павловський, Б. А. Родимов та ін. Закладені ними принципи та алгоритми розрахунку лягли в основу існуючої теорії розрахунку сортувальних гірок.

У цих роботах була запропонована більш досконала модель відцепу: при визначенні профільних сил прийнята система шарнірно з'єднаних матеріальних точок, відстані між якими рівні відстаням між відповідними осями відчепа, а сила тяжіння, зосереджена в кожній точці, дорівнює навантаженню на відповідну вісь відчепа [45].

При розрахунку сил опорів руху вагонів широко використовувалися методи теорії ймовірностей та математичної статистики, що дають змогу отримувати результати, що враховують випадковий характер досліджуваного процесу. Стало можливим знаходження сумарного впливу сил опору, що діють на вагон, як функції від ряду випадкових величин, кожна з яких має певний закон розподілу.

Таким чином, аналіз робіт, присвячених визначенню координат точок відриву відцепів від составу, показав, що існуючі методи ґрунтуються на розрахунках з використанням питомих сил опору, отриманих раніше дослідним шляхом. У своїх працях Х. Т. Туранов пропонує виконувати розрахунок сил опору руху на основі класичних положень теоретичної механіки. Отримані аналітичні залежності є новим етапом розвитку теорії динаміки скочування вагона, що розвивається і зараз.

Крім цього, у низці робіт розглядалося питання обліку додаткового опору руху вагона під час проходження перевальної частини гірки. Порівняння результатів теоретичних розрахунків та натурних спостережень за відривом відцепів від складу на горбі гірці неодноразово виконувалося фахівцями. Отримані результати в основному зводяться до констатації факту, що при рознуєку составів часто виникають проблеми зі своєчасним відривом відцепів та ін. Робляться висновки, що

фактичне становище відчепів у моменти їх відриву найчастіше відповідає розрахунковим координатам, визначеним теоретичним шляхом як графічними і аналітичними методами, і імітаційним моделюванням. Основною причиною цього називається додаткове зусилля на роз'єднання затиснених автозчепів, яке, як зазначається у роботах, може досягати значень 20 Н/кН і більше. Однак не являє та його облік у гіркових розрахунках залишається не повною мірою дослідженим.

Облік додаткового зусилля на роз'єднання автозчепів пропонується у роботі. Для перевірки варіанта досліджуваного поздовжнього профілю проводиться розрахунок показників роботи гірки з урахуванням затримки відриву дуже поганого бігуна (ДП) у зв'язку із затисканням автозчепів. Дане зусилля у зазначеному джерелі приймається рівним 220 кгс, що становить 10 кгс/тс для ДП бігуна масою 22 т.

Таким чином, існуючі методи розрахунку положення відчепів у момент відриву від составу при розпуску мають похибки. З іншого боку, використання лише нормативних видів опорів руху вагона під час розгляду процесу проходження відчепами горба горки є недостатнім.

1.4 Аналіз методів оцінки прохідності відчепів через перевальну частину гірки

Перші наукові дослідження з перевірки прохідності зчеплених вагонів через перевальну частину гірки з'явилися приблизно в той же час, коли почалося впроваджувати автозчеплення, у 40-50-х роках XX ст. У всіх працях, які виникли на той час, наводилися дані переважно емпіричного характеру. Згодом з'явилися фундаментальні роботи. У 1960 р. було видано працю [56], у методиці якій передбачався аналіз зміни вертикальних зсувів центрів автозчеплень і кутових вертикальних поворотів поздовжніх осей вагонів шляхом розрахунку цих показників у послідовних позиціях зчепу на профілі перевальної частини гірки і порівняння їх із значеннями, що допускаються. Розрахунок положення вагона на горбі гірки в даній методиці проводився без урахування кількості осей вагона.

У 1962 р. виходить праці [57, 58], де вищеописаний розрахунковий метод розвинений і перетворений на графоаналітичний. Цим методом оцінку прохідності

зчепу вагонів рекомендується проводити за максимальною величиною відносного вертикального зміщення осей автозчепів, що отримується при проході зчепу по горбу гірки, зменшеної на величину підйому автозчеплення в межах до упору хвостовика у верхню кромку розетки. Але, враховуючи знакозмінний характер дії поздовжніх сил у зчепі, зменшення відносного вертикального зміщення на цю величину слід розглядати як можливе, але не обов'язкове.

У 1963 р. виходить праця В. М. Максимова, в якій пропонується аналітичний метод для визначення можливості проходу вагонів по сортувальних гірках без саморозчеплення та розрахунку величини силової взаємодії в деталях зчеплених вагонів. Автор визначав відносне вертикальне зміщення автозчіпок при проходженні перевальної частини гірки за рівняннями руху п'ятникових точок вагонів. Цей метод є спрощеним, оскільки заснований на ряді припущень при розрахунку положень точок п'ятників вагона, що впливають на точність результату.

У 1971 р. видається праця за редакцією Ю. А. Хапілова, в якій аналітичний метод В. М. Максимова розвивається і значно переробляється. Знайдено точне аналітичне рішення в загальному вигляді для визначення відносних вертикальних зсувів центрів автозчепів та кутових поворотів осей для зчеплених вагонів, що проходять по перелому профілю колії. Також автором проводиться обґрунтування розрахункової величини нормативного вертикального зміщення осей, що допускається, типу СА-3 (180 мм) за найбільш очікуваним технічним станом автозчеплень рухомого складу. Недоліком роботи є наявність розрахункових формул тільки одного варіанту конструкції профілю перевальної частини гірки згідно з ТУПС-61.

У праці [59] досліджено силову взаємодію зчеплених вагонів при проходженні горба гірки. Встановлено, що наднормативні навантаження на автозчеплення обумовлені затисканням, а їх величина визначається додатковим вертикальним зміщенням рівнів осей автозчеплень під час прямування через горб гірки. Зроблено оцінку ймовірності наднормативного навантаження автозчепів у вагонів, що проходять перевальну частину при різних радіусах сполучення насувної та спускної

частин гірки. Багато положень цього дослідження зберегли цінність і актуальність до сьогодні.

У праці [60] пропонується визначати додаткове вертикальне зміщення осей автозчепів у вагонів, що проходять через горб гірки, як функцію дугових координат їх баз. Також досліджуються граничні проектні параметри профілю горба гірки, виходячи з умови прохідності зчеплених вагонів. Запропонований метод може використовуватися для аналізу проектного поздовжнього профілю перевальної частини без роздільного елемента, але не враховує оснність вагонів і через високу грудомісткість вимагає застосування ЕОМ.

М. Г. Дашков значно полегшує рівняння руху п'ятникових точок вагона, користуючись наближенням методом розрахунку їх координат, при цьому зберігаючи точність розрахунків на високому рівні. Також було усунуто похибку у розрахунку щодо вертикальних координат п'ятникових точок восьмивісних і чотирьохвісних вагонів. У роботі [61] обґрунтовується зменшення нормативної величини відносного вертикального зміщення осей автозчепок для деяких типів вагонів, що допускається. розглядається вплив спотворень профілю перевальної частини гірки на можливу появу саморозчепу вагонів при її проході, пропонується методика розрахунку періодичності виправлення поздовжнього профілю. Залежно від пропущеного по ньому тоннажу. Використання даного методу для горбів гірок, що мають профільний розділовий похилий елемент, вимагає доопрацювання рівнянь траєкторій руху п'ятникових точок.

У своїх роботах М. Г. Дашков досліджує прохідність зчепів вагонів з довгомірними вантажами вагонів через горб гірки. Встановлено, що розрахунок висоти опорних пристроїв (підкладок або турнікетних опор) під час перевезення довгомірного вантажу з опорою на суміжні вагони залежить від параметрів поздовжнього профілю сортувальної гірки. Запропоновано коригування розрахункових формул, встановлених технічними умовами навантаження та кріплення вантажів, для визначення висоти опорних пристроїв. Значення параметрів цих формул були отримані для універсальних платформ і напіввагонів за таких умов: сума величин схилів, що сполучаються, елементів профілю перевальної

частини гірки 55 ‰; величина радіуса вертикальних кривих при поєднанні елементів профілю на горбі та спускній частини гірки 250 м.

В даний час у ряді досліджень при проектуванні нових зчленованих вантажних вагонів (наприклад, зчленованих платформ для перевезення великотоннажних контейнерів моделей 13-470-01 та 13-9894) розрахунок турнікетних опор, що гарантують безпеку проходження сортувальних гірок, проводиться імітаційним моделюванням. Дослідження впливу параметрів турнікетних опор на геометричну прохідність зчленованими вагонами горбів сортувальних гірок проводиться для трьох видів поздовжнього профілю: без профільного роздільного елемента, з профільним розділовим елементом, а також профілю відповідно до [62]. У кожному з варіантів профілю горбів гір вибираються граничні умови, що забезпечують максимальні кути перелому профілю (55 або 70‰) і мінімальні величини радіусів, що сполучають вертикальних кривих (250 м).

Таким чином, норми розрахунку прохідності нових вагонів, розрахунку висоти опорних пристроїв при перевезенні довгомірних вантажів на зчепках вагонів, а також на нових зчленованих вагонах-платформах, визначені для проектного контуру профілю перевальної частини гірки з максимально допустимим переломом профілю на горбі гірки 55 ‰ і радіусом сполучних вертикальних кривих 250 м. При цьому фактор можливої появи наднормативних спотворень профілю, що виникають у процесі експлуатації, враховано не повною мірою. Звідси випливає, що зменшення фактичного радіуса вертикальної кривої, що сполучає, на вершині гірки менше 250 м, при граничній сумі величин уклонів елементів профілю, що сполучаються, на горбі гірки, несе потенційну загрозу безпеці проходження вагонів і зчепів через горб гірки. У зв'язку з цим, цей норматив перегляду у бік зниження не підлягає.

Таким чином, існуючі методи оцінки прохідності зчеплених вагонів (відчепів) через горб гірки не дають можливості кількісно оцінити ймовірність появи саморозчепів вагонів або пошкодження автозчеплень вагонів. При цьому більшість методів орієнтована лише на нормативну конструкцію профілю горба гірки. Також слід відзначити недостатню кількість наукових праць, присвячених питанням

дослідження прохідності рухомим складом перевальної частини гірки при спотворенні поздовжнього профілю в процесі експлуатації.

2 Теоретичні дослідження процесу відриву відцепів від составу на перевальній частині гірки під час розпуску

2.1 Розробка аналітичного методу визначення положення одновагонних відцепів у момент відриву від составу під час розпуску з гірки

2.1.1 Визначення умови відриву одновагонних відцепів від составу під час розпуску

В даний час при проектуванні та оптимізації конструкції гірок для визначення положення відцепів у момент їх відриву від составу на горбі застосовуються аналітичні методи, в яких, як правило, за початок вільного скочування одновагонного відцепу приймається момент, коли тангенс нахилу поздовжньої осі вагона до горизонтальної площини, еквівалентний питомій профільній силі, що прискорює, чисельно перевищить сумарний питомий опір руху Σw [40, 52, 53]. Така умова відриву вагона є спрощеною, що призводить до появи похибок при обчисленнях.

Застосування методу імітаційного моделювання процесу розпуску составів, заснованого на шарнірно-осьовому поданні відцепів, дозволяє отримувати більш точні результати [45, 47; 50, 60]. Відповідно до цієї моделі відрив вагона від составу відбувається у момент, коли середньозважений ухил під осями вагона перевищить значення величини сумарного питомого опору руху. Враховуючи, що вплив на розрахункове значення середньозваженого ухилу довжини бази візка вагона незначне, для спрощення подальших розрахунків у цій роботі розглядаються лише

ухили колії під п'ятниками вагона. При цьому умова відриву одновагонного відцепу від составу згідно шарнірно-осьової моделі вагона, має вигляд:

$$-(i_1 + i_2)/2 > \sum w, \quad (2.1)$$

де i_1, i_2 – ухили поздовжнього профілю колії на горбі гірки під п'ятниками вагона з боку насувної та спускної частин відповідно (знак мінус приймається при прискорюючому впливі ухилу на відцеп), ‰;

$\sum w$ – сумарний питомий опір відчепа в момент відриву від составу, Н/кН.

Вираз (2.1) не враховує нахил поздовжньої осі вагона до горизонтальної площини під час проходження перевальної частини гірки. Тому, у [61, 62] зроблено висновок умови відриву одновагонного відцепу з використанням рівняння рівноваги плоскої системи сил, що діють на п'ятники вагона. Отримано наступний підсумковий вираз, що враховує нахил поздовжньої осі вагона до горизонтальної площини:

$$\frac{\sin \alpha_2 \cdot \cos(\alpha_1 + \beta) - \sin \alpha_1 \cdot \cos(\alpha_2 - \beta)}{\cos \alpha_1 \cdot \cos(\alpha_2 - \beta) + \cos \alpha_2 \cdot \cos(\alpha_1 + \beta)} > \sum w \cdot 10^{-1}, \quad (2.2)$$

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 частині сортувальної гірки незначні (не більше 3 град.). Тому в даній роботі приймається, що кут нахилу поздовжньої осі вагона до горизонтальної площини в момент відриву відчепа дорівнює нулю ($\beta = 0$), а вираз (2.2) набуває вигляду:

$$(2.3)$$

При подальшому перетворенні умова (2.3) набуде вигляду:

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1}{2} > \sum w \cdot 10^{-3}. \quad (2.4)$$

У свою чергу, спрощену умову (2.4) можна перетворити на вигляд аналогічним виразом (2.1):

$$\frac{-(i_1 + i_2)}{2} > \sum w, \quad (2.5)$$

де i_1, i_2 – значення ухилів поздовжнього профілю колії на горбі гірки під п'ятниками вагона з боку насувної та спускної частин відповідно (знак мінус приймається при прискорюючій дії ухилу на відчеп), ‰.

Очевидно, що спрощена умова відриву одновагонного відчепу від составу (2.5), отримана з використанням рівняння рівноваги плоскої системи сил, збігається з умовою відриву (2.1), отриманою на підставі шарнірно-осьової моделі, яка використовується при імітаційному моделюванні. Вирази (2.2) та (2.5) розрізняються лівою частиною, де проводиться визначення питомої рушійної сили. Порівняння результатів розрахунку питомої рушійної сили, отриманих з використанням виразу (2.2) та спрощеного виразу (2.5) або (2.1), показало, що відносна різниця результатів не перевищує 0,2% (таблиця 2.1). Отже, для практичного застосування під час аналітичних розрахунків можна використовувати вираз (2.5).

Таблиця 2.1 – Порівняння результатів розрахунку питомої рушійної сили, що діє на одновагонний відчеп

Уклон поздовжнього профіля колії під п'ятником вагона*, ‰		Уклон нахилу поздовжньої осі вагона до горизонту, ‰	Питома рушійна (профільна) сила, Н/кН		Відносна різниця результатів, %
заднім	переднім		з виразу (2.2)	з виразу (2.5)	
16	-20	10	2,00324	2,0	0,162
8	-10	5	1,000405	1,0	0,04
8	-20	0	6,0	6,0	0,0
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	50,0	50,0	0,0
* – знак мінус приймається при прискорюючій дії уклону на підчеп					

2.1.2 Розробка аналітичного методу розрахунку положення одновагонних відцепів у момент їх відриву від составу

Для отримання рішення нерівності (2.5) рекомендується використовувати рівняння траєкторії руху п'ятників вагона по горбу гірки, які наведені у таблиці 2.2. Для цього поздовжній профіль перевальної частини сортувальної гірки, який показаний на рисунку 2.1, розбивається на чотири ділянки, для кожної з яких складається 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 2.2 – Аналітичні залежності для опису проходження одновагонного відцепу 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 вагону на ділянках поздовжнього профілю горба гірки, $tg\alpha = y' = f'(x)$	
заднього	переднього	заднім	переднім
I – ділянка протнуклону			
$y_1 = i_n(x - l - T_n) \times 10^{-3}$, при $x - l \in -2T_n$	-*	$tg\alpha_1 = i_n \times 10^{-3}$, при $x - l \in -2T_n$	-*
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			
$y_1 = -\frac{(x - l)^2}{2R_n}$, при $0 \leq x - l < 2T_n$	$y_2 = -\frac{(l + x)^2}{2R_n}$, при $0 \leq x + l < 2T_n$	$tg\alpha_1 = -\frac{x - l}{R_n}$, при $0 \leq x - l < 2T_n$	$tg\alpha_2 = -\frac{x + l}{R_n}$, при $0 \leq x + l < 2T_n$
IV – ділянка швидкісного елемента			
-*	$y_3 = -i_n(l + x - T_n) \times 10^{-3}$, при $x + l \geq 2T_n$	-*	$tg\alpha_3 = -i_n \times 10^{-3}$, при $x + l \geq 2T_n$
Примітки: x – координата центра відцепу відносно вершини гірки, м; l – половина бази вагона, м; i_n – крутизна протнуклону, ‰; i – уклон швидкісного елемента, ‰;			

R_n, R_s – радіуси вертикальних кривих з боку насувної і спускної частини відповідно, м;
 T_n, T_s – значення тангенсів вертикальних кривих з боку насувної і спускної частини відповідно, м; * – варіант не розглядається, оскільки при розташуванні п'ятника на даній ділянці відрив відчепу неможливий.

Під час подолання перевальної ділянки гірки можливі п'ять різних розташувань п'ятників вагона на розрахункових ділянках у момент відриву від составу, що вказано на рисунку 2.2.

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

Рисунок 2.1 – Схема для визначення уклонів під п'ятниками вагона на ділянках поздовжнього профілю горба гірки

На рисунках 2.1 та 2.2 позначені зони гірки: I зона – протиухил; II зона – вертикальна крива з боку насувної частини; III зона – вертикальна крива з боку спускної частини; IV зона – швидкісний елемент.

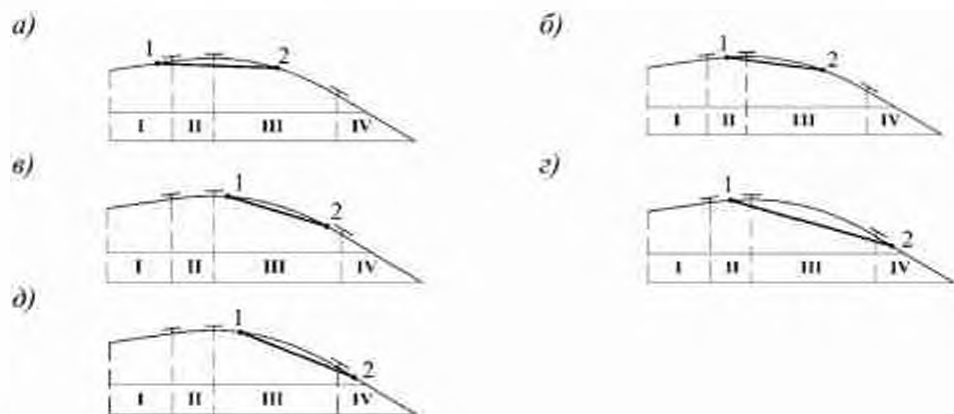


Рисунок 2.2 – Можливі варіанти розташування п'ятників вагона на горбі гірки у момент відриву одновагонного відчепу від составу

Очевидно, що для більшості типів гірок і конструкцій вагонів в момент відриву від составу найбільш ймовірним місцезнаходженням заднього п'ятника вагона буде на протиухилі, а переднього п'ятника – на вертикальній кривій з боку спускної частини або на швидкісному елементі, як це показано на рисунку 2.2а. Отже, в першу чергу виконується розрахунок координати точки відриву x_0

відповідно до цього розташування п'ятників. Для цього проводиться підстановка у вираз (2.5) рівнянь ухилів з таблиці 2.2, які відповідають траєкторіям руху п'ятників вагона у вказаних зонах гірки. Отже, результатом вирішення виразу (2.5) буде визначення координати центру вагона щодо вершини гірки в момент його відриву від составу за наступною формулою:

$$x_0 = R_c (2\ddot{a} w + i_n) \times 10^{-3} - l, \text{ якщо } \begin{cases} 1 - 2T_n \leq x_0 \leq 1 - 2T_c - l \\ 1 - l \leq x_0 \leq 2T_c - l \end{cases} \quad (2.6)$$

У випадку коли значення x_0 не задовольняє умовам виразу (2.6), то розташування п'ятників не буде відповідати розрахунковій схемі варіанта 1 (рисунк 2.2а). Тому необхідно зробити додатковий розрахунок для варіанта 2 (рисунк 2.2б) за формулою:

$$x_0 = \frac{2\ddot{a} w \times 10^{-3} \times R_c R_n - l(R_n - R_c)}{R_n + R_c}, \text{ якщо } \begin{cases} 1 - 2T_n \leq x_0 \leq 1 \\ 1 - l \leq x_0 \leq 2T_c - l \end{cases} \quad (2.7)$$

Зазначене положення є найбільш характерним для короткобазних вагонів, кругих протиуклонів чи великих значень сумарного питомого опору руху відчепа у момент відриву.

У випадку коли значення x_0 не задовольняє і умовам виразу (2.7), то виконують подальший розрахунок для варіанта 3 (рисунк 2.2в). При цьому задній і передній п'ятники розташовуються на вертикальній кривій з боку спускної частини. Таке положення можливе при утрудненні відриву вагонів і за високих значень сумарного питомого опору руху відчепа у момент його відриву. Для варіанта 3 координата відриву визначається за формулою:

$$x_0 = R_c \ddot{a} w \times 10^{-3}, \text{ якщо } \begin{cases} 1 - l \leq x_0 \leq 2T_c + l \\ 1 - l \leq x_0 \leq 2T_c - l \end{cases} \quad (2.8)$$

Якщо значення x_0 не відповідає умовам виразу (2.8), потрібно провести додатковий розрахунок для варіанту 4 (рисунк 2.2г). Таке положення є

малоймовірним і можливе лише у випадку ускладнення відриву довгобазних вагонів або незначного уклону швидкохідного елемента, або значної суми питомого опору руху на момент відриву. Для варіанту 4 координата центру вагона в момент відриву визначатиметься за такою формулою:

$$x_0 = R_n (2a_w - l_c) \times 10^{-3} + l, \text{ якщо } \begin{cases} x_0 \geq 2T_c - l, \\ l - 2T_n \leq x_0 \leq l. \end{cases} \quad (2.9)$$

Якщо значення x_0 і в даному випадку не відповідає умовам виразу (2.9), то розташування п'ятиників буде відповідати варіанту 5 (рисунк 2.2д). Така ситуація є найменш ймовірною і можливою лише при значному сумарному питомому опорі руху відчепу в момент його відриву від состава, спричиненому сильним зустрічним вітром або (і) високим опором роз'єднанню взаємодіючих автозчеплень. У цьому випадку розрахунок координати проводиться за такою формулою:

$$x_0 = R (2a_w - l_c) \times 10^{-3} + l, \text{ якщо } \begin{cases} x_0 \geq 2T_c - l, \\ l - 2T_n < x_0 < l + l. \end{cases} \quad (2.10)$$

Якщо значення x_0 , яке було отримане за допомогою формул (2.6–2.10), не відповідає умовам для застосування цих виразів, то відрив відчепу від состава буде неможливим через силу надзвичайно великого значення сумарного питомого опору руху.

Важливо зауважити, що зазвичай достатньо провести розрахунок для визначення координати точки відриву, використовуючи лише формулу (2.6), і лише за певних умов може знадобитися додатковий розрахунок за допомогою формули (2.7). Потреба у подальшому застосуванні формул (2.8), (2.9) та (2.10) може виникнути лише в разі високих значень сумарного питомого опору руху відчепу, що є малоймовірним.

2.1.3 Порівняння результатів розрахунку координат точок відриву відчепів, визначених різними методами розрахунку

У роботі був проведений аналіз координат точок відриву, визначених за допомогою розробленого аналітичного методу, і їх порівняння з результатами, отриманими за допомогою інших аналітичних методів. Порівняння було проведено для різних типів вагонів, конструктивних виконань горбів гірок та різних значень сумарного питомого опору руху в момент відриву (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Порівняння результатів розрахунку координат одновагонних відчепів в момент їх відриву від составу, отриманих різними методами

Параметри профіля перевальної частини гірки	Сумарний питомий опір руху відчепів, Н/кН	Координата центру вагона (критий вагон довжиною 14,73 м / напіввагон довжиною 13,92 м) відносно вершини гірки в момент відриву від составу, м				
		Аналітичні методи				Метод імітаційного моделювання (крок 0,01 м)
		Розроблений метод	Метод [19]	Метод [54]	Метод [55]	
$i_{\text{в}} = 5^\circ / \text{км};$ $i_{\text{с}} = 50^\circ / \text{км};$ $R_{\text{в}} = 350 \text{ м};$ $R_{\text{с}} = 250 \text{ м}$	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
$i_{\text{в}} = 20^\circ / \text{км};$ $i_{\text{с}} = 35^\circ / \text{км};$ $R_{\text{в}} = 400 \text{ м};$ $R_{\text{с}} = 300 \text{ м}$	45	15,00/14,33	11,25/11,25	*	*	15,01/14,34
	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
* – застосування розрахункової формули неможливе через вихід вихідних даних за область допустимих значень.						

У результаті використання спрощеної моделі вагона при аналітичних розрахунках, що були виконані за методами, описаними в джерелах, було виявлено, що під час відриву одновагонних відчепів від составу їх положення може бути віддалене в бік спускної частини гірки на декілька метрів. В свою чергу, це може призвести до неточностей у гіркових розрахунках.

Порівняння результатів, отриманих за допомогою аналітичного методу, розробленого в цьому дослідженні, з результатами, отриманими за допомогою

методу імітаційного моделювання скочування вагонів з гірки при використанні шарнірно-осьової моделі, 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. Додатково, порівняно з іншими аналітичними методами, запропонований метод не має обмежень на діапазон можливих вхідних значень параметрів гірки та величини питомого опору руху.

В розробленому методі розглядаються лише одновагонні відцепи, оскільки саме вони використовуються для гіркових розрахунків. Це важливо для визначення гранично допустимих рівнів технічних та технологічних параметрів гірок, що впливає на результати розпуску составу. Розробка аналітичних методів визначення положення точок відриву багатовагонних відцепів є окремим завданням, яке може бути вирішено в майбутньому з використанням розроблених у цьому дослідженні підходів.

2.2 Визначення положення відцепів у момент відриву від составу під час розпуску з використанням імітаційного моделювання

2.2.1 Розробка імітаційної моделі для визначення положення відцепів у момент їх відриву від составу

Використання розглянутих вище аналітичних методів розрахунку положення одновагонних відцепів у момент їх відриву від составу під час розпуску має кілька обмежень, наприклад:

- застосування можливе тільки при дослідженні проєктного поздовжнього профілю, що не має місцевих спотворень;
- використання розрахункових формул можливе тільки при типових конструкціях поздовжнього профілю перевальної частини гірки, що не дозволяє розглядати поздовжній профіль довільного контуру;

- розглядається спрощена модель вагона;
- неможливість застосування для багатовагонних відцепів.

Використання методу імітаційного моделювання дозволяє виключити зазначені недоліки і найбільше підходить для вирішення завдань оптимізації конструкції експлуатованих гірок.

Крім цього, як зазначалося вище, досі питання дослідження явища нещасливого відділення відцепів від составу залишається не повною мірою опрацьованим. Тому доцільно зробити дослідження впливу можливих сил опору в контурі зачеплення автозчепів на затримку відриву відцепів від составу.

Для вирішення цього завдання необхідно проводити розрахунок положення відцепів на перевальній частині гірки в момент їх відриву від составу з урахуванням можливості виникнення сил опору в розчеплених автозчепленнях. При цьому, для проведення подальших досліджень необхідно проводити як прямий розрахунок (тобто розрахунок положення відчепа в момент його відриву від составу залежно від величини діючих сил опору в автозчепленнях), так і зворотний розрахунок (тобто розрахунок величин діючих сил опору в автозчепленнях суміжних відцепів під час розпуску залежно від положення відчепа в останній момент його відриву від составу). Крім цього, повинна бути можливість проводити розрахунки на довільному контурі поздовжнього профілю перевальної частини гірки, для можливого проведення дослідження сил опору в автозчепленнях на гірках, що експлуатуються.

Враховуючи високу складність розв'язання задачі відомими аналітичними методами, є доцільним розробка математичної моделі для розрахунку положення відцепів у момент їх відриву від составу, що враховує сили взаємодії в розчеплених автозчепленнях, рішення якої буде проводитися з використанням ЕОМ.

Розроблювана модель ґрунтується на шарнірно-осьовому представленні відчепа. На відміну від існуючих імітаційних моделей в даній моделі пропонується на додаток до сумарного опору руху відчепа враховувати новий додатковий доданок – опір роз'єднанню автозчепів суміжних відцепів при їх відокремленні від составу. Також імітаційна модель дозволяє враховувати ступінь впливу можливих

сил опору роз'єднанню автозчепів на затримку відділення відчепу від составу при довільному контурі поздовжнього профілю гірки та будь-яких заданих параметрів вагона.

При проведенні різних досліджень і розрахунків положення точки відриву від составу одиночного вагона або відчепу з кількох вагонів може визначатися відстанню від вершини гірки до їхнього центру тяжіння, або до перших або останніх колісних пар відчепу, або до осей зачеплення автозчепок вагонів (голови відчепу) або останніх вагонів (хвоста відчепу) у момент, коли починається їхнє вільне скочування. У моделі, що розглядається за координату точки відриву x_0 приймається відстань від фактичної вершини гірки до центру тяжіння останнього вагона у відчепі (хвоста відчепу) у момент його відриву від составу (рисунок 2.3).

Рисунок 2.3 – Розрахункова схема визначення координати x_0 точки відриву відчепу від составу

Імітаційне моделювання відриву відчепу роводиться у декілька етапів.

На перому підготовчому етапі проводиться формування масиву даних координат (x_i, y_i) , що описують поздовжній профіль перевальної частини гірки. Масив координат (x_i, y_i) може формуватися по заданим геометричним параметрам горба гірки, такими, як довжини прямолінійних елементів профілю і величини їх уклонів, а також радіуси сполучних вертикальних кривих. При цьому горизонтальний крок Δx при формуванні масива координат (x_i, y_i) може задаватися довільно у залежності від потрібної точності розрахунків. При дослідженні існуючих гірок, масив даних щодо поздовжнього профіля формується шляхом введення послідовності координат x_i та y_i , отриманих в результаті інструментальної зйомки перевальної частини гіркової колії. В обох випадках координата вершини гірки x_{01} приймається рівною нулю, а координата y_{01} приймається:

- у першому випадку, рівною будь-якій умовній висотній відмітці;
- у другому випадку, рівною фактичній висотній відмітці за результатами інструментальної зйомки.

На другому підготовчому етапі проводиться формування даних про відцеп, що скочується: число вагонів у відцепі, тип кожного вагона у відцепі, геометричні параметри вагона (довжина вагона, база вагона, відстань між осями колісних пар біля візка, число осей тощо), питомі опору руху відцепу (основне, від середовища та вітру, від стрілок та кривих).

На третьому етапі моделюється рух відцепу по перевальній частині гірки шляхом послідовного його суміщення у бік спускної частини з обраним кроком Δx від початкової позиції до моменту рівності сил опору руху відцепу і рушійних (профільних) сил.

За початкове положення відцепу приймається така його позиція, при якій автозчеплення, що розчіплюються, знаходяться в стисломому стані, що забезпечує можливість проведення розчеплення гірковим складачем. Як правило, розчеплення проводиться при розташуванні відцепу перед вершиною гірки. Тому в імітаційній моделі розрахункова початкова позиція встановлюється за такого положення відцепу, при якому перша вісь колісної пари головного вагона відцепу досягає фактичної вершини гірки.

Закінченням третього етапу при послідовному переміщенні одновагонного відцепу буде момент, коли його положення буде відповідати такій позиції на горбі гірки (рисунк 2.4), при якій парастаюча величина рушійної (профільної) сили $F^{пр}$, що діє на вагон, зрівняється з величиною сили сумарного опору руху вагона $\Sigma R^{сум}$.

Рисунок 2.4 – Положення одновагонного відцепу на горбі гірки в момент рівності рушійної сили та сумарної сили опору руху, що відповідає закінченню третього етапу

Для багатовагонного відцепу величина рушійної сили визначається як сума профільних сил усіх вагонів, що входять до цього відцепу. При цьому момент

переходу до наступного етапу моделювання, який визначається рівністю значень величин рушійної сили та сумарних сил опору руху всього відцепу, можна представити наступним виразом:

$$\sum_{k=1}^{n_k} F_k^{np} = \sum_{k=1}^{n_k} W_k^{сум}, \quad (2.11)$$

де n_k - кількість вагонів у відцепі, віг/відч;

F_k^{np} - проекція на горизонтальну вісь рушійної (профільної) сили, що діє на k -ий вагон у відцепі, Н;

$W_k^{сум}$ - проекція на горизонтальну вісь сумарної сили опору руху k -го вагону у відцепі в момент закінчення третього етапу моделювання, що складається з величин сили основного опору руху, сили опору руху від середовища та вітру, сили опору від стрілок та кривих, Н.

Проведені натурні спостереження на сортувальних гірках і подальший їх аналіз показали, що реальні процеси, які описуються на цьому етапі моделювання, можуть бути досить достовірно формалізовані з використанням широко застосовуваної шарнірно-осьової моделі відцепів, що скочуються.

У зазначеній моделі при визначенні профільних сил прийнята система шарнірно-з'єднаних матеріальних точок, відстані між якими дорівнюють відстаням між відповідними осями відцепу, а маса, зосереджена в кожній точці, дорівнює навантаженню на відповідну вісь відцепу (рисунок 2.5).

З урахуванням вищевказаного, вираз (2.11) набуде вигляду:

$$(2.12)$$

де $n_k^{(j)}$ - кількість осей у k -го вагону у відцепі, вісей/вагон;

F_{kj} - профільна сила, що діє на j -ту вісь k -го вагону у відцепі, Н;

α_M - кут нахилу дотичної до лінії поздовжнього профіля горба гірки відносно горизонтальної площини у місці контакту рейки j -тою віссю k -го вагону у відчепі, град.

Рисунок 2.5 – Розрахункова схема для визначення рушійних профільних сил, що діють на осі k -го вагону у відчепі

При переході з абсолютних величин сил на питомі та використанні вищезгаданої моделі відчепів, що скочуються, а також враховуючи можливість різного впливу сил опору руху відчепа на кожну його вісь, вираз (2.12) набуває наступного вигляду:

$$\sum_{k=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_j} (f_{kj} q_{kj} \cos \alpha_{kj}) = \sum_{k=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_j} (w_{kj} q_{kj} \cos \alpha_{kj}), \quad (2.13)$$

де f_{kj} - питома рушійна (профільна) сила, що діє на j -у вісь k -го вагону у відчепі, Н/кН;

q_{kj} - сила тяжіння (вага), що діє j -у вісь k -го вагону у відчепі, кН;

w_{kj} - сумарний питомий опір руху, що діє на j -у вісь k -го вагону у відчепі, Н/кН.

Перетворивши формулу (2.13), згідно до розрахункової схеми на рисунку 2.5, відносно f_{kj} , отримаємо:

$$(2.14)$$

Зважаючи на невелику величину кутів нахилу оздовжнього профіля до горизонту а, Equation.3 і враховуючи, що косінус малих кутів приблизно дорівнює одиниці, а синус малих кутів приблизно дорівнює тангенсу, то доцільно вираз (2.14) перетворити у наступний вигляд:

$$(2.15)$$

Зважаючи на те, що у порожніх, а також у більшості завантажених вагонів значення сил тяжіння, що діють на всі осі вагона, приблизно рівні між собою, а також рівність величин тангенса кута нахилу і крутості ухилу, формулу (2.15) можна перетворити до наступного виразу:

$$\sum_{k=1}^{n_k} \left(\frac{Q_k}{n_k^o} \cdot \sum_{j=1}^{n_k^o} (i_{kj}) \right) = \sum_{k=1}^{n_k} \left(\frac{Q_k}{n_k^o} \cdot \sum_{j=1}^{n_k^o} (w_{kj}) \right), \quad (2.16)$$

або

$$\sum_{k=1}^{n_k} \left(\frac{m_k g_k^j}{n_k^o} \cdot \sum_{j=1}^{n_k^o} (i_{kj}) \right) = \sum_{k=1}^{n_k} \left(\frac{m_k g_k^j}{n_k^o} \cdot \sum_{j=1}^{n_k^o} (w_{kj}) \right), \quad (2.17)$$

де Q_k - розрахункова вага k -го вагона у відчепі, кН;

m_k - маса k -го вагона, що входить у відчеп, т;

g_k^j - прискорення вільного падіння з урахуванням інерції колісних пар, м/с.

i_{kj} - значення уклону дотичної до лінії поздовжнього профіля горба гірки у місці торкання рейки j -ї вісі k -го вагона у відчепі, ‰;

n_k^o - кількість вісей у k -го вагона у відчепі.

Для відчепу, що складається з одного чотиривісного вагона, умову (2.11) та вираз (2.17) можна спростити до вигляду:

$$(2.18)$$

де i_1, i_2, i_3, i_4 - значення крутизни уклонів поздовжнього профілю колії на горбі гірки під осями вагона (знак мінус приймається при прискорюючому впливі уклону на відчеп), %.

Закінченням третього етапу моделювання при послідовному переміщенні відчепу у бік спускної частини гірки буде момент, коли його положення буде відповідати рівності (2.17) для багатовагонного відчепу або рівності (2.18) для одновагонного відчепу. Дане положення на горбі гірки характеризується моментом рівності наростаючої рушійної (профільної) сили F^{ap} , що діє на відчеп, і сили сумарного опору руху W^{sum} , а також відповідає положенню відчепу в момент його відриву від составу при відсутності зусиль, що затримують розведення розчеплюваних автозчеплень у суміжних відчепів.

На четвертому етапі моделюється рух відчепу по перевальній частині гірки шляхом послідовного його зміщення у бік спускної частини з кроком Δx від встановленої на третьому етапі позиції рівності рушійних сил і сил опору руху до положення на горбі гірки, при якому відрив відчепу стає неможливим. Неможливість відриву відчепу обумовлюється наявністю таких значних величин сил, що затримують розведення автозчеплень у суміжних відчепів, що попередній відчеп «тягне» за собою наступний відчеп. Тобто виникає така ситуація, що наступний відчеп відривається від составу раніше, ніж попередній, з подальшим спільним скочуванням по спускній частині гірки двох нероз'єднаних відчепів.

Четвертий етап на відміну третього характеризується появою нової додаткової сили – сили опору роз'єднанню автозчеплень F^r . Наявність нової діючої сили призводить до появи додаткового доданку до сумарної сили опору руху відчепу W^{sum} , що викликає зміну виразу (2.11), якій зумовлює можливість відриву відчепу, до наступного виду:

$$(2.19)$$

де F^r - проекція на горизонтальну вісь сили опору роз'єднанню автозчеплень, що виникає у їх контурі зачеплення суміжних відчепів, Н.

У ході моделювання на четвертому етапі визначаються координати точок відриву x_0 , що відповідають положенням відчепа в момент його відриву від составу, при різних силах опору роз'єднанню автозчеплень $F^{\text{от}}$ (рисунок 2.6). Сила опору роз'єднанню автозчепів $F^{\text{от}}$ змінюється із заданим кроком $\Delta F^{\text{от}}$ від нуля, що відповідає положенню відчепа в момент закінчення третього етапу моделювання, до деякої граничної величини, що відповідає такому положенню відчепа на горбі гірки, коли відрив стає вже неможливим.

Рисунок 2.6 – Розрахункова схема визначення положення відчепа, що складається з одиночного вагона, у момент його відриву від составу за наявності сил $F^{\text{от}}$

Граничне значення сили опору $F^{\text{от}(H)}$ визначається послідовним суміщенням відчепа у бік спускної частини до настання наступної умови:

$$(2.20)$$

де $F_k^{\text{гор}(H)}, N_k^{\text{гор}(H)}$ - проекції сил на горизонтальну вісь, що діють на перший відчеп, Н;

$F_k^{\text{спус}(H)}, N_k^{\text{спус}(H)}$ - проекції сил на горизонтальну вісь, що діють на другий відчеп, Н;

$F^{\text{от}(H)}$ - сила опору роз'єднанню автозчеплень, що виникає в контурі зачеплення автозчеплень вагонів, які з'єднують перший і другий відчепи, Н;

$F^{\text{от}(H)}$ - сила опору роз'єднанню автозчеплень, що виникає в контурі зачеплення автозчеплень вагонів, які з'єднують другий і третій відчепи, Н;

$n_{\text{от}(1)}, n_{\text{от}(2)}$ - кількість вагонів, відповідно, у першому та другому відчепах.

У дослідницьких цілях силу опору роз'єднанню автозчепів $F^{\text{от}(H)}$, що виникає в контурі зачеплення у автозчеплень вагонів, що з'єднують другий і третій відчепи, доцільно прийняти рівною нулю. Тоді для відчепів, що складаються з одного чотиривісного вагона, а також з урахуванням переходу з абсолютних величин сил на питомі, умову (2.20) можна спростити до вигляду:

(2.21)

де i_1^I, i_1^{II} - значення крутизни уклонів поздовжнього профіля колії на горбі гірки під i - ми осями вагону першого і другого відцепу відповідно, ‰ ;

$\sum w^I, \sum w^{II}$ - сумарний питомий опір руху, Н/кН ;

$w_{\text{от}}$ - питомий опір роз'єднанню автозчеплень, що виникає у контурі зачеплення у автозчеплень вагонів, які з'єднують перший і другий відцепи, Н/кН.

Після виконання умов виразу (2.20) або (2.21) моделювання процесу відриву відцепів припиняється. Останнє досягнуте значення величини $w_{\text{от}}$ вважається граничним, у якому відрив відцепів вже неможливий.

Останнім етапом моделювання є формування вихідних даних, що відбивають результати моделювання. Це таблиця координат положень відцепів в момент відриву від составу, відповідних ряду значень сили опору роз'єднанню автозчепів ($F^{\text{от}}$ і $w_{\text{от}}$) від нуля до граничного значення, при якому відрив вже неможливий через утягування за собою наступного відцепів.

За представленим вище переліком етапів моделювання була розроблена програма для ЕОМ «Горб гірки – Відрив відцепів», що дозволяє моделювати процес відриву відцепів, а також отримувати спільні дані про сили у взаємодіючих автозчепленнях відцепів та координатах положень відцепів у момент їх відриву від составу. Програма дозволяє вирішувати дослідницькі завдання, пов'язані з визначенням координат точок відриву відцепів від составу за різних умов, при яких величина сили опору роз'єднанню автозчеплень ($F^{\text{от}}$ і $w_{\text{от}}$) задається в межах від нуля до значень, при яких відрив відцепів від составу, що попереду, стає неможливим. Крім цього, можливе рішення і зворотних дослідницьких завдань, тобто пов'язаних з визначенням величини сили опору роз'єднанню автозчепів ($F^{\text{от}}$ і $w_{\text{от}}$) при відомих координатах положень відцепів при відриві їх від составу, отриманих на експлуатованих гірках з певним поздовжнім профілем перевальної частини, а також

відомі параметри відчепу (сукупності мас, ходових властивостей та конструкції вагонів, що входять у відчеп) та умов зовнішнього середовища. Інтерфейс програмного забезпечення представлений на рисунку 2.7.

Рисунок 2.7 - Головне вікно програмного комплексу «Горб гірки – Перевірка профілю»

2.2.3 Моделювання відриву одновагонних відчепів від составу

З використанням імітаційної моделі проведено ряд експериментів та отримано залежності координат x_0 від затримуючих зусиль у розчеплених автозчепленнях і параметрів окремих елементів профілю перевальної частини гірки при незмінних параметрах інших елементів.

При експлуатації гірок найбільш несприятливі умови при відриві відчепів від составу виникають при наступному поєднанні відчепів: одиночний вагон ДХ (з дуже хорошими ходовими якостями) слідує за одиночним порожнім вагоном ДП (з дуже поганими ходовими якостями). Для даного та ряду інших поєднань слідування відчепів були розглянуті різні варіанти конструкції профілю горба гірки, у тому числі і нетипові, які представлені у таблиці 2.4. Результати досліджень відображені на рисунках 2.8 та 2.9.

Таблиця 2.4 - Конфігурації поздовжнього профілю перевальної частини гірки

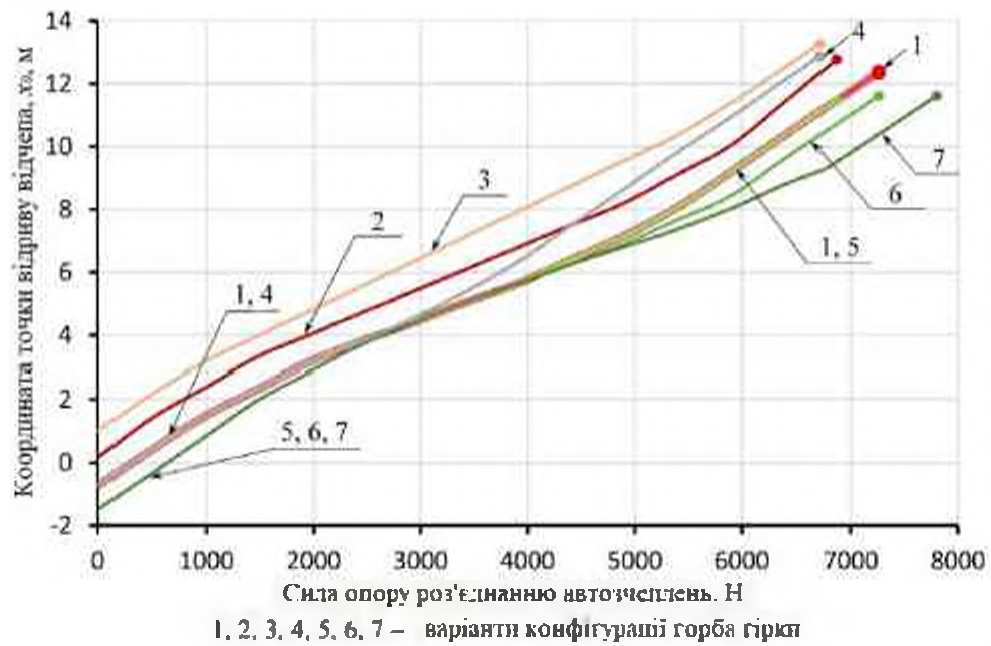


Рисунок 2.8 – Вплив сил опору роз'єднанню автозчеплень на положення точки відриву одновагонного відчепу (порожній критий вагон) від составу при різних конфігураціях перевальної частини гірки

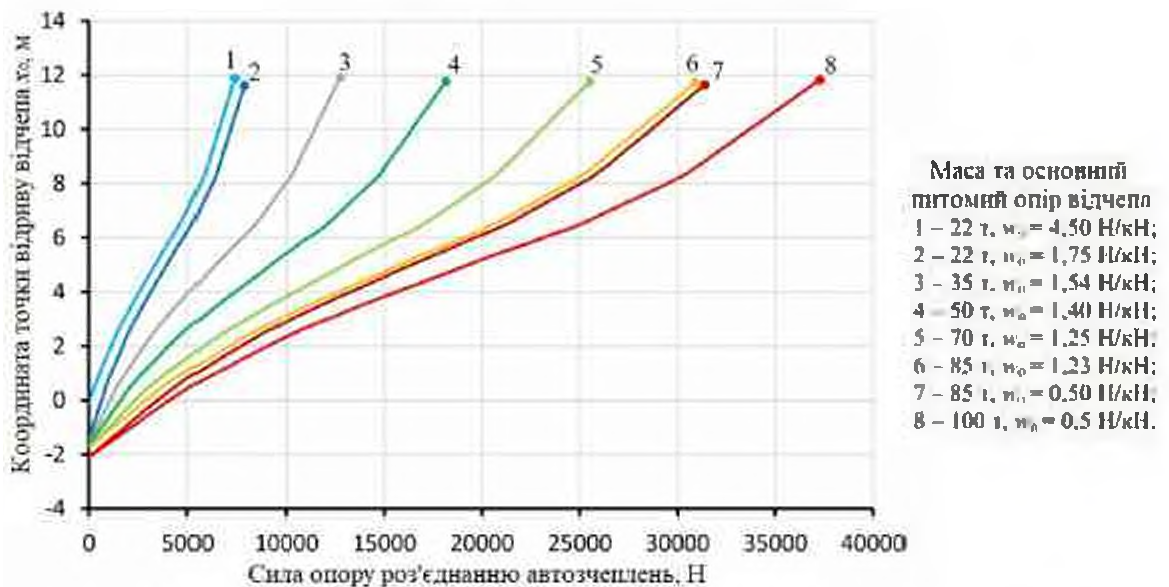


Рисунок 2.9 – Вплив сил опору роз'єднанню автозчеплень на положення координати точки відриву відчепи (одиначний піввагон) при різних масах та основному питомому опорі вагона

За результатами проведених експериментів отримано такі висновки:

1. Розсіювання координат точок відриву одновагонних відчепів за відсутності сил опору роз'єднанню автозчеплень незначне (близько 2 м) і не відображає реальної ситуації на гірці із запізненням відділення відчепів.

2. Сили опору при роз'єднанні автозчеплень вагонів значно впливають на положення відчепів у момент відриву від составу, видаляючи точку відриву у бік спускної частини гірки. Як видно з рисунку 2.9, ці сили зумовлюють ширше поле розсіювання координат точок відриву відчепів, що досягає значень 14 м. Тому зазначений опір слід враховувати як додатковий до сумарного опору руху відчепу до моменту фактичного відриву відчепу від составу.

3. Зміна радіуса вертикальної кривої з боку спускної частини з 250 до 300 м, а також з 300 до 350 м віддаляє точку відділення відчепу за будь-яких значень сили опору роз'єднанню автозчепів на 0,3–2 м для будь-яких типів вагонів. Більше значення віддалення відповідає більшому основному питому опору руху.

4. Величина першого швидкісного ухилу не впливає на положення точки відриву одновагонного відчепу від составу за наявності невеликих сил опору руху та роз'єднання автозчепів (до 10 Н/кН). При появі значних сил опору роз'єднанню автозчеплень величина першого швидкісного ухилу може помітно впливати на положення точки відриву відчепу від составу, особливо для легковагонних вагонів. Тому для зменшення розкиду координат точок відриву перший швидкісний елемент доцільно проектувати найбільшої крутості.

5. Зміна величини радіусу вертикальної кривої з боку насувної частини з 350 до 400 м незначно (0,1–0,3 м) впливає на положення точки відділення відчепу за будь-яких значень сили опору в автозчепленні та будь-яких типах вагонів.

6. Збільшення величини протиухилу затримує відрив вагона (на 0,25–0,3 м на 1 ‰), але зменшує розкид координат точок відриву.

7. Величина граничної сили опору роз'єднанню автозчеплень, при якій попередній відчеп з одиночного вагона вже не відокремлюється від наступного одновагонного відчепа, утягуючи його за собою, залежить в основному від маси вагона і знаходиться в межах від 6000 Н (порожній чотиривісний) до 7000 Н

(навантажений восьмивісний), при цьому величина питомого опору при роз'єднанні автозчеплень вагонів μ_d відповідно становитиме від 25 до 40 Н/кН.

8. Залежність положення точки відриву заданого відчепу від сил опору в автозчепленнях можна приблизно вважати лінійною при постійній конфігурації горба гірки. Параметри цієї лінійної залежності залежатимуть в основному лише від маси відчепу. Вплив на зазначену залежність основного питомого опору руху вагона незначний.

3 Натурні дослідження процесу відриву відчепів від составу на перевальній частині експлуатованих сортувальних гірок

3.1 Методика проведення натурних спостережень за процесом відділення відчепів на перевальній частині гірки

Основним завданням досліджень є виявлення основних факторів, що впливають на відрив відчепів, та визначення ступеня їхньої значущості для отримання висновкового теоретичного знання (що буде основою для наступного практичного застосування).

При натурних спостереженнях за початок вільного скочування відчепів приймається момент закінчення роз'єднання автозчепів вагонів, що розчіплюються перед горбом гірки складачем. За координату точки відриву x_d прийнято відстань від фактичної вершини гірки до осі зачеплення автозчеплення останнього вагона у відчепі (хвоста відчепу) у момент його відриву від составу, що насувається (рисунк 3.1).

Рисунок 3.1 – Розрахункова схема визначення координати x_0 точки відриву відчепу від составу під час проведення натурних досліджень

Основні положення та умови проведення натурних досліджень:

1. Для кожної гірки або окремої гіркової колії обрис фактичних поздовжніх профілів гіркових колій перевальної частини складався за матеріалами інструментальної зйомки.

2. Для мінімізації впливу повітряного середовища і вітру на результати експериментів дні та періоди проведення спостережень вибиралися з умови впливу на відчепи вітру зі швидкістю не більше 3 м/с. Це дозволяє оцінювати похибку, пов'язану з впливом повітряного середовища і вітру, у визначенні координати відриву x_0 не більше 0,5 м.

3. Окрема увага приділялася дослідженню впливу на відрив відчепів температури навколишнього середовища та наявності опадів.

4. Спостереження за процесом відриву і виміри координат проводилися для всіх відчепів, що скочуються. Додаткові дослідження та подальша обробка одержаних результатів проводилися тільки з відчепами, що складаються з вагонів типових конструкцій або вагонів, конструктивні параметри яких відомі або можуть бути визначені за номером вагона.

Порядок організації та проведення натурних досліджень на перевальній частині сортувальної гірки наступний:

1. Проводиться аналіз конструктивних особливостей плану та профілю перевальної частини обраної для дослідження гірки.

2. Вибираються та аналізуються поздовжні профілі гіркових колій перевальної частини, складені за матеріалами останньої інструментальної зйомки, виконаної з кроком не менше ніж 2 м.

3. Безпосередньо на гіркових коліях визначається та відмічається діляниця, що відповідає фактичній вершині гірки, яка зіставляється з поздовжнім профілем. Проводиться оцінка довжини зони можливого відокремлення від составу, як одиночних вагонів, так і відчепів з кількох вагонів, та встановлюються її межі.

4. Встановлюється положення системи координат. За початок системи координат зазвичай приймається фактична вершина гірки.

5. Перед проведенням вимірів на узбіччі гіркової колії у зоні можливого відділення відцепів від составу формується шкала координат.

6. Перед початком розформування кожного составу до журналу заноситься інформація про параметри навколишнього середовища (температура, швидкість і напрямок вітру, хмарність та наявність опадів), номер гіркової колії, на якій буде проводитися розчеплення вагонів, а також проводяться позначки на основі даних сортувального листка відповідного составу.

7. Процес роз'єднання автозчеплень контролюється та фіксується експериментатором. Координати точок відриву зчитуються візуально в момент початку вільного скочування відцепів.

8. У процесі розформування составу заносяться передані результати вимірювання координати точок відриву відцепів, а також маса відчепа, тип та кількість вагонів у ньому та інші допоміжні записи. Після розформування кожного составу до журналу підшивається його сортувальний листок, а у разі зміни параметрів довкілля заноситься відповідна інформація.

9. Після закінчення проведення серії спостережень та вимірів проводиться камеральна обробка результатів.

Виконано оцінку похибок результатів вимірювань координат точок відриву відцепів:

- похибки із систематичних та випадкових складових, пов'язаної з неточністю виконання вимірювань координат;

- похибки, пов'язаної з невизначеним у часі характером впливу повітряного середовища і вітру на черговий відцеп, що скочується.

Зазначені похибки викликані кількома незалежними один від одного випадковими величинами, тому сумарна абсолютна похибка визначення координат точок відриву визначена за формулою:

де D_{x_0} - максимальна абсолютна похибка, що пов'язана з неточністю виконання вимірів координат, м;

$D_{x_{\text{вдч}}}$ - максимальна абсолютна похибка координат точок відриву, що пов'язана з впливом середовища та вітру на відчепи, м.

Максимальна абсолютна похибка, пов'язана з неточністю виконання вимірювань координат, при прямих вимірах визначається за такою формулою:

(3.2)

де $D_{x_{\text{інст}}}$ - абсолютна інструментальна похибка, м;

$D_{x_{\text{відч}}}$ - абсолютна похибка відліку, м.

Інструментальна похибка $D_{x_{\text{інст}}}$ засобу вимірювання з'являється через неточність виконання розбивочних робіт при формуванні шкали координат. Зазначена похибка відноситься до систематичних і за умов виконання розбивальних робіт не може набувати абсолютного значення більше 0,05 м. Похибка відліку $D_{x_{\text{відч}}}$ Equation.3 є випадковою і приймається рівною половині ціни поділу шкали координат, тобто дорівнює половині відстані між маркерами, що укладаються вздовж залізничної колії. У цьому випадку максимальна абсолютна похибка, пов'язана з неточністю виконання вимірювань координат, згідно з формулою 3.2 становитиме:

Похибка $D_{x_{\text{Equation.3}}}$ виникає через гурбулентність повітряних потоків у приземному шарі та змінної швидкості розпуску, внаслідок чого вплив вітру за швидкістю та напрямленням на кожен наступний відчеп у процесі їх відокремлення від соєставу носить невизначений характер і є випадковим.

Точне визначення зазначеної похибки для якихось конкретних умов проведення досліджень є складним завданням.

Тому оцінка проводилася за її максимально можливим значенням, яке для однопозагонних відчепів можна визначити, перетворюючи аналітичний вираз визначення координати точок відриву відчепів (2.13), за формулою:

(3.3)

де $w_{\text{вн}}$ - питомий опір руху вагона (відчепу) від повітряного середовища та вітру, Н/кН.

У періоди проведення спостережень швидкість вітру допускалася не більше 3 м/с, що навіть у несприятливих умовах обмежує значення максимального питомого опору від повітряного середовища та вітру до 1 Н/кН при зустрічному та до мінус 0,5 Н/кН при попутному вітрі.

Внаслідок цього максимальна абсолютна похибка $\Delta x_{\text{Equation.3}}$ при визначенні координати відриву, пов'язана з впливом повітряного середовища та вітру, згідно з формулою (3.3) становитиме не більше 0,5 м при зустрічному та не більше 0,25 м при попутному вітрі.

Отже, з урахуванням зазначених напрямків вітрів та прийнятого напрямку шкали відліку, координати точок відриву, м, з урахуванням абсолютної похибки визначатиметься за формулою:

(3.4)

Відповідно до формули (3.4) діапазон розкиду координат точок відриву для порожнього одновагонного відчепу в несприятливих умовах з урахуванням похибки вимірювань може становити до 1 м (відчеп може відірватися раніше розрахункової точки відриву до 0,4 м або пройти далі до 0,6 м).

Діапазон розкиду координат точок відриву для інших вагових категорій одновагонних відчепів, а також відчепів, що складаються з кількох вагонів, буде меншим.

3.2 Результати проведення натурних досліджень на експлуатованих сортувальних гірках

Як основний об'єкт дослідження була обрана парна сортувальна гірка середньої потужності, що розташовується на двосторонній сортувальній станції "Д", що є однією з найбільших сортувальних станцій в Україні.

Гірка має такі особливості:

- відносно інтенсивний розпуск составів;
- значну кількість у загальному потоці одновагонних відцепів, які складаються з вагонів типових конструкцій;
- незначні відхилення поздовжнього профілю перевальної частини гірки, що розглядається, від нормативного обрису.

Результати проведених спостережень були згруповані за типами вагонів, місцем та умовами спостереження. Як приклад у таблиці 3.1 наведено результати спостережень для парної гірки ст. «Д», що має дві насувні колії два горби і одну спускню колію. Поздовжній профіль перевальної частини даної гірки має найбільш сприятливі параметри, що допускаються Правилами та нормами проектування сортувальних пристроїв, які сприяють своєчасному і динамічному відриву короткобазних вагонів. На період проведення натурних спостережень було визначено такі основні параметри поздовжнього профілю горба гірки:

- наявність профільного розділового елемента;
- крутість ухилу профільного розділового елемента між насувною та спускною частиною приблизно дорівнює 5 ‰;
- крутість ухилу першого швидкісного елемента спускної частини гірки приблизно дорівнює 50 ‰;
- радіус вертикальної кривої при сполученні профілю на горбі з боку спускної частини приблизно дорівнює 250 м.

Таблиця 3.1 - Числові характеристики статистичного розподілу координат точок відриву одновагонних відцепів, що складаються з типових одиночних піввагонів, на парній гірці сортувальні станції «Д» за різних погодно-кліматичних умов

Дата приведення спостережень	Погодно- кліматичні умови	Відстань від ВГ* до точок відриву відцепів з одиночних типових піввагонів, м		Результати спостережень			
		за сприятливих умов	за несприятливих умов	Середнє значення x ₀ , м	Стандартне відхилення для x ₀ , м	Кількість фіксованих відцепів з одиночних піввагонів, шт.	Кількість «перозцепів», що не пов'язані з несправністю механізму автозчеплення, шт
17.02.24	Похмуро, вітер попутний (Півн) 2-3 м/с, температура повітря -4 - -7 °С	-8...-7,5	-6,5...-5,5	-2,84	1,04	53	1
06.04.24	Похмуро, вітер попутний (Півн) 2-3 м/с, температура повітря +11 - -14 °С	-8...-7,5	-6,5...-5,5	-2,38	1,28	48	1
14.04.24	Ясно, вітер попутний (Сх) 1-2 м/с, температура повітря +25 - +28 °С	-8...-7,5	-6,5...-5,5	-1,62	1,49	109	3
18.04.24	Ясно, вітер попутний (Півн-Сх) 0- 3 м/с, температура повітря +22 - +23 °С	-8...-7,5	-6,5...-5,5	-0,75	1,54	90	3
25.04.24	Похмуро, вітер зустрічний (Півн-Сх) 1- 3 м/с, температура повітря +13 - +15 °С	-8...-7,5	-6,5...-5,5	-2,32	1,20	54	0

3.3 Зіставлення результатів натурних спостережень та теоретичних досліджень процесу відриву відчепів на перевальній частині гірки

Встановлено, що у процесі відділення відчепів мають місце випадки запізнення роз'єднання розчеплених автозчепів. У суху та спекотну погоду кількість таких випадків різко зростає, що найчастіше вимагає супроводу гірковим складачем відчепів із одиночних вагонів до моменту їх відриву від составу навіть за вершину гірки. У ряді випадків для недопущення «нагонів» на спускній частині гірки роблять вимушену зупинку розпуску. Як приклад представлені гістограми відносних частот координат точок відриву відчепів (рисунки 3.2-3.6), що складаються з одиночних піввагонів типової конструкції, при розпуску з гіркової колії № 5 на парній гірці ст. "Д" для статистичних рядів, що відповідають температурам навколишнього повітря, які представлені в таблиці 3.2.

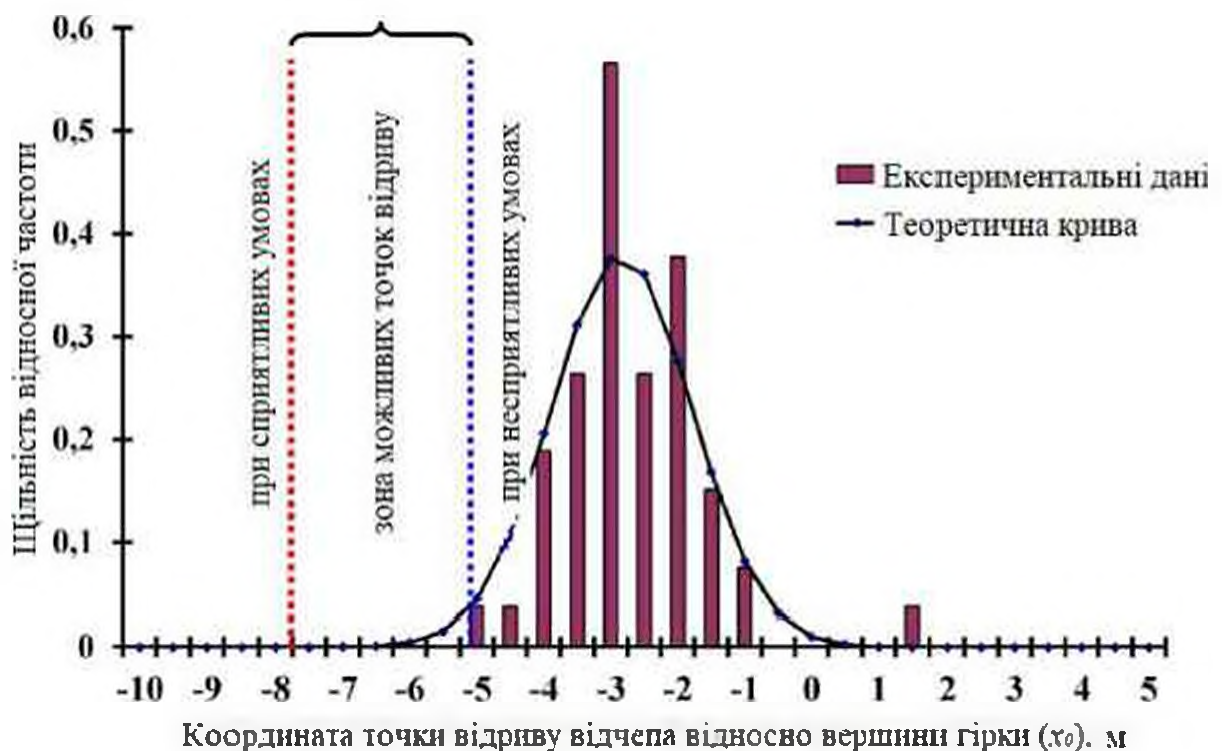


Рисунок 3.2 – Гістограма відносних частот координат точок відриву одиночних типових піввагонів на парній гірці станції «Д» при температурі навколишнього повітря –14...–17 °С

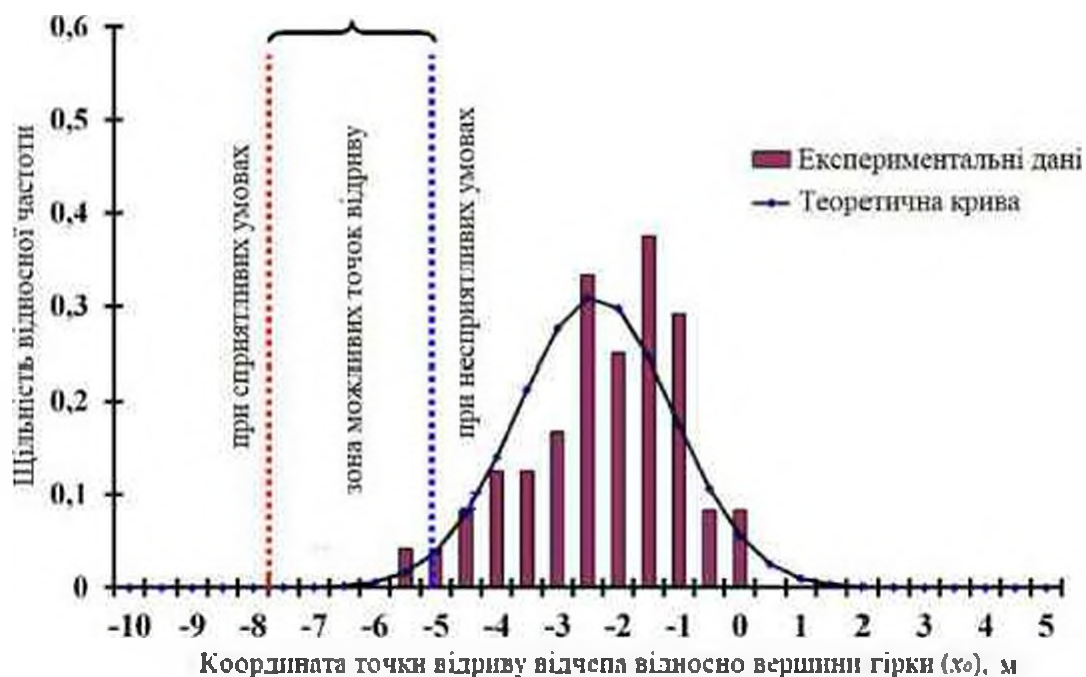


Рисунок 3.3 – Гістограма відносних частот координат точок відриву одиночних типових піввагонів на парній гірні станції «Д» при температурі навколишнього повітря +11...+14 °С

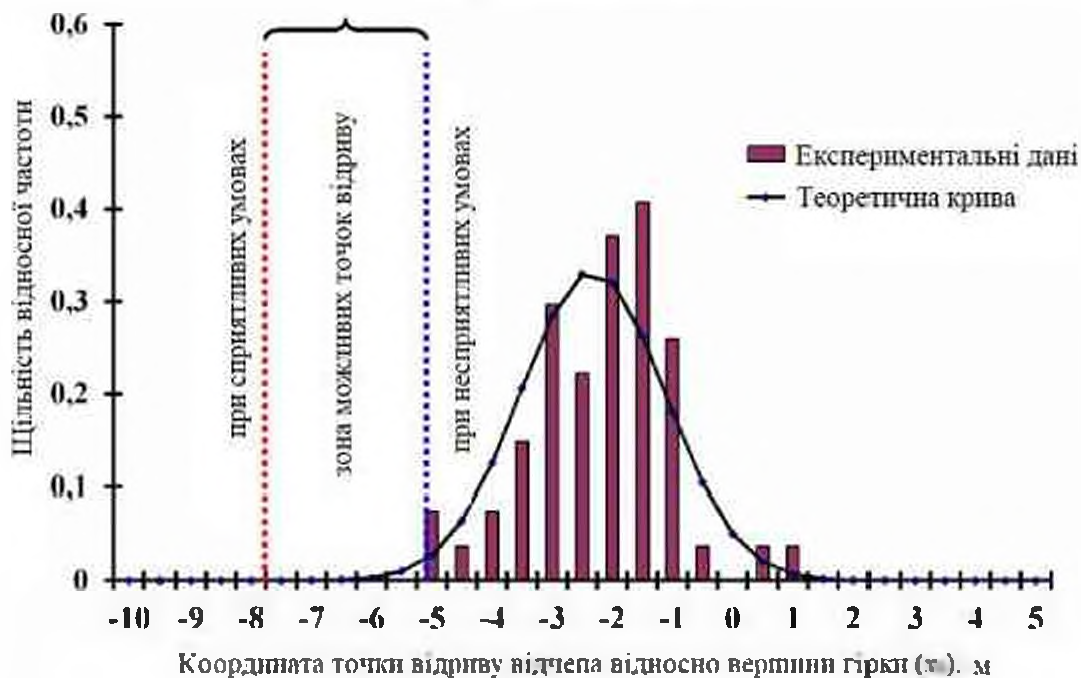


Рисунок 3.4 – Гістограма відносних частот координат точок відриву одиночних типових піввагонів на парній гірні станції «Д» при температурі навколишнього повітря +13...+15 °С

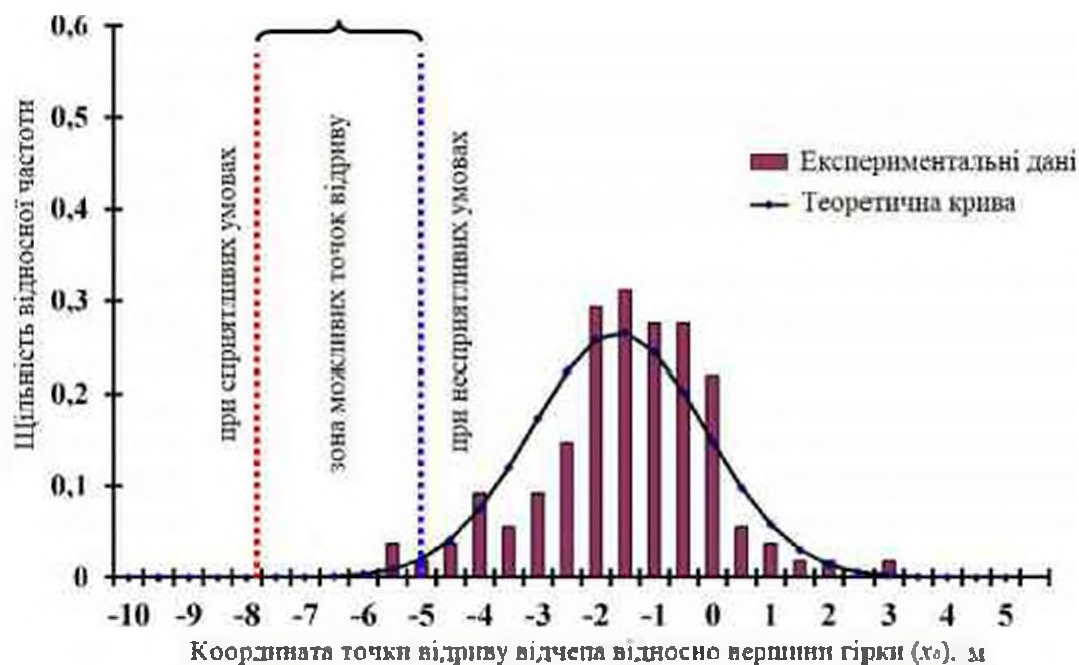


Рисунок 3.5 – Гістограма відносних частот координат точок відриву одиночних типових піввагонів на парній гірці станції «Д» при температурі навколишнього повітря +25...+28 °С

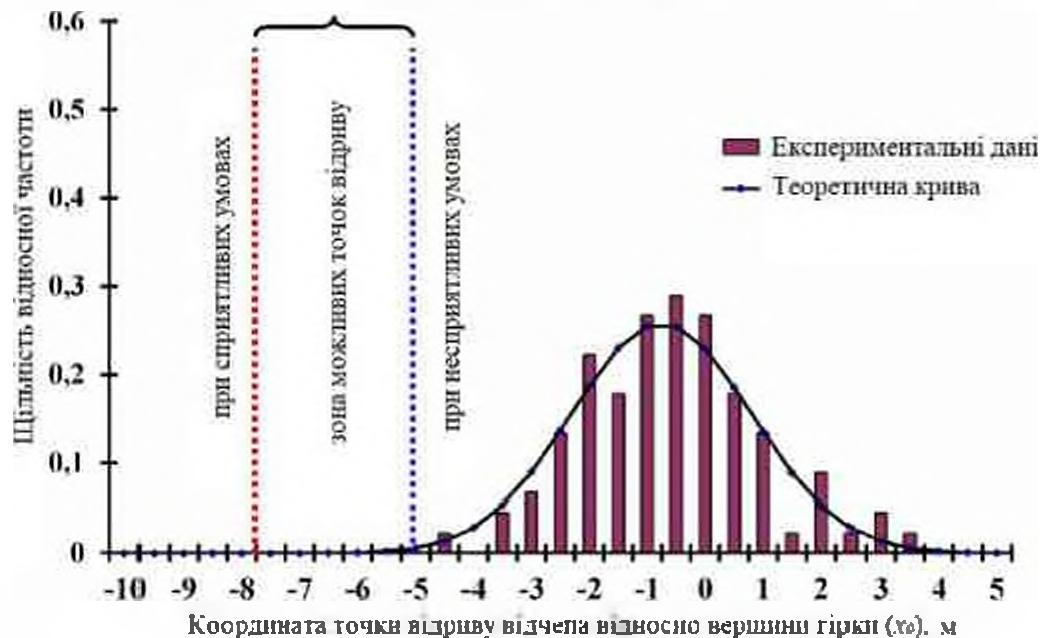


Рисунок 3.6 – Гістограма відносних частот координат точок відриву одиночних типових піввагонів на парній гірці станції «Д» при температурі навколишнього повітря +32...+36 °С

За низьких температур в зимових умовах груднощі з роз'єднанням автозчеплень, як правило, відсутні, і в цілому процес відділення відчепів більш стабільний. Поява опадів у вигляді дощу також сприяє кращому відділенню відчепів від составу. Пов'язано це з тим, що наявність дощу призводить до змочування поверхонь контуру зачеплення автозчеплень, викликаючи зменшення коефіцієнта тертя, що сприяє покращенню умов їхнього розведення.

Отримані розподіли показують, що існує виражена залежність дальності точок відриву відчепів від наявного середовища. Крім цього, поле розсіювання координат точок відриву піввагонів ширше, ніж це впливає з Правил та норм проектування сортувальних пристроїв. Чинна теорія передбачає, що розсіювання координат може бути викликане лише розкидом значень сумарного питомого опору руху. У свою чергу, сумарний опір руху відчепів на перевальній частині гірки складається з випадкових величин основного питомого опору руху, опору руху від повітряного середовища та вітру, а також опору від стрілок та кривих. Отже, для умов спостережень, розсіювання координат точок відриву для одиночних однотипних відчепів не повинно перевищувати 3-4 м, а за фактом воно значно більше і може перевищувати 10 м.

Встановлено, що фактичні координати точок відриву відчепів, як правило, віддалені у бік спускної частини від розрахункових теоретичних координат. Це свідчить про те, що в контурах зачеплення розчеплених автозчеплень з'являються зусилля, що затримують вільний і своєчасний відрив. Як показали результати імітаційного моделювання значення цих зусиль у момент відриву, як правило, для порожніх одиночних вагонів становлять не менше ніж 1000 Н, а для повновагових завантажених вагонів не менше ніж 3000 Н (або 3-5 Н/кН). У ряді випадків затримуюча сила в автозчепленнях перевищувала значення 10000 Н, іноді досягаючи критичних значень, при яких відрив вагонів не фіксувався, що призводило до «утягування» за собою подальшого відчепу і порушувало програму розпуску.

Наявність істотної різниці між зусиллями, що виникають, в роз'єднуваних автозчепленнях для завантажених і порожніх відчепів свідчить про досить складні

процеси, що відбуваються при їх відокремленні від составу. Натурні спостереження дозволили встановити, що істотний вплив на значення, що фіксуються, надає швидкість розпуску. Чим вище швидкість розпуску, тим далі у бік спускної частини зміщуються положення точок відриву і, відповідно, вище значення поздовжніх затримуючих сил в момент відриву. Це пов'язано з тим, що процес роз'єднання автозчеплень проходить не миттєво, а займає деякий час, тим самим затримуючи вільний відрив відчепів.

Відчеп більшої маси, при одному і тому ж положенні точки відриву в порівнянні з відчепом меншої маси та інших рівних умовах, має велику профільну прискорювальну силу. Це свідчить про наявність прямої залежності граничних сил опору, що виникають, в роз'єднуваних автозчепленнях від маси відчепа.

Встановлено, що координата положення відчепа в момент початку його вільного скочування є випадковою величиною, що має широке поле розсіювання і в основному залежить від наступних факторів:

- кількості вагонів у відчепі та їх конструктивних параметрів;
- конструктивних параметрів перевальної частини гірки;
- ходових властивостей відчепу;
- метеорологічних умов (температура повітря, швидкість та напрям вітру, наявність опадів);
- стану контурів зачеплення взаємодіючих розчеплених автозчеплень;
- швидкості розпуску.

Також встановлено, що існуючі теоретичні методи при визначенні положень точок відриву відчепів від составу достатньою мірою враховують лише такі основні фактори, що впливають, як:

- кількість вагонів у відчепі та їх конструктивні параметри;
- конструктивні параметри перевальної частини гірки;
- ходові властивості відчепу;
- швидкість та напрямок вітру.

Всі ці фактори, за винятком ходових властивостей відчепу, розглядаються чинними Правилами та нормами проектування сортувальних пристроїв як

невипадкові. При цьому випадковою складовою, яка визначає певною мірою розкид координат точок відриву відчепів при імітаційному моделюванні, є основний питомий опір руху відчепа, а також питомий опір руху від кривих і стрілок.

За результатами натурних спостережень можна дійти невітнішого висновку, що існуючі методики мають похибку при визначенні положення відриву відчепів від составу, оскільки в них не повною мірою враховуються силові взаємодії розчеплених перед горбом гірки автозчеплень у процесі їх розведення. В результаті, запізнення відділення відчепів у реальних умовах призводить у ряді випадків до вимушеного зниження швидкості розпуску нижче за розрахункову.

Також встановлено, що вплив вітру може впливати на розкид координат точок відриву відчепів, що насамперед складаються з одиночних вагонів легкої вагової категорії. Пов'язано це зі стохастичною природою вітрових впливів у процесі розпуску, які діюча теорія розглядає у вигляді детермінованої моделі.

Повною мірою врахувати процеси, що відбуваються при відокремленні відчепів від составу, можна тільки з використанням методів моделювання.

3.4 Практичний додаток до результатів натурних спостережень

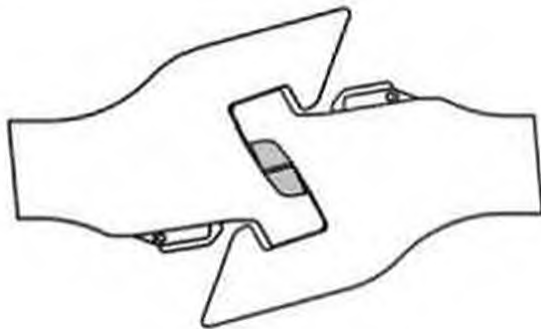
3.4.1 Моделювання процесу роз'єднання автозчеплень при відділенні відчепів від составу

Результати натурних спостережень показують, що за початок вільного скочування відчепа слід приймати момент його фактичного відриву від составу, а не момент рівності рушійної профільної сили сумарним силам опору руху відчепа. Встановлено, що процес роз'єднання розчепленого перед горбом гірки автозчеплення при відокремленні відчепа від составу слід розглядати у вигляді трьох фаз:

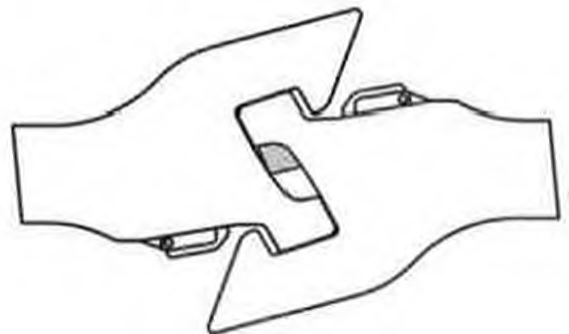
1. Фаза переходу автозчеплень зі стисненого стану в рівноважний. У цій фазі відбувається зміна напрямку сил, що діють на автозчеплення суміжних відчепів. Дану фазу доцільно розглядати від моменту завершення розчеплення стислих

автозчеплень перед горбом гірки до моменту початку переміщення в горизонтальній площині малого зуба одного автозчеплення відносно великого зуба іншого (рисуюнок 3.7).

а)



б)



Рисуюнок 3.7 – Положення розчеплених автозчепок у горизонтальній площині:
а - до початку фази переходу автозчеплень зі стисненого стану в рівноважний;
б - під час фази переходу зі стисненого стану в рівноважний

За початок першої фази може прийматися довільний момент часу, в якому положення відчепа відповідає будь-якій позиції на насувній і перевальній частинах гірки, при якій автозчеплення, що розчіплюються, знаходяться в стислому стані, що забезпечує можливість проведення розчеплення складачем.

Закінченням першої фази є момент, коли положення відчепа відповідатиме такій позиції, при якій наростаюча величина рушійної (профільної) сили $F^{пр}$, що діє на вагон, зрівнюється з величиною сили сумарного опору руху вагона $W^{сум}$.

2. Фаза розтягування автозчеплень. Ця фаза характеризується тим, що в контурі зачеплення автозчеплень починає утворюватися зазор S між ударними поверхнями малого зуба та зіва. Розтягування може супроводжуватися ковзанням зовнішніх бічних поверхонь зубів автозчеплення один щодо одного. Фаза закінчується притискуванням один до одного тягових поверхонь малого та великого зубців суміжних автозчеплень (рисуюнок 3.8, б).

Рисунок 3.8 – Положення розчеплених автозчеплень горизонтальної площини:

а – у середній фазі розтягування автозчеплень;

б– наприкінці фази розтягування автозчеплень

Середня тривалість другої фази становить приблизно 1 с і, як правило, не перевищує 2 с. Це в першу чергу залежить від величини зазору між контурами зачеплення розчеплених автозчеплень (рисунок 3.8, б), а також від швидкості розпуску і поздовжнього профілю горба гірки. У свою чергу, зазор S – величина випадкова, яка залежить від виробничих допусків та зносу поверхонь контуру зачеплення. За кресленням стандартного контуру зачеплення цей проміжок при номінальних розмірах обох автозчеплень становить 10 мм. Однак при збігу найбільших значень виробничих допусків на тягові та ударні поверхні автозчеплення зазор S між контурами зачеплення може зменшуватися до 4 мм, а при виробничих відхиленнях від номінального положення в мінус і зношування в межах норм у автозчеплення тягових та ударних поверхонь зазор S може досягати 22 мм. Зважаючи на те, що зношувані поверхні корпусу автозчеплення повинні ремонтуватися тільки після перевищення встановленої норми зносів, що допускаються, можливий випуск з ремонту автозчеплень зі зносом робочих поверхонь корпусу, близьких до таких, що допускаються, але не перевищують його. Такі корпуси будуть додатково зношуватися в період експлуатації до надходження в наступний плановий ремонт, в результаті чого знос може перевищити допустиму норму (приблизно 1 мм по кожній поверхні). Зважаючи на можливе додаткове зношування, вважається, що максимальний зазор S може в експлуатації досягти 26 мм.

Таким чином, величина S може набувати значення в межах від 4 до 26 мм. Враховуючи, що на величину зазору впливає велика кількість випадкових факторів, то доцільно при моделюванні використати усічений нормальний закон розподілу з наступними параметрами: межі усічення розподілу величини S належать до інтервалу (4, 26) мм, середня величина зазору $m = 12$ мм, стандартне відхилення

$d_1 = 2$ мм. Розрахунок випадкової величини зазору S при імітаційному моделюванні можна проводити за формулою, мм:

$$(3.5)$$

де R_i - рівномірно розподілене випадкове число в інтервалі (0,1).

Друга фаза закінчується притисканням один до одного тягових поверхонь зубців суміжних автозчеплень (рисунок 3.8 б). Притискання може супроводжуватися в деяких випадках зупинкою руху голови автозчеплення, що віддаляється, з подальшим розтягуванням міжстикових зазорів в автозчіпних пристроях.

3. Фаза розведення автозчеплень. У цій фазі малий зуб одного автозчеплення поступово виходить із зіву іншого автозчеплення (рисунок 3.9. а). Роз'єднання супроводжується ковзанням тягової поверхні малого зуба по тяговій поверхні великого зуба суміжних автозчеплень. Малий зуб правого автозчеплення, що рухається, обмежує вихід у зів лапи замкоутримувача лівого автозчеплення і в той же час сам ковзає вздовж лапи замкоутримувача. Фаза закінчується виходом зубців автозчеплень зі стану зачеплення та початком вільного скочування відчепленого відчепи (рисунок 3.9. б). При цьому на початку вільного скочування, тобто при виході зубів автозчеплень із зачеплення, замок та замкоутримувач лівого автозчеплення опускається в нижнє положення, і його робоча частина знову виходить у зів, а механізми обох автозчеплень автоматично стають у положення готовності до нового зчеплення.

Рисунок 3.9 – Положення розчеплених автозчеплень під час фази розведення:

а – у середині фази; б – в кінці фази

Встановлено, що тривалість третьої фази є випадковою. Її тривалість в основному залежить від сил опору в контурі зачеплення суміжних автозчеплень, що перешкоджають їхньому роз'єднанню. Причому величини цих сил можуть бути

різними, а в ряді випадків досягати значень, при яких відокремлення відчепи від складу стає неможливим. У першу чергу це залежить від стану тягових і бічних поверхонь малого і великих зубів автозчеплень, що взаємодіють, а також їх зносу.

При моделюванні третьої фази стан малого і великих зубів доцільно описувати з використанням коефіцієнта тертя, який для чистих сухих поверхонь пар матеріалів «сталь по сталі» становить в середньому 0,2–0,3. Раніше проводилися дослідження, якими було встановлено, що для грубих робочих поверхонь контуру зачеплення автозчеплень величина коефіцієнта може мати значення 0,5 і більше. Такі високі величини пояснюються наявністю на тягових поверхнях автозчеплення іржі, зовнішніх забруднень, а також різних дефектів, таких як фарбування, напливи і т.п.

При моделюванні прийнято таке. По-перше, коефіцієнт тертя μ - величина випадкова, розподіл якої підпорядковується усіченому нормальному закону розподілу. По-друге, значення нижньої межі інтервалу множини коефіцієнтів тертя приймається рівним 0,2, а верхньої межі рівним 0,6. При цьому параметри усіченого нормального закону розподілу коефіцієнта тертя будуть наступними: середня величина коефіцієнта $\bar{\mu}_m = 0,4$, стандартне відхилення $\sigma_m = 0,06$, інтервал m_l (0,2;0,6). У цьому випадку розрахунок випадкової величини коефіцієнта тертя μ здійснюється за формулою:

$$(3.8)$$

де R_i - рівномірно розподілене випадкове число в інтервалі (0,1).

Спостереження показали, що процеси, що відбуваються в першій фазі, можуть бути досить достовірно формалізовані з використанням шарнірно-осьової моделі відчепів, що скочуються. Однак подальші фази в моделях, які використовуються в даний час, не враховуються. В результаті спостережень виявлено, що тривалість двох останніх фаз може бути досить тривалою (секунди, а в ряді випадків понад 10 секунд).

Цим і обумовлюється різниця розрахункових координат точок відриву відчепів, що скочуються, від фактичних значень.

Також встановлено залежність сил опору від площі зачеплення (плями контакту) автозчеплень, що взаємодіють. Цим обумовлюються найкращі умови роз'єднання автозчепів на горбах гірок, що мають малий радіус вертикальної кривої з боку спускної частини.

Запропонований блок моделювання процесу роз'єднання автозчеплень при відокремленні відчепів від составу, що складається з трьох фаз, може бути використаний для вдосконалення вже створених імітаційних моделей скочування відчепів з сортувальних гірок або при створенні нових.

Його використання дозволяє враховувати вплив швидкості розпуску та стану автозчеплення вагонів на положення відчепів у момент їх відриву від составу.

3.4.2 Уточнення методики розрахунку сортувальних гірок у частині визначення точок відриву відчепів від составу

В даний час у існуючій теорії розрахунку гірок при визначенні положення точки відриву враховується лише перша фаза, чого, як показали виконані дослідження, недостатньо. Вважається доцільним при імітаційному моделюванні скочування відчепів для визначення параметрів головної ділянки гірки, початкових інтервалів між відчепами та розрахункової швидкості розпуску ввести в методику розрахунку та враховувати додатковий вид опору руху відчепів – питомий опір при роз'єднанні автозчепів вагонів $w_{\text{д}}$ Equation.3 . Вказаний опір руху необхідно враховувати як один із складових у складі сумарного питомого опору руху відчепів до моменту фактичного відриву відчепів від составу.

Питомий опір при роз'єднанні автозчеплень вагонів – випадкова величина, яка залежить від безлічі факторів: швидкості розпуску, температури навколишнього середовища та вологості повітря, характеристик відчепів, що розділяються, та ін. не опрацьована та потребує додаткових досліджень. Розрахункові значення величин

питомого опору при роз'єднанні автозчеплень вагонів можна визначати на підставі даних, отриманих емпіричним шляхом на сортувальних гірках, що експлуатуються.

За результатами натурних спостережень пропонується при імітаційному моделюванні скочування відцепів розрахунок випадкової величини w , Equation.3 виконувати за формулою, що відповідає зміщеному експоненційному закону розподілу, Н/кН:

$$(3.9)$$

де $w_{\min}$ та $w_{\text{ср}}$ – мінімальне та середнє значення питомого опору руху відцепу при роз'єднанні автозчеплень (можна прийняти, відповідно, 2 та 6 Н/кН);

R – випадкова величина, рівномірно розподілена в інтервалі (0;1).

В аналітичних розрахунках, величину питомого опору при роз'єднанні автозчеплень вагонів залежно від розв'язуваних задач слід приймати як середнє або як екстремальні значення. Сумарний питомий опір руху одиночного відцепу для середньостатистичного відцепу, а також для розрахункових бігунів ДП(П) та ДХ(Х) визначатиметься, відповідно, за формулами:

$$(3.10)$$

$$\sum w^{\text{оп}} = w_o^{\text{оп}} + w_{\text{ср}}^{\text{оп}} + w_{\text{ск}}^{\text{оп}} + w_{\text{в}}^{\text{оп}}, \quad (3.11)$$

$$\sum w^{\text{ох}} = w_o^{\text{ох}} + w_{\text{ср}}^{\text{ох}} + w_{\text{ск}}^{\text{ох}} + w_{\text{в}}^{\text{ох}}. \quad (3.12)$$

де w_o , Equation.3 , $w_{\text{ср}}$, Equation.3 , $w_{\text{ск}}$, Equation.3 - питомі опори руху відцепу, відповідно, основне, від повітряного середовища та вітру, від стрілочних переводів та кривих;

$w_{\text{в}}$, Equation.3 - середнє значення питомого опору руху, Н/кН;

w_a^{calc} Equation.3 - значення питомого опору руху відчепа при роз'єднанні автозчеплень, що відповідає несприятливим умовам розчеплення (можна прийняти рівним 10 Н/кН).

3.4.3 Моделювання вітрового впливу

Однією з причин розбіжності розрахункових і фактичних координат точок відриву відчепів від составу є спрощене подання впливу на відчепи повітряного середовища і вітру, що скочуються. Це пов'язано з тим, що у довідниках по клімату вітер характеризують зазвичай середньою швидкістю і напрямком, опосередкованими за деякий інтервал часу, який, як правило, становить 10 хв. Тому при проведенні гіркових розрахунків швидкість та напрямок вітру з моменту проходження відчепом горба гірки і до моменту його зупинки у сортувальному парку приймаються, як правило, постійними. Причому ці значення вважаються незмінними у процесі розформування всього составу.

Проте вітер у поодиноких випадках буває рівним навіть у певних часових інтервалах. Зазвичай спостерігаються його пориви, викликані гальмуванням частинок повітря поверхнею землі, конвекційними струмами між різно нагрітими шарами повітря, тертям між шарами, що рухаються з різними швидкостями тощо. Це призводить до того, що миттєві значення швидкості і напрямку вітру в кожній точці простору швидко змінюються в часі, і рух повітря в певній точці потоку складається з окремих короткочасних поривів і поштовхів з різкою та раптовою зміною швидкостей та напрямків, що йдуть безперервно один за одним (рисуюнок 3.10). Такі коливання швидкостей і напрямів під час руху повітря у метеорології називають поривчастістю вітру. Її причиною є турбулентність, яка особливо велика біля землі.

Рисуюнок 3.10 – Графік зміни швидкості поривчастого вітру

Основними параметрами вітру, що характеризують його мінливість, є коефіцієнт поривчастості та період пульсацій. Коефіцієнт поривчастості K_p Equation.3 визначається відношенням найбільшої швидкості в пориві V_{max} Equation.3 до середньої швидкості вітру $V_{ср}$ Equation.3 за інтервал часу:

$$(3.13)$$

Відомо, що коефіцієнт поривчастості - величина випадкова, яка залежить від особливостей місцевості в районі розташування станції, а також інших факторів і в цілому зменшується зі збільшенням середньої швидкості вітру. Рядом досліджень було визначено стійку залежність максимальної швидкості вітру у пориві від середньої швидкості вітру, що характерна більшості типів місцевості.

Період пульсацій вітру T_p Equation.3 також є випадковою величиною, що залежить від безлічі факторів і зовнішніх умов, проте відомо, що він може становити від декількох хвилин при великій величині середньої швидкості вітру і до однієї секунди при малій.

У процесі розформування составу інтервали часу між моментами відриву сусідніх одновагонних відцепів, як правило, не перевищують 10-20 с і можуть знижуватись у ряді випадків до 5 с. Так як інтервали часу між відчепами можна порівняти з періодами пульсацій вітру, вплив вітру на відчепи, що йдуть один за одним, може бути різним. Це впливатиме на положення координат точок відриву відцепів на горбі гірки. Таким чином, для більш точного визначення розрахункової швидкості розпуску, а також розрахунку ряду параметрів пересальної та спускної частин гірок, особливо при використанні методу імітаційного моделювання, доцільно розглядати вплив вітру на відчепи у вигляді випадкового процесу.

Для більш адекватної оцінки вітрового впливу на відрив відцепів від составу при імітаційному моделюванні пропонується розглядати такі основні параметри повітряного середовища та вітру: напрямок вітру, середню швидкість вітру $V_{ср}$ Equation.3 , максимальну швидкість вітру в пориві V_{max} Equation.3 , миттєву

швидкість вітру V Equation.3 , а також тривалість поривів, тобто період пульсації вітру T_p Equation.3 .

Як випадкові параметри вітрового впливу, що змінюються в часі, слід розглядати амплітуду та період пульсації швидкості вітру, які, у свою чергу, залежать від середньої швидкості, що приймається постійною на період моделювання. Відхилення напрямку вітру від опосередкованого, як правило, не перевищує кількох градусів, тому при моделюванні напрямку вітру слід приймати незмінним протягом розформування одного составу.

Для моделювання впливу вітру на відчепи, що скочуються, пропонується розглядати миттєву швидкість вітру $V(t)$ Equation.3 як суму середньої швидкості вітру $V_{сер}$ Equation.3 , опосередкованої за десятихвилинний інтервал часу, і змінної (пульсаційної) складової швидкості вітру $DI_n(t)$ Equation.3 :

(3.14)

Пульсаційну складову швидкості вітру $DI_n(t)$ Equation.3 доцільно представляти у вигляді канонічного розкладання випадкової функції:

(3.15)

де n Equation.3 - кількість пульсацій вітру, що розглядається;

k_i Equation.3 - коефіцієнти розкладання, випадкові величини;

$h_i(t)$ Equation.3 - координатні функції, наприклад, тригонометричні.

Характер зміни зазначеної величини в часі можна представити графіками тригонометричних функцій – синусоїдами з випадковими амплітудами пульсацій, що визначаються коефіцієнтами поривчастості та випадковою тривалістю поривів (пульсацій). У цьому випадку вираз (3.14) набуде вигляду:

(3.16)

де K_{ni} Equation.3 та T_{ni} Equation.3 - випадкові статистично залежні величини коефіцієнту пульсації та періоду пульсації вітру для i -ої пульсації вітру відповідно.:

Рядом вчених була встановлена статистична залежність між середніми швидкостями вітру, коефіцієнтами поривчастості та тривалістю поривів вітру. Наприклад, були встановлені такі характеристики поривів вітру, розподіл яких близький до нормального: коефіцієнт поривчастості K_{ni} Equation.3 знаходиться в межах [1.05; 1.45], має математичне очікування, що дорівнює 1.25, і стандартне відхилення, що дорівнює 0.067, а період пульсацій T_{ni} Equation.3 знаходиться в діапазоні [5; 45] з математичним очікуванням 25 с. Для конкретної місцевості параметри розподілів T_{ni} Equation.3 та K_{ni} Equation.3 можуть бути отримані в результаті статистичної обробки даних про вітер.

За цим методом здійснено розрахунок координат положень одновагонних відцепів у момент їх відриву від составу. Отримано дані про можливе розсіювання координат точок відриву відцепів в залежності від середньої швидкості вітру за десятихвилинний інтервал, які були зіставлені з результатами, одержуваними «класичним» шляхом, тобто без урахування коливань швидкості вітру в часі (рисунок 3.11).

Рисунок 3.11 – Область розсіювання координат точок відриву відцепів від составу з урахуванням стохастичних пульсацій швидкості вітру

У результаті можна зробити такі висновки:

1. Випадковий характер впливу повітряного потоку на вагони істотно впливає на розсіювання координат точок відриву.
2. Область розсіювання координат точок відриву відцепів внаслідок впливу вітру збільшується зі зростанням його середньої швидкості, досягаючи при екстремальних швидкостях вітру 15 м і більше.

3. Облік фактора випадкового впливу вітру на відчепи, що послідовно скочуються, викликає зниження розрахункової швидкості розпуску составу, одержуваної без урахування цього фактора. При цьому чим вище середня швидкість вітру, то значнішим стає зниження швидкості розпуску.

4. При визначенні відстані до першого розділового елемента доцільно виконувати перевірочний розрахунок визначення ступеня впливу пульсацій вітру на розрахункову швидкість розпуску составів. При проектуванні слід надавати перевагу варіанту конструкції, що забезпечує більше значення швидкості розпуску.

В цілому можна зробити висновок, що облік фактора випадкового вітрового впливу на відчепи може дозволити з більшою достовірністю та точністю проводити визначення ряду параметрів перевальної та спускної частини сортувальних гірок.

4 Розробка методики визначення раціонального варіанта подовжного профілю перевальної частини сортувальної гірки

4.1 Формулювання задачі

Аналіз матеріалів зйомки поздовжніх профілів горбів експлуатованих гірок показав, що є відхилення від Правил та норм проєктування та положень Інструкції з поточного утримання залізничної колії, зокрема:

- мінімальні значення радіусів вертикальних кривих, що сполучають швидкісну дільницю та вершину гірки, можуть бути менше 250 м;
- максимальні значення радіусів вертикальних кривих, що сполучають швидкісну дільницю та вершину гірки, можуть бути більше 300 м;
- на більшості гірок є місцеві відхилення профілю колії в зоні горба гірки, що досягають наднормативних значень (більше 10 мм);
- спотворення можуть призводити до зміни форми горба гірки, наприклад, до ступінчастого або пилкоподібного (зубчастого) контуру поздовжнього профілю.

В даний час оцінка проєктного поздовжнього профілю горба гірки за критерієм прохідності вагонів без саморозчепів проводиться аналітичними методами, які не враховують наявності місцевих спотворень та відхилень, що виникають у процесі експлуатації.

На практиці проводиться періодична інструментальна зйомка та аналіз поздовжнього профілю перевальної частини гірки. Використання аналітичних методів може призводити до похибки щодо усереднених радіусів вертикальних кривих, зокрема у зв'язку з прийнятою точністю складання технічної документації. Тому пропонується проводити оцінку профілю перевальної частини на підставі імітаційного моделювання процесу проходу вагонів через горб гірки за критеріями:

- проходження вагонів без виникнення випадків самовільного розчеплення та наднормативних навантажень на вузли вагонів (K_1 Equation.3);
- своєчасне відділення відчепів від составу (K_2 Equation.3).

4.2 Вибір розрахункових моделей вагонів для оцінки якості позовжнього профілю перевальної частини гірки

На сортувальних гірках переробляється велика кількість типів та моделей вагонів. Для оцінки прохідності зчепів по горбу гірки доцільно використовувати моделі вагонів із несприятливими параметрами. Особливі труднощі при проході горбів гірки зазнають довгобазних вагонів. Тому вибір розрахункових моделей вагонів з метою оцінки прохідності зчепів через горб гірки доцільно виконувати з довгобазних вагонів, обладнаних типовими (СА-3) чи модернізованими автозчепленнями (СА-3М та інших.), які мають найбільш несприятливі лінійні параметри за критерієм K_1 Equation.3 . Проходження таких зчеплених вагонів через горб сортувальної гірки за певних умов може супроводжуватися самовільним розчепленням, а також наднормативною силовою їх взаємодією через автозчеплення.

Здійснено аналіз експлуатованого вагонного парку та виділено групу моделей вантажних вагонів, що мають найбільш несприятливі параметри для проходу горбів гірок. З усіх моделей вагонів, дозволених для пропуску через горб гірки, найбільші труднощі при проході перевальної частини виявлено у вагонів для перевезення автомобілів та легковагових вантажів, а також у деяких моделей спеціалізованих платформ. Для цих вагонів властиві максимальні значення величини додаткового вертикального зміщення осей автозчепів $Dh_{\text{додатк}}^{\text{max}}$ Equation.3 . Як приклад у таблиці 4.1 представлені розрахункові значення величини $Dh_{\text{додатк}}^{\text{max}}$ Equation.3 для різних вагонів, отримані з використанням імітаційної моделі при проході по горбу гірки з переломом 55 % між площинами насувної та спускної частин, які сполучені вертикальною кривою з радіусом 250 м.

Таблиця 4.1 – Розрахункові величини $Dh_{\text{під}}^{\text{під}}$ для різних моделей вагонів

Модель вагона	Розміри вагона			Тип автозчеплення		Максимальне значення додаткової відносно вертикального суміщення автозчеплень, мм
	Кількість осей	База вагона, м	Довжина консолі вагона по осі зчеплення, м	Стандартна СА-3 з центруючим прибором жорсткого типу	Модернізована СА-3 з центруючим прибором з уругою опорою хвостовика	
Стандартний критий вагон моделей 11-217, 11-K001, 11-264, 11-270, 11-274 та подібних	4	10,0	2,365	+	-	57
Критий вагон моделей 11-280, 11-9769 та подібних	4	12,24	2,365	+	-	67
Критий вагон моделі 11-1807 та подібних	4	11,70	2,635	+	-	72
Критий вагон з моделі 11-276 та подібних	4	10,0	2,365	+	-	75
Критий вагон моделі 11-1807-01 та подібних	4	13,14	2,85	-	+	86
Критий вагон для перевезення автомобілів моделей 11-287, 11-287-01, 11-835, 11-720, 13-9752, 11-835M, 11-835-01 та подібних	4	17,0	3,63	-	+	131
Критий вагон для перевезення автомобілів та легкових вантажів моделей 11-9759, 11-9733, 11-9733-01, 11-1804	4	17,0	3,81	-	+	138
Критий вагон для перевезення автомобілів та легкових вантажів моделі 11-K651	4	17,0	3,84	-	+	139
Критий вагон для транспортування спеціальних виробів моделей 15T192, 15T197, 15T223, 15T287, 8T712 та подібних	4	17,0	3,84	-	+	139
Критий вагон для легкових вантажів моделей 11-1709, 11-1759 та подібних	4	18,0	3,81	-	+	141
Стандартний півагон моделі 12-132, 12-296 та подібних	4	8,65	2,635	+	-	58
Стандартна платформа моделі 13-2114 та подібних	4	9,72	2,45	+	-	58
Стандартні платформи для перевезення крупнотонажних контейнерів моделі 13-2116, 13-1223, 13-1798 та подібних	4	14,72	2,45	+	-	79
Платформа для перевезення крупнотонажних контейнерів та колісної техніки моделі 13-935 та подібних	4	14,40	2,61	-	+	83
Платформи для перевезення крупнотонажних контейнерів моделі 13-1798 та подібних	4	13,46	3,08	-	+	96
Платформа для перевезення крупнотонажних контейнерів моделі 13-3115-1 та подібних	4	19,70	3,08	-	+	116
Платформа для перевезення довгомерів моделі 13-4092	4	20,78	3,11	-	+	119
Платформи для перевезення крупнотонажних контейнерів моделі 13-2118, груб та прокату моделі 13-2118-03 та подібних	4	19,0	3,61	-	+	136
Платформа для перевезення рейок довжиною 25 м мод. 13-3066	8	18,6	3,865	-	+	140
Стандартний вагон-цистерна	4	7,8	2,11	+	-	40
Вагон-цистерна для нафтопродуктів моделі 15-871	8	13,79	3,665	-	+	114
Вагон-цистерна для нафтопродуктів моделі 15-880	8	10,52	4,085	-	+	110

Для дослідження прохідності зчепів по перевальній частині гірки за критерієм K_1 Equation.3 визначено такі розрахункові моделі вагонів:

- за розрахункову модель №1 чотиривісного вагона, обладнаного модернізованим автозчепленням СА-3 з центруючим приладом з пружною опорою хвостовика і параметром $Dh_{\text{пел}} \text{ Equation.3} = 250 \text{ мм}$, приймається критий вагон для легковагових вантажів моделі 11-1709 і подібних до довжини 25,62 м, що має розміри бази $l_{\text{б}} \text{ Equation.3} = 18,0 \text{ м}$ і консолі $l_{\text{к}} \text{ Equation.3} = 3,81 \text{ м}$;

- за розрахункову модель №2 чотиривісного вагона, обладнаного стандартним автозчепленням СА-3 з центруючим приладом жорсткого типу і параметром $Dh_{\text{пол}} \text{ Equation.3} = 180 \text{ мм}$, приймається стандартна платформа для перевезення великотоннажних контейнерів моделі 13-2116 і подібних до довжини 19,62 м, що мають розміри бази $l_{\text{б}} \text{ Equation.3} = 14,72 \text{ м}$ та консолі $l_{\text{к}} \text{ Equation.3} = 2,45 \text{ м}$.

Лінійні розміри зазначених моделей вагонів забезпечують значення розрахункової величини $Dh_{\text{внн}} \text{ Equation.3}$, що знаходяться близько до граничних рівнів ($Dh_{\text{внн}} \text{ Equation.3} - Dh_{\text{внн}} \text{ Equation.3}$), встановлених нормами для розрахунку та проектування вагонів.

Для оцінки якості поздовжнього профілю за критерієм K_2 Equation.3 потрібне визначення значення радіуса вертикальної кривої з боку спускної частини. При цьому пропонується використовувати додаткову розрахункову модель вагона №3. Це «абстрактний» короткобазний вагон з лінійними параметрами, що задаються, при яких його база не буде перевищувати довжину вертикальної кривої на горбі гірки. Це забезпечить більш достовірне визначення значення усередненого радіусу вертикальної кривої, оскільки зменшить вплив просядок та інших деформацій колії поза вертикальною кривою.

4.3 Розробка методики оцінки поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок

Запропонована методика оцінки поздовжнього профілю перевальної частини ґрунтується на показниках, що одержуються з використанням імітаційної моделі проходу вагонів через горб гірки.

Аналіз поточного стану перевальної частини гірки за запропонованою методикою проводиться порівнянням показників $Dh_{\text{факт}}^{\text{max}}$ Equation.3 і $Dh_{\text{станд}}^{\text{max}}$ Equation.3, одержуваних в результаті моделювання проходу розрахункових моделей за досліджуваним фактичним горбом, з показниками, одержуваними в результаті моделювання проходу вагонів по «еталонному» горбу (обрис якого відповідає проектній лінії поздовжнього профілю досліджуваної гірки).

Перевищення абсолютних значень досліджуваних величин $Dh_{\text{факт}}^{\text{max}}$ Equation.3 над «еталонними» свідчить про те, що фактичні значення радіусів вертикальних кривих менші за проектні. Менші абсолютні значення досліджуваних величин $Dh_{\text{факт}}^{\text{max}}$ Equation.3 порівняно з «еталонними» свідчать, що фактичні значення радіусів вертикальних кривих вищі за проектні.

Очевидно, що необхідно встановити межі досліджуваного параметра $Dh_{\text{факт}}^{\text{max}}$ Equation.3, в межах яких стан поздовжнього профілю горба гірки можна оцінити як задовільний. Вихід за зазначені межі вимагає проведення виправки поздовжнього профілю горба гірки.

Правилами та нормами допускаються місцеві відхилення поздовжнього профілю перевальної частини, що становлять до мінус 10 мм на 10–15 м ділянки колії. Це означає, що не допускається зменшення значень радіусів вертикальних кривих менше 250 м. Виходячи з цього, для оцінки поздовжнього профілю експлуатованих горбів сортувальних гірок за критерієм K , Equation.3 доцільно встановити два рівні допустимої верхньої межі показника $Dh_{\text{факт}}^{\text{max}}$ Equation.3:

- максимальний проектний рівень $Dh_{\text{проект}}^{\text{max}}$ Equation.3 відповідає величині $Dh_{\text{станд}}^{\text{max}}$ Equation.3, одержуваної при моделюванні проходу вагонів по «еталонному» горбі при встановлених згідно проекту параметрах насувної, перевальної та спускної частин гірки (довжина прямолінійних елементів і величини їх ухилів) і значеннях

радіусів сир горбі гірки, рівних мінімальним допустимим значенням $R_c = 250$ м, $R_n = 350$ м;

- максимальний критичний рівень $Dh_{\text{крит}}^{\text{max}}$ Equation.3 відповідає величині $Dh_{\text{факт}}^{\text{max}}$ Equation.3, що отримується при моделюванні проходу вагонів по горбу гірки з переломом 55 % між площинами насувної та спускної частин, сполученими вертикальною кривою з радіусом 250 м.

Якщо величина $Dh_{\text{факт}}^{\text{max}}$ Equation.3 перевищує максимальний проєктний рівень $Dh_{\text{проект}}^{\text{max}}$ Equation.3, значить, фактичний радіус сполучною кривою на горбі гірки в результаті спотворення поздовжнього профілю гіркової колії вийшов за допустимі межі та має значення нижче 250 м.

Перевищення досліджуваною величиною $Dh_{\text{факт}}^{\text{max}}$ Equation.3 максимального критичного рівня $Dh_{\text{крит}}^{\text{max}}$ Equation.3 також показує, що фактичний радіус сполучної кривої на горбі гірки в результаті спотворення поздовжнього профілю гіркової колії має значення менше 250 м. при цьому створюється загроза пошкодження рухомого складу та вантажів, що перевозяться в сцепі з опорою на два вагони. Відповідно, потрібне виправлення поздовжнього профілю горба гірки.

Для сортувальних гірок, що мають сумарну кругизну сполучних на горбі уклонів, яка дорівнює $D_i = 55$ Equation.3 %, значення $Dh_{\text{проект}}^{\text{max}}$ Equation.3 та $Dh_{\text{факт}}^{\text{max}}$ Equation.3 можуть бути рівними, а для гірок, у яких $D_i < 55$ Equation.3 %, значення $Dh_{\text{проект}}^{\text{max}}$ Equation.3 $< Dh_{\text{факт}}^{\text{max}}$ Equation.3.

Нормами також встановлені максимальні значення спотворень поздовжнього профілю перевальної частини, що допускаються, які фактично визначають максимально допустимі відхилення радіусів вертикальних кривих у верхньому діапазоні значень до 10 %. Виходячи з цього, для оцінки поздовжнього профілю експлуатованих горбів сортувальних гірок за критерієм K_2 Equation.3 доцільно встановити наступні рівні нижньої межі показника $Dh_{\text{факт}}^{\text{min}}$ Equation.3 :

- мінімальний проектний рівень $Dh_{проект}^{min}$ Equation.3 відповідає величині $Dh_{проект}^{max}$ Equation.3, що отримується при моделюванні проходу вагонів на «еталонному» горбі та значеннях радіусів, що сполучають вертикальні криві на горбі гірки, рівних максимальним нормативним проектним значенням $R_c = 300$ м, $R_n = 400$ м;

- мінімальний критичний рівень $Dh_{крит}^{min}$ Equation.3 відповідає величині $Dh_{крит}^{max}$ Equation.3, отриманої при моделюванні проходу вагонів на «еталонному» горбі при значеннях радіусів, що сполучають вертикальні криві на горбі гірки, рівних максимально допустимим значенням $R_c = 330$ м, $R_n = 440$ м.

Якщо досліджувана величина $Dh_{досл}^{max}$ Equation.3 нижче мінімального проектного рівня $Dh_{проект}^{min}$ Equation.3, отже, значення фактичного радіусу кривої, що сполучає, виходять за граничні значення, встановлені проектом.

Відхилення досліджуваної величини $Dh_{досл}^{max}$ Equation.3 нижче мінімального критичного рівня $Dh_{крит}^{min}$ Equation.3 показує, що фактичний радіус сполучної кривої на горбі гірки R_c внаслідок спотворення поздовжнього профілю гіркової колії перевищує 330 м. В результаті погіршуються умови відділення відцепів від составу, частішають випадки «нерозділення» та «утягування» відцепів, знижується швидкість розпуску та, відповідно, переробна спроможність гірки. Отже, потрібне проведення виправлення поздовжнього профілю горба гірки.

Фактичні усереднені значення радіусів вертикальних кривих (R_c і R_n) на досліджуваних горбах гірок можна визначити залежно від показника $Dh_{досл}^{max}$ Equation.3 від радіуса вертикальної кривої, що сполучає елементи «еталонного» горба з боку спускної частини гірки (рисунок 4.1). Залежності встановлюються багаторазовим ітераційним моделюванням проходу зчеплених вагонів розрахункових моделей по перевальній частині гірки при різних значеннях радіуса вертикальної кривої. Результати моделювання характеризують загалом умови проходу через горб гірки, що експлуатується, з урахуванням місцевих спотворень

перевальної частини. Тому одержуваний за залежностями (рисунк 4.1) усереднений радіус вертикальної кривої приймається за еквівалентний.

Величина еквівалентного усередненого радіусу є комплексним показником, що характеризує не тільки параметр усередненого радіусу самої вертикальної кривої, що сполучає насувну та спускну частини, а також спотворення прямолінійних елементів профілю, що безпосередньо примикають до неї. Таким чином, його величина визначає такі умови проходу вагонами горба гірки, що експлуатуються, які будуть аналогічні умовам проходу по горбу «ідеальної» (еталонної) гірки з радіусом сполучення вертикальної кривої, рівним величині отриманого при аналізі якості профілю еквівалентного усередненого радіусу.

Рисунок 4.1 – Приклад залежності величини $Dh_{\text{середн}}^{\text{max}}$ Equation.3 від радіуса вертикальної кривої для гірки з переломом 55‰ між площинами насувної та спускної частин

Таким чином, використання запропонованої методики дозволяє, на відміну від звичайних методів контролю стану горбів за величинами усереднених радіусів вертикальних кривих, оцінювати конкретні експлуатаційні показники, що склалися ($Dh_{\text{середн}}^{\text{max}+1}$ Equation.3, $Dh_{\text{середн}}^{\text{max}-1}$ Equation.3, $a_{\text{середн}}^{\text{max}}$ Equation.3, $a_{\text{середн}}^{\text{min}}$ Equation.3, $P_{\text{середн}}$ Equation.3 та ін.) в умовах довільно деформованого обрису профілю та наявності місцевих спотворень по всій довжині перевальної частини гірки. Також метод дозволяє більш точно оцінювати еквівалентну усереднену величину радіусів сполучних вертикальних кривих.

4.4 Результати експериментальних досліджень поздовжнього профілю перевальної частини експлуатованих сортувальних гірок

Проведено низку досліджень щодо оцінки конструкції горбів експлуатованих гірок. Результати досліджень показали, що часто параметри поздовжнього профілю перевальних частин гірок не потрапляють до діапазону допустимих значень.

встановлених Правилами та нормами проектування. Мають місце випадки значного виходу за встановлені допустимі межі, зумовлені місцевими просіданнями колії та іншими деформаціями поздовжнього профілю. Як приклад на рисунку 4.2 представлений поздовжній профіль горба експлуатованої сортувальної гірки, що має досить сильні відхилення від проектних значень.

Рисунок 4.2 – Проектний та фактичний поздовжній профіль горба сортувальної гірки «Д» (результат зйомки 2017 року)

Даний поздовжній профіль горба гірки відноситься до другого варіанту перевальної частини (з профільним розділовим елементом) і має проектні параметри, близькі до граничних (переломи профільних елементів близькі до максимальних при мінімальних значеннях радіусів сполучення). Для оцінки відповідності поздовжнього профілю горба гірки нормам виконано моделювання проходу зчепів розрахункових моделей вагонів, результати якого наведено у таблиці 4.2 та на рисунку 4.3.

Таблиця 4.2 – Зведена таблиця оцінки відповідності поздовжнього профілю горба гірки «Д» нормативним вимогам (зйомка 2017 р.)

Параметр	Розрахункові моделі вагонів		
	Критий вагон моделі 11-1709	Платформа моделі 11-2116	«Абстрактний» короткобазний вагон
Фактичне значення величини $Dh_{\text{факт}}^{\text{max}}$ Equation.3 , мм	164	98	25
Максимальний проектний рівень $Dh_{\text{проект}}^{\text{max}}$ Equation.3 , мм	138	77	14
Максимальний критичний рівень $Dh_{\text{критич}}^{\text{max}}$ Equation.3 , мм	141	79	14
Мінімальний проектний рівень $Dh_{\text{проект}}^{\text{min}}$ Equation.3 , мм	126	68	11
Мінімальний критичний рівень $Dh_{\text{критич}}^{\text{min}}$ Equation.3 , мм	118	62	10
Орієнтовне значення усередненого радіуса сполучної вертикальної кривої (з урахуванням деформації колії), м	135	140	135
Відповідність поздовжнього профіля	Не відповідає	Не відповідає	Не відповідає

горба Правилам і нормам	радіус менше 250 м	радіус менше 250 м	радіус менше 250 м
-------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

Деякі відмінності в значеннях радіусів, отримані для різних моделей, викликані особливостями проходження конкретного вагона через горб гірки, що зумовлені наявними на гірці місцевими відхиленнями профілю. За результатами оцінки було виявлено, що горб гірки не відповідає нормативним вимогам, що пред'являються до нього, так як радіус сполучення спускної частини з горбом гірки значно менше встановленого, а саме: менше 150 м замість 250 м. Для виключення випадків самовільного розчеплення вагонів та пошкодження деталей автозчіпного пристрою слід зробити виправлення поздовжнього профілю.

Достовірність проведених розрахунків та зроблених висновків підтверджується присутністю фактів самовільного розчеплення вагонів, а також наявністю випадків ушкодження автозчіпних пристроїв рухомого складу (обрив маятникових болтів, злами обмежувачів вертикальних переміщень тощо) на сортувальній гірці станції «Д» в період 2017-2018 років.

Рисунок 4.3 – Визначення фактичних радіусів вертикальних кривих залежно від значень $D_{\text{факт}}$ Equation.3 від величин проектного радіусу вертикальної кривої для горба сортувальної гірки «Д»

Також проведено обстеження горбів ряду інших експлуатованих сортувальних гірок. Як приклад у таблиці 4.3 представлені результати моделювання та оцінки стану поздовжнього профілю двох гірок.

За результатами розрахунків встановлено, що поздовжній профіль перевальної частини горбів багатьох сортувальних гірок не повною мірою відповідає нормам. Це призводить до труднощів у роботі сортувальних гірок, зниження швидкості розпуску та зменшення їхньої переробної здатності.

Наприклад, як видно з таблиці 5.3. профіль сортувальної гірки «Д» погіршився до стану, що загрожує пошкодженням рухомого складу та безпеці проведення маневрової роботи.

Таблиця 4.3 – Зведена таблиця оцінки якості поздовжнього профіля горбів сортувальних гірок «Л» та «Д»

Рік проведення інструментальної зйомки	Параметри оцінки якості поздовжнього профіля горбів сортувальної гірки														
	Перший горб гірки					Другий горб гірки					Третій горб гірки				
	$Dh_{\text{горб}}^{\text{max}}$ Equation.3 , мм			R Equation.3 , м	C	$Dh_{\text{горб}}^{\text{max}}$ Equation.3 , мм			R Equation.3 , м	C	$Dh_{\text{горб}}^{\text{max}}$ Equation.3 , мм			R Equation.3 , м	C
	1	2	3			1	2	3			1	2	3		
Сортувальна гірка «Л» (три гіркові колії, проектні параметри перевальної частини: i_1 Equation.3 =31-33‰, i_2 Equation.3 =21‰, D Equation.3 =52-54‰)															
2014	57	111	11	340 340 300	(-) K_2 Equation.3	56	103	10	335 465 350	(-) K_2 Equation.3	89	149	17	200 220 200	(-) K_1 Equation.3
2017	53	109	10	365 355 350	(-) K_2 Equation.3	49	91	9	375 415 375	(-) K_2 Equation.3	87	145	17	210 235 200	(-) K_1 Equation.3
2019	46	96	8,5	430 405 400	(-) K_2 Equation.3	54	95	9	350 395 375	(-) K_2 Equation.3	80	139	14	240 255 245	(-) K_1 Equation.3
2021	51	102	9	380 380 375	(-) K_2 Equation.3	50	91	9	475 415 375	(-) K_2 Equation.3	86	141	16	215 240 215	(-) K_1 Equation.3
Сортувальна гірка «Д» (дві гіркові колії, проектні параметри перевальної частини: i_1 Equation.3 =45‰, i_2 Equation.3 =20‰, D Equation.3 =65‰)															
2014	63	120	11	325 330 300	(+)	77	133	14	250 270 245	(+)	-	-	-	-	-
2017	103	172	27	115 110	(-) K_1	89	160	20	190 160	(-) K_1	-	-	-	-	-

				125	Equati on.3				170	Equati on.3					
2019	95	166	24	150 125 140	(-) K_1 Equati on.3	89	159	19	190 165 180	(-) K_1 Equati on.3	-	-	-	-	-
2021	98	164	25	135 140 135	(-) K_1 Equati on.3	92	159	20	170 165 170	(-) K_1 Equati on.3	-	-	-	-	-

5 Техніко-економічне порівняння варіантів поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок

При проектуванні та реконструкції сортувальних гірок часто ставиться завдання порівняння варіантів поздовжнього профілю перевальної частини та вибору найбільш раціонального, з урахуванням забезпечення потрібного рівня переробної спроможності.

Виконані у цій роботі дослідження показали, що параметри поздовжнього профілю горба гірки впливають на такі показники:

- кількість випадків саморозчеплення вагонів на горбі гірки;
- кількість випадків пошкодження автозчіпного пристрою вагонів;
- кількість випадків нерозчеплення вагонів;
- швидкість розпуску составів.

Самовільне розчеплення при проході вагонів у зчепленому стані через горб гірки явище досить рідкісне. Як показує практичний досвід експлуатації гірок, навіть при радіусах, що сполучають вертикальні криві на горбі гірки, значно нижче нормативних (менше 200 м), явище саморозчеплення спостерігається в поодиноких випадках (значно рідше одного разу на добу). Тому можна вважати, що на переробну спроможність це явище впливу надає мало.

Видимі пошкодження автозчіпного пристрою вагонів (обрив маятникових болтів, злам центруючої балочки тощо) також явище рідкісне. На переробну спроможність сортувальної гірки впливу також не надає, тому що виявляється та виправляється у парку відправлення.

Таким чином, основним негативним фактором, що залежить від поздовжнього профілю перевальної частини і впливає на здатність переробки сортувальної гірки, є нерозчепи вагонів.

Крім цього, на переробну спроможність гірки впливає положення відчепів у момент їх відриву від составу, від яких залежить утворення початкових просторових інтервалів між відчепами і, відповідно, максимально реалізована швидкість розпуску составу.

Таким чином, для кількісної оцінки впливу конструкції поздовжнього профілю перевальної частини на переробну спроможність гірки при порівнянні варіантів достатньо враховувати два основні показники, що впливають на технологічний гірковий інтервал:

- зміна кількості нерозчеплення вагонів на горбі гірці;
- зміна реалізованої швидкості розпуску.

У дослідженнях встановлено, що значний вплив на переробну спроможність гірки надають нерозчепи у складах під час розпуску.

Отримано такі результати:

- ймовірність зупинок розпуску $P_{\text{н}}$ через нерозчепи в середньому по мережі становить 0,32 (32 зупинки на 100 составів);

- середня затримка розпуску через одну зупинку 2,4 хв.;

- ймовірність зупинок розпуску значною мірою визначається технологією ліквідації нерозчепів вагонів;

- на гірках, де нерозчепи усуваються гірковими складачами поїздів із зупинкою розпуску, середній час на ліквідацію одного нерозчепа становить 2 хв, а з урахуванням часу на розгін та гальмування составу – 3 хв;

- на гірках (як правило, з добовою переробкою понад 4000 вагонів), де відчепи, що не розчепилися, прямують на окремі колії без зупинки розпуску, середній час на ліквідацію одного нерозчепа становить близько 5 хв. По закінченню розпуску або частково з поєднанням з іншим розпуском відчепи, що не розчепилися («чужинці») переставляються маневровим локомотивом на колії призначення. За наявності достатньої кількості локомотивів та управління процесом розпуску кваліфікованим черговим по гірці (ДСПГ) середній час затримок у роботі гірки значно менший і не перевищує тривалості ліквідації одного нерозчепа із зупинкою розпуску;

- загальна кількість нерозчепів залежить від добової переробки та середньої довжини відчепів. Для середньомережевих умов (середня довжина відчепу – два вагони) при збільшенні переробки вагонів на гірці з 3 тис. до 7 тис. середня кількість

нерозчепів збільшується з 13–15 до 32–35 випадків на добу, а втрати часу на їх усунення – з 40 до 100 хв.

Для конкретної сортувальної гірки показники можуть бути встановлені індивідуально. Окремі показники для сучасних середньомережевих умов можна уточнити. Для прикладу в таблиці 5.1 представлені показники з нерозчеплення вагонів для двох гірок сортувальних станцій з послідовним розташуванням парків.

Таблиця 5.1 – Показники з нерозчеплення вагонів

Гірка	Ймовірність зупинок розпуску на 1 состав	Середній час на ліквідацію нерозчеплення, хв	Середній час на ліквідацію нерозчеплення у розрахунок на один состав, хв
Автоматизована	0,20	1,8	0,36
Механізована	0,35	2,3	0,80

Відомо, що більш крутий поздовжній профіль з мінімально допустимими радіусами сполучних вертикальних кривих, забезпечує значно менше нерозчепів вагонів в порівнянні з пологим профілем, де спускна частина пов'язана з насуваюною частиною вертикальними кривими більшого радіусу. Встановлено, що перший варіант поздовжнього профілю забезпечує найкращі показники за рахунок:

- кращих динамічних («розгінних») характеристик для відчепів, що скочуються;
- меншої ймовірності схоплювання («залипання») тягових поверхонь великого та малого зубів автозчепів.

Менша ймовірність схоплювання («залипання») тягових поверхонь великого і малого зубів автозчепів обумовлюється великим взаємним зміщенням автозчепів, викликаним проходом відчепів за профілем горба гірки (показником якого є величина $D/l_{\text{зчеп}}$ Equation.3, що раніше розглядалася). Більше зміщення (взаємний «хід» автозчепів) знижує ймовірність взаємного контакту зношених, що мають корозію або неякісно оброблених ділянок площин зубів, що взаємодіють автозчіпок. Це досягається за рахунок більшої довжини ділянки вертикального ковзання тягових площин зубів автозчепів і можливості «відпускання» залиплених автозчепів в результаті проходження ділянки поверхні, що має дефекти.

Раніше було встановлено, що показник додаткового вертикального зміщення осей автозчеплень $Dh_{\text{сум}}^{\text{max} (+)}$ Equation.3 має два екстремуми:

1) $Dh_{\text{сум}}^{\text{max} (+)}$ Equation.3 – в районі початку вертикальної кривої перед горбом гірки з боку насувної частини;

2) $Dh_{\text{сум}}^{\text{min} (-)}$ Equation.3 – в районі кінця вертикальної кривої за горбом гірки з боку спускної частини.

Очевидно, що на зниження ймовірності появи нерозчепів і утруднень з відділенням відчепів може впливати тільки показник $Dh_{\text{сум}}^{\text{max} (+)}$ Equation.3, тому що $Dh_{\text{сум}}^{\text{min} (-)}$ Equation.3 може впливати тільки на розчеплення вагонів вже на значному віддаленні за горбом гірки, що фактично призводить до появи «чужинця».

З деякою часткою припущення можна вважати, що існує обернено пропорційна залежність між величиною $Dh_{\text{сум}}^{\text{max} (+)}$ Equation.3 та ймовірністю появи нерозчеплення вагонів $P_{н(Б)}$, викликаного станом тягових поверхонь автозчеплень. У цьому випадку з'являється можливість порівняння різних змін поздовжнього профілю горбів гірок за показником $P_{н(Б)}$. Для цього можна скористатися залежністю:

$$(5.1)$$

де $k_{\text{сум}}^{\text{max} (+)}$ Equation.3 – коефіцієнт, що характеризує поздовжній профіль гірки, що досліджується, за показником нерозчеплень у порівнянні базовим поздовжнім профілем:

$P_{н(Б)}$ Equation.3 – ймовірність появи нерозчеплення вагонів для базового поздовжнього профіля сортувальної гірки, 1/состав:

$Dh_{\text{сум}}^{\text{max} (+)}$ Equation.3 – екстремум додаткового вертикального суміщення осей автозчеплень з боку насувної частини для базової сортувальної гірки (з відомим показником ймовірності появи нерозчеплень вагонів $P_{н(Б)}$ Equation.3):

$Dh_{\text{сум}}^{\text{max} (+)}$ Equation.3 – екстремум додаткового вертикального суміщення осей автозчеплень з боку насувної частини для сортувальної гірки, що досліджується.

Наведені в деяких роботах показники по нерозчепленнях вагонів відповідали середньомережевим умовам роботи в період дії норм ІПСУ-78, в яких було встановлено єдиний радіус сполучних вертикальних кривих з боку насувної та спускної частини, що дорівнює 350 м. Тому даний варіант профілю приймається за базовий. У таблиці 5.2 представлені порівняльні показники по нерозчепленнях вагонів для трьох варіантів поздовжнього профілю горбів гірок, що раніше розглядалися, для різних значень радіусів вертикальних кривих і трьох універсальних моделей вагонів.

Таким чином, для комплексної оцінки поздовжнього профілю за показником P_n доцільно використовувати середньозважений коефіцієнт, що відображає найбільшу кількість типів вагонів, що переробляються на гірці:

$$(5.2)$$

де a_i Equation.3 - доля вагонів i -того типу, що переробляються на гірці;

$D_{i, \text{сум}}^{\max(+)}$ Equation.3 , $D_{i, \text{сум}}^{\max(-)}$ Equation.3 - екстремуми додаткового вертикального суміщення для i -го типу вагонів з боку насувної частини, відповідно, для базового варіанту сортувальної гірки та досліджуваного.

Кількість нерозчеплень вагонів визначасмо формулою, нерозчепів/добу:

$$(5.3)$$

де $N_{\text{вер}}$ Equation.3 - кількість вагонів, що переробляються на гірці, ваг/доб;

$m_{1050(B)}$ Equation.3 - середня кількість вагонів у складі при довжині поїздів 1050 м, ваг/сост;

n_0 Equation.3 , $n_{0(B)}$ Equation.3 - середня довжина відчепа, відповідно для досліджуваної гірки та середньомережевої, ваг/відчеп.

Таблиця 5.2 – Зведена таблиця розрахунку показників оцінки орієнтовної кількості нерозчеплень на горбах сортувальної гірки за варіантами поздовжнього профілю

Радіус вертикальн ої кривої R , Equation.3 , м	Показники для оцінки кількості нерозчеплень на горбах сортувальної гірки за варіантами поздовжнього профілю											
	Варіант профілю №1				Варіант профілю №2				Варіант профілю №3			
	$Dh_{\text{станд. 4.1}}$ Equation .3 , мм	k_n Equation .3	P_n Equation .3 , 1/состав	n_n Equation .3 , нерозч. на 1000 ваг.	$Dh_{\text{станд. 4.1}}$ Equation .3 , мм	k_n Equation .3	P_n Equation .3 , 1/состав	n_n Equation .3 , нерозч. на 1000 ваг.	$Dh_{\text{станд. 4.1}}$ Equation .3 , мм	k_n Equation .3	P_n Equation .3 , 1/состав	n_n Equation .3 , нерозч. на 1000 ваг.
Піввагон (стандартна модель з параметрами l_n , Equation.3 =8.65 м; l , Equation.3 =2.635 м)												
150	82	0,500	0,16	2,25	85	0,471	0,15	2,12	57	0,719	0,23	3,24
200	67	0,612	0,20	2,76	69	0,580	0,19	2,61	49	0,837	0,27	3,77
250	55	0,745	0,24	3,36	56	0,714	0,23	3,22	45	0,911	0,29	4,11
300	47	0,872	0,28	3,93	47	0,851	0,27	3,84	43	0,953	0,31	4,30
350	41	1,000	0,32	4,51	40	1,000	0,32	4,51	41	1,000	0,32	4,51
400	37	1,108	0,35	4,99	36	1,111	0,36	5,01	40	1,025	0,33	4,62
Критичний вагон (стандартна модель з параметрами l_n , Equation.3 =10,0 м; l , Equation.3 =2,365 м)												
150	77	0,519	0,17	2,34	79	0,494	0,16	2,22	56	0,714	0,23	3,22
200	65	0,615	0,20	2,77	66	0,591	0,19	2,66	50	0,800	0,26	3,61
250	53	0,755	0,24	3,40	54	0,722	0,23	3,26	45	0,889	0,28	4,01
300	46	0,870	0,28	3,92	45	0,867	0,28	3,91	42	0,952	0,30	4,29
350	40	1,000	0,32	4,51	39	1,000	0,32	4,51	40	1,000	0,32	4,51
400	36	1,111	0,36	5,01	34	1,147	0,37	5,17	39	1,026	0,33	4,62
Платформа (стандартна модель з параметрами l_n , Equation.3 =14,71 м; l , Equation.3 =2,45 м)												
150	94	0,628	0,20	2,83	85	0,694	0,22	3,13	78	0,756	0,24	3,41
200	85	0,694	0,22	3,13	76	0,776	0,25	3,50	73	0,808	0,26	3,64
250	76	0,776	0,25	3,50	67	0,881	0,28	3,97	68	0,868	0,28	3,91
300	67	0,881	0,28	3,97	57	1,035	0,33	4,67	63	0,937	0,30	4,22
350	59	1,000	0,32	4,51	49	1,204	0,39	5,43	59	1,000	0,32	4,51

400	53	1,113	0.36	5.02	41	1.439	0.46	6.49	56	1.054	0.34	4.75
-----	----	-------	------	------	----	-------	------	------	----	-------	------	------

Середні втрати часу на усунення наслідків нерозчепів під час переробки $N_{\text{пер}}$ вагонів на гірці можуть бути визначені за формулою:

$$(5.4)$$

де $t_{\text{н}}$, Equation.3 - середній час на ліквідацію одного нерозчеплення, що залежить від технології усунення наслідків нерозчеплень вагонів на гірці, хв.

Відомо, що вплив нерозчеплень на технологічний гірковий інтервал при розрахунку переробної спроможності сортувальної гірки оцінюється через коефіцієнт $\gamma_{\text{нр}}$, Equation.3, що враховує відмови технічних пристроїв, нерозчеплення вагонів та ін. При розрахунку $\gamma_{\text{нр}}$, Equation.3 використовувалися статистичні середньомережеві дані. Ці ж дані у формулах (5.1–5.4) були прийняті за розрахункові, що відповідають базовому варіанту поздовжнього профілю перевальної частини гірки. В результаті для оцінки впливу поздовжнього профілю горба гірки на технологічний гірковий інтервал $t_{\text{гн}}$, Equation.3 за критерієм появи нерозчеплень можна використовувати залежність:

$$(5.5)$$

де $Dt_{\text{н}}$, Equation.3 – зміна гіркового технологічного інтервалу, викликана зміною кількості нерозчеплень у результаті коригування параметрів поздовжнього профілю перевальної частини, хв, що визначається за формулою:

$$(5.6)$$

Перетворюючи вираз (5.5) отримаємо:

$$t_{\text{гн}} = t_{\text{гн(Б)}} - (P_{\text{н(Б)}} - P_{\text{н}}) t_{\text{н}}, \quad (5.7)$$

де $t_{\text{пр}(B)}$ Equation.3 — величина гіркового технологічного інтервалу для базового варіанта поздовжнього профілю гірки, яка може бути визначена для експлуатованої гірки статистичними методами, хв.

Динамічні якості поздовжнього профілю горба гірки змінюватимуться через коригування радіуса вертикальної кривої. Відповідну зміну гіркового технологічного інтервалу (при відомій зміні часу розпуску) можна визначити з використанням технологічного графіка роботи сортувальної гірки або за формулою:

(5.8)

де b_1 Equation.3 , b_2 Equation.3 - коефіцієнти регресії, значення яких приймаються в залежності від кількості гіркових локомотивів;

$t_{\text{пр}(B)}$ Equation.3 та $t_{\text{пр}(P)}$ Equation.3 - середній час розпуску составів при існуючому (базовому) профілі горба гірки та при проєктованому профілі відповідно, хв/состав;

$k_{\text{оп}(B)}$ Equation.3 та $k_{\text{оп}(P)}$ Equation.3 - коефіцієнт паралельності виконання маневрових операцій при існуючому (базовому) профілі горба гірки і, відповідно, при проєктованому профілі.

Середній час розпуску составу без урахування додаткового часу на знімання вагонів, заборонених до спуску з гірки без локомотива, хв, визначається за відомою формулою:

(5.9)

де l Equation.3 - довжина составу, м;

g_0 Equation.3 - середня кількість відцепів у составі.

Швидкість розпуску составів в результаті зміни радіусу вертикальної кривої і, відповідно, динамічних якостей поздовжнього профілю горба гірки можна визначити за формулою:

(5.10)

де $v_{пр}$ Equation.3 та $v_{пр.б}$ Equation.3 - швидкість розпуску составів для для проєктованого профіля горба гірки та при існуючому (базовому) профілі відповідно, м/с;

l_i Equation.3 - довжина i -го відчепу, м;

$x_{пр,i}^n$ Equation.3 , $x_{пр,i+1}^n$ Equation.3 - координати відриву i -го та наступного за ним відчепу для профіля, що проєктується, м;

$x_{пр.б,i}^n$ Equation.3 , $x_{пр.б,i+1}^n$ Equation.3 - координати відриву i -го та наступного за ним відчепу при існуючому (базовому) поздовжньому профілю горба гірки, м.

Координати точок відриву одновагонних відчепів, які відповідають їх ходовим якостям, можуть бути визначені за існуючою методикою.

Сумарна зміна гіркового технологічного інтервалу внаслідок зміни поздовжнього профілю (у тому числі виправлення) горба гірки становитиме:

(5.11)

Звідси можна визначити середньодобову кількість вагонів, що додатково переробляються на сортувальній гірці, ваг./добу:

$$\Delta n = \left(\frac{1}{t_{пр} - \Delta t_{пр}} - \frac{1}{t_{пр}} \right) \cdot \frac{1440 \cdot \alpha_r - \sum T_{пост}^r}{(1 + \rho_{гор}) \cdot \mu_{повн}} m_c, \quad (5.12)$$

де α_r Equation.3 - коефіцієнт, що враховує можливі перерви у використанні гірки через ворожі пересування, приймається рівним 0,97;

$\sum T_{пост}^r$ Equation.3 - сумарний час заняття гірки протягом доби для виконання постійних операцій, що не змінюються пропорційно зі збільшенням обсягу переробки, хв/добу;

$\gamma_{\text{впр}}$ Equation.3 - коефіцієнт, що враховує відмови технічних пристроїв, нерозчеплення вагонів та ін;

$\eta_{\text{модт}}$ Equation.3 - коефіцієнт, що враховує повторне сортування частини вагонів у процесі закінчення формування з гірки і через брак кількості і довжини сортувальних колій для середніх умов можна приймати рівним 1,05 для сортувальних систем з парками відправлення та 1,12 без парків відправлення;

m , Equation.3 - середня кількість вагонів у составі, що розформовується, ваг.

Економічний ефект $E\Phi$ Equation.3 від реалізації проєкту модернізації (у тому числі виправлення) поздовжнього профілю перевальної частини гірки визначається як різниця експлуатаційних витрат при існуючому положенні $\bar{a} E_{\text{іст}}$ Equation.3 та після модернізації (виправки) $\bar{a} E_{\text{проект}}$ Equation.3 з урахуванням витрат $З$ Equation.3 на її проведення, грн/рік:

$$E\Phi = \bar{a} E_{\text{іст}} - \bar{a} E_{\text{проект}} - З / T = \bar{a} DE - З / T \text{ Equation.3} , \quad (5.13)$$

де $З$ Equation.3 - витрати на приведення поздовжнього профіля до проєктного обрису, грн;

$\bar{a} DE$ Equation.3 - економія експлуатаційні витрати за рахунок модернізації (виправки) поздовжнього профіля перевальної частини гірки, грн/рік;

T Equation.3 - термін корисного використання поздовжнього профілю до наступної модернізації (виправки), років.

До витрат $З$ Equation.3 віднесено: прямі витрати на приведення параметрів нижньої та верхньої будови гіркових колій перевальної частини гірки до проєктного контуру (оплата праці та вартість експлуатації машин та механізмів); придбання та доставка необхідних матеріалів; накладні та інші витрати.

Економічний ефект може включати економію експлуатаційних витрат $\bar{a} DE$ Equation.3 лише для порівнянних вартісних показників. Загалом різниця цих витрат розраховується наступним чином, грн/рік:

$$\text{а } DE = DE_{\text{пр}} + DE_{\text{розф}} + DE_{\text{нак}} + DE_{\text{ст}} + DE_{\text{ман}} + DE_{\text{п}} + DE_{\text{пер}} \text{ Equation.3} . \quad (5.14)$$

де $DE_{\text{пр}}$ Equation.3 - зміна витрат, пов'язаних з простоєм вагонів у парку прийома;

$DE_{\text{розф}}$ Equation.3 - зміна витрат, пов'язаних з простоєм вагонів в процесі розформування;

$DE_{\text{нак}}$ Equation.3 - зміна витрат, пов'язаних з простоєм вагонів під накопиченням;

$DE_{\text{ст}}$ Equation.3 . $DE_{\text{ман}}$ Equation.3 - зміна витрат, пов'язаних з утриманням та роботою гіркових та інших маневрових локомотивів;

$DE_{\text{п}}$ Equation.3 - зміна витрат, пов'язаних з заняттям станційних колій;

$DE_{\text{пер}}$ Equation.3 - зміна витрат, що викликана додатковою переробкою вагонів на гірці.

Економія експлуатаційних витрат $DE_{\text{п}}$ Equation.3 , пов'язана зі зміною простою вагонів у передгірковому парку через очікування розформування, грн/рік, визначається за формулою:

$$DE_{\text{п}} = 365 \times \frac{D_{\text{сп}}}{60} e_{\text{ваг.ч.ст.}} m_{\text{ср}} n_{\text{р}} \text{ Equation.3} . \quad (5.15)$$

де $D_{\text{сп}}$ Equation.3 - скорочення величини середнього часу очікування розформування, хв/состав;

$D_{\text{ваг.ч.ст.}}$ Equation.3 - вартість вагоно-години простою на станції, грн;

$m_{\text{ср}}$ Equation.3 - середня кількість вагонів у составі, що прибувають, ваг;

$n_{\text{р}}$ Equation.3 - середньодобова кількість прибуваючих поїздів.

Середній час очікування розформування залежить від ступеня завантаження гірки та гіркового технологічного інтервалу та визначається за формулою:

$$(5.16)$$

де K - коефіцієнт завантаження сортувальної гірки;

$t_{\text{гп}}$ Equation.3 - величина гіркового технологічного інтервалу, хв/состав;

$C_{\text{гп}}$ Equation.3 - коефіцієнт варіації гіркового технологічного інтервалу.

Економія експлуатаційних витрат $DE_{\text{ропф}}$ Equation.3 . одержувана внаслідок зменшення вагоно-години простою рухомого складу на станції в процесі розформування, визначається за формулою, грн/год:

$$DE_{\text{ропф}} = 365 \times \frac{Dt_{\text{гп}}}{60} e^{a_{\text{гп}} - 1} N_{\text{гп}} \text{ Equation.3} . \quad (5.17)$$

де $Dt_{\text{гп}}$ Equation.3 - скорочення величини гіркового технологічного інтервалу, хв;

$N_{\text{гп}}$ Equation.3 - кількість вагонів, що переробляється в середньому за добу, ваг/добу.

Економія експлуатаційних витрат $DE_{\text{нат}}$ Equation.3 . одержувана внаслідок скорочення тривалості надходження на колію накопичення замикаючої групи вагонів у составі поїзда і, як наслідок, зменшення простою вагонів під накопиченням на состав, визначається за формулою, грн/рік:

$$DE_{\text{нат}} = 365 \times \frac{Dt_{\text{гп}}}{60 \times n_{\text{нат}}} e^{a_{\text{нат}} - 1} N_{\text{нат}} \text{ Equation.3} , \quad (5.18)$$

де $n_{\text{нат}}$ Equation.3 - середня кількість відцепів в составах, що розформовуються.

Економія експлуатаційних витрат $DE_{\text{гп}}$ Equation.3 . одержувана внаслідок зменшення витрат на роботу гіркових локомотивів за рахунок скорочення тривалості розформування составів на гірці, визначається за формулою, грн/рік:

$$DE_{\text{гп}} = 365 \times \frac{Dt_{\text{гп}}}{60} e^{a_{\text{гп}} - 1} n_{\text{гп}} \text{ Equation.3} . \quad (5.19)$$

де $e_{\text{л.м.г.}} = 400 \text{ (грн)}$ Equation.3 - вартість локомотиво-години маневрової роботи, грн;

n , Equation.3 – середньодобова кількість составів, що розформуються.

Економія експлуатаційних витрат $DE_{\text{л.м.г.}}$ Equation.3 , яка отримується внаслідок зменшення витрат на маневрову роботу за рахунок скорочення часу на перестановку «чужинців», визначається за формулою, грн/рік:

$$DE_{\text{л.м.г.}} = 365 \times Dn_{\text{л.м.г.}} \times \frac{t_{\text{л.м.г.}}}{60} \times e_{\text{л.м.г.}} \text{ (Equation.3)} \quad (5.20)$$

де $Dn_{\text{л.м.г.}}$ Equation.3 - скорочення середньодобової кількості «чужинців», шт.;

$t_{\text{л.м.г.}}$ Equation.3 - середній час перестановки «чужинця» маневровим локомотивом на колію призначення, хв.

Економія експлуатаційних витрат $DE_{\text{п.г.}}$ Equation.3 , викликана скороченням часу заняття станційних колій через зниження простою транзитного вагона з переробкою внаслідок зменшення гіркового інтервалу $t_{\text{г.г.}}$ Equation.3 , а також часу очікування в парку приймання $t_{\text{п.г.}}$ Equation.3 , визначається за формулою, грн/рік:

$$DE_{\text{п.г.}} = 365 \times V_{\text{п.г.}} \times \frac{(Dn_{\text{г.г.}} + Dn_{\text{п.г.}})}{60} \times e_{\text{п.г.}} \times I_{\text{п.г.}} \times 10^{-3} \text{ (Equation.3)} \quad (5.21)$$

де $e_{\text{п.г.}} = 400 \text{ (грн)}$ Equation.3 - видаткова ставка на 1 годину заняття 1 км станційних колій, грн;

$I_{\text{п.г.}}$ Equation.3 - середня довжина вагона, м.

Внаслідок скорочення гіркового технологічного інтервалу виникає додатковий економічний ефект, зумовлений зростанням переробної спроможності гірки на величину DN Equation.3 . Наявність даного резерву дозволяє перерозподілити сортувальну роботу з найбільш завантажених об'єктів залізничної мережі та не вкладати кошти у створення додаткової потужності (500–800 у.о./ваг.) при збільшенні сортувальної роботи на мережі. У разі збереження або зниження

обсягів сортування, приріст резерву DV Equation.3 дозволяє розглядати питання про концентрацію сортувальної роботи на меншій кількості станцій та її перерозподіл для підвищення ефективності функціонування залізничної мережі. Розрахунок економічного ефекту в цьому випадку індивідуальний для кожної станції і полігону залізничної мережі, а також оперативної обстановки, що складається в просуванні вагонопотоків, і може бути визначений наступним чином:

$$DE_{(k)} = 365 \times (C_{пер,ст1} - C_{пер,ст2} \pm DE_{пр}) \text{ DV Equation.3} \quad (5.22)$$

де $C_{пер,ст1}$ Equation.3 - собівартість переробки одного вагона на станції, з якої передається частина вагонопотоку, що переробляється, грн/ваг.;

$C_{пер,ст2}$ Equation.3 - собівартість переробки одного вагона на аналізованій сортувальній (гірковій) станції, грн/ваг.;

$DE_{пр}$ Equation.3 - різниця експлуатаційних витрат, пов'язана з додатковим пробігом поїздів по полігону мережі, а також з простоєм вагонів, що переробляються на станціях, грн/ваг;

DV Equation.3 - середньодобова кількість вагонів, які додатково переробляються, на сортувальній гірці, що визначається за формулою (5.12), ваг/добу.

Термін окупності для одноступінних вкладень, років:

$$T_{ок} = \frac{3}{a E_{сч} - a E_{простої}} = \frac{3}{a DE} \text{ Equation.3} \quad (5.23)$$

Приклад розрахунку економічного ефекту виправлення гръох горбів перевальної частини сортувальної гірки «Д», що має збільшені радіуси вертикальних кривих, за розробленою методикою наведено нижче.

Виконаний аналіз на відповідність нормативним вимогам горбів сортувальних гірок «Л» і «Д», результати якого наведені в таблиці 4.3, показав, що

перевальні частини обох гірок вимагають виправлення, оскільки радіуси вертикальних кривих, що сполучають, вийшли за гранично допустимі межі:

- для гірки «Л» радіус вертикального сполучення з боку спускної частини на двох горбах становить 140 та 170 м;

- для гірки "Д" радіус вертикального сполучення з боку спускної частини на двох горбах становить 380 і 420 м. на третьому - 225 м. а з боку насувної частини - понад 400 м.

Економічний ефект при реалізації проекту виправлення горба гірки «Л» зі збільшенням радіуса вертикальної кривої до нормативного значення 250 м може бути зовсім відсутнім. Так як основне завдання даної виправки – приведення у відповідність поздовжнього профілю горбів з вимогами чинних норм, без якої експлуатація сортувальної гірки не допускається за умовами безпеки проведення маневрової роботи. Слід зазначити, що економічний ефект і в даному випадку є, і складається зі зниження ризику пошкодження рухомого складу і, відповідно, зниження витрат на його ремонт, а також зниження експлуатаційних витрат на ліквідацію можливих наслідків даних ушкоджень та саморозчеплень вагонів. Розрахунок даного економічного ефекту ускладнений через випадковий характер появи цих пошкоджень рухомого складу, у тому числі прихованих, а також наявності «втомнених» пошкоджень деталей в результаті накопичення пошкоджень при дії навантажень, що багаторазово повторюються, і, відповідно, складності віднесення даних дефектів безпосередньо на аналізовану сортувальну гірку.

Перевальна частина сортувальної гірки «Д» також вимагає виправлення, оскільки радіуси вертикального сполучення двох горбів досягають 400 м. Ця обставина погіршує умови відокремлення відчепів від составу, знижує швидкість розпуску і, відповідно, переробну спроможність гірки. Розрахунок економічного ефекту від реалізації проекту виправлення відповідно до розробленої методики наведено нижче.

В результаті реалізації проекту виправлення перевальної частини гірки «Д», що передбачає зниження радіусу вертикальної кривої з боку спускної частини до 250 м, а з боку насувної до 350 м, покращуються такі показники:

- збільшується швидкість розпуску на 3.5%;
- знижується час розпуску на 0.32 хв/состав;
- зменшується гірковий технологічний інтервал через покращення динамічних властивостей горба гірки на 0.21 хв/состав;
- знижується кількість нерозчеплень вагонів на 22 % (на 4 шт./добу);
- зменшується гірковий технологічний інтервал через зниження кількості нерозчеплень на 0.2 хв/склад;
- збільшується переробна спроможність гірки на 155 ваг/добу.

Необхідні обсяги робіт для проведення виправлення трьох горбів перевальної частини сортувальної гірки «Д» наведено у таблиці 5.4. Калькуляція для проведення виправки із застосуванням засобів малої механізації представлена таблиці 5.5.

Таким чином, при перевищенні радіусів вертикальних кривих нормативних значень проведення виправлення гіркових шляхів (у тому числі позапланової) для більшості сортувальних гірок буде доцільним. Отримані результати показують, що періодичність проведення інструментального контролю за станом перевальної частини гірок може бути встановлена частіше, ніж для інших колій гірки.

Калькуляція складена на основі технолого-нормувальних карт, що враховують норми часу на роботи з поточного утримання та ремонту колій. Відповідно до калькуляції, сумарні витрати на проведення виправлення всіх трьох горбів перевальної частини сортувальної гірки «Д» разом із матеріалами склали 83 тис. грн. Таким чином, термін окупності витрат на проведення виправки поздовжнього профілю трьох горбів перевальної частини гірки «Д» відповідно до формули (5.23) становитиме приблизно 3 місяці. Економічний ефект від реалізації проекту виправки поздовжнього профілю трьох горбів перевальної частини гірки «Д» згідно з формулою (5.13) при періодичності виправлення один раз на три роки становитиме 326241 грн/рік. При періодичності виправки один раз на рік економічний ефект становитиме 243712 грн/рік.

Таблиця 5.3 – Розрахунок економії експлуатаційних витрат в результаті проведення виправки перевальної частини сортувальної гірки «Д»

Складові елементи економічного ефекту	Керуючий параметр		Показник ефективності		Величина економії витрат, грн/рік
	Найменування	Зміна параметра у результаті виправки	Одиниця виміру	Ефект в результаті виправки	
Економія експлуатаційних витрат, що пов'язана з простоем вагонів у парку приймання в очікуванні розформування	Середній час очікування розформування, хв	-0,6	ваг-год простою / год	-12859,0	0
Економія експлуатаційних витрат, що отримується в результаті зменшення вагоно-години простою рухомого складу на станції у процесі розформування	Величина гіркового технологічного інтервалу, хв	-0,41	ваг-год простою / год	-10216,1	0
Економія експлуатаційних витрат, що отримується в результаті зменшення простою вагонів під накопиченням на состав	Величина гіркового технологічного інтервалу, хв	-0,41	ваг-год простою / год	-433,8	0
Економія експлуатаційних витрат, що отримана в результаті зменшення витрат на роботу гіркових локомотивів за рахунок скорочення тривалості розформування составів на гірці	Величина гіркового технологічного інтервалу, хв	-0,41	лок-год маневрової роботи / год	-157,1	108379
Економія експлуатаційних витрат, що отримана в результаті зменшення витрат на маневрову роботу за рахунок скорочення часу на перестановку «чужинців»	Кількість «чужинців» через нерозчеплення вагонів, шт/добу	-4	лок-год маневрової роботи / год	-121,7	83957
Економія експлуатаційних витрат, що викликана зменшенням часу заняття станційних колій	Середній час очікування розформування, хв	-0,6	Час заняття 1 км	-452,3	1639
	Величина гіркового технологічного інтервалу, хв	0,41	станційних колій/год		
Економічний ефект, що обумовлений ростом переробної спроможності гірки	Величина гіркового технологічного інтервалу, хв	-0,41	ваг/добу	+155	132266
ВСЬОГО					326241

Таблиця 5.4 – Обсяги робіт для проведення виправки перевальної частини сортувальної гірки «Д»

Найменування робіт	Одиниці виміру	Обсяги робіт по горбах перевальної частини гірки			Всього по гірці
		Перший горб	Другий горб	Третій горб	
Інструментальна зйомка поздовжнього профіля. Візування колії оптичним прибором	м	162	160	143	465
Доставка щебеневого баласта	м³	52	26	34	112
Вивантаження та розподілення щебеневого баласта	м³	52	26	34	112
Вирізка щебеневого баласта	м	0	36	38	74
Виправка колії. Виправлення просадок та перекосів колії на щебеневому баласті підбиванням шпал	м	162	160	143	465
Оправлення баластної призми	м	162	160	143	465

Таблиця 5.5 – Калькуляція на виправку горбів перевальної частини сортувальної гірки «Д» з використанням засобів малої механізації

Види витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість, грн	Сума, грн
1 Прямі витрати:				
1.1 Витрати праці	чол-год	488,77	-	-
1.2 Фонд оплати праці monterів колії	грн	-	-	18978,57
1.3 Вартість експлуатації машин та механізмів баз заробітної плати машиністів	грн	-	-	1407,71
1.4 Фонд оплати праці машиністів	грн	-	-	342,03
2. Матеріали верхньої будови колії: щебінь	м³	112	200	22400,00
3 Транспортно-загільовельні витрати	-	-	-	3021,76
4 Всього прямих витрат	-	-	-	46150,07
5 Накладні витрати	-	-	-	29367,30
6 Податки				6607,64
7 Ітого				82125,01
8 Інші роботи та витрати	-	-	-	410,60
9 Ітого по калькуляції	-	-	-	82535,61

Висновки

Підсумки досліджень, виконаних у кваліфікаційній роботі, дозволяють зробити такі висновки:

1. Виконано аналітичний огляд розвитку норм проектування поздовжнього профілю перевальної частини сортувальних гірок. Встановлено, що граничні значення параметрів горбів гірок визначалися виходячи з прохідності рухомого складу через горб гірки та створення необхідних інтервалів між відчепами.

2. Аналіз теоретичних досліджень, а також проведені натурні спостереження за процесом проходження відчепами перевальної частини гірки показали, що в даний час методи розрахунку положення відчепів у момент їх відриву від составу вимагають уточнення, оскільки вони не враховують додатковий опір руху через зусилля в автозчепленнях та випадковий характер вітрових навантажень. Крім того, аналітичні методи оцінки проходження зчеплених вагонів через горб гірки не враховують місцеві відхилення поздовжнього профілю на гірках, що експлуатуються, що може призводити до похибок розрахунку.

3. На підставі натурних спостережень та результатів експериментів, виконаних з використанням імітаційної моделі процесу відриву відчепів від составу, обґрунтовано доцільність включення до гіркових розрахунків нового виду опору – питомого опору при роз'єднанні автозчеплень вагонів. Вказаний опір слід враховувати до моменту фактичного відриву відчепу від составу. Розроблено математичну модель для визначення цієї величини, засновану на розгляді процесу роз'єднання автозчеплень при відділенні відчепів від составу у вигляді трьох послідовних фаз.

4. Запропоновано методику обліку у гіркових розрахунках випадкового характеру впливу вітру на відчепи під час розпуску. Уточнений розрахунок вітрових навантажень передбачає визначення пульсаційної складової швидкості вітру. Встановлено, що діапазон розсіювання координат точок відриву відчепів внаслідок впливу поривчастого вітру збільшується зі зростанням його середньої швидкості та при екстремальних швидкостях вітру може перевищувати 15 м.

5. Розроблено модель проходження відчепів через горб гірки під час розпуску, що дозволяє розраховувати ймовірнісні показники прохідності зчеплених вагонів, зокрема, ймовірності появи саморозчепів та наднормативних навантажень на автотягачі пристрої. Виконано порівняння різних варіантів конструкції поздовжнього профілю перевальної частини гірки. Встановлено, що при значній різниці ухилів, що сполучаються на горбі гірки, найкращим варіантом за умовами проходження вагонів є поздовжній профіль з наявністю роздільного елемента і радіусами вертикальних кривих, рівними 250 м.

6. Для оцінки впливу конструктивних параметрів поздовжнього профілю перевальної частини на експлуатаційні властивості сортувальної гірки розроблено методику, яка враховує критерії: прохідність відчепів по перевальній частині гірки без самовільного розчеплення та наднормативних навантажень на вузли вагонів; своєчасність відділення відчепів та створення умов зменшення різниці інтервалів прямування між суміжними відчепами. Методика забезпечує облік місцевих відхилень профілю колії під час аналізу конструкції перевальної частини експлуатованих гірок.

7. Розроблено методику техніко-економічного порівняння варіантів поздовжнього профілю перевальної частини гірки, що дозволяє визначати раціональну конструкцію за економічними критеріями. Методика дозволяє виконувати оцінку зміни переробної спроможності при виправці та коригуванні параметрів поздовжнього профілю перевальної частини з урахуванням забезпечення безпеки функціонування експлуатованих сортувальних гірок.

8. Виконано порівняння нормативних варіантів поздовжнього профілю перевальної частини гірки. Встановлено, що при проектуванні горбів гірок по діючих нормативах слід застосовувати вертикальні криві найменших радіусів: 250 м – з боку спускної частини, 350 м – з боку насувної частини гірки. Для підвищення переробної здатності гірки доцільне коригування існуючих норм із зменшення радіусу з боку насувної частини до 250 м.

Список використаних джерел

1. Сотніков, Є. А. Історія розвитку системи управління перевізним процесом на залізничному транспорті / Є. А. Сотніков, Д. Ю. Левін, Г. А. Алексєєв. — М. : Техінформ, 2007. — 237 с. 125.
2. Грау, Б. Проектування залізничних станцій / Б. Грау ; скор. пер. з нім. В. І. Шейко ; ред. В. Я. Болотний. — М. : Транспорт, 1978. — 487 с.
3. Сотніков, Є. А. Залізничі світу з XIX в XXI сторіччя / Є. А. Сотніков. — М. : Транспорт, 1993. — 200 с.
4. Бузанов, С. П. Проектування механізованих і автоматизованих сортувальних пристроїв / С. П. Бузанов, А. М. Карпов, М. А. Рицарєв. — М. : Транспорт, 1965. — 232 с.
5. Пугачевський, Ф. В. Механізовані сортувальні гірки та їх розрахунок: навч. посібник для вишів залізн. трансп. / Ф. В. Пугачевський. — М. : Госжелдоріздат, 1933. — 135 с.
6. Сортувальні станції закордонних залізниць / В. Д. Нікітін, А. Л. Мельник, М. Л. Забелло [та ін.]. — М. : [б. і.], 1957. — 175 с.
7. Шавкін, Г. Б. Сортувальні станції залізниць США / Г. Б. Шавкін. — М. : Трансжелдоріздат, 1956. — 88 с.
8. Шавкін, Г. Б. Схеми та оснащення сортувальних станцій залізниць США та Західної Європи / Г. Б. Шавкін; ред. К. К. Тіхонов. — М. : [б. і.], 1960. — 64 с.
9. Механізація сортувальних гірок: проблеми механізації сортувальних гірок та досвід побудови першої механізованої гірки / ред. І. А. Грач, Л. А. Мамендос. — М. : Вид. Редбюро Локомотивпроекта, 1935. — 336 с.
10. Станції та вузли: під. для трансп. вузлов / В. М. Образцов [та ін.] ; ред. В. І. Образцов. — М. : Трансжелдоріздат, 1949. — 540 с.
11. Смольянінов, А. А. Сортувальні гірки / А. А. Смольянінов. — М. : Трансжелдоріздат, 1938. — 112 с.
12. Осінов, В. Т. Експлуатація залізниць за кордоном / В. Т. Осінов. — М. : Наука, 1976. — 312 с.

13. Павловський, А. І. Дослідження та оцінка опорів руху вагонів на сортувальних гірках : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Павловський Олександр Іванович ; ВНИІ залізн. трансп. – М., 1989. – 24 с.

14. Commission Regulation (EU) № 1299/2014 of 18 November 2014 on the technical specifications for interoperability relating to the ‘infrastructure’ subsystem of the rail system in the European Union. – ERA, 2014. – 109 p. Available at: <http://eurlex.europa.eu/eli/reg/2014/1299/oj>.

15. Kube, K. Modernization of Marshalling Yards in North America / K. Kube // Progressive Railroading, 2002. – № 7. – P. 50–52.

16. Kutz, M. Handbook of transportation engineering / M. Kutz. – Boston : McGraw-Hill Professional, 2004. – 937 p.

17. Prokop, J. Design of Hump Profile in Railroad Classification Yard / J. Prokop, Sh. Myojin // Memoirs of the Faculty of Engineering. – Okayama : Okayama University, 1993. – Vol. 27. – No. 2. – P. 41–58.

18. Infrastructure Standards: ARTC Extranet. Sub-section Track and Civil. Section 5 – Track Geometry. Version Number 2.9. – Australian Rail Track Corporation, 2016. – 22 p.

19. Арнольд, В. Л. Аналітичне дослідження умов скочування агона з сортувальної гірки / В. Л. Арнольд. – СПб., 1905. – 42 с.

20. Фролов, А. М. Збірник статей, що стосуються станцій та маневрів / А. М. Фролов. – Саратов : Тип. Саратов. від. Техн. тов-ва, 1906. – 143 с.

21. Дубелір, Г. Д. Про проектування гірок для сортувальних станцій / Г. Д. Дубелір. – СПб. : [б. і.], 1910. – 9 с.

22. Гібшман, Є. А. Про улаштування пасажирських та сортувальних станцій: навч. посібник для вишів / Є. А. Гібшман. – М. : Транспедрук НКПС, 1929. – 273 с.

23. Бузанов, С. П. Проектування сортувальних гірок та напівгірок і їх улаштування / С. П. Бузанов, А. М. Карпов. – М. : Трансжелдоріздат, 1954. – 240 с.

24. Осіпов, Д. В. Аналіз розвитку норм проектування поздовжнього профіля перевальної частини сортувальної гірки / Д. В. Осіпов // Інтеграція

науки, суспільства, виробництва та промисловості: зб. ст. міжнар. наук.-практ. конф. – Уфа: АЕТЕРНА, 2017. – С. 138–142.

25. Інструкція по поточному утриманню залізничної колії [електронний ресурс]: в ред. розпорядження 19.12.14 № 3036р. Режим доступу: <http://www.idesant.ru/info/item/16>.

26. Механізовані сортувальні гірки / під ред. А. А. Смольянінова // Праці науково-дослідницького інституту залізничного транспорту. – Вип. 32. – М. : Трансжелдоріздат, 1937. – 204 с.

27. Новіков, І. М. Аналіз роботи механізму автозчеплення / І. М. Новіков, С. П. Бялиновіч // Праці ВНИ залізн. трансп. – Вип. 61. – М. : Трансжелдоріздат, 1952. – 96 с.

28. Методичні вказівки по підйому горбів сортувальних гірок для роботи в зимових умовах. – М. : МПС, 1969. – 35 с.

29. Технічні вказівки на проектування станцій та вузлів / ВНИ залізн. трансп. – М. : Трансжелдоріздат, 1948. – 124 с.

30. Технічні вказівки по проектуванню станцій та вузлів на залізницях нормальної колії. – М. : Трансжелдоріздат, 1954. – 120 с.

31. Технічні вказівки по проектуванню станцій та вузлів на залізницях загальної мережі : ВСН 56-61. – М. : Трансжелдоріздат, 1961. – 151 с.

32. Технічні вказівки по проектуванню станцій та вузлів на залізницях загальної мережі: зміни та доповнення № 1. – М. : Оргтрансбуд, 1965. – 26 с.

33. Інструкція по проектуванню станцій та вузлів. – М. : Транспорт, 1978. – 175 с.

34. Автозчипний пристрій залізничного рухомого складу / В. В. Коломійченко [та ін.]. – М. : Транспорт, 1991. – 232 с.

35. Правила та норми проектування сортувальних пристроїв на залізницях. – М. : Транспорт, 1992. – 104 с.

36. Осіпов, Д. В. Аналіз розвитку методів розрахунку положення точок відриву відчепів від составу / Д. В. Осіпов // Удосконалення технології перевізного процесу: зб. наук. пр. / Новосибірськ: Вид-во СГУПС, 2015. – С. 99–105.

37. Сортувальні станції. Їх улаштування, обладнання та обслуговування / пер. з нім. С. Д. Карейша. – СПб. : Тип. МПС, 1901. – 62 с.

38. Карейша, С. Д. Залізничні станції / С. Д. Карейша. – М. : Трансдрук НКПС, 1930. – 305 с.

39. Рогінський, М. О. Механізація сортувальних гірок: навч. посібник для вишів / М. О. Рогінський, Б. А. Родімов, Г. І. Зубрілін. – М. : [б. і.], 1949. – 248 с.

40. Запорожець, Г. І. До питання про підвищення переробної спроможності гірок / Г. І. Запорожець // Техніка залізниць. – 1955. – № 6. – С. 23–27.

41. Земблінюв, С. В. Станції та вузли / С. В. Земблінюв, І. І. Страковський. – М. : Трансжелдоріздат, 1963. – 348 с.

42. Савченко, І. Є. Залізничні станції та вузли : підручн. для вишів залізн. трансп. / І. Є. Савченко, С. В. Земблінюв, І. І. Страковський : ред. В. М. Акулінічев, М. М. Шабалін. – 2-е вид., перероб. та доп. – М. : Транспорт, 1967. – 464 с.

43. Залізничні станції та вузли. Розрахунки та проектування сортувальних гірок: навч. посібн. / В. Д. Нікітін, І. Є. Савченко, Є. А. Ветухов, В. К. Івашкевич. – М. : ВЗІІТ, 1970. – 79 с.

44. Болотний, В. Я. Удосконалення схем та технології роботи залізничних станцій / В. Я. Болотний. – М. : Транспорт, 1986. – 280 с.

45. Автоматизація та механізація переробки вагонів на станціях / Ю. О. Муха, І. В. Харланович, В. П. Шейкін [та ін.]. – М. : Транспорт, 1985. – 248 с.

46. Муха, Ю. О. Алгоритми та бібліотека програм для моделювання на ЕОМ «Наірі-К» сортувального процесу на гірках / Ю. О. Муха, В. І. Бобровський // Механізація і автоматизація сортувального процесу на станціях: пр. ДІІТа. – Вип. 194/11. – Дніпропетровськ : ДІІТ, 1977. – С. 53–102.

47. Бикадоров, А. В. Графічний спосіб розрахунку енергетичних висот для відцепів з декількох вагонів / А. В. Бикадоров // Питання проектування та організації роботи залізничних станцій: пр. Новосиб. ін-та інженерів залізн. трансп. – Новосибірськ, 1965. – Вип. 45. – С. 118–130.

48. Бикадоров, А. В. Скочування відцепів з декількох вагонів на механізованих і автоматизованих гірках: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Бикадоров Олександр Васильович. – М., 1963. – 21 с.

49. Бикадоров, А. В. Деякі особливості скочування відцепів з декількох вагонів / А. В. Бикадоров // Питання експлуатації залізниць: пр. Новосиб. ін-та інженерів залізн. трансп. – Новосибірськ, 1959. – Вип. 20. – С. 150–157.

50. Бикадоров, А. В. Розрахунок пункту відриву відцепів від составу на сортувальних гірках / А. В. Бикадоров // Питання проектування і організації роботи залізничних станцій: пр. Новосиб. ін-та інженерів залізн. трансп. – Новосибірськ, 1967. – Вип. 65. – С. 28–35.

51. Брехов, М. І. Про скочування довгих відцепів на сортувальних гірках / М. І. Брехов // Питання проектування і організації роботи залізничних станцій та вузлів: межвуз. зб. наук. пр. – Новосибірськ, 1985. – С. 67–71.

52. Дашков, М. Г. Про проектування поздовжнього профіля горба сортувальної гірки / М. Г. Дашков // Питання проектування і організації роботи залізничних станцій та вузлів: межвуз. зб. наук. пр. – Новосибірськ : Новосиб. ін-т інженерів залізн. трансп., 1985. – С. 59–66.

53. Іванков, А. М. Оцінка дальності точок відриву одновагонних відцепів на сортувальних гірках великої та середньої потужності / А. М. Іванков, Л. М. Іванкова, І. С. Бондаренко // Проблеми розробки ресурсозберігаючих технологій в експлуатації залізниць: зб. наук. пр. [Каф. «Упр. експлуатац. роботою» РГОТУПС]. – Вип. 6. – М. : УОП РГОТУПС, 2006. – С. 100–103.

54. Бледний, А. М. Дослідження відриву восьмивісних вагонів на сортувальних гірках / А. М. Бледний, Л. М. Болвановська, В. І. Кривенкін // Удосконалення технічних засобів та технології управління процесом розформування составів на сортувальних гірках. – Дніпропетровськ, 1986. – С. 64–71.

55. Бондаренко, І. С. Оптимізація технічних параметрів сортувальних пристроїв / І. С. Бондаренко // Сучасні технології. Системний аналіз. Моделювання. – 2012. – № 2(34). – С. 129–132.

56. Виноградов, Г. П. Вибір параметрів та конструктивних схем вантажних вагонів / Г. П. Виноградов, Л. А. Коган, І. М. Трещалін // Праці ВНІЗТа. – Вип. 189. – М. : Трансжелдоріздат, 1960. – 191 с.

57. Євстаф'єв, Б. С. Дослідження можливості проходу восьмивісними піввагонами сортувальних гірок та кривих дільниць колії малого радіусу / Б. С. Євстаф'єв // Вибір оптимальних параметрів восьмивісних вантажних вагонів, дослідження їхньої міцності та динамічних якостей: зб. наук. пр. МІІТ. – Вип. 153. – М. : [б. і.], 1962. – С. 93–108.

58. Євстаф'єв, Б. С. Дослідження проходу восьмивісними вагонами кривих дільниць колії і умов їх зчеплення / Б. С. Євстаф'єв // Питання вагонобудівництва та вагонного господарства: зб. наук. пр. МІІТ. – Вип. 185. – М., 1964. – С. 38–48.

59. Хапілов, Ю. А. Силова взаємодія вагонів на гірці / Ю. А. Хапілов, І. Г. Бородуля // Вісник ВНІЗТа. – 1975. – № 2. – С. 29–33.

60. Смірнов, В. І. До питання забезпечення проходу відчепів через горб сортувальної гірки без саморозчеплення / В. І. Смірнов // Удосконалення і автоматизація процесів управління перевезеннями на залізничному транспорті: зб. наук. пр. – Спб., 1998. – С. 86–95.

61. Дашков, М. Г. Питання проектування та виправки профіля сортувальних гірок: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Михайло Григорович Дашков. – Л., 1980. – 18 с.

62. Норми для розрахунку і проектування вагонів залізниць колії 1520 мм — М. : ГосНІІВ–ВНІЗТ, 1996. – 318 с.

63. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті [Текст] Є. І. Балака, О. І. Зоріна, Н. М. Колеснікова, І. М. Писаревський; Українська державна академія залізничного транспорту. – Х. : Транспорт, 2005. – 186 с.

АКТ
перевірки кваліфікаційної роботи магістра
на наявність ознак академічного плагіату

Відповідно до даних сервісу Strikeplagiarism праця «УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ ПЕРЕВАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ СОРТУВАЛЬНОЇ ПРКИ», автор Джуранюк Іван Миколайович, містить 1,67 % текстових збігів. Ознаки академічного плагіату відсутні.

Перевірку виконала доцент
кафедри залізничних станцій та вузлів



Ганна ШАПОВАЛ