

## ЗАЯВА

Я, Голик Єгор Олегович

(ПІБ повністю)

Студент групи УЛ2026

(шифр групи)

Спеціальності 275 Транспортні технології

(код та назва спеціальності)

Освітньої програми Логістика та ризик-кризове управління на транспорті

(назва освітньої програми)

Освітнього ступеня підготовки магістр

(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

Удосконалення методів вибору режимів гальмування відчепів на  
сортувальних гірках

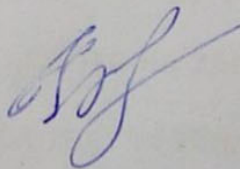
виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомлений з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з якими виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Дата

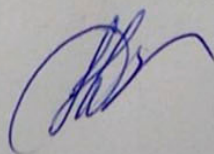
Підпис



Керівник

Козаченко Д.М.

Підпис



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Український державний університет науки і технологій  
Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту

Кафедра Управління експлуатаційною роботою

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри,

 Андрій. ОКОРОКОВ

2021р. 12 «21»

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 275 «Транспортні технології»

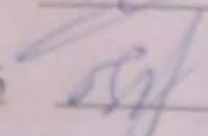
Освітня програма: «Логістика та ризик-кризове управління на транспорті»

Тема: УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИБОРУ РЕЖИМІВ  
ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

Theme: IMPROVEMENT OF METHODS OF SELECTION OF MODES OF  
BRAKING OF COUPLINGS ON GRAVITY HUMP

Керівник дипломної роботи професор  Дмитро. КОЗАЧЕНКО

С Нормоконтролер доцент  Ірина ЖУРАВЕЛЬ

Студент групи УЛ2026  Єгор ГОЛИК

Student

Golyk Egor  
(Familyname)

**Дніпровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна**

**Факультет** «Управління процесами  
перевезень»

**Кафедра** «Управління  
експлуатаційною роботою»

**Спеціалізація:** 275 «Транспортні технології»

**Освітня програма:** «Логістика та ризик-кризове управління на транспорті»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А. М.

Окороков

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_

2021 р.

### **ЗАВДАННЯ**

до дипломної магістерської роботи на здобуття ОС магістр  
(освітній ступінь)  
студента групи УЛ2026 Голика Єгора Олеговича  
(номер групи) (ПІБ)

**1 Тема дипломної роботи** Удосконалення методів вибору режимів  
гальмування відчепів на сортувальних гірках

затверджена наказом по університету від «29» липня 2021 р. № 351ст

**2 Термін подання студентом закінченого проекту** «10» грудня 2021 року.

**3 Вихідні дані до дипломного проекту** схема станції. Характеристика  
вагонопотоків станції. Дані для проектування сортувальної гірки. Техніко-  
розпорядчий акт станції. Технологічний процес роботи станції.

**4 Зміст пояснювальної записки** (перелік питань до розробки) аналіз  
проблеми управління розформування составів. Дослідження характеристик  
вагонопотоків. Побудова математичної моделі скочування відчепів. Вибір  
режимів гальмування відчепів.

**5 Перелік креслень (демонстраційного матеріалу)** масштабний план  
сортувальної станції К; план та профіль сортувальної гірки; графіки  
швидкості та часу; гістограми розподілу вагонів що прибувають на станцію  
К; програмна реалізація скочування відчепів; графіки залежності випадкових  
параметрів відчепів на час та швидкість руху; графіки залежності випадкових  
величин швидкості руху відчепів від режимів гальмування; вибір режиму  
гальмування відчепа в момент його виходу на гальмову позицію.

## 6 Розділи та консультанти

| Розділ | Консультант | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------|----------------|------------------|
|        |             | Завдання видав | Завдання прийняв |
|        |             |                |                  |

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Назва розділу<br>дипломного проекту (роботи)                                           | Термін<br>виконання | Обсяг<br>розділу, % |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 1 Аналіз проблеми управління розформуванням составів на сортувальних гірках            | 16.10.2021          | 15                  |
| 2. Техніко-експлуатаційна характеристика станції К                                     | 16.10.2021          | 15                  |
| 3. Дослідження характеристик вагонопотоків, що прибувають у розформування на станцію К | 15.11.2021          | 18                  |
| 4. Побудова математичної моделі скочування відчепів на сортувальній гірці              | 15.11.2021          | 20                  |
| 5. Удосконалення методів вибору режимів гальмування на сортувальній гірці              | 10.12.2021          | 20                  |
| 6. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях на станції К                      | 10.12.2021          | 12                  |

Дата видачі завдання: «10» вересня 2021 року

Керівник дипломної роботи

\_\_\_\_\_

Д. М. Козаченко

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_

Є. О. Голик

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається з пояснювальної записки, що містить 106 сторінок основного тексту. Робота містить 6 розділів 17 ілюстрацій, 38 таблиць і 5 додатків. Кількість літературних джерел, на які є посилання в тексті дипломної роботи, складає 52.

Об'єктом дослідження даної дипломної роботи є покращення умов розформування составів поїздів при використанні автоматизованих систем розформування зокрема оптимізація вибору режимів гальмування відчепів.

Мета дипломної роботи полягає у визначенні оптимальних умов розформування составів з використанням автоматизованих систем за для виключення співударяння вагонів на коліях сортувального парку з перевищеною швидкістю та запобіганню співударяння вагонів на стрілочних зонах горловин сортувального парку.

В даній роботі проведений аналіз автоматизованих систем що використовуються на сортувальних гірках, приведено техніко-експлуатаційну характеристику сортувальної станції К а також сортувального комплексу станції. Проаналізований підхід поїздів, що прибувають у розформування на станцію К. Виконано моделювання розформування состава поїзда за для підбору оптимальних режимів гальмування та швидкості розпуску составу при якій виключається співударяння вагонів на стрілочних зонах у горловині сортувального парку та наведені основні аспекти безпеки руху поїздів.

Галуззю застосування результатів дипломної роботи є мережа залізниць України.

СОРТУВАЛЬНА ГІРКА, ВІДЧЕП, ВАГОНИ, ГАЛЬМІВНА ПОЗИЦІЯ,  
РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВУ ПОЇЗДА

## 3MICT

# ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

## ВСТУП

# 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ПІРКАХ

- 1.1 Аналіз відомих систем регулювання швидкості скочування відчепів
- 1.2 Напрямки підвищення ефективності розформування составів
- 1.3 Моделювання роботи гірки при невідомих параметрах відчепів та характеристик навколишнього середовища

## 2 ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА СОРТУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ СТАНЦІЇ К

- 2.1 Технічна характеристика сортувального комплексу станції
- 2.2 Експлуатаційна характеристика сортувального комплексу
- 2.3 Проектування гіркової горловини та сортувальної гірки на станції К
- 2.4 Моделювання скочування відчепів с гірки

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВАГОНОПОТОКІВ, ЩО ПРИБУВАЮТЬ У РОЗФОРМУВАННЯ НА СТАНЦІЮ К

- 3.1 Дослідження характеристик вагонопотоків
- 3.2 Структура, послідовність та методи проведення досліджень

#### 4 ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ

- 4.1 Методи моделювання процесу скочування відчепів  
4.2 Постановка задач дослідження

## 5 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИБОРУ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ

- 5.1 Оцінка якості прицільного регулювання швидкості скочування відчепів у стохастичних умовах
- 5.2 Імовірнісний критерій оптимізації режимів гальмування відчепів у стрілочній зоні
- 5.2.1 Оптимізація швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА СТАНЦІЇ К

- 6.1 Безпека руху поїздів  
6.2 Управління ризиками на залізничному транспорті

## ВИСНОВКИ

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

## ДОДАТОК А НЕМАСШТАБНА СХЕМА СТАНЦІЇ К

## ДОДАТОК Б СОРТУВАЛЬНІ ЛИСТКИ

## ДОДАТОК В РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ

[illegible]

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК, СИМВОЛІВ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

## ВСТУП

Сортувальна станція — технічна залізнична станція, призначена для розформування та формування різноманітних категорій потягів відповідно до плану формування з окремих вагонів, виконання операцій з пропуску транзитних потягів без переробки, технічного обслуговування та комерційного огляду складу потягів і усунення виявлених несправностей вагонів, зміни локомотивів і локомотивних бригад.

Основне завдання сортувальної станції — виконання переробки вагонопотоків і формування потягів в оптимальному режимі, аби перебування вагона на станції тривало якнайменше та було технологічно обґрунтованим.

Сортувальні станції є головними опорними пунктами з організації вагонопотоків у мережі залізниць. Зазвичай вони входять до складу залізничних вузлів, що мають пасажирські та вантажні станції. У таких випадках на сортувальній станції вантажні та пасажирські операції виконують у невеликому обсязі. Для посадки та висадки пасажирів у місцеві та приміські потяги організовують пасажирські зупинкові пункти на головних шляхах. Місцеві завантажувально-вивантажувальні операції виконують, головним чином, на шляхах матеріальних складів й окремих шляхах локомотивного та вагонного господарств. Та деякі невеликі сортувальні станції можуть мати пасажирські та вантажні пристрої в такому обсязі, як на дільничній станції.

Сортувальні станції розташовані в районах масового завантаження та вивантаження вантажів, у місцях сходження магістралей, на підступах до великих промислових центрів, морських і річкових портів, у місцях виходу з добувній басейнів. У більшості випадків станція одночасно переробляє місцеві та транзитні вагонопотоки, окрім потягів, що прямують на далекі відстані без переформування на шляху прямування.

У мережі залізниць країн-членів СНД сортувальні станції розташовані нерівномірно, через історичні передумови розміщення промислових центрів і міст у різних районах мережі, характеру, розмірам и густині вагонопотоків між ними.

**Мета роботи** полягає у аналізі методів розформування составів поїздів на сортувальних станціях з використанням автоматизованих систем розформування поїздів. Аналізу вагонопотоків, що прибувають на станцію у розформування та пристроїв сортувального комплексу за допомогою яких це виконується. Удосконалення процесу розформування составів поїздів з підпором оптимальних методів гальмування відчепів за для виключення моментів не розділення відчепів на стрілочних зонах горловин сортувального парку.

**Об'єктом дослідження** дипломної роботи є процес розформування составів поїздів на сортувальній станції.

**Предмет дослідження** дипломної роботи є удосконалення методів вибору режимів гальмування відчепів в залежності від характеристик вагонопотоків, що надходять у розформування а також зовнішніх умов під час розформування поїзда.

**Методи дослідження.** В процесі виконання дослідження використані техніко-економічний аналіз, комп'ютерні програми для моделювання, методи математичної статистики та системний аналіз.

**Структура та обсяг роботи.** Дипломна магістерська робота складається зі вступу, 6 розділів, висновку, переліку посилань та 5 додатків. Робота містить - 170 сторінки, з них основного тексту - 106, кількість ілюстрацій - 17, таблиць - 38. Перелік посилань становить 52 найменування.

## **1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ РОЗФОРМУВАННЯ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ**

Сортувальна станція – це один із найважливіших елементів технологічного ланцюга перевізного процесу. Час знаходження вагона на ній складає значну частку в обороті вагону і значно впливає на собівартість перевезення. Від якості роботи сортувальних пристроїв на станції, дотримання технології розформування поїздів, особливо на сортувальних гірках, залежить схоронність вантажів та вагонів, виконання термінів доставки вантажів, конкурентоспроможність та рентабельність залізниці на ринку транспортних послуг.

Одним із найважливіших процесів обробки вагонів на сортувальних станціях являється розформування составів на сортувальних гірках, до складу якого входять наступні операції:

1. Насув состава на гірку, розчеплення його на маршрутні групи – відчепи.
2. Керування маршрутами скочування відчепів шляхом переводу стрілок.
3. Регулювання швидкості руху відчепів шляхом гальмування їх на уповільнювачах гальмівних позицій з метою забезпечення необхідних інтервалів між відчепами, що скочуються і з'єднання їх на коліях сортувального парку з допустимою швидкістю.

Найважчим і найбільш відповідальним гірковим технологічним процесом являється процес регулювання швидкості скочування відчепів. В цьому процесі задіяне найбільше число оперативного персоналу. Тому питання підвищення ефективності управління швидкістю скочування відчепів на сортувальних гірках є досить актуальним.

Гальмівні позиції (ГП) розміщені на гірці таким чином, що перша (верхня) гальмівна позиція повинна забезпечувати інтервальне регулювання швидкості відчепів для утворення достатніх проміжків між відчепами, що рухаються з метою забезпечення розділення на головних та пучкових

стрілках. Друга (пучкова) гальмівна позиція повинна забезпечувати розділення відчепів на стрілках, що розташовані нижче і, при зайнятості відповідного уповільнювача паркової гальмівної позиції, забезпечити допустиму швидкість співударяння відчепу, що рухається з відчепом, який знаходиться на парковій гальмівній позиції. Третя (паркова) гальмівна позиція повинна забезпечити допустиму швидкість співударяння відчепів на колії сортувального парку і не допустити утворення “вікна” (проміжку) між відчепами.

До вирішення питання автоматизації регулювання швидкості скочування відчепів необхідно підходити комплексно, розробляючи нові пристрої регулювання швидкості руху відчепів з одночасним удосконаленням математичного апарату і алгоритмів функціонування систем автоматизації цього процесу. Для цього на гальмівних позиціях необхідно вести безперервну модель руху відчепів на спускній частині гірки і на коліях сортувального парку в зоні дії апаратури контролю заповнення колій. Безумовно, для адекватної роботи системи необхідні достовірні дані, до них відносяться: точна маса вагону, поточна швидкість вагону на гальмівних позиціях, інформація профіль колій сортувального парку, кліматичні фактори (температура повітря, швидкість і напрям руху вітру, наявність і тип опадів). Крім прямого визначення параметрів відчепів, необхідний безперервний розрахунок їх ходових властивостей за результатами руху по контрольних точках.

### **1.1 Аналіз відомих систем регулювання швидкості скочування відчепів**

Для автоматизації процесу регулювання швидкості скочування відчепів з гірки були розроблені і впровадженні два варіанти вітчизняних систем: Автоматическое регулирование скорости вагонов на сортировочной горке, Гипротрансигнальсвязь(АРС ГТСС) [1] і Автоматическое

регулирование скорости вагонов на сортировочной горке, Центральныйнаучно-исследовательскийинститут АРС ЦНИИ [2].

В системі АРС ГТСС швидкості виходу відчепів з гальмівних позицій спускної частини визначаються за умови забезпечення однакової для всіх відчепів швидкості входу на наступну гальмівну позицію.

В системі АРС ЦНИИ перша гальмівна позиція (ГП1) забезпечує необхідні інтервали між відчепами на головних стрілках і безпосередньо на других гальмівних позиціях. Швидкість виходу відчепів з ГП1 визначається в залежності від їх ходових властивостей, які визначаються вимірюванням прискорення руху або через еквівалентні значення їх вагових категорій. Основні можливі ситуації між відчепами, що скочуються для ГП1 класифікують по зростаючій важкості і для кожної ситуації розрахунком визначають інтервальну швидкість виходу. Друга гальмівна позиція виконує функції прицільного та інтервального регулювання.

В основу алгоритмів інтервального регулювання закладений принцип забезпечення однакової тривалості скочування відчепів, при якому повинні створюватись достатні інтервали між відчепами для переводу розділяючих стрілок. Такий підхід являється статистичним, що забезпечує виконання необхідних умов в середньому для потоку відчепів, однак для окремого співставлення відчепів умови розділення можуть не виконуватись у зв'язку з випадковими коливаннями ходових властивостей, зовнішніх умов, погрішностями реалізації заданих швидкостей виходу.

Експлуатаційні випробування перших вітчизняних систем автоматизації розформування составів на гірках АРС ЦНИИ та АРС ГТСС показали низьку якість інтервального і прицільного регулювання швидкості відчепів, неточність реалізації заданих швидкостей виходу і суттєве втручання операторів в роботу систем.

Аналіз результатів функціонування цих систем, що приведений в роботах [3- 7], дозволив виявити основні причини низької якості роботи: жорстка структура і специфіка елементної бази, врахування обмеженої кількості факторів, що впливають на процес, не достатні і малонадійні засоби

збору і обробки інформації, спрощенні технологічні принципи (алгоритми) визначення необхідних режимів гальмування відчепів і примітивні методи їх реалізації.

Основні ідеї методики, що заключаються у двоетапному вирішенні задачі автоматизації управління розпуском составів: оптимізаційному (перший етап) та оперативному (другий етап), реалізовані у розроблених на новій технічній базі системах: Автоматизированная система управления расформированием составом на сортировочной горке (АСУ РСГ) та Комплекс горочный микропроцессорный (КГМ). Досвід експлуатації цих систем [8, 9] показав, що вони успішно реалізують функції керування маршрутами, реєстрацію дій операторів і діагностику виконуваних елементів. Разом з цим, функції інтервального та прицільного регулювання практично не використовуються і реалізуються операторами в ручному режимі. Це свідчить про недостатню якість системи управління цими процесами, а основними причинами являються: недосконалість технологічних алгоритмів, недостовірна інформація і недостатнє врахування впливових факторів, недосконалі способи реалізації керованих дій, недоліки технічних засобів регулювання.

Теорія оптимального управління розпуском состава отримала розвиток у роботах [10,11]. На базі моделі процесу скочування відчепів розроблений математичний апарат адаптивної системи управління розпуском, що здатна коригувати параметри об'єктів і керовані впливи у процес функціонування. Важливість адаптивного управління не викликає сумніву, однак проблема оптимізації керуючого впливу не вирішена і розглядається лише в плані загального опису без розробки методів знаходження оптимального вирішення при різних критеріях оптимізації.

Нове розуміння задач розвитку та управління технологічним процесом на сортувальних станціях Росії знайшло своє відображення у «Програмі розвитку та концепції механізації та автоматизації технологічних процесів сортувальних станцій на період 2000-2005 рр.», що розроблена у Всеросійському науково- дослідницькому та проектно-конструкторському

інституті залізничного транспорту (ВНИИАС) спільно із спеціалістами галузі з метою покращення техніко- економічних показників сортувального процесу. У 2003 році на Московській залізниці (станція Бекасово-Сортувальна) було введено в постійну експлуатацію комплексну систему автоматизованого управління сортувальною станцією (КСАУ СС) [12]. КСАУ СС включає в себе підсистеми: Горочная автоматическая локомотивная сигнализация с передачей информации по радиоканалу и телеуправлением локомотивом (ГАЛС Р) та Контроллер вершины горки КВГ – підсистеми управління насувом та розпуском составів, автоматизують технологічні процеси завдання маршруту та регулювання швидкості насуву состава на гірку, а також розпуску состава в залежності від поточної ситуації на гірці; Горочная автоматическая централизация с ведением накопления вагонов в сортировочном парке (ГАЦ МН), Автоматическое регулирование скорости, устройство управления прицельным торможением (АРС-УУПТ), Контрольно-диагностический комплекс системы управления горочной автоматической централизации (КДК СУ ГАЦ) – про змінення стану колійних ділянок, положення стрілочних переводів, показань світлофорів, прохід рухомого складу по датчикам рахування осей, що розташовані в районі сортувальної гірки. Для визначення ходових властивостей відчепів КСАУ СС включає: вимірювач вагової категорії відчепів, вимірювач ступеню заповнення вагонами підгіркових колій, обчислювач швидкості, з якою необхідно випускати відчепа з гальмівних позицій, вимірювач фактичної швидкості руху відчепів. Дані про ходові властивості отримуються в процесі вільного скочування вагонів на вимірювальній ділянці, що розташована між вершиною гірки та першою гальмівною позицією.

Для вимірювання ваги відчепів використовуються автоматичні вагонні ваги MULTIRAIL LegalWeight та MULTIRAIL MultiBridge (при зважуванні вагонів на ходу зі швидкістю їх руху 5-10 км/год похибка вимірювання складає  $\pm 1\%$ ) розроблені разом компаніями SCHENCK PROCESS GmbH та Schenckspol s r.o. Для зменшення впливу динамічних навантажень, що виникають при зважуванні на ходу у конструкцію

ваговимірювальних пристроїв включено спеціальні компенсаційні схеми, які дозволяють зменшити похибку зважування до  $\pm 0,2$  %. Ходові властивості відчепів, довжина яких перевищує місткість вимірювальної ділянки, встановлюється по ваговим категоріям. Опір руху відчепа на прямих ділянках колії визначається по результатам вимірювання прискорення його руху на вимірювальній ділянці. Дійсна швидкість руху відчепів безперервно вимірюється швидкостемірами (РИС-В2 або РИС-В3М), що встановлені біля кожної гальмівної позиції. При досягненні відчепом заданої швидкості спрацьовує керуючий пристрій та гальмування припиняється. Якщо ж змінюються метеорологічні умови або виникає необхідність сортувати вагони із особливою обережністю - гірковий оператор за допомогою перемикача ШНП (швидко, нормально, повільно) може змінювати швидкості виходу відчепів з гальмівних позицій, що задані обчислювальним пристроєм. Контроль заповнення підгіркових колій вагонами (КЗП) здійснюється безстиківими рейковими колами довжиною по 25 м. Розроблені також системи КЗП на принципі розрахунку осей рухомого состава КЗП-СО, що використовуються для контролю розміщення відчепів на ГП і ведення моделі переміщення його осей в уповільнювачах, система автоматичного накопичення вагонів КЗП-ДИП (контроль заповнення колій – датчик імпульсний колійний), що охоплює до 360 м довжини підгіркових колій (система дозволяє операторам спостерігати за розпуском вагонів в електронному режимі, причому автоматика сама включає гіркові уповільнювачі в потрібний момент) та система контролю заповнення колій на основі імпульсного зондування (КЗП-ИЗ).

Для будівництва та модернізації сортувальних станцій Західної Європи (Швейцарія, Австрія, Німеччина) департаментом транспортної техніки фірми SIEMENS розроблено універсальний мікропроцесорний комплекс MSR 32, побудований на базі 32-бітових процесорів, об'єднаних в мережу, для гірок великої, середньої та малої потужності [13, 14]. Принцип дії системи MSR 32 наступний. Інформація від усіх вимірювальних пристроїв та датчиків сортувальної гірки, а також парків прийому та відправлення

поступає на центральний процесор. Після обробки усіх даних звітти виконується управління локомотивом, усіма гальмівними позиціями, а також вагоноосаджувачами. Система автоматично керує маршрутами розпуску, розпізнає відчепи, що скочуються повільно та відводить, відчепи, що доганяють на сусідні колії (попереджаючи співударяння та наїзди). За рахунок управління вагонними уповільнювачами достатньо точно регулюється швидкість відчепів, що дозволяє досягти оптимального заповнення підгіркових колій. Представлену систему вже запроваджено на сортувальних станціях Швейцарії (Цюрих), Австрія (Відень), Німеччина (гірка «Південна Ельба» поблизу порту Гамбург), а також на залізницях колишнього СРСР (станція Вайдотай у Литві).

Закордонні системи мають перевагу за якістю виконання, у тому числі і обладнання, що розміщується на полігоні. Використання досвіду і «ноу-хау» компанії Siemens в галузі залізничних технологій сприяє подальшому підвищенню привабливості залізниці як виду вантажного транспорту. Планування за допомогою електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) і повністю автоматизоване управління гіркою дозволяють скоротити простій вагонів на станції на 50 %. Якість процесу сортування характеризується мінімальною кількістю вагонів, що прямують на колії не за призначенням, а також безпечним співударянням вагонів у сортувальному парку. Експлуатаційна статистика, включаючи повідомлення і статистичні дані про пошкодження вагонів, показує мінімальне значення 5-8 % загального вагонопотоку на станції.

Система DDCIII (США) – повністю автоматизована система управління у реальному масштабі часу. Вона була створена для сортувальних гірок, що мають три гальмові позиції. Але дана система не отримала широкого розповсюдження в США, оскільки гірки були обладнані в основному двома гальмовими позиціями.

Система HC-41 фірми TrainyardTech(США) являє собою повнофункціональну гіркову систему, що об'єднує функції АРС і ГАЦ. Її відмінна особливість – сучасна комп'ютерна платформа, що базується на

промислових контролерах і персональних ЕОМ. У якості операційного середовища використовуються MS Windows і відкриті протоколи NCP/IP і OPS[15].

Аналіз розвитку технічних засобів та автоматизованих систем управління сортувальним процесом показав, що усі вони достатньо дорогі в будівельному та експлуатаційному відношеннях. Розробці проекту автоматизації конкретної сортувальної гірки повинна передувати попередня оцінка його ефективності. В сучасних умовах конкуруючі варіанти конструкції та технічного оснащення сортувальних гірок доцільно порівнювати при використанні математичних методів. Широкого використання набуло імітаційне моделювання виробничих процесів на ЕОМ, що дозволяє порівнювати різні організаційно-технічні заходи і пропозиції по вдосконаленню технології і технічного оснащення сортувального комплексу. Такий підхід дає можливість на підставі імітаційних експериментів обрати оптимальний варіант автоматизованої системи управління, який не допустить погіршення існуючих експлуатаційних показників сортувальної гірки, забезпечить найбільші швидкості розпуску, дальність та ступінь точності прицільного управління скочуванням вагонів з гірки при повній гарантії безпеки та надійності її роботи, а також буде ефективною у економічному та техніко-експлуатаційному відношеннях[16].

## **1.2 Напрямки підвищення ефективності розформування составів**

В роботі [17] вирішення задачі оптимізації режимів гальмування відчепів состава виконано з використанням ітераційного методу. Запропонований метод дозволяє встановити до розпуску состава такі режими гальмування відчепів, при яких розрахункові інтервали на стрілках у всіх парах відчепів, що розділяються, в тому числі і несуміжних, приймають максимально можливі значення [18]. Однак недоліком даного методу являється вирішення задачі оптимізації режимів гальмування відчепів в детермінованій постановці. Так, виконані в [19] дослідження показали, що вплив випадкових факторів суттєво ускладнює визначення режимів

гальмування відчепів при розформуванні составів. У зв'язку з цим в [20,21] оптимізацію режимів інтервального регулювання швидкості відчепів запропоновано виконувати по критерію мінімуму ймовірності не розділення відчепів на стрілочних переводах. Такий підхід дозволяє вирішити задачу пошуку режимів гальмування відчепів при стохастичних умовах скочування, що дозволяє більш повно врахувати вплив випадкових факторів в процесі розформування составів на гірці. Задача вибору режиму гальмування відчепів по запропонованому критерію вирішена в [22]; при цьому встановленні режими забезпечують мінімальну величину вікон на сортувальних коліях і мінімальний ризик не розділення відчепів на стрілках при заданому рівні безпеки сортувального процесу.

Аналіз даних наукових робіт показує, що оптимізація режимів гальмування відчепів виконується за умовою забезпечення їх розділення тільки на стрілочних переводах; при цьому розділення відчепів на уповільнювачах спускної частини гірки не враховується, або розглядається як обмеження [23], що не дозволяє максимально підвищити якість інтервального регулювання на всіх роздільних елементах спускної частини гірки.

Дослідження, виконані на основі імітаційного моделювання розпуску составів на автоматизованих гірках, показали, що в деяких випадках при достатньо великих інтервалах між відчепами на стрілках мають місце не розділення відчепів на вхідних уповільнювачах середніх гальмівних позиціях (СГП). Як показав аналіз, в подібних випадках встановлені за допомогою методу [17] розрахункові режими гальмування відчепів забезпечують максимальні інтервали на стрілках, тоді як інтервали на уповільнювачах мають недостатню величину. Відомо, що інтервал між відчепами на вхідних уповільнювачах гальмівної позиції  $t^{\text{III}}$  повинен бути не меншим за час  $t_{\text{пб}}$ , що необхідний для переведення балок уповільнювача з одного положення в інше до входу на нього чергового відчепу. Для забезпечення даної вимоги в задачу оптимізації режимів гальмування відчепів состава введені спеціальні обмеження. З цією метою в [23] розроблена методика, за допомогою якої в

області допустимих режимів (ОДР) керованого відчепу встановлюється режим гальмування, що забезпечує умову  $t_i \geq t_{пб}$ . В подальшому в процесі оптимізації режимів гальмування відчепів у встановленій таким чином ОДР знаходять режими, при яких інтервали на стрілках максимальні; при цьому інтервали на уповільнювачах  $t^{ПІ}$  можуть лише незначно перевищувати встановленні значення  $t_{пб}$ . В таких випадках навіть погрішності в реалізації розрахункових режимів гальмування можуть призвести до не розділення відчепів на гальмівних позиціях.

Крім цього, приведена в [23] методика пошуку вказаних обмежень являється достатньо складною, яка потребує для реалізації використання імітаційного моделювання і регресійного аналізу. Це ускладнює реалізацію даної методики в системах автоматизованого управління розпуском составів на гірках.

Ще більші проблеми виникають в реальних умовах при реалізації необхідних режимів гальмування, які пов'язані з відсутністю точної інформації про ходові властивості відчепа і діючих гальмівних силах, наявністю інерційності гальмівних засобів. Це в кінцевому результаті створює погрішність реалізації необхідної швидкості виходу відчепа з гальмівної позиції. В роботі [24] для вирішення цієї задачі пропонується стратегія адаптивного управління гальмуванням, що заключається у визначенні на елементарних переміщеннях поточного прискорення, обчисленні на поточному ступені гальмування координати, досягнення заданої швидкості виходу і прийняття на основі цього рішення про зміну гальмівного зусилля шляхом регулювання ступеня гальмування. Алгоритм адаптивного управління, що базується на фільтрації параметрів руху і статистичної екстраполяції, дозволяє реалізувати плавний (м'який) режим гальмування, не потребує спеціальних вагомірних пристроїв та вимірювальних ділянок. Ідеї цього методу реалізовані в розробленому універсальному модулі керування гальмівними позиціями [25], який забезпечує м'який режим гальмування на мінімально необхідній гальмівній

силі, що дозволяє зменшити на 20% розхід стисненого повітря і збільшити термін служби уповільнювачів і рухомого складу.

Використання такого принципу є доволі виправданим. Однак для інтервальних гальмівних позицій м'який (плавний) режим гальмування може не завжди являтися ефективним по умовам розділення відчепів.

Інтервальне регулювання являє собою важку оптимізаційну задачу, яка до кінця ще не вирішена. Погрішності визначення і реалізації заданих швидкостей виходу в реальних умовах компенсуються за рахунок запасу початкового інтервалу між відчепами на вершині гірки. Ці ж погрішності при реалізації прицільного регулювання приводять до утворення вікон між вагонами на коліях накопичення або перевищенню допустимих швидкостей співударяння, що тягне за собою пошкодження вантажів і вагонів.

Досвід експлуатації автоматизованих сортувальних гірок [3-6], а також багато чисельні теоретичні дослідження [26,27] показують, що при гальмуванні відчепів з використанням єдиної паркової гальмівної позиції (ПГП) практично неможливо забезпечити безперервне заповнення колій сортувального парку і дотримання допустимих швидкостей співударяння вагонів. Підвищення тільки точності реалізації заданих швидкостей виходу відчепів із ПГП приводить лише до незначного поліпшення якості регулювання [28].

Основна проблема заключається в прогнозуванні величини прискорення відчепа після виходу його з ПГП. Визначення прискорення відчепа на вимірювальній ділянці на швидкісному ухилі перед ГП1 та використання отриманих даних на ПГП бажаного результату не принесло. Цей алгоритм виявився недієздатним, так як умови руху вагонів на вимірювальній ділянці і сортувальній колії суттєво відрізняються, і проста екстраполяція неможлива, що підтверджено в процесі експлуатації систем АРС ЦНИИ, АРС ГТСС, КГМ.

Необхідність підвищення якості прицільного регулювання призвела до появи ряду пропозицій:

- вимірювання ходових властивостей безпосередньо перед ПГП;

- обладнання на коліях додатковою гальмівною позицією (ДПП) та вимірювання ходових властивостей на ділянці між ПП та ДПП;
- Використання засобів примусового просування вагонів на сортувальних коліях (прискорювачів, осаджувачів);
- удосконалення прицільного гальмування на базі адаптивних алгоритмів;
- застосування технології квазібезперервного регулювання швидкості з використанням точкових домкратовидних вагонних уповільнювачів.

Перераховане свідчить, що в теоретичному і практичному плані задача якісного управління прицільним гальмуванням ще остаточно не вирішена. Вказані варіанти вирішення проблеми потребують немалих додаткових затрат і пов'язані з певними технічними складнощами, тому їх впровадженню і реалізації повинні передувати попередні дослідження їх ефективності. Явно недопустимим являється положення, коли неприйнятність процесів становиться очевидною після введення і тривалої експлуатації дорожніх систем. Це ще раз свідчить про необхідність розробки універсальної моделі розформування составів, за допомогою якої можна виконувати оцінку ефективності технічних і технологічних рішень.

Методика визначення режимів гальмування відцепів розрахункової групи із трьох відцепів представлена в [29]. Найкращим з позиції інтервального регулювання вважається такий режим гальмування середнього відчепа, при якому інтервали на обмежуючих роздільних елементах зі суміжними відчепами однакові ( $\delta t_1 = \delta t_2$ ), а їх значення максимальне. В роботі [29] запропонований ітераційний алгоритм, що дозволяє встановлювати швидкості виходу відчепа із уповільнювачів ВПП та СПП, при яких забезпечуються найбільш благополучні умови розділення для першої та другої груп відцепів. Недоліком розробленої моделі являється певна важкість її реалізації.

Оригінальне вирішення проблеми удосконалення управління розпуском состава з гірки запропоновано в [30]. Методика пошуку режиму розпуску состава на математичній моделі сортувального процесу, що

включає управління рухом відчепів на ділянках вільного скочування, енергетичні співвідношення між параметрами відчепу та уповільнювачів, а також характеристики гіркових локомотивів по реалізації змінної швидкості розпуску.

Процедура знаходження раціонального плану розпуску здійснюється в декілька етапів. На першому етапі визначаються допустимі діапазони швидкостей розпуску і скочування кожного відчепу в составі, що враховують вимоги прицільного регулювання та гальмування відчепів уповільнювачами. На другому етапі визначається початковий ряд швидкостей розпуску і скочування відчепів з врахуванням коефіцієнта інтенсивності розпуску, який залежить від ситуації на гірці і задається оператором на третьому етапі, визначаються максимально допустимі швидкості відчепів составу, які забезпечують вимоги інтервального регулювання і можуть бути реалізовані гірковими локомотивами для даного составу. При необхідності на даному етапі можуть коригуватися необхідні режими руху попередніх відчепів.

Запропонована методика дозволяє визначити значення керованих дій на гальмівних позиціях з врахуванням вимог інтервального та прицільного регулювання, а також можливостей гіркового локомотива. При цьому забезпечуються допустимі швидкості руху составу і відчепів, особливості стану колії на кожному маршруті скочування, а також інтенсивність роботи гірки. Однак, слід зазначити, що план розпуску, отриманий за допомогою даної методики, не являється оптимальним за умовами оптимального регулювання швидкості відчепів, а також не забезпечує мінімальний розхід енергії на гальмування вагонів уповільнювачами.

Модель процесу розпуску составів для адаптивної системи управління роботою сортувальних гірок запропонована в [10]. Вказана система здійснює вибір керованих дій, що забезпечують розпуск составу за мінімальний час з врахуванням обмеження швидкості відчепів та інтервалів між ними, а також задовольняючих вимог інтервального та прицільного регулювання. Гірка в даній роботі розглядається як бінарне дерево, вершинами та дугами якого складені довжини та уклони відповідних ділянок колії, а також інші

необхідні параметри. Рух відчепів в процесі скочування описується системою диференціальних рівнянь в кінцевих різницях. Для врахування взаємодії між відчепами, що скочуються, в якості вектору стану системи прийнята сукупність станів системи відчепів, яка дозволяє контролювати інтервали між суміжними відчепами. В якості критерію оптимальності прийнято час розпуску состава, мінімум якого визначається з врахуванням дотримання граничних умов і обмежень на фазові координати системи. В якості керованих дій на систему прийняті моменти відриву і початкові швидкості кожного відчепу, а також питомі гальмівні зусилля уповільнювачів. Вказану модель пропонується використовувати для автоматичного управління роботою гірок довільної структури і з різноманітним технічним оснащенням. Необхідно відмітити, що використання в якості критерію оптимальності часу розпуску в теперішній час недоцільно, оскільки, це призводить до суттєвого скорочення об'єму переробки вагонів на гірках. Крім цього, використання змінної швидкості розпуску неефективно через низьку точність її реалізації та незначного скорочення часу розпуску состава. Використання в моделі в якості керованих дій гальмівних опорів уповільнювачів не дозволяю варіювати зони їх дії та вирішувати задачі скорочення енергетичних витрат при розпуску составів.

Використання в якості критерію оптимальності сортувального процесу мінімального інтервалу на стрілках між відчепами состава не завжди забезпечує високу якість інтервального регулювання, оскільки максимізація мінімального інтервалу не гарантує оптимального розподілення по составу решта інтервалів. Ліквідувати вказаний недолік дозволяє багатокроковий двоетапний метод оптимізації режимів гальмування відчепів состава, заснований на ідеях динамічного програмування [31]. Метод дозволяє максимізувати не тільки мінімальний інтервал  $\delta t_{min}$ , але й ряд інших близьких до нього інтервалів  $\delta t_i > \delta t_{min}$  за рахунок прирівнювання їх величини до інтервалів у суміжних парках відчепів состава. В запропонованому методі состав розглядається як деяка фізична система  $S$ , що покроково змінює свій стан в процесі розпуску. При цьому кроком вважається відрив і скочування

чергового відчепу, стан системи перед  $i$ -м кроком характеризується часом  $\tau_i$  скочування  $(i-1)$ -го відчепу за стрілку поділу з  $i$ -м відчепом. Процес розпуску являється керованим; управління  $U_i$  на  $i$ -му кроці характеризується режимом гальмування  $i$ -го відчепу на гальмівних позиціях по маршруту скочування. Керування  $U$  розпуском складається із  $n$  відчепів представляється сукупністю крокового управління  $U = (U_1, U_2, \dots, U_n)$ . Ефективність керування на окремих кроках характеризується величиною інтервалу  $\delta t_i$  на розділяючих стрілках. При цьому ефективність керування розпуском всього складу оцінюється величиною мінімального інтервалу  $\delta T(U) = \min\{\delta t_1, \delta t_2, \dots, \delta t_{m-1}\}$ . Тоді задача оптимального керування розпуском полягає в тому, щоб із множини можливих керувань  $U$  знайти таке керування  $U^*$ , яке переводить систему  $S$  з початкового стану (відкрив першого відчепу), в кінцеве (відкрив останнього відчепу) так, щоб функціонал  $\delta T(U)$  переходив в максимум.

Пошук оптимального управління здійснюється в два етапи, на першому виконується умова оптимізації, а на другому – безумовна.

Як показали виконані дослідження [31], в процесі оптимізації розробленим методом відбувається поділ складу на окремі групи відчепів, для кожної з яких встановлюються максимально можливі і рівні між собою інтервали  $\delta t_i$  на поділяючих стрілках. Такий підхід дозволяє максимізувати інтервали  $\delta t_i$  у всіх неблагополучних по умовам розділення групах відчепів складу за рахунок деякого їх зменшення в сусідніх більш благополучних групах. Знайдений при цьому режим керування дозволяє мінімізувати в цілому по складу ймовірність не розділення відчепів на стрілках і за рахунок цього підвищити якість інтервального регулювання розпуску складу на гірках.

В якості недоліку методу слід відмітити його громіздкість, оскільки розроблений для його реалізації алгоритм базується на чисельних методах представлення функції  $t(U)$ , що пов'язує час скочування відчепу з режимом його гальмування. Крім цього, даний метод не завжди забезпечує необхідну

точність вирішення, оскільки цільова функція в даній задачі являється негладкою.

### 1.3 Моделювання роботи сортувальної гірки при невідомих параметрах відчепів та характеристик навколишнього середовища

Основою автоматизованої системи регулювання швидкості скочування відчепів є імітаційна модель процесу скочування відчепів. Імітаційне моделювання досить широко використовується при проектуванні сортувальних гірок і дослідженні гіркових процесів. Відповідно [32] процес скочування відчепа описується диференціальним рівнянням  $v' = f(s, v)$  для рішення якого використовується метод Рунге-Кутта IV порядку з постійним кроком  $\Delta s$ . При цьому на кожному кроці  $\Delta s$  моделювання переміщення відчепа виконується за допомогою диференціального рівняння першого порядку, в якому незалежною змінною є шлях [32]

$$v' = \frac{dv}{ds} = \frac{g'(i - w_o - w_{cb} - w_{ck} - w_T) \cdot 10^3}{v} \quad (1.1)$$
$$v > 0$$

де  $w_o$  – основний питомий опір руху відчепа, кгс/тс;  $w_{cb}$  – додатковий питомий опір руху від повітряного середовища, кгс/тс;  $w_{ck}$  – додатковий питомий опір, що виникає при проходженні стрілок і кривих кгс/тс;  $w_T$  – додатковий питомий опір від гальмових уповільнювачів;  $v$  – швидкість відчепа, м/с;  $g'$  – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції частин вагона, що обертаються, м/с<sup>2</sup>.

Існуючі методи оптимізації режимів гальмування [33;34] базуються на припущенні, що величини  $w_o$ ,  $w_{cb}$ ,  $w_{ck}$ ,  $w_T$  є постійними, а їх значення відомі до початку скочування. В той же час, відповідно до [35], вказані величини мають випадковий характер. Дослідження впливу випадкових факторів на швидкість та час скочування відчепів дозволить удосконалити методику оцінки техніко-експлуатаційних характеристик сортувальних гірок і

розробити більш ефективні алгоритми оперативного управління процесом розпуску составів. Для дослідження процесу розпуску составів в умовах дії випадкових факторів удосконалено базову модель [36] скочування відчепів з гірки. Відповідно до [35] випадкова величина  $w_0$  має гама розподіл з параметрами  $\alpha$  та  $\beta$ , що залежить від вагової категорії вагона  $q$

$$F(w_0) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{w_0} e^{-\beta w_0} w_0^{\alpha-1} dw_0, \quad (1.2)$$

де  $\alpha, \beta$  – коефіцієнти гама-розподілу.

В результаті статистичної обробки даних перевізних документів встановлено, що в межах вагових категорій: легка (Л), легка-середня (ЛС), середня (С) та середня-тяжка (СТ) випадкова величина  $Q_{в}$  розподілена за рівномірним законом. Вага вагонів важкої категорії Т є випадковою величиною, моделювання значення якого у окремому досліді може бути виконано за допомогою виразу [37]

$$Q_{в(Т)} = Q_{Т} + Q_{вп} - \xi, \quad (1.3)$$

де  $Q_{Т}, Q_{вп}$  – відповідно тара та вантажопідйомність вагону;  $\xi$  – випадкова величина недовантаження вагона, що має показниковий закон розподілу.

Випадкове значення  $w_{ск}$  відповідно до [35] має розподіл Ерланга. Для його моделювання використовується вираз:

$$w_{ск}(v) = v^2 \sum_{j=1}^{m_{отц}} q_{вj} \sum_{i=\alpha_j}^{\omega_j} \frac{C_{ски}}{l_{скиi}}, \quad (1.4)$$

де  $m_{отц}$  – кількість вагонів у відчепі;  $q_{вj}$  – вага відчепу, т;  $l_{скиi}$  – довжина ділянки скочування відчепу, м.

При цьому випадкове значення  $C_{ски}$  для окремої стрілки чи кривої визначається за формулою :

$$C_{ски} = - \frac{0,56\theta_n + 0,23\varphi_n}{8} \ln \prod_{k=1}^8 R_k, \quad (1.5)$$

де  $\theta_n$  – тип n-го елемента ( $\theta_n = 0$  – крива;  $\theta_n = 1$  – стрілка);  $\varphi_n$  – кут повороту кривої n-го елемента, град;  $R_k$  – випадкові числа розподілені рівномірно у інтервалі (0; 1).

Величина опору від середовища та вітру залежить від значення величини швидкості вітру на маршруті скочування відчепа. При цьому, величина швидкості має також випадковий характер та потребує дослідження.

Традиційно вважається, що неврегульований хаотичний характер пульсацій швидкості вітру в приземному шарі обумовлює розподіл пульсації швидкісного натиску відповідно до нормального закону розподілу Гауса. При цьому, відповідно до [42], добавка до швидкісного натиску, що враховує поривчастість, може бути визначена із записів миттєвої швидкості вітру в характерних районах, якщо середні величини швидкості вітру під час спостережень були досить великі. Проте, багатодослідників, зокрема, J.D.Holmes, K.R.Gurley, A.Kareem, J.Hojstrup та інші, ґрунтуючись на результатах натурних вимірів, відмічають не-Гауссовський характер дії вітру на конструкції [38-41]. Зокрема, вказується на істотні відхилення щільності розподілу ймовірності вітрового натиску від нормального. При цьому збільшується ймовірність виникнення критичних значень швидкості вітру, а, отже, і критичних навантажень. Можна припустити, що вказана не-Гауссовість обумовлена високими рівнями турбулентності ( $e > 0,3$ ) вітрового потоку в приземному шарі.

Розрив між рівнем теоретичних і експериментальних досліджень пов'язаний передусім з тим, що вітрові течії мають значну не стаціонарність отже, розглядання вітру як ергодичного випадкового процесу не виправдовує себе. Тому, останнім часом більшість дослідників цього питання приділяють

більше уваги експериментальним дослідженням, ніж чисельному моделюванню.

Пориви вітру, тобто різке короткочасне зростання швидкості вітру, є одними з основних факторів, що визначають динамічну дію приземного шару атмосфери на елементи ВЛ. Не випадково в зарубіжних стандартах фактор пориву вітру (Gust- factor) є одним з найважливіших, які необхідно враховувати в процесі проектування.

Фактор пориву вітру визначається статистикою відстежування екстремального значення і є найбільш ймовірним надзвичайним швидкісним значенням або значенням еквівалентного статичного навантаження. Максимум очікуваної швидкості вітру або відповідного навантаження впродовж інтервалу часу  $T$  може бути виражений у вигляді суми середньої величини і додавання значення середнього квадратичного відхилення, на статистично визначений піковий фактор.

$$\overline{X_{max}} = \bar{X} + g\sigma_x \quad (1.6)$$

При цьому фактор пориву визначається як:

$$G = \frac{\overline{X_{max}}}{\bar{X}} = 1 + g \frac{\sigma_x}{\bar{X}} \quad (1.7)$$

де  $g$  – піковий фактор;

$\sigma_x$  – значення середнього квадратичного відхилення  $X$ ;

$G$  – фактор пориву вітру.

При розрахунках конструкцій не враховуються дія на них поривів вітру. Це пов'язано з відсутністю реальної інформації про межі квазістатичної і резонансних частин спектру турбулентних пульсацій швидкості вітру. При цьому метод оцінки меж частин спектру відомий. Він заснований на обчисленні функції спектральної когерентності:

$$\gamma_{v\sigma}^2(f) = \frac{|G_{v\sigma}(f)|^2}{G_{vv}(f)G_{\sigma\sigma}(f)} \quad (1.8)$$

де  $\gamma_{v\sigma}^2(f)$ - функція когерентності;

$G_{v\sigma}(f)$  – односторонній взаємний спектр сигналів, адекватних швидкості вітру та параметра реакції конструкції;

$G_{vv}(f)$  – односторонній спектр швидкості;

$G_{\sigma\sigma}(f)$  - односторонній спектр параметра реакції конструкції;

У ідеальному випадку, коли споруда піддається зовнішній дії лінійно, функція когерентності дорівнює нулю. Якщо ж значення функції когерентності знаходяться в інтервалі значень від нуля до одиниці, то можливі наступні ситуації:

- у вимірних реалізаціях сигналів є присутній зовнішній шум;
- зв'язок між зовнішньою дією і реакцією системи не є строго лінійним;
- реакція системи, окрім вказаної зовнішньої дії, залежить і від інших процесів.

Для лінійних механічних систем функцію когерентності можна трактувати як відносний вклад зовнішньої дії в середній квадрат реакції на частоті  $f$ .

Слід зазначити, що у різних роботах є деякі розходження у визначенні терміну «пориви». Так, наприклад, в [43] під поривом розуміється вітровий імпульс з фронтом і спадом, що характеризується тривалістю і амплітудою. У рекомендаціях Germanischer Lloyd як порив приймається різке збільшення (позитивний порив) або зменшення (негативний порив) швидкості вітру. Під тривалістю пориву розуміється час наростання(спадання) швидкості, а під амплітудою – діапазон зміни швидкості вітру від одного рівня до іншого.

Динамічний характер дії вітру на конструкції багато в чому визначає особливості методик збору і обробки вимірювальної інформації, а також склад і характеристики вимірювальних перетворювачів. Для точної оцінки вітрового навантаження потрібна достовірна інформація як про

характеристики вітру (швидкості, напрямку, розподілу швидкості по висоті, амплітуді і тривалості поривів), так і про реакцію конструкції.

Експериментальні дослідження вітрової дії на конструкції, як правило, пов'язане з великими масивами інформативних параметрів, що описують як зовнішні дії, так і реакцію у відповідь конструктивних елементів. Основною функцією вимірювальних систем при цьому є забезпечення найбільш повної показності вимірів, що проводяться, як по кількості вимірюваних параметрів в реальних частотних і динамічних діапазонах їх зміни, так і за часом, який характеризує вказану вище взаємодію. Конфігурація системи в основному визначається видом вибраного методу дослідження – натурального або модельного, в умовах аеродинамічної труби, а також кількістю і складом вимірюваних параметрів. Тому у кожному конкретному випадку реалізований набір інструментальних засобів вимірювання є «унікальною» системою.

Значна довжина записаних реалізацій сигналів і велика кількість зафіксованих поривів зумовили необхідність розробки методики визначення їх характеристик, серед яких найбільш значимі, – амплітуда і тривалість. В якості критерію того, що пульсація швидкості вітру є поривом, прийняте значення швидкості, середнього, що перевищує, по ансамблю значень, виміряних впродовж 2 с:

$$V(t) \geq M = \overline{V_2} \quad (1.9)$$

Такий вибір зроблено на підставі згаданої вище істотної не стаціонарності значень середньої швидкості в 2- і 10-хвилинних інтервалах. Надалі з початкової реалізації формується допоміжна реалізація  $W(t)$  відфільтрована цифровим фільтром нижніх частот. Остання потрібна для відсіювання високочастотних турбулентних пульсацій малої амплітуди і тривалості, які можуть викликати “помилкові спрацювання” алгоритму виділення поривів. В якості критерію тривалості можна взяти будь-яке значення, наприклад 0,1 с, що відповідає частоті 10 Гц.

Надалі на підставі відфільтрованої реалізації і описаного вище критерію формується друга допоміжна реалізація, що відповідає наступному критерію:

$$D(t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } V(t) \geq M \\ 0, & \text{якщо } V(t) \leq M \end{cases} \quad (1.10)$$

Ця реалізація потрібна для визначення тривалості, а також служить в якості опорної при визначенні максимального значення швидкості кожного з поривів. Тривалість пориву визначається відповідно до наступного виразу:

$$\tau = \Delta t \sum_i D(t)_i, \text{ при } D(t) = 1 \quad (1.11)$$

де  $i$  – номер вибірки із реалізації  $D(t)$ ;

$D(t)$  – інтервал часу між двома послідовними вибірками, що задається алгоритмом аналого-цифрового перетворення сигналу,  $t = i \cdot Dt$ .

Максимальне значення швидкості вітру в пориві визначається на підставі реалізацій  $V(t)$  і  $D(t)$ . При цьому з реалізації  $V(t)$  при  $D(t)=1$  робиться вирізка фрагмента, що містить порив і з ансамблю значень цього фрагмента знаходиться максимальне. Кількість поривів  $n$  в реалізації сигналу швидкості вітру відповідає кількості максимумів.

В роботі [44] виконано натурні дослідження по визначенню швидкості та напрямку вітру на протязі скочування відчепу. На підставі обробки результатів отримано гістограму розподілу випадкової величини швидкості вітру, згідно якої можна вважати, що дана випадкова величина має показників закон розподілу.

Площа навітряної поверхні вагона є також змінною величиною, яка становить для: напіввагонів - від 8 до 12м<sup>2</sup>, вагонів платформ - від 4 до 17 м<sup>2</sup>, критих вагонів - від 9 до 17м<sup>2</sup>, вагонів-цистерн — від 10 до 15м<sup>2</sup>. Таким чином, процес розформування составів поїздів підлягає впливу великої кількості випадкових факторів, у зв'язку з цим, для вирішення задач

оптимізації технології роботи сортувальних гірок необхідна розробка імітаційних моделей для ЕОМ і методів управління розпуском, які будуть враховувати стохастичний характер параметрів составів та умов їх розпуску.

Значення швидкості вітру  $v_{\text{в}}$  і швидкості виходу відчепу з гальмівних позицій  $v_{\text{вих}}$  моделюються як випадкові величини з нормальним законом розподілу. Значення всіх випадкових параметрів встановлюються до початку моделювання скочування, але являються невідомими для системи керування гальмівними позиціями. В розробленій моделі скочування відчепів розглядається як ймовірний процес, характеристики якого отримують на основі серії паралельних дослідів, що виконуються при різних початкових значеннях датчика випадкових чисел.

## 2 ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА СОРТУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ СТАНЦІЙ К

Сортувальна станція К (Додаток А.) відіграє важливу роль в організації перевізного процесу на шляху Європейського транспортного коридору і належить до переліку вирішальних станцій Укрзалізниці.

Станція К за характером та обсягом роботи є сортувальною позакласною станцією.

**Загальна характеристика станції наведена в таблиці 2.1.**

Таблиця 2.1 – Загальна характеристика станції та підходів до неї

| №п/п | Найменування показника   | Значення                               |
|------|--------------------------|----------------------------------------|
| 1    | 2                        | 3                                      |
| 1    | Клас станції             | позакласна                             |
| 2    | Прилеглі перегони:       |                                        |
| 3.1  | - у непарному напрямку:  |                                        |
|      |                          | станція К (парк А) – станція 3- П      |
|      | кількість головних колій | 1                                      |
|      | засоби зв'язку           | двостороннє тризначне кодове АБ з АЛСН |
|      | основний вид тяги        | Електровозна, Тепловозна               |
|      |                          | станція К (парк А) – станція Аа        |
|      | кількість головних колій | 1                                      |
|      | засоби зв'язку           | двостороннє тризначне кодове АБ з АЛСН |
|      | основний вид тяги        | Електровозна                           |
|      |                          | станція К (парк А) – станція П         |
|      | кількість головних колій | 1                                      |
|      | засоби зв'язку           | релейне НАБ                            |
|      | основний вид тяги        | Тепловозна                             |
|      |                          | станція К (парк А,Б) – станція Сх      |
|      | кількість головних колій | 1                                      |
|      | засоби зв'язку           | АБ без прохідних світлофорів           |
|      | основний вид тяги        | Тепловозна                             |

Продовження таб. 2.1.

| 1     | 2                          | 3                                        |
|-------|----------------------------|------------------------------------------|
|       |                            | станція К (парк ,Б) – станція Сл         |
|       | кількість головних колій   | 1                                        |
|       | засоби зв'язку             | двостороннє АБ без прохідних світлофорів |
|       | основний вид тяги          | Тепловозна                               |
| 3.2   | - парному напрямку:        |                                          |
|       |                            | станція К – роз'їзд N км                 |
|       | кількість головних колій   | 1                                        |
|       | засоби зв'язку             | двостороннє тризначне кодове АБ з АЛСН   |
|       | основний вид тяги          | Електровозна                             |
| 4     | Сортувальні пристрої:      |                                          |
|       | - сортувальна гірка        |                                          |
|       | тип гірки                  | середньої потужності                     |
| 5.1   | кількість колій насуву     | 1                                        |
| 5.1.1 | локомотиви та їх кількість | ЧМЕ 3 - 2<br>ВЛ 8 – 2                    |
| 5.1.2 | - витяжні колії, їх номера | 13                                       |
| 5.1.3 | місткість витяжних колій   | 41 умовний вагон                         |
| 5.2   | локомотиви та їх кількість | ЧМЕ 3 - 1                                |

На сортувальній станції К виконуються операції з розформування та формування поїздів за призначеннями відповідно до встановленого Порядку направлення вагонопотоків та організації їх у вантажні поїзди; виконуються операції з пропуску поїздів без переробки і з переробкою; технічне обслуговування, комерційний огляд составів поїздів і усунення виявлених несправностей вагонів.

На станції К формуються технічні маршрути, що прямують на великі відстані без переробки на попутних технічних станціях, дільничні, збірні, вивізні та передатні поїзди, виконується навантаження, вивантаження вагонів на під'їзних коліях.

Виконання на високому рівні цих видів робіт потребує відповідного технічного оснащення сортувальної станції, розробки і впровадження в дію досконалої технології роботи та кадрового забезпечення висококваліфікованими працівниками.

Основним резервом освоєння подальшого нарощування обсягів перевезень та покращення якісних показників роботи станції є впровадження нових технологій, що зумовлює потребу розробки прогресивного технологічного процесу роботи сортувальної станції.

## **2.1 Технічна характеристика сортувального комплексу станції**

До сортувального комплексу станції входять парки: парк приймання, транзитний та сортувальний парки. У парній горловині сортувального парку розташована механізована сортувальна гірка великої потужності, обладнана гірочною автоматичною централізацією (ГАЦ). Колій насуву на гірку дві. Дана гірка є симетричною.

Сортувальна гірка для розпуску і формування составів має сортувальний парк в склад якого входять 32 колій. Колії в свою чергу згруповані в чотири пучки:

- У перший пучок входять колії від 11 до 18 і стрілки №№ 211-218;
- У другий пучок входять колії з 21 по 28 та стрілки №№ 221-227;
- У третій пучок входять колії від 31 до 38 і стрілки №№ 231-237;
- У четвертий пучок входять колії від 41 до 48 і стрілки №№ 241-248;

Вагонні уповільнювачі швидкості відчепів розташовані на спускній частині сортувальної гірки. Вони призначені для гальмування вагонів (відчепів) при їх скочуванні на колії сортувального парку. Уповільнювачі утворюють три гальмові позиції:

- перша позиція, інтервальна, складається з чотирьох секцій уповільнювачів, з яких два (№1,2) перед стрілкою № 201 в напрямку першого і другого пучків колій сортувального парку; два (№3,4) перед стрілкою № 203 в напрямку третього і четвертого пучків; вона призначена для створення відповідних інтервалів між відчепами, які скочуються з

горба сортувальної гірки на колії сортувального парку і створення можливості своєчасного переведення стрілок у потрібних маршрутах;

- друга позиція, складається з восьми секцій уповільнювачів, з яких: два (№№ 5,6) встановлені перед стрілкою № 211 в напрямку першого пучка колій сортувального парку від 11-ї до 18-ї колії; - два (№№ 7,8) встановлені перед стрілкою № 221 в напрямку другого пучка колій сортувального парку від 21-ї до 28-ї колії; - два (№№ 9,10) встановлені перед стрілкою № 231 в напрямку третього пучка колій сортувального парку від 31-ї до 38-ї колії; - два (№№ 11,12) встановлені перед стрілкою № 241 в напрямку четвертого пучка колій сортувального парку від 41-ї до 48-ї колії;

- третя (паркова) позиція, складається з 64 секцій уповільнювачів (№№13-76 - по 2 на кожній колії), слугує для забезпечення з'єднання відчепів на коліях сортувального парку з допустимою швидкістю та недопущення утворення 'вікон'. Гальмові позиції оснащені вагонними уповільнювачами типу КНП-5 (№1-12) і типу РНЗ-2 (№13-76).

## **2.2. Експлуатаційна характеристика сортувального комплексу**

Станція К переробляє непарний вагонопотік зі станцій Кр, С, Р-Р, кутові передачі зі станцій П, Л і формує дільничні поїзди на станції Ст, С, М-2, Х, збірні поїзди на станції Р-Р, Ст, передаточні поїзди на станції Л, С, Пер, а також наскрізні поїзди на станції Б, Хр, У.

З загального обсягу вагонопотоку 62 % припадає на транзит з переробкою, 37 % – на транзит без переробки і близько одного відсотка на вагони місцевого призначення. Станція розформовує состави усіх поїздів, які прибувають з зазначених напрямків, та формує і відправляє поїзди за призначенням згідно плану формування поїздів. Поїзди які прибувають на станцію підлягають технічному обслуговуванню та комерційному огляду, а при необхідності виконується ремонт вагонів (без відчеплення, чи з відчепленням вагонів і подачею їх на ремонтні колії) чи усунення комерційних несправностей.

Поїзди, що прибувають у розформування приймаються у приймальний парк, а поїзди, що проходять станцію без переробки приймаються у транзитний парк. В окремих випадках допускається також приймання поїздів, що прибувають у розформування у приймально-відправний парк з наступним витягуванням у парк приймання та розформуванням на сортувальній гірці. Через відсутність окремого відправного парку відправлення поїздів свого формування здійснюється з сортувального парку.

З транзитними поїздами, крім технічного обслуговування і комерційного огляду виконуються операції по зміні маси і довжині составів.

### 2.3 Проектування гіркової горловини та сортувальної гірки на станції К

В даній роботі виконуємо автоматизоване проектування гіркової горловини сортувального пристрою.

В моделі гіркової горловини основою являється орієнтовне бінарне дерево. Дерево – це зв'язаний граф, що не має циклів, а орієнтоване дерево – це зв'язаний орієнтований граф без циклів, в якого пів степінь заходу однієї вершини дорівнює нулю. Орієнтоване бінарне дерево – орієнтоване дерево, в якому пів степінь виходу всіх вершин менше або дорівнює 2.

Гіркова горловина у вигляді бінарного дерева представлена на рисунку 2.2

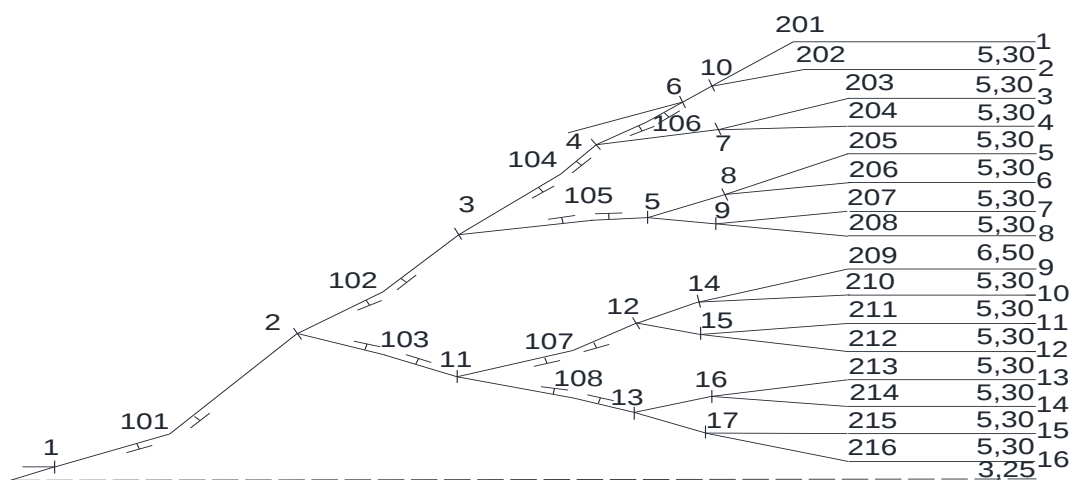


Рис. 2.2 - Немасштабна схема гіркової горловини з нумерацією вершин.

Для представленої гіркової горловини криві замінюємо тангенсами. Всі вершини дерева діляться на 3 типи:

- Центр стрілочного перевodu (ЦП);
- ВУС (вершина кута на спускній частині);
- ВУП (вершина кута на сортувальних коліях).

Для представлення дерева в ЕОМ використовують списки інцидентності його вершин (табл. 2.2, 2.3, 2.4). Для кожної вершини вказуємо кінцеві вершини вихідної дуги. Для того, щоб розрізняти дві вихідні дуги введені поняття лівої і правої дуги.  $U_{\text{л}}, U_{\text{п}}$ . Це необхідно, тому що для симетричних СП неможливо вказати пряму чи бокову колію.

Таблиця 2.2 – Список інцидентності стрілочних переводів

| *N | L   | R   | FL    | FR |
|----|-----|-----|-------|----|
| 1  | 101 | 0   | 27,95 |    |
| 2  | 102 | 103 |       |    |
| 3  | 104 | 105 |       |    |
| 4  | 106 | 7   |       |    |
| 5  | 8   | 9   |       |    |
| 6  | 0   | 10  |       |    |
| 7  | 203 | 204 |       |    |
| 8  | 205 | 206 |       |    |
| 9  | 207 | 208 |       |    |
| 10 | 201 | 202 |       |    |
| 11 | 107 | 108 |       |    |
| 12 | 14  | 15  |       |    |
| 13 | 16  | 17  |       |    |
| 14 | 209 | 210 |       |    |
| 15 | 211 | 212 |       |    |
| 16 | 213 | 214 |       |    |
| 17 | 215 | 216 |       |    |

Таблиця 2.3 – Список інцидентності кривих спускної частини

| *V  | U <sub>л</sub> | U <sub>п</sub> | R   | F     | a° | a' | a'' | Ψ |
|-----|----------------|----------------|-----|-------|----|----|-----|---|
| 101 | 2              | 0              | 200 | 0     | 0  | 0  | 0   | 0 |
| 102 | 3              | 0              | 200 | 33,21 | 2  | 0  | 0   | 0 |
| 103 | 0              | 11             | 200 | 33,21 | 3  | 0  | 0   | 0 |
| 104 | 4              | 0              | 200 | 0     | 2  | 16 | 0   | 0 |
| 105 | 0              | 5              | 200 | 0     | 1  | 50 | 52  | 0 |
| 106 | 6              | 0              | 200 | 0     | 1  | 0  | 0   | 0 |
| 107 | 12             | 0              | 200 | 0     | 1  | 50 | 52  | 0 |

|     |   |    |     |   |   |    |    |   |
|-----|---|----|-----|---|---|----|----|---|
| 108 | 0 | 13 | 200 | 0 | 1 | 50 | 52 | 0 |
|-----|---|----|-----|---|---|----|----|---|

Таблиця 2.4 – Список інцидентності кривих сортувальних колій

| *ВУ | Е    | Р   |
|-----|------|-----|
| 201 | 5.30 | 200 |
| 202 | 5.30 | 200 |
| 203 | 5.30 | 200 |
| 204 | 5.30 | 200 |
| 205 | 5.30 | 200 |
| 206 | 5.30 | 200 |
| 207 | 5.30 | 200 |
| 208 | 6.50 | 200 |
| 209 | 5.30 | 200 |
| 210 | 5.30 | 200 |
| 211 | 5.30 | 200 |
| 212 | 5.30 | 200 |
| 213 | 5.30 | 200 |
| 214 | 5.30 | 200 |
| 215 | 5.30 | 200 |
| 216 | 3.25 | 200 |

Списки інцидентності повністю описують структуру гіркової горловини. Кожній вершині дерева ставиться у відповідність вектор параметра  $X$ , необхідний для розрахунку плану гіркової горловини.

Чисельні параметри для ЦСП:

$X_{цсп} = (F_L, F_P) - F_L, F_P$  – прямі вставки, розташовані на дугах дерева, що виходять із ЦП, відповідно у лівому та правому напрямках. При цьому в ці вставки не входять довжини елементів  $a_i b_i$ . В тих випадках, коли величини  $F_L, F_P$  можна визначити по схемі взаємного розташування СП, задавати їх не потрібно.

Методика розрахунку горловини сортувального парку:

- 1) Спочатку розраховуються невідомі кути повороту кривих на спускній частині гірки (один кут);
- 2) Для кожного невідомого кута необхідно обрати розрахункову колію;
- 3) Для визначення невідомого кута  $\beta$  розрахункова колія представляється я у вигляді ламаної лінії, що складається з відрізків  $l_i$ ;

4) Для побудови лінії криві замінюються тангенсами, тоді:

$$l_i = T_i + f_i + T_{i+1} \quad (2.1)$$

Кожний елемент має невідомий кут нахилу до осі x. Невідомий кут  $\beta$  можна знайти із рівняння, в якому ордината Y визначається як сума проекцій:

$$Y = y_1 + \sum_{i=1}^n l_i \sin(\theta_i) \quad (2.2)$$

$$\theta_i = y + \sum_{j=1}^i \alpha_j \quad (2.3)$$

В результаті отримаємо рівняння з одним невідомим - кутом  $\beta$ . Був розроблений ітераційний метод, який не потребує вирішення великих тригонометричних рівнянь, але потребує великої кількості розрахунків.

Одночасно на розрахунковій колії визначаються координати всіх точок. Також знаходяться координати всіх точок пучка колій, в яких входить дана розрахункова колія.

$$f_1 = \frac{Y-y}{\sin(\theta)} - b - T_1 \quad (2.4)$$

В якості розрахункової колії можна вибрати любую колію горловини. Зазвичай обирають одну із крайніх колій, або сусідній крайній. При цьому необхідно здійснити декілька розрахунків з різними розрахунковими коліями, при цьому вибирається кращий варіант. Для нашого випадку розрахункова колія прийнята номер 2.

Результати проектування гіркової горловини зведені в таблицях 2.5 – 2.8.

Таблиця 2.5 – Результат проектування. Відстань між точками

| № | Від точки | До точки | Довжина | Вставка |
|---|-----------|----------|---------|---------|
| 1 | 1         | 101      | 27.95   | 25.95   |
| 2 | 2         | 102      | 14.051  | 10.560  |
| 3 | 2         | 103      | 15.797  | 10.560  |
| 4 | 3         | 104      | 14.517  | 10.560  |
| 5 | 3         | 105      | 13.785  | 10.560  |
| 6 | 4         | 106      | 12.305  | 10.560  |
| 7 | 4         | 7        | 23.970  | 23.970  |

Продовження таблиці 2.5

|    |     |     |        |        |
|----|-----|-----|--------|--------|
| 8  | 5   | 8   | 23.970 | 23.970 |
| 9  | 5   | 9   | 23.970 | 23.970 |
| 10 | 6   | 10  | 19.160 | 19.160 |
| 11 | 303 | 203 | 50.349 | 4.042  |
| 12 | 7   | 303 | 17.563 | 10.560 |
| 13 | 304 | 204 | 52.981 | 15.375 |
| 14 | 7   | 304 | 14.561 | 10.560 |
| 15 | 305 | 205 | 50.947 | 11.936 |
| 16 | 8   | 305 | 13.560 | 10.560 |
| 17 | 306 | 206 | 45.539 | 7.191  |
| 18 | 8   | 306 | 18.564 | 10.560 |
| 19 | 307 | 207 | 47.507 | 15.225 |
| 20 | 9   | 307 | 15.561 | 10.560 |
| 21 | 308 | 208 | 45.983 | 10.284 |
| 22 | 9   | 308 | 25.588 | 10.560 |
| 23 | 10  | 201 | 0.560  | 0.560  |
| 24 | 10  | 202 | 0.560  | 0.560  |
| 25 | 11  | 107 | 13.785 | 10.560 |
| 26 | 11  | 108 | 13.785 | 10.560 |
| 27 | 12  | 14  | 23.970 | 23.970 |
| 28 | 12  | 15  | 23.970 | 23.970 |
| 29 | 13  | 16  | 23.970 | 23.970 |
| 30 | 13  | 17  | 23.970 | 23.970 |
| 31 | 14  | 209 | 42.279 | 11.035 |
| 32 | 14  | 210 | 49.389 | 29.486 |
| 33 | 15  | 211 | 42.166 | 16.293 |
| 34 | 312 | 212 | 29.991 | 16.663 |
| 35 | 15  | 312 | 15.561 | 10.560 |
| 36 | 16  | 213 | 28.768 | 12.010 |
| 37 | 16  | 214 | 46.688 | 34.174 |
| 38 | 315 | 215 | 38.925 | 29.794 |
| 39 | 17  | 315 | 13.560 | 10.560 |
| 40 | 17  | 216 | 41.543 | 16.909 |
| 41 | 101 | 2   | 20.561 | 6.950  |
| 42 | 102 | 3   | 27.95  | 25.95  |
| 43 | 103 | 11  | 45.397 | 40.160 |
| 44 | 104 | 4   | 10.907 | 6.950  |
| 45 | 105 | 5   | 10.175 | 6.950  |
| 46 | 106 | 6   | 12.305 | 10.560 |
| 47 | 107 | 12  | 10.175 | 6.950  |
| 48 | 108 | 13  | 10.175 | 6.950  |

Таблиця 2.6 – Результат проектування. Координати стрілочних переводів

| № | ЦП | X      | Y     |
|---|----|--------|-------|
| 1 | 1  | 0.000  | 0.000 |
| 2 | 2  | 68.418 | 8.458 |

|   |   |         |        |
|---|---|---------|--------|
| 3 | 3 | 123.048 | 27.015 |
|---|---|---------|--------|

Продовження таблиці 2.6

|    |    |         |        |
|----|----|---------|--------|
| 4  | 4  | 146.094 | 37.738 |
| 5  | 5  | 146.321 | 32.703 |
| 6  | 6  | 167.082 | 50.589 |
| 7  | 7  | 168.393 | 46.529 |
| 8  | 8  | 169.194 | 39.871 |
| 9  | 9  | 170.061 | 36.013 |
| 10 | 10 | 184.116 | 59.361 |
| 11 | 11 | 129.309 | 14.386 |
| 12 | 12 | 152.880 | 18.671 |
| 13 | 13 | 153.264 | 14.081 |
| 14 | 14 | 175.910 | 25.317 |
| 15 | 15 | 176.689 | 21.440 |
| 16 | 16 | 177.203 | 15.310 |
| 17 | 17 | 177.079 | 11.358 |

Таблиця 2.7 – Результат проектування. Координати уповільнювачів

| №  | Колія | X       | Y      |
|----|-------|---------|--------|
| 1  | 1-2   | 245.645 | 79.523 |
| 2  | 2-3   | 198.339 | 62.619 |
| 3  | 3-4   | 245.054 | 69.362 |
| 4  | 4-5   | 0.000   | 0.000  |
| 5  | 5-6   | 241.877 | 58.931 |
| 6  | 6-7   | 228.986 | 52.417 |
| 7  | 7-8   | 200.289 | 41.118 |
| 8  | 8-9   | 229.771 | 41.920 |
| 9  | 9-10  | 224.745 | 36.510 |
| 10 | 10-11 | 217.081 | 30.776 |
| 11 | 11-12 | 227.522 | 26.829 |
| 12 | 12-13 | 214.892 | 21.436 |
| 13 | 13-14 | 213.360 | 16.582 |
| 14 | 14-15 | 217.963 | 11.661 |
| 15 | 15-16 | 218.285 | 6.833  |

Таблиця 2.8 – Результат проектування. Параметри кривих

| №  | ВУП | Xвуп    | Yвуп   | Xo      | Yo       | Кут       | R   | T      | K      |
|----|-----|---------|--------|---------|----------|-----------|-----|--------|--------|
| 1  | 101 | 48.346  | 4.001  | 0.000   | 0.000    | 7°47'12"  | 200 | 13.611 | 28.370 |
| 2  | 102 | 81.837  | 12.624 | 0.000   | 0.000    | 2°0'0"    | 200 | 3.491  | 6.981  |
| 3  | 103 | 84.070  | 10.598 | 0.000   | 0.000    | 3°0'0"    | 200 | 5.237  | 10.472 |
| 4  | 104 | 136.312 | 32.915 | 0.000   | 0.000    | 2°16'0"   | 200 | 3.957  | 7.912  |
| 5  | 105 | 136.393 | 30.471 | 0.000   | 0.000    | 1°50'52"  | 200 | 3.225  | 6.450  |
| 6  | 106 | 156.644 | 44.072 | 0.000   | 0.000    | 1°0'0"    | 200 | 1.745  | 9.330  |
| 7  | 107 | 142.904 | 16.666 | 0.000   | 0.000    | 1°50'52"  | 200 | 3.225  | 6.450  |
| 8  | 108 | 143.09  | 14.400 | 0.000   | 0.000    | 1°50'52"  | 200 | 3.225  | 6.450  |
| 9  | 201 | 223.500 | 83.950 | 268.852 | -76.359  | 31°58'42" | 160 | 45.846 | 89.300 |
| 10 | 202 | 230.648 | 78.650 | 270.459 | -121.350 | 22°30'57" | 200 | 39.811 | 78.595 |
| 11 | 203 | 230.75  | 73.350 | 270.054 | -126.650 | 22°14'11" | 200 | 39.304 | 77.620 |

Продовження таблиці 2.8

|    |     |         |        |         |          |           |     |        |        |
|----|-----|---------|--------|---------|----------|-----------|-----|--------|--------|
| 12 | 303 | 184.145 | 54.297 | 266.313 | -128.180 | 4°0'39"   | 200 | 7.003  | 14.000 |
| 13 | 204 | 232.405 | 68.050 | 266.011 | -131.950 | 9°4'35"   | 200 | 33.606 | 66.589 |
| 14 | 304 | 182.334 | 50.734 | 120.749 | 241.058  | 2°17'31"  | 200 | 4.001  | 8.000  |
| 15 | 205 | 229.502 | 62.750 | 265.512 | -137.250 | 20°24'49" | 200 | 36.010 | 71.257 |
| 16 | 305 | 181.755 | 44.980 | 254.326 | -141.413 | 1°43'8"   | 200 | 3.000  | 6.000  |
| 17 | 206 | 230.795 | 57.450 | 261.139 | -142.550 | 17°15'14" | 200 | 30.34  | 60.227 |
| 18 | 306 | 187.306 | 43.943 | 135.629 | 237.317  | 4°35'1"   | 200 | 8.00   | 16.000 |
| 19 | 207 | 231.015 | 52.150 | 258.296 | -147.850 | 15°32'6"  | 200 | 27.281 | 54.227 |
| 20 | 307 | 185.243 | 39.426 | 136.496 | 233.459  | 2°51'53"  | 200 | 5.001  | 10.000 |
| 21 | 208 | 240.620 | 46.850 | 261.292 | -153.150 | 11°48'7"  | 200 | 20.671 | 41.197 |
| 22 | 308 | 195.609 | 37.445 | 169.414 | 236.291  | 8°35'40"  | 200 | 15.028 | 30.000 |
| 23 | 209 | 215.426 | 40.350 | 246.670 | -129.650 | 20°49'41" | 170 | 31.244 | 61.798 |
| 24 | 210 | 224.330 | 35.050 | 244.232 | -164.950 | 11°21'56" | 200 | 19.902 | 39.674 |
| 25 | 211 | 218.029 | 29.750 | 243.901 | -230.250 | 11°21'56' | 260 | 25.873 | 51.576 |
| 26 | 212 | 222.129 | 24.450 | 230.455 | -175.550 | 4°46'5"   | 200 | 8.326  | 16.643 |
| 27 | 312 | 192.242 | 21.957 | 180.602 | 221.681  | 2°51'53"  | 200 | 5.001  | 10.000 |
| 28 | 213 | 205.714 | 19.150 | 222.472 | -230.850 | 7°40'12"  | 250 | 16.759 | 33.467 |
| 29 | 214 | 223.868 | 13.850 | 236.382 | 813.850  | 1°47'33"  | 800 | 12.514 | 25.026 |
| 30 | 215 | 229.48  | 8.550  | 235.614 | 208.550  | 3°30'41"  | 200 | 6.130  | 12.257 |
| 31 | 315 | 190.633 | 10.934 | 181.378 | -188.874 | 1°43'8"   | 200 | 3.000  | 6.000  |
| 32 | 216 | 217.823 | 3.250  | 242.456 | 253.250  | 11°15'18" | 250 | 24.634 | 49.109 |

Згідно отриманих результатів будуємо план гіркової горловини по координатах відповідних точок. Побудований план горловини наведено на рисунку 2.4.

Виконуємо автоматизоване проектування сортувальної гірки. Метою автоматизованого проектування сортувальних гірок являється пошук оптимального значення висоти і поздовжнього профілю гірки.

Висотою гірки називається профільна різниця рівнів вершини гірки (ВГ) і розрахункової точки (РТ).

Висота гірки повинна забезпечувати скочування вагонів від ВГ до РТ, тобто повинна відповідати умові [45]:

$$H_{\Gamma} \geq \sum_{\text{ВГ}}^{\text{РТ}} h_w, \quad (2.5)$$

де  $\sum_{\text{ВГ}}^{\text{РТ}} h_w$  – сумарна питома робота усіх сил опору руху при скочуванні вагона від ВГ до РТ.

Відповідно до цього, розрахункову (найменшу) висоту гірки можна визначити за формулою:

$$H_p = k_p(\bar{h}_{\text{осн}} + \bar{h}_{\text{ск}} + \bar{h}_{\text{св}}) + h_{\text{сн}} - h_0, \quad (2.6)$$

де  $k_p$  – міра відхилення розрахункового значення  $h_w$  від його середньої величини;

$\bar{h}_{\text{осн}}, \bar{h}_{\text{ск}}, \bar{h}_{\text{св}}$  – середні величини (математичні очікування) питомої роботи відповідних сил опору руху: основного, стрілочних переводів і кривих ділянок, середовища і вітру, м.е.в.

$h_{\text{сн}}$  – питома робота опору руху від снігу та інею, м.е.в.

$h_0$  – енергетична висота, що відповідає швидкості розпуску, м.е.в.

Питома робота основного опору руху становить:

$$\bar{h}_{\text{осн}} = \bar{w}_o \cdot L_p \cdot 10^{-3} \quad (2.7)$$

де  $\bar{w}_o$  – середня питома величина основного опору руху вагонів;

$L_p$  – розрахункова довжина маршруту від ВГ до РТ, м.

Величина  $\bar{h}_{\text{ск}}$  визначається як сума середніх величин питомої роботи сил опору руху стрілок і кривих на окремих ділянках гірки:

$$\bar{h}_{\text{ск}} = \sum_{i=1}^k \bar{h}_{\text{ск}i}, \quad (2.8)$$

де  $k$  – кількість розрахункових ділянок, що визначаються згідно з планом горловини з урахуванням вказаних меж ділянок.

$$\bar{h}_{\text{ск}i} = (0,56 \cdot n + 0,23 \cdot \sum \varphi) \cdot \bar{V}^2 10^{-3}, \quad (2.9)$$

де  $n, \sum \varphi$  – кількість стрілочних переводів та сума кутів повороту (включаючи стрілочні) на маршруті чи ділянці скочування;

$\bar{V}$  – середня швидкість вагона на маршруті (ділянці) скочування, м/с.

Величина  $\bar{h}_{\text{св}}$  визначається як сума середніх величин питомої роботи сил опору руху середовища і вітру на окремих ділянках гірки:

$$\bar{h}_{\text{св}} = \sum_{i=1}^K \bar{h}_{\text{св } i} = \sum_{i=1}^K \bar{w}_{\text{св } i} L_i 10^{-3}, \quad (2.10)$$

де  $\bar{w}_{\text{св } i}$  – середня величина питомого опору руху середовища і вітру на  $i$ -й ділянці гірки, кгс/тс;

$L_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки, м.

Питома робота сил опору снігу та інею, м.е.в., визначається за формулою:

$$h_{\text{сн}} = w_{\text{сн}} \cdot L \cdot 10^{-3}, \quad (2.11)$$

де  $w_{\text{сн}}$  – питома величина опору снігу та інею;

$L$  – довжина ділянки.

Величина  $h_0$  являє собою кінетичну енергію відчепа, віднесену на одиницю його ваги, а з іншого боку – висоту  $h$ , з якої вільно падаюче тіло здобуде швидкість  $V$ . Визначається за формулою:

$$h_0 = \frac{V^2}{2g'}, \quad (2.12)$$

де  $g'$  – приведене прискорення вільного падіння, що враховує енергетичний вплив ваги колісних пар, що обертаються. Величина  $g'$ , м/с визначається за формулою:

$$g' = \frac{g}{1 + \frac{0,42n_0}{Q}}, \quad (2.13)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$n_0$ —кількість колісних пар вагона (відчепа).

Умови скочування приймаються наступні: початкова швидкість розпуску: 1,7 м/с; швидкість в точці прицілювання: 1,5 м/с; швидкість вітру: 5 м/с; напрям вітру: 20 градусів; температура повітря: -10 градусів.

Для оцінки якості проектування використовують метод імітаційного моделювання процесу розпуску составу. В цьому процесі основним елементом є скочування відчепу із сортувальної гірки.

Основою моделі сортувальної гірки являється схема розрахункової колії. Схема будується саме для цієї колії, оскільки на ній діє найбільше сил опору руху. На схемі цієї колії необхідно виділити: прямі; криві; стрілочні переводи; гальмівні позиції; ізольовані ділянки (рейкові ланцюги);

Модель плану гірки складається із елементів, що мають певну довжину і розташованих на них точок. Три основні елементи: прямі, криві, стрілки. При цьому, кожен із елементів характеризується одним або двома параметрами. При побудові моделі плану гірки елементи розташовують послідовно в напрямку скочування. На елементах розташовують точки трьох основних типів:

- 1) Точки перелому профілю, в тому числі вершина гірки і розрахункова точка;
- 2) Уповільнювач (точка початку робочої довжини уповільнювача);
- 3) Роздільний елемент (ізольований стик на початку рейкового кола стрілки, уповільнювача чи гальмівної позиції).

Точки записують в списки відразу після елемента, де вони розташовані, при цьому вони не нумеруються, самі ж точки мають порядкові номери.

Точки перелому профілю характеризуються прив'язкою та величиною ухилу. Невідомі ухили ми задаємо із нульовими значеннями, а відомі із конкретними значеннями. Зазвичай задають ухили 2 – ї гальмівної позиції - 7‰ та ухили стрілочної зони - 2‰.

Уповільнювачі можна розглядати кожен окремо, а можна в цілому. Вони характеризуються прив'язкою та довжиною.

Вся колія скочування ділиться на ізольовані ділянки рейкових ланцюгів. Вони також характеризуються прив'язкою та довжиною.

Модель розрахункового маршруту наведена на рисунку 2.3.

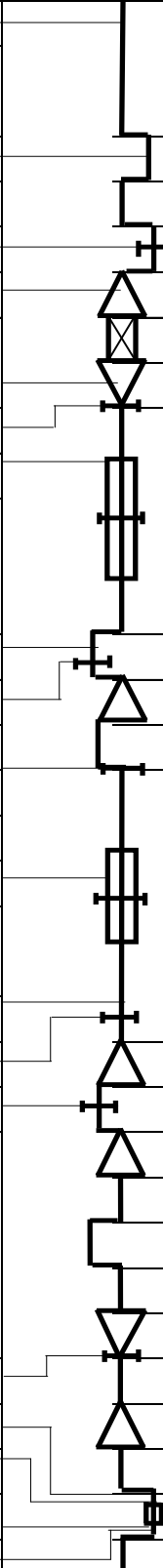
| Точки                     |                |              | Схема роз-<br>горнутого<br>плану                                                   | Елементи плану |                   |                |                |
|---------------------------|----------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|
| Найменування              | При-<br>в'язка | Пара<br>метр |                                                                                    | №<br>п/п       | Наймену-<br>вання | Пара<br>метр 1 | Пара<br>метр 2 |
| Перелом профілю (1)       | 50.0           | -5.0         |  | 1              | Пряма             | 50.00          |                |
|                           |                |              |                                                                                    | 2              | Крива             | 6.99           | 300            |
| Вершина гірки (2)         | 0.6            | 0            |                                                                                    | 3              | Пряма             | 11.50          |                |
|                           |                |              |                                                                                    | 4              | Крива             | 10.47          | 200            |
| Роздільний елемент (1)    | 5.26           | 11.38        |                                                                                    | 5              | Стрілка 81        | 17.51          | 4.73           |
| Перелом профілю (3)       | 8.56           | 0            |                                                                                    | 6              | Глухе перес.      | 8.08           |                |
|                           |                |              |                                                                                    | 7              | Стрілка 87        | 17.51          | 4.73           |
| Роздільний елемент (2)    | 27.95          | 13.48        |                                                                                    | 8              | Пряма             | 27.95          |                |
| Останній уповільнювач ГП1 | -0.5           | 25.95        |                                                                                    |                |                   |                |                |
|                           |                |              |                                                                                    | 9              | Крива             | 28.37          | 200            |
| Перелом профілю (4)       | -1.5           | 7.0          |                                                                                    | 10             | Стрілка 201       | 17.51          | 4.73           |
| Роздільний елемент (3)    | 5.26           | 11.38        |                                                                                    | 11             | Крива             | 6.98           | 200            |
|                           |                |              |                                                                                    | 12             | Пряма             | 32.21          |                |
| Роздільний елемент (4)    | 0.0            | 13.48        |                                                                                    |                |                   |                |                |
| Останній уповільнювач ГП2 | -0.5           | 25.95        |                                                                                    | 13             | Стрілка 211       | 17.51          | 4.73           |
|                           |                |              |                                                                                    | 14             | Крива             | 7.91           | 200            |
| Перелом профілю (5)       | 5.76           | 2.0          |                                                                                    | 15             | Стрілка 212       | 17.51          | 4.73           |
| Роздільний елемент (5)    | 5.26           | 11.38        |                                                                                    | 16             | Пряма             | 2.24           |                |
| Роздільний елемент (6)    | 5.26           | 11.38        |                                                                                    | 17             | Крива             | 9.33           | 200            |
|                           |                |              |                                                                                    | 18             | Пряма             | 2.24           |                |
|                           |                |              |                                                                                    | 19             | Стрілка 217       | 17.51          | 4.73           |
| Роздільний елемент (7)    | 5.26           | 11.38        |                                                                                    | 20             | Пряма             | 5.26           |                |
| ГС                        | -12.28         |              |                                                                                    | 21             | Стрілка 218       | 17.51          | 4.73           |
| Останній уповільнювач ГП3 | -27.28         | 7.92         |                                                                                    | 22             | Пряма             | 0.56           |                |
| Перелом профілю (6)       | -39.27         | 0.6          |                                                                                    | 23             | Крива             | 89.30          | 160            |
| Розрахункова точка (7)    | -82.01         | 0.6          |                                                                                    | 24             | Пряма             | 100            |                |

Рисунок 2.3 – Модель розрахункового маршруту

| №  | Найменування    | Параметр 1 | Параметр 2 |
|----|-----------------|------------|------------|
| 1  | Пряма           | 50.000     |            |
|    | Перел. проф. 1  | 50.000     | - 5.0      |
| 2  | Крива           | 6.710      | 500.000    |
| 3  | Пряма           | 51.390     |            |
| 4  | Крива           | 8.720      | 300.000    |
|    | Вершина гірки   | 0.600      | 0.000      |
| 5  | Пряма           | 11.500     |            |
| 6  | Крива           | 10.470     | 200.000    |
|    | Розд. елем. 1   | 5.260      | 11.380     |
| 7  | Стрілка         | 17.510     | 4.730      |
|    | Перел. проф. 3  | 8.560      | 0.000      |
| 8  | Глухе песічення | 8.080      | 0.000      |
| 9  | Стрілка         | 17.510     | 4.730      |
| 10 | Пряма           | 27.950     |            |
|    | Розд. елем. 2   | 27.950     | 13.480     |
|    | Ост. упов. ГП1  | - 0.500    | 25.950     |
| 11 | Крива           | 28.370     | 200.000    |
|    | Перел. проф. 4  | - 1.500    | 7.000      |
|    | Розд. елем. 3   | 5.260      | 11.380     |
| 12 | Стрілка         | 17.510     | 4.730      |
| 13 | Крива           | 6.980      | 200.000    |
| 14 | Пряма           | 27.950     |            |
|    | Розд. елем. 4   | - 3.000    | 13.480     |
|    | Ост. упов. ГП2  | - 3.500    | 25.950     |
|    | Розд. елем. 5   | 5.260      | 11.380     |
|    | Перел. проф. 5  | - 2.260    | 2.000      |
| 15 | Стрілка         | 17.510     | 4.730      |
| 16 | Крива           | 7.910      | 200        |
|    | Розд. елем. 6   | 5.260      | 11.380     |
| 17 | Стрілка         | 17.510     | 4.730      |
| 18 | Пряма           | 12.310     |            |
| 19 | Крива           | 3.760      | 200.000    |
| 20 | Пряма           | 12.310     |            |
| 21 | Стрілка         | 17.510     | 4.730      |
| 22 | Пряма           | 5.260      |            |
|    | Розд. елем. 7   | 5.260      | 11.380     |
| 23 | Стрілка         | 17.510     | 4.730      |
| 24 | Пряма           | 0.560      |            |
| 25 | Крива           | 89.300     | 160.000    |
|    | Ост. упов. ГП3  | - 12.460   | 7.920      |

|    |                |         |       |
|----|----------------|---------|-------|
|    | Перел. проф. 6 | 64.600  | 0.600 |
| 26 | Пряма          | 100.000 |       |
|    | Розрах. точка  | 17.600  | 0.600 |

Параметри елементів розрахункового маршруту наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 –Параметри елементів розрахункового маршруту

Результатом моделювання являються характеристики елементів поздовжнього профілю, що наведені в таблиці 2.10. Згідно даних результатів будуємо поздовжній профіль гірки, який наведений на рисунку 2.4.

Таблиця 2.10 – Характеристики елементів поздовжнього профілю гірки

| Точки перелому профілю | Елемент плану | Положення ТПП ds,м | Ухил % | Параметри елементів профілю |        | Відмітки ТПП, м |
|------------------------|---------------|--------------------|--------|-----------------------------|--------|-----------------|
|                        |               |                    |        | довжина, м                  | dH, м  |                 |
| 1                      | 1             | 50.00              | - 5.0  | 50.0+6.99                   | -0.250 | 3.658           |
| 2- ВГ                  | 4             | 0.60               | 48.9   | 31.52                       | 1.541  | 3.908           |
| 3                      | 7             | 8.56               | 23.9   | 63.61                       | 1.520  | 2.367           |
| 4                      | 11            | - 1.50             | 7.0    | 77.30                       | 0.541  | 0.847           |
| 5                      | 14            | 2.26               | 2.0    | 138.85                      | 0.278  | 0.306           |
| 6                      | 25            | 64.60              | 0.6    | 47.00                       | 0.028  | 0.028           |
| 7                      | 26            | 17.60              | 0.6    |                             |        | 0.000           |

## 2.4 Моделювання скочування відчепів з гірки

Конструкція сортувальної гірки повинна перевірятися на відповідність вимогам до швидкості розпуску, гальмових засобів, переробної здатності. Перевірка виконується шляхом моделювання процесу скочування вагонів з гірки. Моделюванням отримують дані швидкості  $V = f(S)$  і тривалості  $T = f(S)$  скочування вагонів, які використовують для аналізу працездатності гірки[46].

Конструкція і технічне оснащення сортувальної гірки повинні забезпечувати розмежування відчепів на окремих елементах: стрілочних переводах, вагоноуповільнювачах, граничних стовпчиках, проміжних ізольованих ділянках. Розмежування потрібно для можливості переведення між суміжними відчепами стрілок і вагоноуповільнювачів з одного положення в інше; безперешкодного проходження відчепами граничних стовпчиків, нормального функціонування пристроїв ГАЦ і систем автоматизації. Умовою розмежування є наявність інтервалу часу між

послідовними моментами звільнення елемента відчепом і зайняття його наступним відчепом.

Для окремого елемента моментами зайняття і звільнення його відчепами вважаються: для стрілочного переводу, вагоноуповільнювача, проміжної ділянки – вхід на ізольовану секцію і вихід з неї крайніх колісних пар відчепа, для граничного стовпчика – підхід до нього і прохід за нього торцевих стінок відчепа.

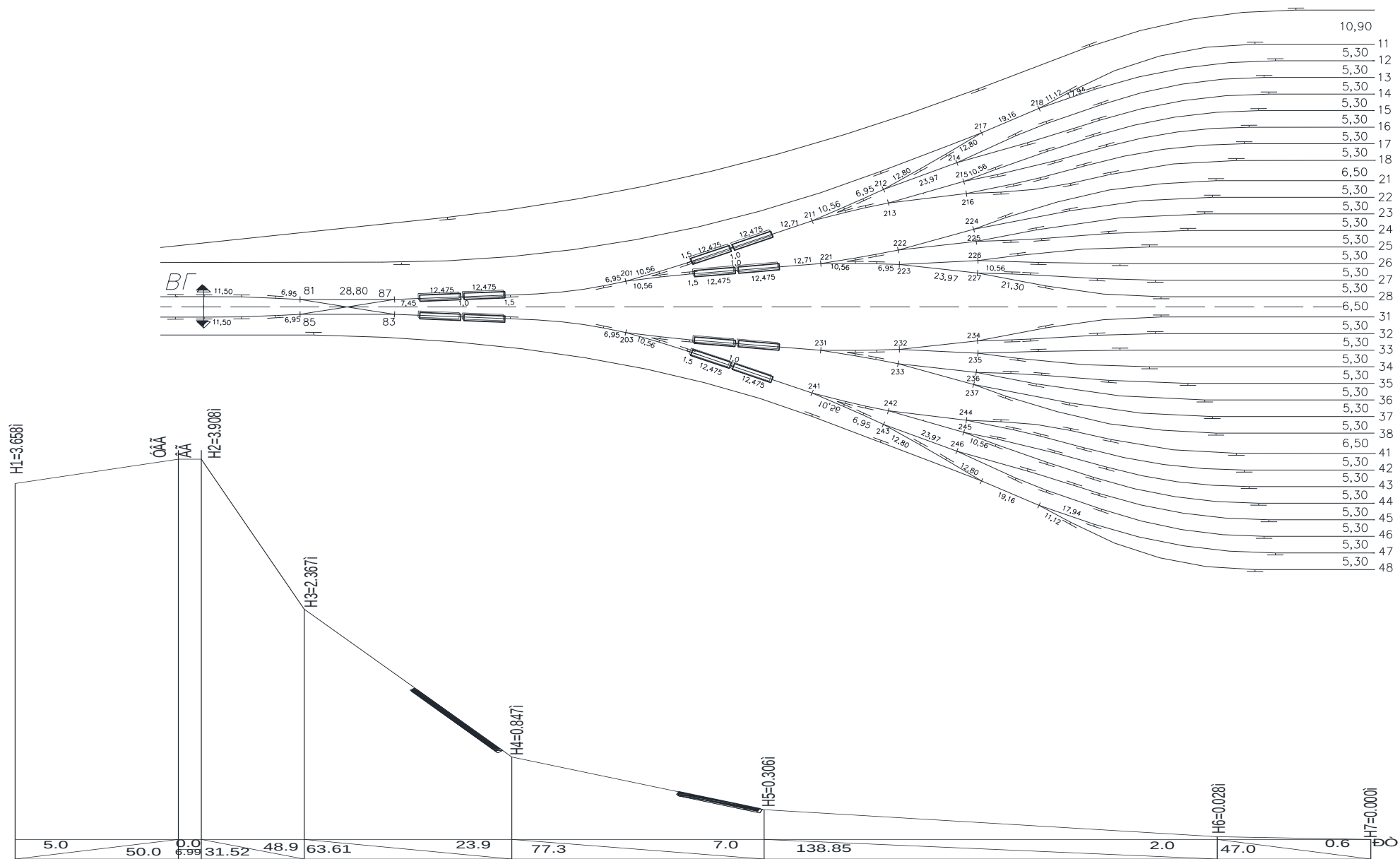


Рисунок 2.4 – План та профіль сортувальної гірки

Для забезпечення розмежування суміжних відчепів кожен з них повинен входити на елемент після звільнення його попереднім відчепом, тобто повинна виконуватись умова:

$$I_0 = TE_2 > TG_1, \quad (2.14)$$

де  $I_0$  – інтервал відриву суміжних відчепів на ВГ;

$TE_2$  – тривалість скочування другого відчепа в парі від ВГ до входу на елемент;

$TG_1$  – тривалість скочування першого відчепа від ВГ до виходу з елемента.

Проміжок часу між моментами звільнення елемента першим відчепом  $TG_1$  і моментом зайняття другим відчепом  $TE_2$  являє собою резерв інтервалу  $\delta t$ .

Для надійного розмежування відчепів на окремому елементі потрібно мати резерв інтервалу не менше  $\delta t_{\min}$ , величина якого залежить від типу елемента:

- для граничного стовпчика  $\delta t_{\min}=0$ ;
- для ізольованих ділянок стрілочних переводів  $\delta t_{\min}=1$  с;
- для ізольованих ділянок вагонних уповільнювачів  $\delta t_{\min}=0.8$  с.

Таким чином, можливість розмежування відчепів відповідає умові:

$$\delta t \geq \delta t_{\min} \quad (2.15)$$

Більш точно аналіз можна виконати аналітичним розрахунком резервів інтервалів  $\delta t$  за допомогою формули:

$$\delta t = I_0 + TE_2 - TG_1 \quad (2.16)$$

Інтервал відриву суміжних відчепів ( $I_0$ ) визначається за формулою:

$$I_0 = \frac{l_{B1} + l_{B2}}{2V_0}, \quad (2.17)$$

де  $l_{B1}, l_{B2}$  – довжина відповідних відчепів у сполученні  $l_{B1} = l_{B2} = 13,92\text{м}$ ;  
 $V_0$  – швидкість розпуску ( $V_0 = 1,7 \text{ м/с}$ ).

$$I_0 = \frac{13,92+13,92}{2 \cdot 1,7} = 8,2 \text{ с.}$$

Значення  $TE$  і  $TG$  беруться з таблиці швидкості й тривалості скочування відчепів (табл. 2.11).

Таблиця 2.11 – Результати швидкості та тривалості скочування відчепів

| Найменуванняточок | S,м    | Параметрибігуна П |        | Параметрибігуна Х |       |
|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|-------|
|                   |        | V, м/с            | T, с   | V, м/с            | T, с  |
| Вершина гірки     | 0,00   | 1,70              | 0,00   | 1,70              | 0,00  |
| Вхідр.е. 1        | 12,06  | 2,90              | 6,38   | 3,21              | 5,64  |
| Вихід р.е.1       | 33,94  | 4,76              | 12,32  | 5,15              | 11,29 |
|                   | 50     | 4,88              | 15,73  | 5,43              | 14,47 |
| Вхідр.е. 2        | 60,42  | 5,02              | 17,96  | 5,83              | 16,97 |
| Вхідгп 1          | 60,92  | 5,02              | 18,08  | 5,83              | 17,03 |
| Вихід р.е.2       | 84,40  | 5,15              | 22,41  | 6,08              | 21,53 |
| Вихідгп 1         | 97,37  | 5,15              | 24,38  | 6,17              | 23,40 |
|                   | 100    | 5,12              | 24,75  | 6,21              | 23,84 |
| Вхідр.е. 3        | 111,48 | 5,02              | 26,45  | 6,29              | 25,50 |
| Вихід р.е.3       | 133,36 | 4,95              | 29,93  | 6,30              | 28,81 |
| Вхідр.е. 4        | 144,23 | 4,91              | 32,02  | 6,35              | 30,85 |
| Вхідгп 2          | 144,73 | 4,91              | 32,21  | 6,36              | 31,08 |
|                   | 150    | 4,89              | 33,25  | 6,23              | 31,97 |
| Вихід р.е.4       | 165,21 | 4,85              | 36,40  | 4,21              | 34,64 |
| Вхідр.е. 5        | 168,18 | 4,83              | 37,08  | 3,84              | 35,21 |
| Вихідгп 2         | 178,18 | 4,77              | 39,02  | 2,95              | 37,28 |
| Вихідр.е. 5       | 190,06 | 4,61              | 41,43  | 3,01              | 40,01 |
| Вхідр.е. 6        | 193,60 | 4,58              | 42,21  | 3,00              | 40,88 |
|                   | 200    | 4,53              | 43,68  | 3,02              | 42,37 |
| Вихід р.е.6       | 215,48 | 4,28              | 46,88  | 3,03              | 46,34 |
| Вхідр.е. 7        | 247,49 | 3,77              | 54,16  | 3,08              | 54,37 |
|                   | 250    | 3,74              | 54,76  | 3,07              | 54,91 |
| Вихід р.е.7       | 269,57 | 3,30              | 60,54  | 3,07              | 60,64 |
| Вхід ГС           | 281,59 | 3,05              | 64,03  | 3,07              | 64,30 |
| Вихід ГС          | 295,51 | 2,83              | 68,35  | 3,07              | 68,80 |
| Вхід ПГП          | 298,05 | 2,85              | 69,05  | 3,07              | 69,59 |
|                   | 300,00 | 2,74              | 70,21  | 2,94              | 70,66 |
| Вихід ПГП         | 318,40 | 2,32              | 78,17  | 1,71              | 77,66 |
|                   | 350,00 | 1,54              | 92,07  | 1,52              | 92,51 |
| РТ                | 358,28 | 1,30              | 100,01 | 1,50              | 98,87 |

Наприклад, за даними таблиці 2.11 для стрілочного переводу 81 (р.е. 1) маємо:

$$TE_{\text{дп}} = 6,38 \text{ с}; TG_{\text{дп}} = 12,32 \text{ с}; TE_{\text{дх}} = 5,64 \text{ с}; TG_{\text{дх}} = 11,29 \text{ с}.$$

Користуючись (2.16) визначаємо резерви інтервалів  $\delta t$  при  $I_0 = 8,2 \text{ с}$ .

У сполученні ДП1 – ДХ2  $\delta t = 8,2 + 5,64 - 12,32 = 1,52 \text{ с}$ ;

У сполученні ДХ1 – ДП2  $\delta t = 8,2 + 6,38 - 11,29 = 3,29 \text{ с}$ ;

Аналогічно виконуємо розрахунки для всіх роздільних елементів, вихідні дані й результати подаємо в табличному вигляді (табл. 2.12).

Таблиця 2.12 – Розрахунок резервів інтервалів

| № п.п | Найменування елементів | SE, м  | SG, м  | Сполучення П <sub>1</sub> – Х <sub>2</sub> |                 |            |                         | Сполучення Х <sub>1</sub> – П <sub>2</sub> |                 |            |                         |
|-------|------------------------|--------|--------|--------------------------------------------|-----------------|------------|-------------------------|--------------------------------------------|-----------------|------------|-------------------------|
|       |                        |        |        | TE <sub>2</sub>                            | TG <sub>1</sub> | $\delta t$ | $\delta t_{\text{min}}$ | TE <sub>1</sub>                            | TG <sub>2</sub> | $\delta t$ | $\delta t_{\text{min}}$ |
| 1     | ІД СП №81              | 12,06  | 33,94  | 5,64                                       | 12,32           | 1,52       | 1,0                     | 6,38                                       | 11,29           | 3,29       | 1,0                     |
| 2     | ІД ГП1                 | 60,42  | 84,40  | 16,97                                      | 22,41           | 2,76       | 0,8                     | 17,96                                      | 21,53           | 4,63       | 1,2                     |
| 3     | ІД СП № 201            | 111,48 | 133,36 | 25,50                                      | 29,93           | 3,77       | 1,0                     | 26,45                                      | 28,81           | 5,84       | 1,0                     |
| 4     | ІД ГП 2                | 144,23 | 165,21 | 30,85                                      | 36,40           | 2,65       | 0,8                     | 32,02                                      | 34,64           | 5,58       | 1,2                     |
| 5     | ІД СП №211             | 168,18 | 190,06 | 35,21                                      | 41,43           | 1,98       | 1,0                     | 37,08                                      | 40,01           | 5,27       | 1,0                     |
| 6     | ІД СП № 212            | 193,60 | 215,48 | 40,88                                      | 46,88           | 2,20       | 1,0                     | 42,21                                      | 46,34           | 4,07       | 1,0                     |
| 7     | ІД СП №218             | 247,49 | 269,57 | 54,37                                      | 60,54           | 2,03       | 1,0                     | 54,16                                      | 60,64           | 1,72       | 1,0                     |
| 8     | ГС                     | 281,59 | 295,51 | 64,30                                      | 68,35           | 4,15       | 0                       | 64,03                                      | 68,80           | 3,43       | 0                       |

Також можливе графічне зіставлення цих резервів на відповідність умові (рисунок 2.5). Для перевірки умови розмежування відчепів для кожного елемента згідно з координатами входу SE і виходу SG на кривих  $T = f(S)$  кожного бігуна, визначаються відповідні моменти входу TE і виходу TG, показують фактичні  $\delta t$  і мінімальні  $\delta t_{\text{min}}$  резерви інтервалів.

Відповідність отриманих значень  $\delta t$  умові (2.15) свідчить про можливість розмежування відчепів і відповідності гірки необхідним вимогам щодо можливості реалізації встановленої швидкості розпуску.

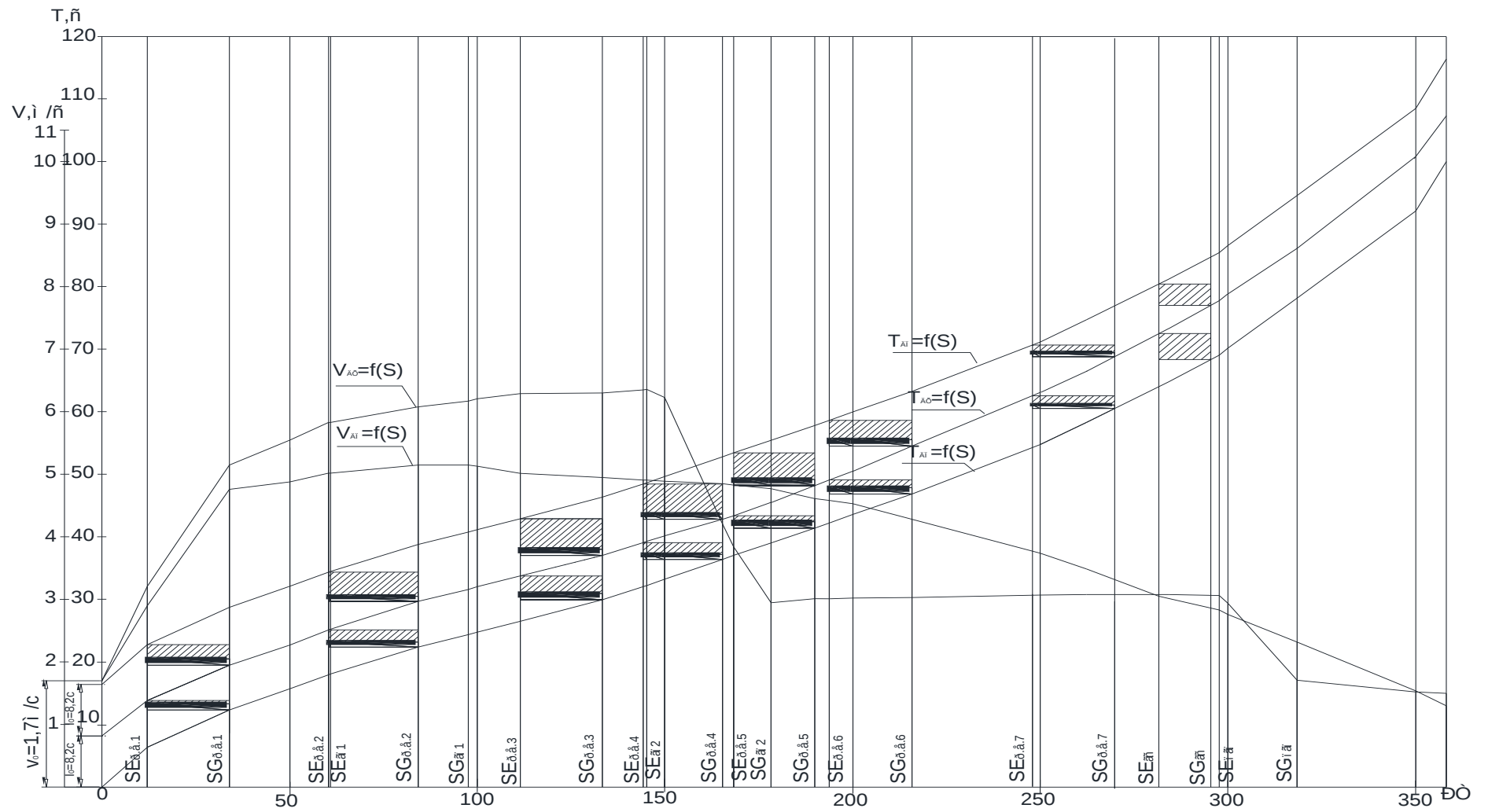


Рисунок 2.5 – Криві швидкості та часу скочування відчепу

## **З ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВАГОНОПОТОКІВ, ЩО ПРИБУВАЮТЬ У РОЗФОРМУВАННЯ НА СТАНЦІЮ К**

При побудові моделі процесу розформування составу, необхідно виконати збір та статистичну обробку даних про існуючі умови функціонування конкретної сортувальної гірки на існуючій сортувальній станції. Так, в магістерській роботі виконано детальний аналіз функціонування сортувальної гірки станції Запоріжжя - Ліве Придніпровської залізниці.

### **3.1 Дослідження характеристик вагонопотоків**

З метою одержання числових характеристик законів розподілу випадкових величин параметрів відцепів було виконано аналіз телеграм-натурних листів для составів, що прибувають у розформування (Додаток Б). У результаті статистичної обробки даних для кожного состава визначено наступні характеристики: кількість вагонів у відцепі, ймовірність появи різних сполучень відцепів при розпуску, кількість вагонів відповідної вагової категорії. На рис. 3.1. наведено розподіл кількості вагонів у відцепі.

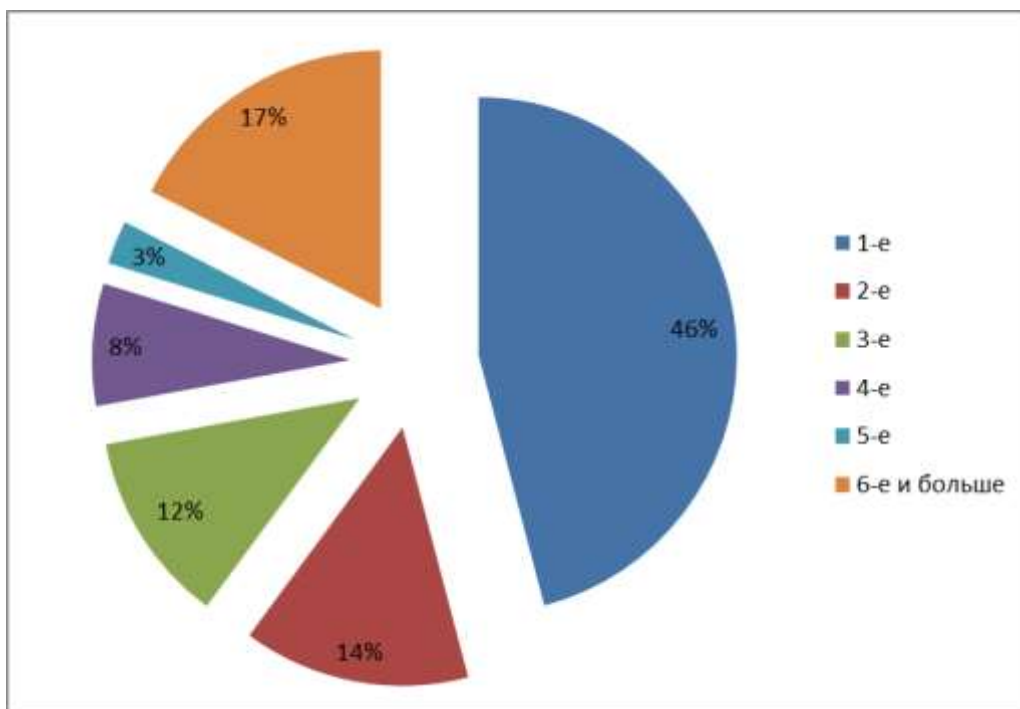


Рисунок 3.1- Гістограма розподілу кількості вагонів у відцепі  
Відповідно до ваги бруто вагона виділяють 5 вагових категорій вагонів:

- порожні (П – маса брутто 0т)
- легку (Л – 22 – 28т);
- легку-середню (ЛС – 28 – 44 т);
- середню (С – 44 – 60 т);
- середню-важку (СВ – 60 – 72 т);
- важку (В – 72 – 85 т).

На рис 3.3. наведено розподіл кількості вагонів по ваговим категоріям.

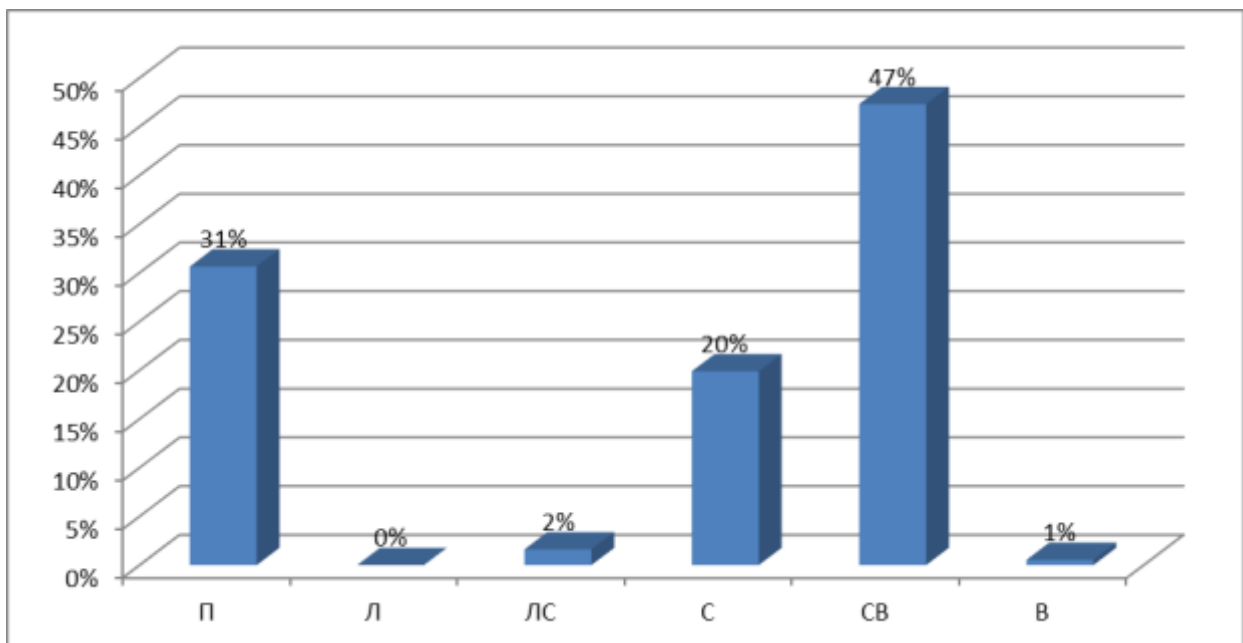


Рисунок 3.2 – Гістограма розподілу кількості вагонів по ваговим категоріям

Під час здавання вантажів для перевезення відправником має бути зазначена у накладній їх маса.

Маса вантажів визначається відправником. Спосіб визначення маси зазначається у накладній. Загальна маса вантажу визначається зважуванням на вагах, за трафаретом, за стандартом, за обміром, умовно і шляхом розрахунків.

В наслідок впливу на вантажі в процесі перевезення великої кількості факторів можуть виникати його втрати у незначній кількості.

Точна маса вантажу  $X$  при вимірюванні будь-яким методом завжди залишається невідомою, тому що результат будь-якого вимірювання завжди містить у собі похибку.

Як відомо, існують дві можливі похибки вимірювання: абсолютна та відносна.

Абсолютну похибку  $\delta_a$  виражають в одиницях вимірюваної величини, вона дорівнює різниці між отриманим при вимірюванні значенням  $A$  і її дійсним значенням величини  $X$ :

$$\delta_a = A - X \quad (3.1)$$

Дійсне значення величини  $X$  може бути визначено методами математичної статистики при багаторазових вимірах або шляхом вимірювання засобами визначення маси, похибка яких не менше ніж в 3 рази менше похибки застосовуваного засобу вимірювання маси. Для практичного визначення маси вантажу абсолютна похибка, як правило, не застосовується. Відносна похибка при ( $X = A$ ) дорівнює відношенню абсолютної похибки до вимірювального значення величини.

Відносну похибку виражають у відсотках:

$$\delta_{\text{від}} = \frac{\Delta}{A} \cdot 100 \cdot \% \quad (3.2)$$

При практичних вимірюваннях маси, як правило, використовується відносна похибка, яка у вигляді граничної похибки вказується в паспорті засобу вимірювання маси і в нормативних документах.

Під граничною похибкою розуміється максимальне допустиме відхилення виміряного значення маси  $A$  від дійсного значення  $X$ .

У разі, коли в технічному паспорті ваг вказується тільки абсолютна похибка, то відносна похибка може бути визначена за вищенаведеною формулою. Значення граничної похибки використовується при розрахунках граничного розходження в результатах вимірювання маси вантажу.

З метою спрощення визначення результатів вимірювання маси вантажу значення граничної похибки в нормативних документах наводяться для інтервалів вимірюваної величини маси вантажу.

На залізничному транспорті визначені випадки, коли залізниця зобов'язана перевірити масу вантажу. Маса вантажу вважається правильною, якщо різниця між масою вантажу, зазначеній в накладній на станції відправлення, порівняно з масою вантажу, визначеної при перевірці на станції призначення, не перевищує: при недостатчі маси – норми природної втрати і граничного відхилення маси вантажу нетто, розрахованого виходячи з граничного розходження визначення маси нетто; при надлишку маси – граничного відхилення маси вантажу нетто, розрахованого виходячи з граничного розходження визначення маси вантажу нетто.

Норма природної втрати обчислюється від маси вантажу, зазначеної в графі «Разом маса нетто».

Тарні і штучні вантажі перевозяться із зазначенням у накладній маси і кількості вантажних місць. Маса цих вантажів визначається за трафаретом на вантажних місцях (маса брутто), або за стандартом, коли всі місця мають стандартну, тобто однакову, масу.

При цьому маса вантажу нетто вважається правильною, якщо різниця між масою нетто, визначеної на станції відправлення (зазначеної в накладній), порівняно з масою вантажу нетто, визначеної при перевірці на станції призначення, не перевищує:

- при недостатчі маси – граничного відхилення, розрахованого виходячи з граничного розходження в результатах визначення маси вантажу нетто.

Гранична похибка визначення маси одного вантажного місця приймається рівною  $\pm 0,1\%$ . Це значення обумовлено граничною похибкою засобів вимірювання маси, що використовуються на підприємствах, відвантажує тарно-штучні вантажі (товарні ваги та дозатори).

Маса зернових вантажів та вантажів, які перевозяться насипом та навалом, визначається відправником на вагонних, елеваторних та інших вагах або за допомогою дозувальних пристроїв або інших спеціальних приладів. У разі перевезення вантажів з устаткуванням, яке знімається і утепленням, у накладній під найменуванням вантажу зазначається маса обладнання і утеплювальних матеріалів і

спосіб її визначення. Маса обладнання, яке знімається і матеріалів для утеплення у масу тари вагона не враховується.

При цьому в графі накладної «Разом кількість місць» вказується «насіпом».

У графі накладної «Спосіб визначення маси» вказується тип ваг і гранична похибка вимірювання маси в залежності від типу ваг і методу зважування, наприклад, «вагонні ваги,  $\pm 0,3\%$ », «елеваторні ваги  $\pm 0,1\%$ ».

При перевірці тари вагона на вагонних вагах із зупинкою і розчепленням в графі накладної «Тара» слова «з бр.» закреслюються. У випадку, коли тара на вагонних вагах не перевірялася, слово «пров.» закреслюється.

Маса вантажів, які перевозяться наливом у вагонах-цистернах, визначається зважуванням або заміром висоти наливу і визначенням об'єму налитого вантажу і його маси за допомогою спеціальних таблиць калібровки залізничних цистерн. Маса харчових наливних вантажів визначається на вагонних вагах, а у разі їх відсутності – на товарних вагах.

Припускається застосування вагонних ваг для зважування в русі, якщо при зважуванні всі колеса цистерни одночасно знаходяться на вантажопідйомному пристрої ваг.

Значення похибки вимірювання наливних вантажів коливаються: за допомогою прямих методів  $\pm 0,25-0,80\%$ ; при об'ємно-масовому статичному методі –  $\pm 0,80\%$ .

Маса лісних вантажів і дров визначається умовно із зазначенням у накладній кількості штабелів і їх висоти. Зважування цих вантажів виконується на кранових вагах. При цьому, значення граничної похибки  $\delta_{\text{зр}}$  при вказівці у накладній відомостей про застосування кранових ваг для зважування лісових вантажів приймається  $\pm 0,5\%$ .

Важливою умовою договору перевезення між залізницею та вантажовідправником є забезпечення схоронності вантажу в процесі транспортування. Природною втратою продукції або товару є втрати (зменшення маси продукції або товарів при зберіганні якості в межах вимог нормативних документів), що є наслідком фізико-хімічних властивостей, впливу

метеорологічних факторів та недосконалості засобів захисту продукції та товарів від втрат при транспортуванні та зберіганні. У теперішній час затверджені норми природної втрати вантажу складають: рудно-металургійна сировина – від 0,15 до 0,9 т; кокс – від 0,30 до 0,75 т; шлаки гранульовані – від 0,4 до 0,7 т; вогнетриви – від 0,2 до 0,9 т; метали чорні – 0,65 т; метали кольорові – 0,65 т; шлаки металургійні – 0,65 т.

В роботі [44] проведено аналіз даних про масу вантажу, які отримані з перевізних документів, та зіставлені з даними, одержаними в результаті зважування. В результаті цього було встановлено розбіжності між цими величинами. Згідно гістограми розподілу розбіжності можна вважати, що дана випадкова величина має нормальний закон розподілу.

### **3.2 Структура, послідовність та методи проведення досліджень**

Виконаний аналіз наукових робіт по проблемі підвищення ефективності розформування составів на сортувальних гірках в сучасних умовах показав, що існує багато автоматизованих систем управління скочуванням відчепів, але усі вони не враховують випадковий характер параметрів відчепів та умов навколишнього середовища. У зв'язку з тим метою даного розділу є дослідження характеристик вагонопотоків, що переробляються на сортувальних станціях України.

Проблеми підвищення ефективності роботи та перероблювальної спроможності сортувальних станцій складні та різноманітні. Для цього обґрунтовується вибір напрямку досліджень, визнається науковий підхід до вирішення даної задачі та розробляється загальна методика проведення дисертаційних досліджень.

При розв'язанні задачі підвищення ефективності роботи сортувальних гірок, що забезпечують розформування поїздів на сортувальних станціях за рахунок удосконалення методів управління скочуванням відчепів необхідно використовувати системний підхід.

Системний підхід - це комплексне вивчення об'єкта як одного цілого з представленням частин його як цілеспрямованих систем і вивчення цих систем та

взаємовідносин між ними. При системному підході об'єкт розглядається як сукупність взаємопов'язаних елементів однієї складної динамічної системи, яка перебуває в стані постійних змін під впливом багатьох внутрішніх і зовнішніх факторів, пов'язаних процесами перетворення вхідного набору ресурсів в інші вихідні ресурси.

Процес поділу систем на елементи, зручні для якихось операцій з нею, а саме поділ до елементів, які приймаються за неподільні об'єкти називається декомпозицією. Головна мета декомпозиції - поділ системи на простіші частини. Зменшуючи складність системи, ми забезпечуємо умови для аналізу та синтезу компонентів, для проектування, побудови, впровадження, експлуатації та вдосконалення систем управління. Поділ звичайно виконують у такий спосіб, щоб компоненти піддавались якій-небудь класифікації.

Сортувальна гірка являє собою складну систему, тому в дисертації задача підвищення ефективності роботи сортувальних гірок на основі удосконалення методів управління розформуванням составів розглядається на двох рівнях: перший рівень - процес скочування поодиноких відчепів, другий рівень - розформування составів, які складаються з окремих відчепів.

При розгляданні процесу розформування составів з гірки, як системи необхідно враховувати наступне, що кожна система поведінка якої залежить від дії випадкових факторів є стохастичною. Будь-яка система, вхідні параметри якої залежать від часу називається динамічною. Із урахуванням визначення лінійності і не лінійності систем, можна зробити висновок, що процес скочування відчепів з гірки є нелінійною системою.

До основних задач системи відноситься забезпечення заданого темпу роботи при мінімальних експлуатаційних витратах на реалізацію процесу розпуску. Для цього необхідно моделювати процес розформування з гірки з урахуванням впливу випадкових факторів. Досягнення поставленої мети можливо при розгляданні задачі дослідження на двох рівнях: на початку розглянути процес скочування поодинокого відчепа з гірки, а потім дослідити процес розформування состава в цілому. Для кожного з цих рівнів характерні свої задачі.

Таким чином, процес розформування составів підлягає впливу великої кількості випадкових факторів, у зв'язку з цим, для вирішення задач оптимізації технології роботи сортувальних гірок необхідна розробка імітаційних моделей для ЕОМ і методів управління розпуском, які будуть враховувати стохастичний характер параметрів составів та умов їх розпуску.

Визначення статистичних характеристик вагонопотоків, що переробляються на сортувальній станції К, показало, що значну кількість (біля 57 %) складають одновагонні відчепи. В теперішній час режими гальмування відцепів вибираються в залежності від їх вагової категорії, яка визначається по масі вагонів відчепа, вказаної у перевізних документах. Однак дослідження показали, що в багатьох випадках спостерігається відхилення фактичної маси вантажу від вказаної в перевізних документах.

Так як величина опору руху від середовища та вітру залежить від величини швидкості вітру на маршруті скочування, також значний вплив на вибір режимів гальмування здійснює напрямок вітру, який змінюється, та площа навітряної поверхні вагона, яка коливається від  $4\text{м}^2$  для вагонів платформ до  $17\text{м}^2$  для критих вагонів.

## 4 ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СКОЧУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ

### 4.1. Методи моделювання процесу скочування відчепів

Сортувальні гірки являють собою складні системи, під час роботи яких взаємодіє значна кількість різноманітних об'єктів. Процес скочування відчепів з гірки є одним з основних елементів розформування-формування составів вантажних поїздів на станціях. Дослідження скочування відчепів потрібно виконувати на стадії проектування сортувальних гірок, їх механізації, під час розробки автоматизованих систем управління розформуванням, аналізу техніко-експлуатаційних показників роботи сортувальних гірок та в ході навчання оперативного персоналу.

Вперше детальні аналітичні дослідження процесу скочування відчепів з гірок були виконані академіком В. М. Образцовим. У цій праці рівняння руху описано виразом

$$P = mv \frac{dv}{ds}, \quad (4.1)$$

де  $P$  – рушійна сила;  
 $m$  – маса відчепа;  
 $v$  – швидкість руху відчепа;  
 $s$  – відстань скочування.

Рушійна сила визначається з виразу

$$P = F - W, \quad (4.2)$$

де  $F$  – проекція ваги відчепа на площину скочування;  
 $W$  – сила опору руху відчепа.

Проекція ваги відчепа на площину його скочування визначається за формулою

$$F = Q \sin \alpha_n, \quad (4.3)$$

а величина опору руху – за формулою

$$W = Qw_0 + 0,07 f_b (v + v_b)^2 + 0,75 \frac{Q}{R}, \quad (4.4)$$

де  $\alpha_n$  – кут нахилу;

$w_0$  – основний питомий опір руху вагона;

$f_b$  – площа поперечного перерізу вагона;

$v_b$  – швидкість вітру;

$Q$  – вага відчепа;

$R$  – радіус кривої.

Для спрощення розрахунків проф. В. Д. Нікітін розробив наближений аналітичний метод розв'язання рівняння руху, що базувався на припущенні про постійний опір руху на деякій ділянці маршруту скочування. Практичні розрахунки на початковому етапі розвитку теорії гіркових процесів здійснювалися графоаналітичним та графічним методами, які наведені в роботах академіка В. М. Образцова та проф. М. Р. Ющенка .

У сучасних умовах для моделювання скочування відчепів на сортувальних гірках використовуються диференціальні рівняння, у яких незалежною змінною є шлях

$$ds = \frac{v dv}{g'(i(s) - w_0 - w_{ck}(v) - w_{cb}(v) - b_r(s)) \cdot 10^{-3}} \quad (4.5)$$

або час

$$dt = \frac{dv}{g'(i(s) - w_0 - w_{ck}(v) - w_{cb}(v) - b_r(s)) \cdot 10^{-3}}. \quad (4.6)$$

Найбільш близький до точного аналітичний розв'язок диференціального рівняння руху відчепа сортувальною гіркою отримано проф. І. В. Жуковицьким . У цій роботі наведено вирази для побудови кривих швидкості  $v(t)$  та шляху  $s(t)$  при різних співвідношеннях між ухилом колії  $i$  та основним опором руху відчепа  $w_0$ . Окрім того, для випадку відсутності вітру отримано точний розв'язок у вигляді  $v(s)$ . Наведені розв'язки отримані при постійному ухилі  $i$ , і тому при моделюванні скочування відчепа по змінному профілю за допомогою виразів  $v(t)$  і  $s(t)$  необхідно визначати на кожному кроці  $\Delta t$  значення  $i(s)$ . При цьому для розрахунку  $i(s)$  на кроці  $\Delta t$  слід знати положення відчепа  $s(t)$  у кінці кроку, яке є невідомим. Недоліком розв'язку, є також те, що в ньому не враховується опір середовища та вітру.

Основним підходом, який застосовується на сьогодні для розв'язання рівнянь (4.5) та (4.6), є числові методи розв'язання диференціальних рівнянь. Зокрема, професором В. І. Бобровським розроблено методи моделювання скочування відчепів на сортувальних гірках на підставі розв'язання диференціальних рівнянь методом Рунге–Кутта та досліджено їх ефективність.

Необхідно зауважити, що розвиток методів моделювання гіркових процесів значною мірою пов'язаний із задачами механізації та автоматизації роботи сортувальних гірок.

Управління швидкістю скочування відчепів досягається за рахунок імітації впливу на вагони гальмових уповільнювачів і створення ними додаткової сили опору. При цьому керованими параметрами є швидкості виходу відчепів з першої  $v'$  та другої  $v''$  гальмових позицій, а швидкість виходу відчепів з паркової гальмової позиції обирається з умов забезпечення вимог прицільного регулювання швидкості їх руху. Ці швидкості утворюють режим гальмування відчепа

$$v = \{v', v''\}. \quad (4.7)$$

Режими гальмування відчепів є обмеженими через необхідність виконання вимог прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування, а також через обмеження швидкості входу відчепів на окремі елементи гірки. Для графічного відображення режимів гальмування відчепів запропоновано кожному з них у відповідність ставити точку на площині. Допустимі режими скочування одиночного відчепа при цьому зображуються у вигляді замкнутої області допустимих режимів гальмування (ОДР)  $\Omega_t$  (рис. 4.1). Швидкості скочування відчепів фізично являють собою невід'ємні значення. У зв'язку з цим усі можливі швидкості виходу відчепів з гальмових позицій розташовані в першому квадранті. Межі області  $\Omega_t$  відповідають гранично можливим або гранично допустимим швидкостям виходу відчепів з гальмових позицій. Опис цих обмежень наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Обмеження допустимих режимів скочування одиночного відчепа

| № | Опис                                                                                                                                                                                              |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Режими з максимально можливими швидкостями виходу відчепів з першої гальмової позиції. Реалізуються при скачуванні відчепа на першій гальмової позиції (ГП1) без гальмування. Обмеження лінійне   |
| 2 | Режими з максимально можливими швидкостями виходу відчепів з другої гальмової позиції (ГП2). Реалізуються при скачуванні відчепа на другій гальмовій позиції без гальмування. Обмеження нелінійне |
| 3 | Обмеження за допустимою ймовірністю зупинки відчепа в уповільнювачах паркової гальмової позиції (ППП). Обмеження лінійне                                                                          |
| 4 | Обмеження за допустимою швидкістю зіткнення вагонів у сортувальному парку. Обмеження лінійне                                                                                                      |
| 5 | Обмеження за допустимою швидкістю входу відчепа на ГП2. Обмеження лінійне                                                                                                                         |
| 6 | Обмеження за потужністю ГП1. Реалізуються при скочуванні відчепа з гальмуванням на першій гальмовій позиції повною потужністю. Обмеження лінійне                                                  |
| 7 | Обмеження за потужністю ГП2. Реалізуються при скочуванні відчепа з гальмуванням на другій гальмовій позиції повною потужністю. Обмеження нелінійне                                                |

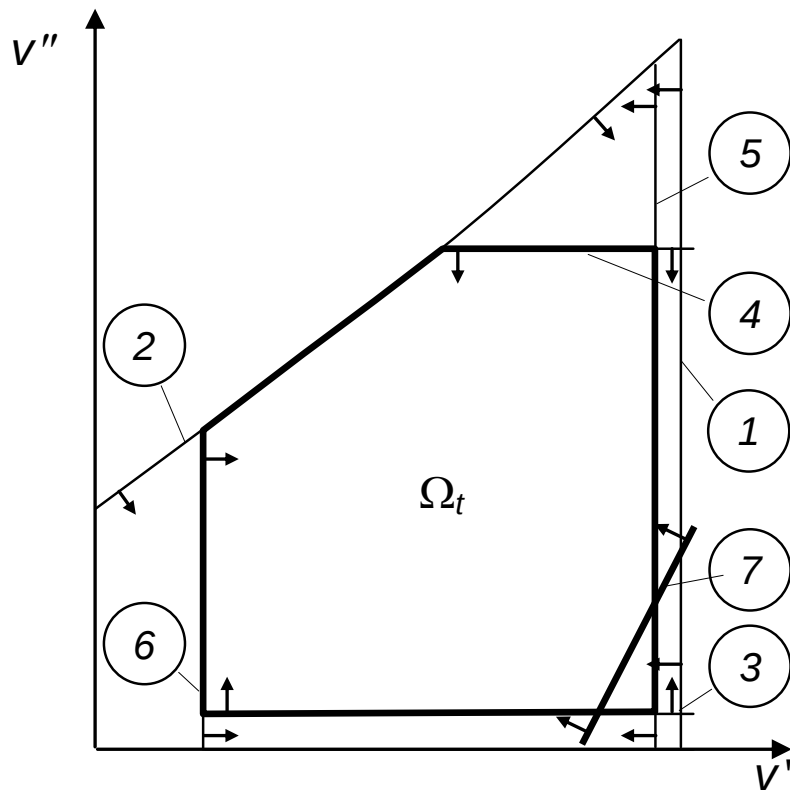


Рисунок 4.1 – Область допустимих режимів гальмування

Показники роботи сортувальних гірок суттєво залежать від вибору режимів гальмування відчепів. Оптимальне керування розпуском передбачає використання таких режимів гальмування, при яких забезпечуються найкращі умови розділення відчепів на стрілках і уповільнювачах, а також виконуються вимоги прицільного регулювання швидкості скочування.

Під час розв'язання задачі з вибору режимів гальмування відчепів складає як елементарна розрахункова група зазвичай розглядається група з трьох відчепів. Величини інтервалів між відчепами на розділових елементах залежать від часу звільнення й зайняття розділових елементів першим і третім відчепами розрахункової групи, а також від режимів гальмування, що визначають швидкості виходу керованого відчепа з першої (ГП1) і другої (ГП2) гальмових позицій:

$$\begin{aligned} \delta t_1(v'_2, v''_2) &= t_{н,1} + t_2(s_1, v'_2, v''_2) - \tau_1(s_1), \\ \delta t_2 &= t_{н,2} + t_3(s_2) - \tau_2(s_2, v'_2, v''_2), \end{aligned} \quad (4.8)$$

де  $t_{н,1}$ ,  $t_{н,2}$  – початкові інтервали на вершині гірки відповідно в першій і другій парах елементарної групи;

$t_2(s_1, v'_2, v''_2)$  – час скочування керованого відчепа від моменту відриву до моменту зайняття ізольованої ділянки розділової стрілки  $s_1$  у першій парі при заданій швидкості його виходу з першої  $v'_2$  та другої  $v''_2$  гальмових позицій;

$\tau_2(s_2, v'_2, v''_2)$  – те саме, до моменту звільнення розділового елемента  $s_2$  у другій парі;

$\tau_1(s_1), t_3(s_2)$  – відповідно час скочування першого відчепа до зайняття ізольованої ділянки розділового елемента  $s_1$  і третього відчепа до звільнення ізольованої ділянки розділового елемента  $s_2$ .

Числові значення величин часу і швидкості скочування відцепів для розв'язання задачі вибору режимів їх гальмування приймаються на основі результатів математичного моделювання скочування.

Реальні состави можна розглядати як множину з  $n-2$  елементарних розрахункових груп (тут  $n$  – кількість відцепів у составі). У составах наявні розрахункові групи як зі сприятливим, так і з несприятливим поєднанням відцепів. Зокрема, сприятливими є поєднання, у яких наявні багатовагонні відчепа. У таких групах за рахунок вибору раціонального режиму гальмування відцепів можуть бути створені значні резерви часу на розділових елементах. Несприятливими є випадки поділу одновагонних відцепів на четвертій-п'ятій стрілках по маршруту скочування, особливо за наявності відцепів легкої вагової категорії.

Інтервали між відчепами, що скочуються послідовно, пов'язані між собою. Зміна режиму гальмування керованого відчепа в розрахунковій групі приводить до зміни умов скочування третього відчепа в попередній розрахунковій групі й першого відчепа в наступній. Через це вибір нераціональних режимів гальмування відцепів може призводити до погіршення умов поділу відцепів не лише в суміжних групах, але й у наступних групах зі значним запізненням.

Необхідно зауважити, що обґрунтування вибору режимів гальмування необхідно для умов, коли ходові характеристики відцепів відомі до початку скочування, а гальмові позиції точно реалізують задані режими гальмування. Однак

досвід практичної експлуатації сортувальних гірок показує, що їх функціонування відбувається в умовах дії значної кількості випадкових факторів .

Оцінка умов інтервального регулювання швидкості скочування виконується за допомогою ризику нерозділення, що характеризує можливу кількість вагонів, які в результаті розпуску прямуватимуть на колії з порушенням плану розпуску. Ризик нерозділення відчепів може бути оцінений за допомогою виразу

$$r_n = \sum_{i=1}^{n-1} \Phi \left( \frac{t_{n,i} - t_{pe} - M[\tau_i] + M[t_{i+1}]}{\sqrt{D[\tau_i] + D[t_{i+1}]}} \right) m_{i+1} \quad (4.9)$$

де  $\Phi(x)$  – функція Лапласа;

$t_{pe}$  – мінімальний допустимий інтервал на розділовому елементі;

$M[t_i]$ ,  $M[\tau_i]$  – відповідно математичні сподівання випадкової величини часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів зайняття і звільнення розділових елементів;

$D[t_i]$ ,  $D[\tau_i]$  – відповідно дисперсії випадкової величини часу скочування відчепа від моменту відриву до моментів зайняття і звільнення розділових елементів;

$m_i$  – кількість вагонів у  $i$ -му відчепі.

## 4.2. Постановка задач дослідження

Ефективність розформування составів поїздів визначається великою кількістю факторів, що одночасно впливають і на техніко-експлуатаційні показники роботи сортувального комплексу станції. Таким чином, для вирішення проблеми підвищення безпеки сортувального процесу та підвищення його ефективності необхідна системна оцінка факторів технічного, організаційного, техногенного, економічного та людського характеру. Метою дослідження є підвищення показників експлуатаційної ефективності розформування-формування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках з механізованими парковими гальмовими позиціями за рахунок оптимізації управління швидкістю скочування відчепів.

Досягнення мети дослідження здійснюється за рахунок використання системного аналізу при формуванні задач дослідження та при виборі методів їх вирішення.

Сортувальна гірка являє собою систему, що перебуває в тісній взаємодії з іншими підсистемами сортувальної станції і з'єднана з ними множиною прямих та зворотних зв'язків, які змінюються в часі. При цьому як укрупнені елементи сортувальної гірки розглядаються колійний розвиток, система управління розформуванням составів та вагонопотік, що переробляється. Між елементами системи наявні фізичні та інформаційні зв'язки. Зовнішнім середовищем стосовно сортувальної гірки є залізнична станція. Стан системи характеризується положенням у просторі та часі окремих елементів колійного розвитку гірки та вагонів на ньому. Входом системи є вагонопотік, що прибуває в переробку, та стан зовнішнього середовища. Вихід системи утворюють состави поїздів, що накопичуються на коліях сортувального парку. Поведінка системи зумовлюється в основному впливом сил фізичного характеру, що діють на рухомий склад (сила тяжіння, сила тяги локомотива, сили опору руху), та впливом системи управління. При цьому одним з елементів системи управління є людина-оператор. Тобто сортувальна гірка є ергатичною системою. Характеристика сортувальної гірки як системи наведена в табл. 4.2 .

Цілями системи є забезпечення розформування-формування потоку составів поїздів у заданому темпі з мінімальними експлуатаційними витратами та з безумовним дотриманням умов безпеки руху.

Таблиця 4.2 – Характеристика сортувальної гірки як системи

| Класифікаційна ознака                               | Клас системи  |
|-----------------------------------------------------|---------------|
| Природа елементів                                   | Реальна       |
| Походження                                          | Штучна        |
| Мінливість властивостей                             | Динамічна     |
| Передбачуваність станів                             | Стохастична   |
| Характер поведінки                                  | З управлінням |
| Ступінь складності                                  | Складна       |
| Ступінь зв'язку із зовнішнім середовищем            | Відкрита      |
| Ступінь участі людини в реалізації керуючих впливів | Ергатична     |

Так, підвищення рівня безпеки можна досягти за рахунок зменшення темпу розформування поїздів чи за рахунок удосконалення технічного забезпечення гірок.

На подолання наведених суперечностей і спрямована мета дослідження. Згідно з методологією системного аналізу досягнення поставленої мети дослідження відбувається поетапно в результаті вирішення окремих задач дослідження: (как то переписать под себя)

- аналіз сучасних методів організації роботи сортувальних гірок;
- удосконалення методів оцінки показників безпеки процесу розформування составів поїздів на сортувальних гірках з механізованими гальмовими позиціями;
- розробка методів вибору режимів розформування составів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмовими позиціями;
- розробка вимог до організації сортувального процесу в умовах зменшення гальмової потужності уповільнювачів;
- удосконалення методів оцінки переробної спроможності сортувальних гірок.

## **5 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИБОРУ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ**

Процес розформування-формування поїздів відноситься до відповідальних технологічних процесів, порушення якого може призводити до значних матеріальних втрат, та навіть до загибелі людей або екологічних катастроф. Відповідальний технологічний процес можна охарактеризувати трьома станами: штатним та двома нештатними – безпечним та небезпечним. Порушенням безпеки вважається перехід процесу в нештатний небезпечний стан. Безпечністю відповідального технологічного процесу вважається його властивість знаходитись в штатному, або нештатному безпечному стані. Порушення безпеки функціонування відповідального технологічного процесу є наслідком небезпечних відмов технічних засобів, програмного забезпечення та обслуговуючого персоналу. Тому разом з поняттям безпеки функціонування технологічних процесів використовують також поняття безпеки функціонування апаратних засобів, програмного забезпечення та людини як ланки ергатичної системи.

Зважаючи на те, що більшість характеристик відчепів та умов скочування є випадковими величинами, швидкість  $v(s)$  та час  $t(s)$  руху відчепів є також випадковими величинами. Для дослідження впливу випадкових параметрів відчепів на час та швидкість регульованого скочування відчепів використано програмний комплекс «Скатывание одиночного отцепа «VS». Результатами моделювання є сімейство залежностей швидкості  $v(s)$  та часу  $t(s)$  скочування відчепа. Приклад таких залежностей представлено на рисунку 5.1.

Обробка результатів скочування для деякої координати  $s$  дозволяє визначати параметри розподілу випадкових величин часу входу та виходу відчепів на розділові елементи, швидкості входу відчепів в уповільнювачі та їх підходу до вагонів на сортувальних коліях і т.п.

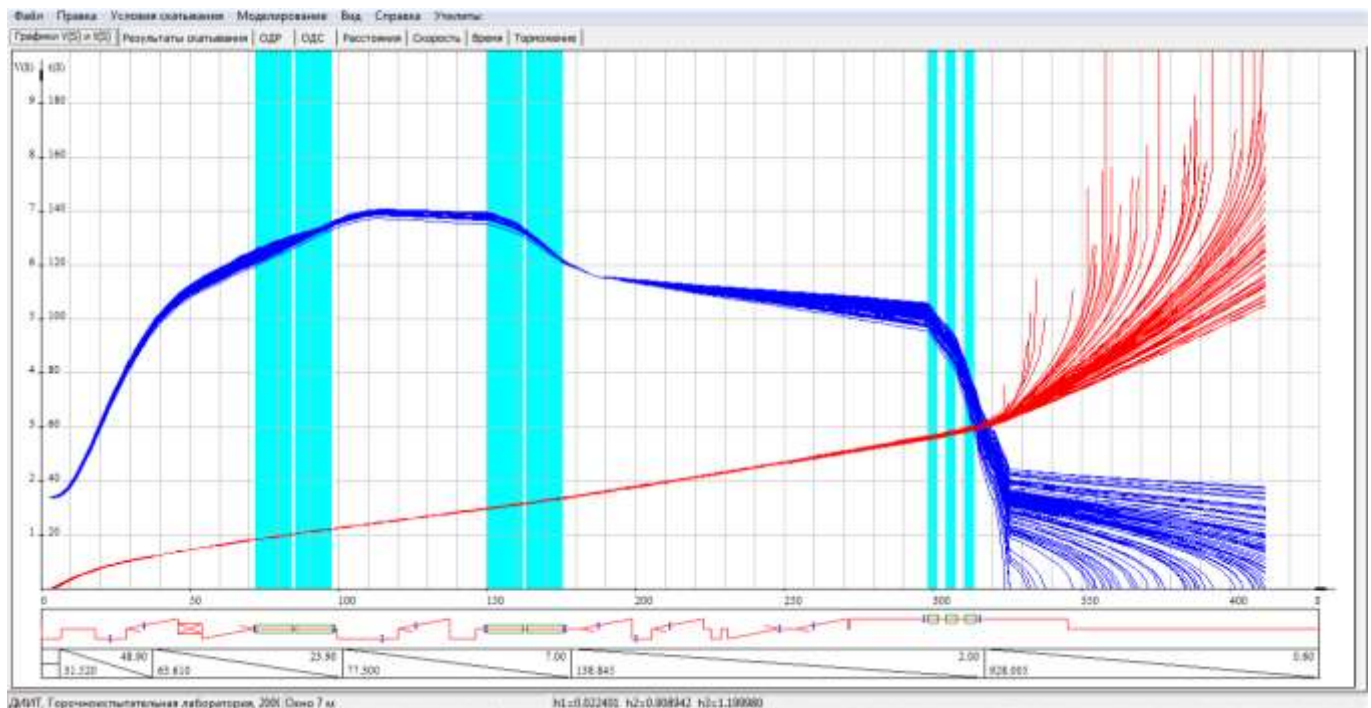


Рисунок 5.1. – Результати моделювання в програмі «Скатывание одиночного отцепа «VS»

Показники роботи сортувальної гірки суттєво залежать від вибору режимів регулювання швидкості скочування відчепів. В загальному випадку при розформуванні составів на сортувальних гірках розв'язуються дві взаємопов'язані та частково суперечливі задачі інтервального і прицільного регулювання швидкості скочування відчепів.

В сучасних умовах вибір режимів гальмування відчепів ґрунтується на вирішенні задачі оптимізації у детермінованій постановці для розрахункових відчепів та умов скочування і точною реалізацією уповільнювачами заданих режимів гальмування. Показники інтервального і прицільного регулювання швидкості скочування відчепів визначаються для отриманих режимів на моделі із випадковими характеристиками відчепів і умов їх скочування та неточної реалізації уповільнювачами обраних швидкостей виходу з гальмових позицій.

### 5.1 Оцінка якості прицільного регулювання швидкості скочування відчепів у стохастичних умовах

Визначення потрібної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції (ПГП) для забезпечення вимог прицільного гальмування базується на достатньо простому рівнянні, яке є наслідком закону збереження енергії:

$$v''' = \sqrt{v_{\text{при}}^2 - 2a(l_{\text{при}} - l_{\text{ПП}})}, \quad (5.1)$$

де  $v'''$ ,  $v_{\text{при}}$  – відповідно, швидкості відчепа в момент його виходу из ПГП та в точці прицілювання;

$a$  – прискорення відчепа на ділянці після ПГП;

$l_{\text{при}}$ ,  $l_{\text{ПП}}$  – відстань від вершини гірки відповідно до точки прицілювання та точки виходу з ПГП.

В цих умовах головним питанням реалізації прицільного гальмування є визначення координати точки прицілювання  $l_{\text{при}}$  та величини прискорення відчепа  $a$ . Параметр  $a = g'(i - w)10^{-3}$  інтегрально включає всі складові: приведене прискорення вільного падіння  $g'$ , ухил колії  $i$ , сумарну величину питомого опору руху  $w$ . Результати моделювання керованого скочування відцепів важкої вагової категорії на відстань 800 м від вершини гірки до точки прицілювання при відомих значеннях  $w$  та точній реалізації заданої швидкості виходу відцепів з ПГП наведено на рис.5.2. Як видно з рис.5.2 при таких умовах може бути досягнуто докочування усіх відцепів до розрахункової точки із встановленою швидкістю. Виключення складають відчепа, для яких ухил сортувальної колії є прискорюючим, та відчепа, енергії яких недостатньо для досягнення розрахункової точки навіть при вільному скочуванні.

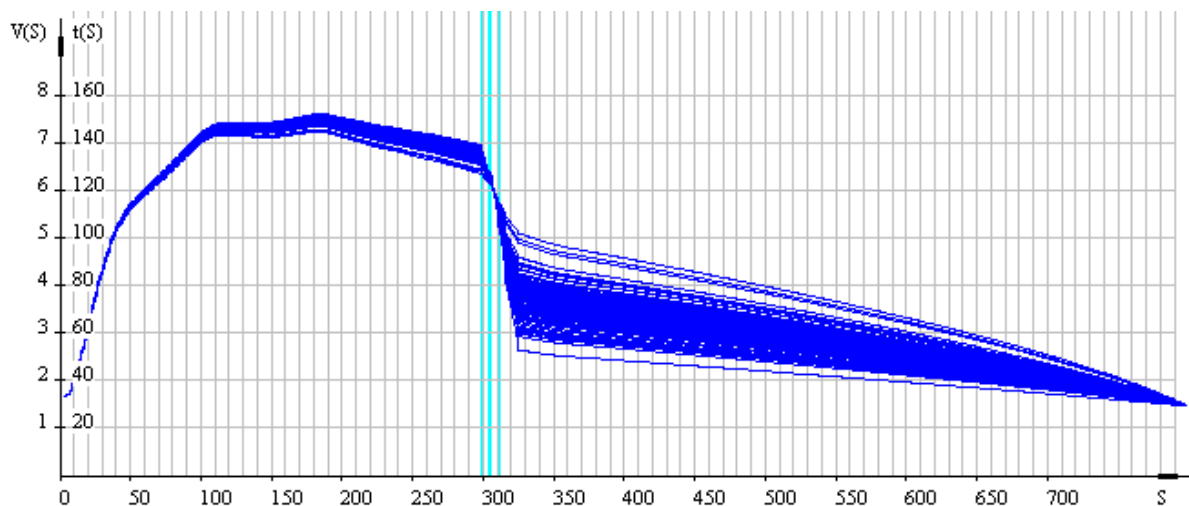


Рисунок 5.2 - Моделювання скочування відцепів важкої вагової категорії при відомому питомому опору руху та точній реалізації заданої швидкості виходу з ПГП.

Тому при детермінованому вирішенні задачі вибору режимів гальмування виконання вимог прицільного регулювання розглядається як обмеження.

Складність рішення задачі прицільного регулювання швидкості пов'язана з тим, що сортувальні гірки працюють в умовах невизначеності вхідної інформації про відчепи та умови скочування, а також через неточність реалізації заданих швидкостей виходу відчепів з ПГП. В цих умовах швидкість відчепа в точці прицілювання є випадковою величиною; в той же час при недостатній швидкості виходу відчепа з ПГП на сортувальних коліях утворюються вікна випадкової величини. Для ілюстрації на рис. 5.3 представлено результати моделювання скочування відчепів важкої вагової категорії на відстань 800 м від вершини гірки при невідомому питомому опорі руху та неточній реалізації заданої швидкості виходу відчепів з ПГП. Математичне очікування швидкості виходу відчепа з ПГП прийнято  $v''' = 3,85$  м/с, що забезпечує докочування відчепа з середніми ходовими характеристиками до точки прицілювання з встановленою ПТЕ швидкістю 1,5 м/с. При проведенні розрахункових експериментів прийнято, що середнє квадратичне відхилення швидкості виходу відчепів з ПГП складає 0,3 м/с.

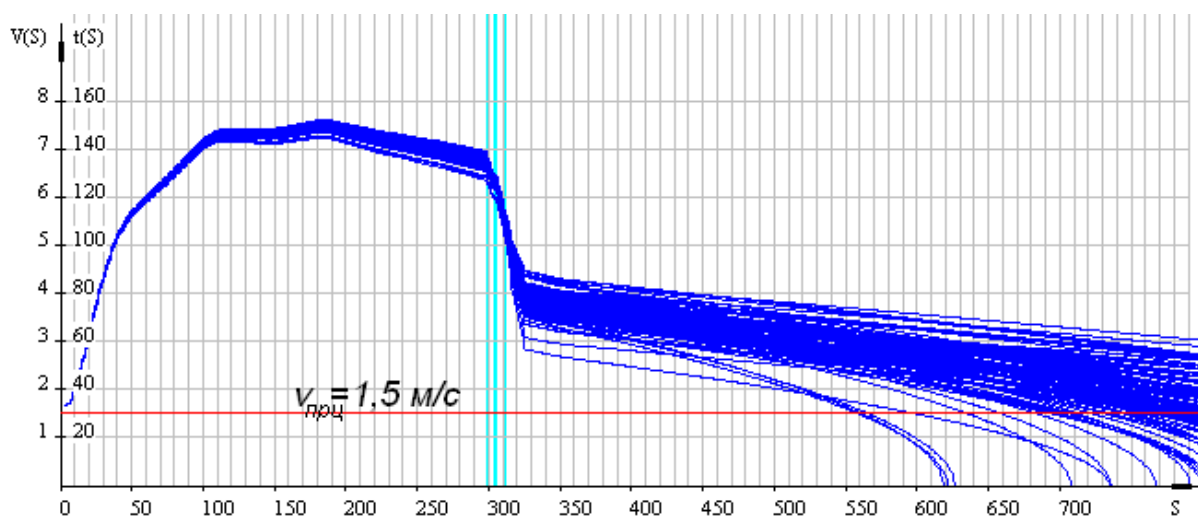


Рисунок 5.3. - Моделювання скочування з гірки відчепів важкої вагової категорії в умовах дії випадкових факторів при  $v''' = 3,85$  м/с.

Показники забезпечення безпеки руху визначаються в основному шляхом аналізу статистичної інформації за попередній період. При виконанні дослідження розподілу випадкової величини швидкості співударяння вагонів у сортувальних

парках. Отримана функція щільності розподілу яка представлена на рисунку 5.4.

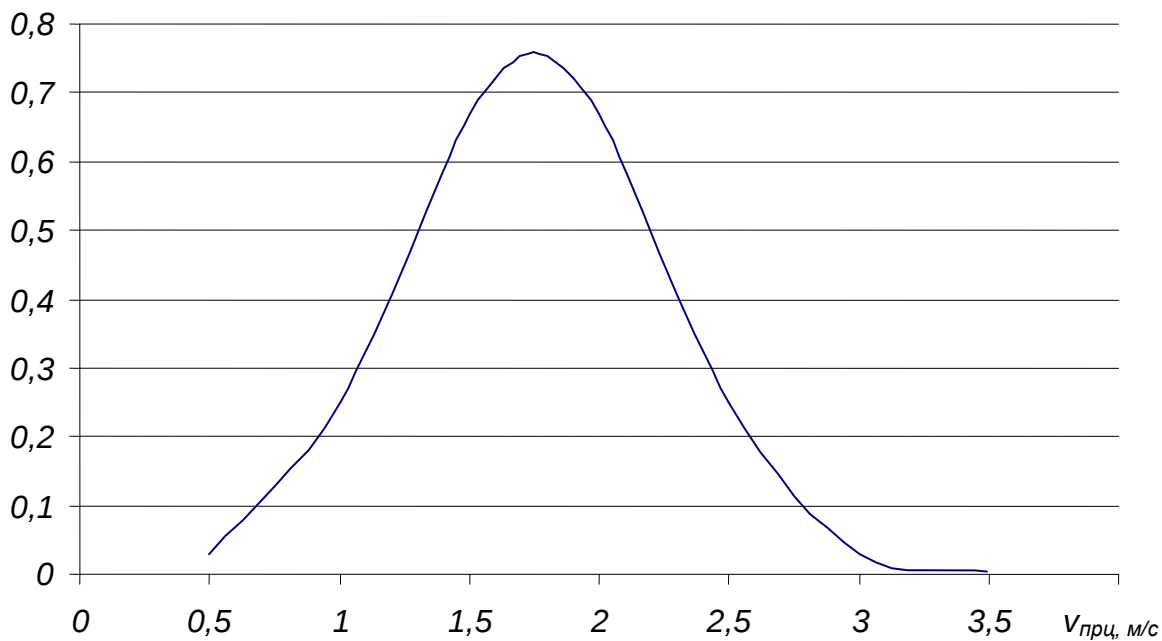


Рисунок 5.4.- Гістограма розподілу випадкової величини швидкості підходу відчепів до вагонів на сортувальних коліях

Аналіз наведеної функції щільності розподілу показує, що порушення вимог ПТЕ щодо допустимої швидкості співударяння вагонів відбувається у 60% випадків. Представлені дослідження показують, що вказана ситуація не змінилася і до теперішнього часу. При цьому, за 2010 рік через перевищення допустимої швидкості співударяння відчепів на Укрзалізниці пошкоджено 29 тис. ваг.

## **5.2 Імовірнісний критерій оптимізації режимів гальмування відчепів у стрілочній зоні**

При розформуванні составів в умовах дії випадкових факторів мають місце нерозділення відчепів на стрілках, що пов'язано з можливістю порушення безпеки руху через співударяння вагонів на підвищених швидкостях та додатковою маневровою роботою по перестановці вагонів на колії призначення. Таким чином, прийняття рішення по вибору режиму інтервального регулювання швидкості скочування відчепів пов'язане з ризиком їх нерозділення. Для створення ефективних систем управління розпуском составів ризику нерозділення відчепів повинні бути

оцінені за допомогою кількісних характеристик та обмежені на допустимому рівні.

В сучасних умовах при оптимізації режимів гальмування оцінка показників інтервального регулювання швидкості скочування відчепів здійснюється на основі математичного очікування величини розділових інтервалів. При розформуванні состава утворюється потік відчепів, тому необхідно оцінювати множину взаємопов'язаних інтервалів. Використання з цією метою критерію Вальда дозволяє максимально збільшити математичне очікування мінімального інтервалу між відчепами, і зменшити імовірність їх нерозділення на стрілках. В теорії ігор критерій Вальда відбиває позицію крайньої обережності (песимізму). Даний критерій застосовується у тих випадках, коли гру з природою ведуть як гру з розумним противником, тобто передбачається найбільш несприятливий стан природи. Застосування критерію Вальда є оправданим, якщо рішення приймається в наступних умовах:

- необхідно виключити будь-який ризик;
- рішення реалізуються лише один раз;
- імовірність появи станів природи невідома.

Повна ліквідація вказаних ризиків нерозділення відчепів на стрілках теоретично можлива, однак це пов'язано або зі значним падінням переробної спроможності гірки, або з необґрунтованим збільшенням вартості систем управління розпуском. У зв'язку з цим ризики допускаються вже на стадії проектування сортувальних гірок. Вибір режимів гальмування під час розформування составів здійснюється багаторазово. При цьому експериментальні дослідження, дозволяють встановити розподіл випадкових величин опорів руху відчепів. У зв'язку з цим ризик нерозділення відчепів у розрахунковій групі з трьох відчепів може бути оцінено за допомогою виразу

$$p_{ij} = \Phi \left( \frac{\theta_{i,i+1} - t_{pe} - M[\tau_i(s_{ij})] + M[t_{i+1}(s_{ij})]}{\sqrt{\sigma[\tau_i(s_{ij})]^2 + \sigma[t_{i+1}(s_{ij})]^2}} \right), \quad (5.2)$$

де  $M[\tau_i(s_{ij})]$ ,  $M[t_{i+1}(s_{ij})]$  - відповідно, математичні очікування величин  $\tau_i(s_{ij})$  та  $t_{i+1}(s_{ij})$ ;

$\sigma[\tau_i(s_{ij})], \sigma[t_{i+1}(s_{ij})]$  - відповідно, середні квадратичні відхилення величин  $\tau_i(s_{ij})$  та  $t_{i+1}(s_{ij})$ .

Величини початкових інтервалів часу на вершині гірки між відривами відчепів від составу визначалися за формулою

$$\theta_{i,i+1} = \frac{l_i - s_{0,i} + s_{0,i+1}}{v_p}, \quad (5.3)$$

де  $l_i$  – довжина  $i$ -го відчепу;

$s_{0,i}, s_{0,i+1}$  – відповідно координата відриву  $i$ -го та наступного за ним відчепу.

$t_{pe} - 1$  сек

Принципово можливі два способи зменшення ризику нерозділення відчепів. Так, зменшення ризику в першій парі може бути досягнуто за рахунок збільшення математичного очікування величини інтервалу у ній, тобто за рахунок зменшення швидкості руху керованого (другого відчепу). Наслідком цього є зменшення математичного очікування величини розділового інтервалу у другій парі та збільшення середнього квадратичного відхилення величини інтервалів в обох парах. Іншим способом зменшення ризику нерозділення є зменшення середнього квадратичного відхилення величини інтервалів між відчепами, що досягається за рахунок збільшення швидкості руху керованого відчепу. В результаті цієї дії зменшується математичне очікування величини інтервалу в першій парі та збільшується у другій.

Через те, що на ризик нерозділення відчепів впливають різні фактори, то покращення умов розділення в кожному конкретному випадку може досягатись як при збільшення, так і при зменшення швидкостей виходу керованого відчепу з гальмових позицій.

### **5.2.1 Оптимізація швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій**

Вибір режимів гальмування окремих відчепів на сортувальних гірках являє собою складну багатофакторну задачу, в результаті вирішення якої повинні бути забезпечені вимоги як прицільного, так і інтервального регулювання швидкості

скочування вагонів. Недоліками існуючих методів оптимізації скочування відчепів є те, що вони орієнтовані на вирішення задачі вибору режимів гальмування в умовах, коли характеристики відчепів та умови скочування відчепів є точно відомими. Фактично ж ці величини є випадковими.

Для першого відчепа розформовуємої групи безумовно оптимальним управлінням є реалізація швидкого режиму при якому тривалість заняття відчепом маршруту скочування є мінімальною. Реалізація такого режиму забезпечує найбільший резерв часу для всіх наступних за ним відчепів. Режими гальмування відчепів з 2-го по  $n$ -й залежать від режимів гальмування попередніх відчепів. На етапі планування розпуску допустимими за умовами інтервального регулювання швидкості скочування відчепів будемо вважати режими, які забезпечують розділення відчепа з усіма попередніми відчепами із заданою імовірністю. Прийнято, що допустима імовірність розділення відчепів на стрілках становить не менше 0,995.

Аналіз областей допустимих режимів гальмування відчепів показує, що пошук допустимого рішення здійснюється уздовж їх правої межі.

Якщо розділовий елемент знаходиться за другою гальмовою позицією, то пошук допустимого режиму гальмування відчепа за умовами його розділення з попереднім здійснюється в наступному порядку:

Крок 1. Оцінити імовірність  $p_{kjh}^{\text{III}}$  нерозділення  $j$ -го відчепа з попереднім  $k$ -м на  $h$ -м елементі при швидкому режимі скочування.

Крок 2. Якщо  $p_{kjh}^{\text{III}} \leq P_{dh}$  (тут  $P_{dh}$  - допустима імовірність нерозділення відчепів на роздільному елементі), то допустимим є швидкий режим скочування. Кінець рішення.

Крок 3. Оцінити імовірність  $p_{kjh}^{\text{II}}$  нерозділення  $j$ -го відчепа з попереднім  $k$ -м на  $h$ -м елементі при повільному режимі скочування.

Крок 4. Якщо  $p_{kjh}^{\text{II}} > P_{dh}$ , то забезпечити вимоги інтервального регулювання швидкості скочування відчепа без перерви у розпуску неможливо. Кінець рішення.

Крок 5. Визначити ділянку межі ОДР де  $p_{kjh}^f \leq P_{dh} \leq p_{kjh}^s$  (тут  $p_{kjh}^f, p_{kjh}^s$  - ймовірності нерозділена відчепів при використанні режимів, що відповідають верхній правій і нижній лівій вершинам ділянки межі ОДР).

Крок 6. Виконуючи лінійний пошук вздовж ділянки межі ОДР визначити режим, у якому  $p_{kjh} = P_{dh}$ .

В якості розрахункового составу обрано состав параметри якого наведені у табл.5.1

Таблица 5.1 – Параметри розформовуємого составу

| № відчєпа | № ваг | Тип | Вагова категорія | $l_{\text{приц}}, \text{м}$ | Колія призначєння | № відчєпа | № ваг | Тип | Вагова категорія | $l_{\text{приц}}, \text{м}$ | Колія призначєння |
|-----------|-------|-----|------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|-------|-----|------------------|-----------------------------|-------------------|
| 1         | 1     | ПЛ  | 42               | 412                         | 14                | 7         | 12    | ЦС  | 77               | 422                         | 13                |
| 2         | 2     | ПВ  | 71               | 467                         | 11                | 8         | 13    | ПВ  | 85               | 853                         | 14                |
|           | 3     | ПВ  | 71               |                             |                   | 9         | 14    | ПЛ  | 79               | 504                         | 16                |
|           | 4     | ПВ  | 71               |                             |                   |           | 15    | ПЛ  | 79               |                             |                   |
| 3         | 5     | ЦС  | 22               | 486                         | 17                | 10        | 16    | ПВ  | 30               | 474                         | 17                |
|           | 6     | ЦС  | 22               |                             |                   | 11        | 17    | ЦС  | 80               | 787                         | 13                |
| 4         | 7     | КР  | 54               | 504                         | 11                | 12        | 18    | ПВ  | 58               | 1085                        | 14                |
|           | 8     | КР  | 54               |                             |                   |           | 19    | ПВ  | 58               |                             |                   |
| 5         | 9     | ЦС  | 80               | 787                         | 13                | 13        | 20    | ПЛ  | 80               | 669                         | 15                |
| 6         | 10    | КР  | 65               | 492                         | 18                | 14        | 21    | ПВ  | 70               | 462                         | 16                |
|           | 11    | КР  | 65               |                             |                   | 15        | 22    | ПВ  | 78               | 1070                        | 12                |

Стрілочні переводи у розділових парах відчєпів наведені у табл.5.2

Таблица 5.2 - Стрілки розділення відчєпів

| № пари | Перший відчєп пари |       | Другий відчєп пари |       | Розділова стрілка |
|--------|--------------------|-------|--------------------|-------|-------------------|
|        | № відчєпа          | Колія | № відчєпа          | Колія |                   |
| 1      | 1                  | 14    | 2                  | 11    | 4                 |
| 2      | 2                  | 11    | 3                  | 17    | 3                 |
| 3      | 3                  | 17    | 4                  | 11    | 3                 |
| 4      | 4                  | 11    | 5                  | 13    | 4                 |
| 5      | 5                  | 13    | 6                  | 18    | 3                 |
| 6      | 6                  | 18    | 7                  | 13    | 3                 |
| 7      | 7                  | 13    | 8                  | 14    | 5                 |
| 8      | 8                  | 14    | 9                  | 16    | 3                 |
| 9      | 9                  | 16    | 10                 | 17    | 4                 |
| 10     | 10                 | 17    | 11                 | 13    | 3                 |
| 11     | 11                 | 13    | 12                 | 14    | 5                 |
| 12     | 12                 | 14    | 13                 | 15    | 3                 |
| 13     | 13                 | 15    | 14                 | 16    | 5                 |
| 14     | 14                 | 16    | 15                 | 12    | 3                 |

Початкові інтервали на вершині гірки визначені за формулою 5.2 і наведені у таблиці 5.3

Таблиця 5.3 – Початкові інтервали між відчепами на вершині гірки

| № пари | Перший відчеп |                       |                    | Другий відчеп |                       | Інтервал, с |
|--------|---------------|-----------------------|--------------------|---------------|-----------------------|-------------|
|        | №             | координата відриіу, м | довжина відчєпа, м | №             | координата відрива, м |             |
| 1      | 1             | 3,339                 | 14,6               | 2             | 8,883                 | 11,85       |
| 2      | 2             | 8,803                 | 42                 | 3             | 6,872                 | 23,52       |
| 3      | 3             | 6,872                 | 24                 | 4             | 6,677                 | 14,00       |
| 4      | 4             | 6,677                 | 29,4               | 5             | 2,969                 | 15,11       |
| 5      | 5             | 2,969                 | 12                 | 6             | 6,405                 | 9,08        |
| 6      | 6             | 6,405                 | 29,4               | 7             | 2,969                 | 15,27       |
| 7      | 7             | 2,969                 | 12                 | 8             | 3,071                 | 7,12        |
| 8      | 8             | 3,071                 | 14                 | 9             | 6,132                 | 10,04       |
| 9      | 9             | 6,132                 | 29,2               | 10            | 3,594                 | 15,68       |
| 10     | 10            | 3,594                 | 14                 | 11            | 2,969                 | 7,87        |
| 11     | 11            | 2,969                 | 12                 | 12            | 6,707                 | 9,26        |
| 12     | 12            | 6,707                 | 28                 | 13            | 2,966                 | 14,27       |
| 13     | 13            | 2,966                 | 14,6               | 14            | 3,163                 | 8,70        |
| 14     | 14            | 3,163                 | 14                 | 15            | 3,071                 | 8,18        |

Пошук оптимальних режимів гальмування виконується поетапно. На першому етапі усі відчепи скочуються у максимально швидкому режимі виключно з умови виконання вимог прицільного регулювання швидкості скочування. Для кожного скочування відчепів виконується 100 паралельних дослідів в яких обираються випадкові характеристики відчепів відповідно до їх вагових категорій та за неточної реалізації гальмовими позиціями заданих швидкостей виходу відчепів. Результати моделювання наведено у Додатку Б. Узагальнені результати моделювання наведено у табл5.4.

Таблиця 5.4 - Аналіз умов розділення відчепів на 1-му етапі

| № розділової пари | Початковий інтервал | Вихід з розділової стрілки 1 відчепа |              | Вхід на розділову стрілку 2 відчепа |              | Середній інтервал | Імовірність розділення |
|-------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|-------------------|------------------------|
|                   |                     | $M[\tau], c$                         | $s[\tau], c$ | $M[\tau], c$                        | $s[\tau], c$ |                   |                        |
| 1                 | 11,85               | 42,37536                             | 0,329118     | 39,25382                            | 0,089017     | 1                 | 1                      |
| 2                 | 23,52               | 43,91653                             | 0,243434     | 34,0695                             | 0,042213     | 1                 | 1                      |
| 3                 | 14,00               | 39,71977                             | 0,192501     | 34,69689                            | 0,08709      | 1                 | 1                      |
| 4                 | 15,11               | 45,41716                             | 0,348719     | 37,44112                            | 0,171741     | 1                 | 1                      |
| 5                 | 9,08                | 36,93198                             | 0,155545     | 34,7137                             | 0,061953     | 1                 | 1                      |
| 6                 | 15,27               | 41,28779                             | 0,231863     | 33,44433                            | 0,044439     | 1                 | 1                      |
| 7                 | 7,12                | 51,30797                             | 0,668779     | 44,85778                            | 0,369484     | 1                 | 0,332                  |
| 8                 | 10,04               | 36,75997                             | 0,132364     | 34,65158                            | 0,058172     | 1                 | 1                      |
| 9                 | 15,68               | 45,81201                             | 0,373974     | 37,65969                            | 0,250914     | 1                 | 1                      |
| 10                | 7,87                | 37,31523                             | 0,244711     | 32,29606                            | 0,44739      | 1                 | 1                      |
| 11                | 9,26                | 45,50828                             | 0,417795     | 44,46356                            | 0,040773     | 1                 | 1                      |
| 12                | 14,27               | 39,17908                             | 0,055704     | 33,68411                            | 0,040825     | 1                 | 1                      |
| 13                | 8,70                | 50,70969                             | 0,596875     | 46,22067                            | 0,443167     | 1                 | 1                      |
| 14                | 8,18                | 37,25246                             | 0,157058     | 33,3048                             | 0,040401     | 1                 | 1                      |

Виконаний аналіз показує, що при використанні швидкого режиму скочування відчепів умови розділення відчепів у групі 7 є незадовільними і імовірність порушення встановленого плану розпуску буде складати 0,668.

У зв'язку з цим відчеп 8 вимагає додаткового гальмування з умови забезпечення достатньої величини інтервалу з відчепом. 7.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА СТАНЦІЇ К**

Проблема забезпечення безпеки руху є однією з основних на залізничному транспорті. Законом України «Про залізничний транспорт» визначено:

Залізниці та підприємства залізничного транспорту загального користування забезпечують безпеку життя і здоров'я громадян, які користуються його послугами, а також безпеку руху поїздів, охорону навколишнього природного середовища згідно з чинним законодавством України.

### **6.1 Безпека руху поїздів**

Безпека руху поїздів – це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безаварійної роботи та утримання в постійній справності залізничних споруд, колій, рухомого складу, обладнання, механізмів і пристроїв. Державний нагляд за безпекою руху поїздів на залізничному транспорті України здійснюють центральний орган виконавчої влади в галузі транспорту, Укрзалізниця та їх органи на місцях у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

Задачі забезпечення безпеки руху поїздів виникли практично разом з появою залізничного транспорту. З плином часу разом з еволюцією залізничного транспорту та зі зміною вимог до рівня безпеки руху змінювались і методи вирішення цієї проблеми. Для початкового періоду рішення задач безпеки руху характерними були наступні риси:

- використання принципу абсолютної безпеки, у відповідності з яким при створенні технічних засобів ставилась задача повністю виключити відмови, що можуть призводити до транспортних подій;
- використання в основному методів створення запасів механічної та електричної міцності елементів технічних засобів;
- формування забач безпеки руху виключно у детермінованій постановці;
- вирішення задач безпеки руху в рамках створення окремих технічних засобів – колії, рухомого складу, систем управління.

Окрім того, безпека не розглядалась як окрема властивість руху, було відсутнє її загальне визначення і, як наслідок не був визначений якісний показник безпеки руху. Необхідно відмітити, що в цих умовах були створені відповідні методи вирішення задач безпеки руху на залізничному транспорті, які забезпечили йому перше місце за рівнем безпеки серед інших видів транспорту.

У той же час, традиційний підхід до вирішення задач безпеки руху має і ряд суттєвих недоліків, які не дозволяють її якісно вирішувати, а саме

- принцип абсолютної безпеки виключає можливість кількісного порівняння процесів руху поїздів, що реалізується за допомогою різних технічних засобів;

- вирішення задач безпеки руху відносно окремих технічних засобів не дає змоги оцінити безпеку руху по відношенню до споживача транспортних послуг, тобто до пасажирів, чи вантажовідправників;

- відсутність кількісного показника безпеки руху виключає можливість нормування рівня безпеки руху, оцінки достатності фактичного рівня безпеки і, як наслідок, сертифікації руху за показником безпеки.

Оскільки основною задачею залізничного транспорту є виконання перевізних процесів, що являє собою сукупність технологічних процесів та операцій спрямованих на зміну положення у просторі пасажирів та вантажів за допомогою транспортної системи, він вимагає застосування специфічних методів забезпечення безпеки.

Однією із основних підсистем загальної системи управління в Укрзалізниці є підсистема забезпечення безпеки руху поїздів.

Система управління безпекою руху поїздів при організації й функціонуванні процесу перевезень забезпечує підготовку, прийняття та реалізацію організаційних, управлінських та технічних рішень, спрямованих на убезпечення руху поїздів, збереження життя й здоров'я людей, майна, довкілля та виявлення й оцінку чинників, що впливають на рівень безпеки.

Основними принципами в організації роботи з управління безпекою руху поїздів є:

- принцип системності – передбачає діяльність, яка носить системний, постійний та упорядкований характер, охоплюючи всі складові системи;

- принцип випередження – передбачає діяльність, яка носить випереджувальний характер, спрямований на своєчасне виявлення та усунення негативних чинників, що можуть призвести до транспортних подій;

- принцип колективізму – передбачає участь усіх працівників у роботі з забезпечення руху згідно зі своїми функцій ними обов’язками, а не тільки керівників і працівників служби безпеки руху;

- принцип інформованості – передбачає діяльність, що її будують на максимальній інформованості кожного працівника про небезпечні чинники, які впливають на рівень безпеки руху;

- принцип виявлення та усунення причин – передбачає проведення профілактичної роботи, спрямованої не стільки на покарання винних, скільки на усунення виявлених недоліків;

- принцип впровадження коригувальних заходів – дія, яку виконують для усунення причини виявленої невідповідності або для іншої небажаної ситуації;

- принцип впровадження запобіжних заходів – дія, яку виконують для усунення причини потенційної невідповідності або іншої потенційно небажаної ситуації;

- принцип адекватності – відповідність заходів з забезпечення руху реальним та потенційним загрозам;

- принцип відповідальності – передбачає усвідомленість кожного працівника та його відповідальність на своєму робочому місці за конкретні питання, що визначають безпеку руху поїздів.

Головною метою системи управління безпеки руху поїздів є забезпечення процесу перевезення пасажирів та вантажів залізничним транспортом. При цьому, головним завданням СУБРП є систематизація роботи з безпеки руху, підвищення її ефективності та цілеспрямованості шляхом раціонального та планомірного використання всіх організаційних, економічних та технічних можливостей Укрзалізниці.

На кожному рівні управління безпекою руху поїздів вирішують такі основні завдання:

- убезпечення перевезень;
- убезпечення рухомого складу;
- убезпечення об'єктів інфраструктури;
- убезпечення персоналу;
- забезпечення професійного добору за окремими спеціальностями;
- організація навчання з питань безпеки руху.

Для вирішення цих завдань передбачено:

- формування організаційної структури управління безпекою руху поїздів;
- установлення єдиного порядку планування, організації та координації роботи з безпеки руху;
- організація контролю за дотриманням працівниками технологічних норм, правил експлуатації машин, механізмів,
- устаткування та інших засобів виробництва, виконання робіт відповідно до вимог чинних нормативних актів з безпеки руху;
- організація накопичення інформації щодо фактичного стану безпеки руху, її облік, аналіз та оцінка за прийнятими показниками, у т.ч. й на базі комп'ютерних технологій;
- систематичне інформування працівників про передумови та причини транспортних подій, про результати профілактичної роботи;
- використання засобів обчислювальної техніки, ведення баз даних стану безпеки руху для підвищення ефективності праці керівників і спеціалістів;
- використання економічних методів для підвищення зацікавленості працівників у впровадженні у виробництво безпечної техніки й технологій, у дотриманні вимог правил, норм та інструкцій, підвищенні ефективності функціонування СУБРП в Укрзалізниці;
- ужиття заходів впливу, спрямованих на підвищення персональної відповідальності керівників і спеціалістів за убезпечення руху, а працівників – за

дотримання вимог інструкцій на робочих місцях і інструкцій за видами виконуваних робіт.

На кожному рівні управління організаційної структури Укрзалізниці реалізують завдання управління безпекою руху поїздів із використанням типових елементів управлінського циклу (планування, організація, оперативне керівництво й координація, контроль, облік, аналіз та оцінка).

Принципова схема функцій безпеки руху наведена на рис.6.1

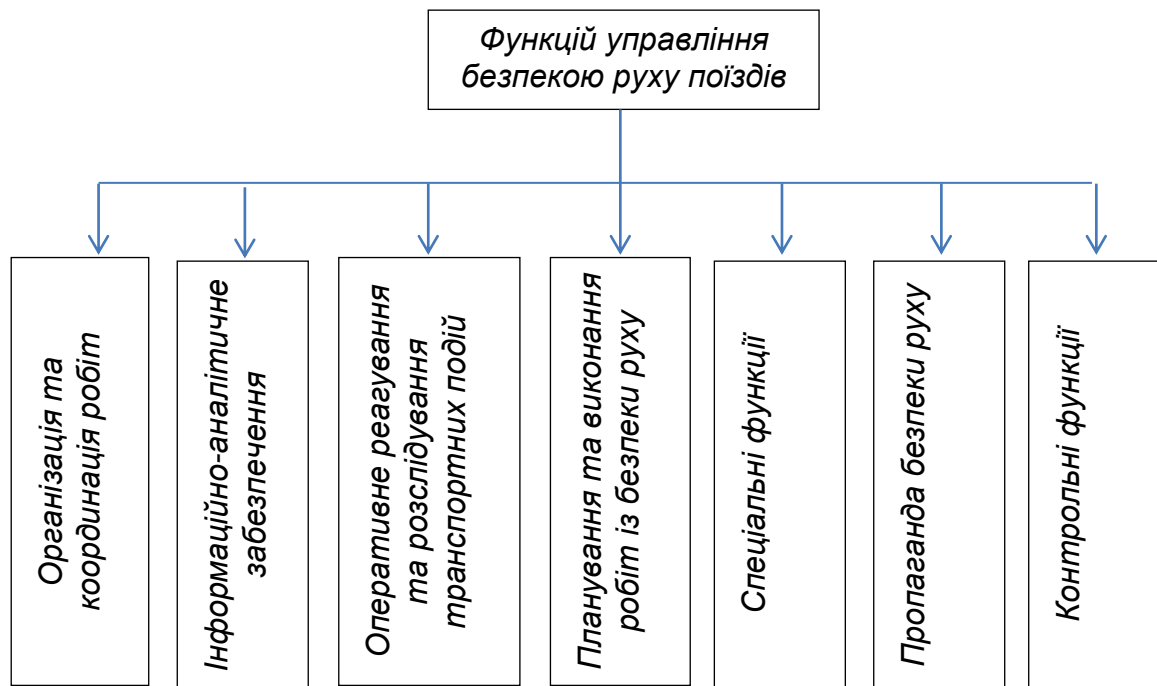


Рисунок 6.1 - Принципова схема функцій безпеки руху

В межах цих функцій виконуються наступні дії.

Організація та координація робіт, які передбачають:

- визначення органів управління безпекою руху поїздів;
- установлення функційних зв'язків між структурними підрозділами і порядку їх взаємодії, розподіл обов'язків та відповідальності структурних підрозділів, посадових осіб та працівників;
- регламентацію діяльності керівників та посадових осіб;
- нормативне забезпечення управління безпекою руху поїздів.

Функціонування СУБРП передбачає формування органів управління, установлення функційних обов'язків для структурних підрозділів та посадових осіб,

що приймають участь в управлінні, а також регламентацію їх діяльності. Організацію та забезпечення роботи з безпеки руху поїздів в Укрзалізниці здійснюють головні управління та управління у межах своєї компетенції. Для цього у кожному технічному Головному управлінні та управлінні призначають вивільненого фахівця з безпеки руху поїздів, а в окремих, визначених Укрзалізницею головних управліннях, вводять посаду заступника начальника Головного управління з безпеки руху. У службах та структурних підрозділах залізниць призначають відповідальних працівників із безпеки руху поїздів. Інші структурні підрозділи Укрзалізниці приймають участь у роботі з питань безпеки руху поїздів згідно з їх функційними обов'язками.

З метою виконання завдань щодо забезпечення державного нагляду за безпекою руху в Укрзалізниці створено Головне управління з безпеки руху та екології, на залізницях – апарати Головного ревізора з безпеки руху поїздів і автотранспорту, який за статусом прирівнюється до служб залізниці, на дирекціях – ревізорські дільниці.

Основними задачами апарату Головного ревізора з безпеки руху поїздів і автотранспорту залізниці є:

- контроль (нагляд) за роботою всіх підрозділів залізниці щодо забезпечення безпеки руху поїздів і автотранспорту;
- аналіз стану з безпеки руху в службах, дирекціях залізничних перевезень та структурних підрозділах залізниці;
- нагляд за технічним станом рухомого складу, технічних засобів та іншого залізничного обладнання;
- контроль за виконанням заходів щодо вдосконалення технологічних процесів і впровадження більш досконалих видів технічних засобів, механізмів, засобів контролю та вимірювання;
- контроль (нагляд) за організацією технічного навчання працівників залізниці, які пов'язані з рухом поїздів і автотранспорту, організація перевірки знань ПТЕ та інших нормативних актів з безпеки руху поїздів і автотранспорту;
- розгляд і узгодження розроблених на залізниці правил, інструкцій,

технологічних процесів, технічних умов та інших нормативних документів, які регламентують вимоги з безпеки руху до технічного стану рухомого складу, пристроїв і обладнання, а також виконання робіт, пов'язаних з рухом поїздів.

Для сучасних умов роботи залізничного транспорту України характерним є критичний знос технічних засобів виробництва та обмеження витрат на їх ремонт. Іншою негативною тенденцією є скорочення персоналу з метою зменшення витрат на оплату праці. У зв'язку з цим на залізницях досить гостро стоїть проблема визначення безпечних умов виконання процесу перевезень. Такі проблеми функціонування залізничного транспорту повністю стосуються й сортувальних гірок.

Дослідження щорічних «Аналізів стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці» за період з 2006 по 2015 рік [1–10] свідчить про те, що для сортувального процесу характерною є значна кількість порушень безпеки руху. За цей період на сортувальних гірках трапилося 57 транспортних подій. Основна кількість цих порушень припадає на господарство перевезень, є результатом неправильного гальмування вагонів та пов'язується з «людським» фактором. На рис. 2.1 наведено динаміку кількості працівників (загальної кількості й пов'язаних з гірковими процесами), причетних до транспортних подій по господарству перевезень. Аналіз вказаної залежності показує, що на розформування-формування поїздів на сортувальних гірках щорічно припадає від 20 % до 30 % транспортних подій по господарству перевезень.

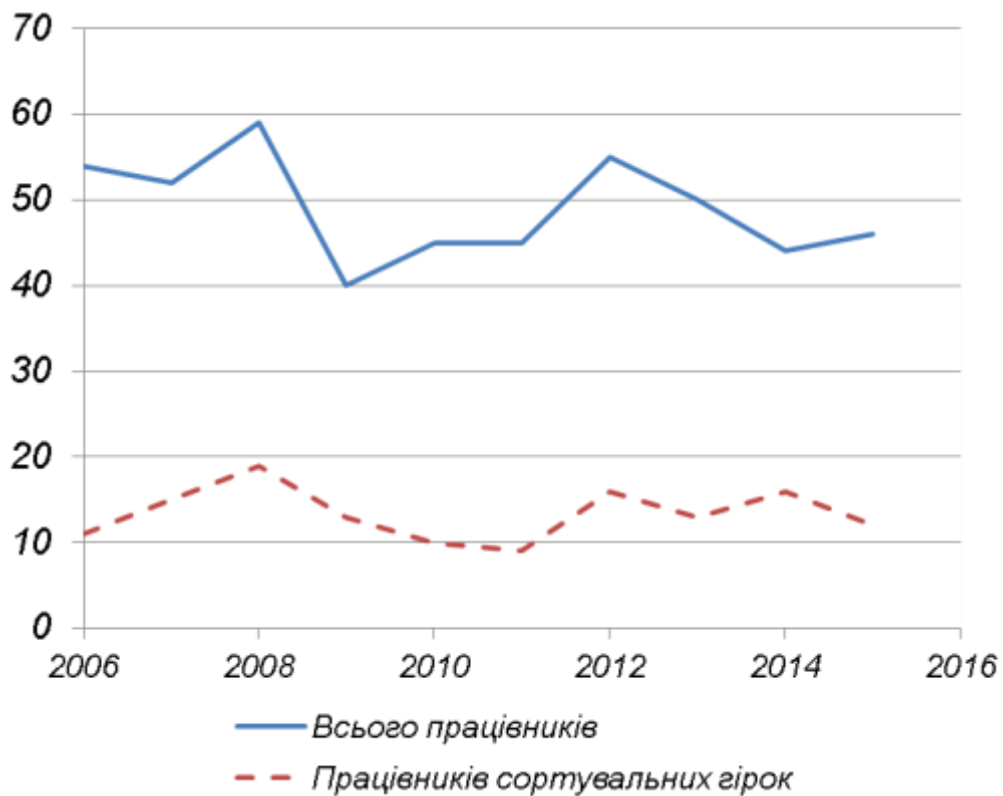


Рисунок 6.2 – Динаміка кількості працівників, причетних до транспортних подій по господарству перевезень

Додаткове навантаження на оперативний персонал викликає незадовільний технічний стан гіркових пристроїв, насамперед гальмових уповільнювачів. Зокрема, кожен четвертий уповільнювач на залізницях України не забезпечує нормативного натиснення шин на колеса. Так, недостатня ефективність гальмування вагонних уповільнювачів на сортувальній гірці 92т.. Нижньодніпровськ-Вузол у лютому 2014 року призвела до зіткнення вагонів на парковій колії з падінням 17-метрової прогонової конструкції пішохідного моста. Особливі загрози наявні в разі виникнення транспортних подій з вагонами, що перевозять небезпечні вантажі. У 2015 році на станції Коростень при прямованні з гірки відчепа із 8 вагонів сталося сходження одного візка вагона з дизельним паливом (клас 3). Транспортні події, що відбувалися на сортувальних гірках у 2006-2015 році, класифікувалися як інциденти.

Таким чином, завдання підвищення безпеки процесу розформування-формування поїздів є актуальним для залізничного транспорту. При цьому важливим є дослідження ризиків, що притаманні цьому процесу.

Основним документом для обліку катастроф, аварій та серйозних інцидентів є перший примірник акта службового розслідування форми РБУ-1, затверджений начальником залізниці, керівником підприємства, що підпорядковано Укрзалізниці. На основі акта форми РБУ-1 в апараті безпеки руху залізниці складають облікову картку у 2-х примірниках форми РБУ-6, один примірник якої зберігають в апараті головного ревізора з безпеки руху поїздів і автотранспорту залізниці, а другий примірник надсилають в ЦРБ для контролю та надання остаточного технічного висновку щодо класифікації випадку. Основним документом для обліку інцидентів та порушень у поїзній і маневровій роботі є перший примірник акта службового розслідування форми РБУ-3.

Усю інформацію щодо інцидентів та порушень зберігають в установленому порядку у структурних підрозділах Укрзалізниці, дирекціях залізничних перевезень, службах управлінь залізниць, апаратах УРБ.

Головне управління безпеки руху та екології складає що місячні довідки стану щодо безпеки руху поїздів та причин транспортних подій. За результатами розслідувань транспортних подій Головне управління безпеки руху та екології що квартално готує та видає аналіз стану безпеки руху поїздів. Усю сукупність виявлених під час розслідування та обліку транспортних подій причин/чинників використовують як інформаційну базу для проведення аналізу. За результатами аналізу розробляють рекомендації з підвищення рівня безпеки руху поїздів. Облік транспортних подій, пов'язаних з перевезенням небезпечних вантажів, окрім того, ведуть у журналі реєстрації транспортних подій з небезпечними вантажами фахівці Головного комерційного управління Укрзалізниці та комерційного господарства залізниць.

На підставі отриманої інформації щодо транспортних подій проводять оцінку своєчасності проведення розслідування подій, повноти та правильності оформлення матеріалів, виконання заходів, запропонованих в актах розслідування та матеріалах проведених розглядів.

Для оцінки стану безпеки руху поїздів застосовують абсолютні та питомі показники.

Основними питомими показниками оцінки стану безпеки руху поїздів є:

- кількість транспортних подій на 1 млн. приведених ткм;
- кількість загиблих на 100 подій;
- кількість травмованих на 100 подій.

## **6.2 Управління ризиками на залізничному транспорті**

Управління ризиками (менеджмент ризиків) - процес прийняття і виконання управлінських рішень, спрямованих на зниження імовірності виникнення несприятливих результатів і мінімізацію можливих втрат, викликаних їх реалізацією.

Основним завданням управління ризиками на залізничному транспорті є досягнення і підтримка допустимого рівня безпеки руху та експлуатації залізничного транспорту. Управління ризиками на залізничному транспорті повинно здійснюватися у суворій відповідності до вимог державних стандартів на менеджмент ризику.

Для ефективного управління ризиками на залізничному транспорті слід використовувати методологію, яка спрямована:

- на виявлення ризику та оцінку ймовірності його реалізації та масштабу наслідків;
- на визначення максимально можливого збитку;
- на вибір методів та інструментів управління виявленим ризиком;
- на розробку стратегії управління ризиком з метою зниження ймовірності реалізації ризику і мінімізації можливих негативних наслідків;
- на реалізацію стратегії управління ризиком;
- на оцінку досягнутих результатів і коригування стратегії управління ризиком.

При розробці та реалізації концепцій, стратегій, програм і правил технічного і технологічного розвитку залізничного транспорту доцільно розглядати два основних аспекти:

- прогнозна ефективність функціонування залізничного транспорту на всіх етапах життєвого циклу;

- супутні функціонуванню розрахункові оцінки ризиків.

Фактична ефективність функціонування визначатиметься різницею між очікуваним економічним ефектом, отриманим в результаті реалізації запланованих заходів, і можливими втратами(ризики).

Кожна зі стадій розвитку несприятливих процесів може бути охарактеризована ризиками, як кількісними показниками можливого прояви небезпеки.

Таким чином, враховуючи можливі ризики, основні виконуємі програми та заходи (формування стратегій, концепцій, планів реформування, розвитку інфраструктури та рухомого складу), необхідно оцінювати як рівень позитивного ефекту, так і рівень ризиків для кожній стадії реалізації запланованих заходів.

При вирішенні комплексних питань безпеки у розвинених країнах широко застосовується методологія процесу управління ризиком, основу якої становить визначення частоти (ймовірності) і наслідків небажаних подій.

Поєднання двох умов - можливості появи небажаної події і чутливості об'єкта до її впливу - є достатньою підставою для визнання факту існування ризику.

При цьому рішення повинні відповідати таким принципам:

- рішення, пов'язане з ризиком, має бути економічно грамотним і немає негативно впливати на результати фінансово-господарської діяльності організації залізничного транспорту;

- управління ризиками має здійснюватися в рамках корпоративної стратегії Укрзалізниці;

- в управлінні ризиками прийняті рішення повинні базуватися на необхідному обсязі достовірної інформації;

- при управлінні ризиками прийняті рішення повинні враховувати об'єктивні характеристики середовища, в якому залізничний транспорт здійснює свою діяльність;

- управління ризиками має носити системний характер;

- управління ризиками має припускати поточний аналіз ефективності прийнятих рішень і оперативну коригування набору використовуваних принципів і методів управління ризиками.

В процесі управління ризиком важливим є документування окремих його етапів. Велике значення має документування етапу оцінки ризику, що зазвичай виконується у вигляді звіту про оцінку ризику. Документування оцінки ризику дозволяє надалі використовувати накопичену інформацію для цілей обробки ризику, оцінки витрат на зниження ризику і ряду інших факторів.

Методичні принципи організації процесу управління ризиком засновані на послідовному виконанні окремих етапів, процедур і кроків з використанням відомих і застосовуваних на практиці підходів, методів, технологій, наявних відомостей про зовнішніх і внутрішніх умовах і об'єкті або процесі, ризик для якого підлягає управлінню.

Базовим етапом, що дозволяє сформулювати стратегію управління ризиками, є етап оцінки ризику.

Головною частиною етапу оцінки ризику є процедура аналізу ризику, що займає особливе місце в процесі управління ризиком і визначальна ефективність зниження ризику.

На різних етапах життєвого циклу об'єкта інфраструктури та рухомого складу конкретні цілі аналізу ризику можуть змінюватися. На етапі перед проектних робіт або проектування метою аналізу ризику може бути:

- виявлення небезпек і оцінка величини ризику з урахуванням впливу факторів, що впливають на персонал, населення, матеріальні об'єкти, навколишнє середовище;
- облік результатів при аналізі прийнятності запропонованих рішень і виборі оптимальних варіантів розміщення обладнання, об'єкта з урахуванням особливостей навколишнього середовища;
- забезпечення інформацією для розробки інструкцій, технологічних регламентів і планів ліквідації небезпечних ситуацій;

- оцінка різних варіантів проектно-конструкторських пропозицій.

На етапі експлуатації та реконструкції метою аналізу ризику може бути:

- порівняння умов експлуатації об'єкта з відповідними вимогами безпеки;
- уточнення інформації про основні небезпеки;
- розробка рекомендацій щодо обґрунтування або зміни нормативних вимог, з питань ліцензування, визначення частоти перевірок стану, безпеки і т.п .;
- вдосконалення керівництв з експлуатації та технічного обслуговування, планів локалізації небезпек;
- оцінка ефекту змін в організаційній структурі, способах практичної роботи і технічного обслуговування відносно показників безпеки.

На етапі виведення з експлуатації (або введення в експлуатацію) метою аналізу ризику може бути:

- виявлення небезпек і оцінка їх наслідків;
- забезпечення інформацією для розробки або уточнення інструкцій з виведення з експлуатації (або введення в експлуатацію).

Цілями оцінки ризику є:

- Отримання достовірної вихідної інформації;
- Проведення необхідного аналізу;
- Прийняття обґрунтованих рішень при оцінюванні ризику;
- Формування вихідних даних для подальшого вибору оптимальних рішень по обробці ризику.

Етап оцінки ризику включає в себе наступні процедури:

- Аналіз ризику;
- Оцінювання ризику.

Аналіз ризику, в свою чергу, складається з наступних кроків:

- Визначення області застосування;
- Ідентифікація ризику;
- Оцінка величини ризику.

Оцінка величини ризику включає аналіз частот (або ймовірностей), аналіз наслідків і визначення рівня ризику.

Також на етапі оцінки ризику можуть встановлюватися критерії прийнятного ризику, якщо вони не були визначені раніше (наприклад, строго встановлені в нормативній документації).

На етапі аналізу ризику виконуються наступні дії:

а) складається опис підстав і проблем, що викликали необхідність проведення аналізу ризику, включаючи:

- 1) формулювання цілей і завдань аналізу ризику;
- 2) визначення критеріїв відмови об'єкта інфраструктури та рухомого складу;

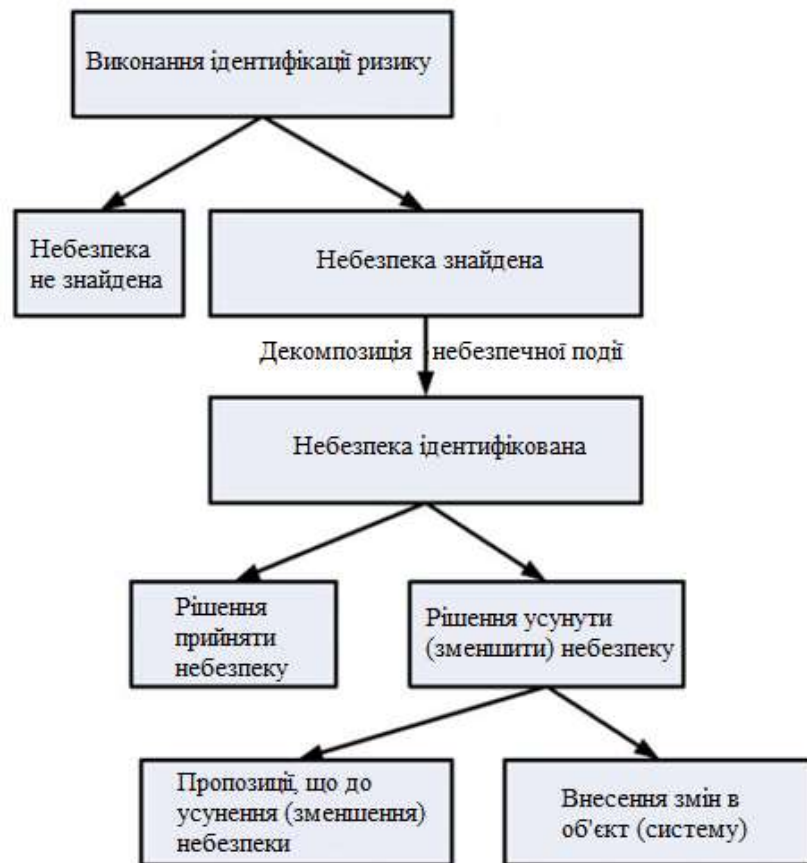
б) складається опис об'єкта оцінки ризику (людини, навколишнього середовища, об'єкта інфраструктури та рухомого складу), що включає:

- 1) загальний опис об'єкта оцінки ризику;
- 2) визначення меж і областей контакту із суміжними об'єктами інфраструктури та рухомого складу;
- 3) опис зовнішніх умов (умов навколишнього середовища);
- 4) визначення внутрішніх умов (умов експлуатації та станів об'єкта інфраструктури та рухомого складу, на які поширюється оцінка ризику, і відповідні обмеження);

в) фіксуються припущення і допущення;

г) розробляються формулювання рішень, які можуть бути прийняті, опис необхідних вихідних даних, отриманих за результатами досліджень і від осіб, що приймають рішення.

На етапі ідентифікації ризику виявляється перелік несприятливих подій, прояв яких, по-перше, реальна, по-друге, спроможна погіршити якість навколишнього середовища і завдати шкоди людині або об'єкту інфраструктури та рухомого складу.



Малюнок 6.3. - Процедура виконання ідентифікації ризику

на початковому етапі ідентифікації проводиться попередній аналіз небезпек, метою якого є виявлення небезпечних систем, підсистем і компонентів об'єкта, а також інших джерел небезпек, і їх опис.

Результати попереднього аналізу небезпек і застосування методів ідентифікації небезпек дають можливість визначити, які компоненти, підсистеми, системи або процеси вимагають більш серйозного аналізу, а які - становлять менший інтерес.

Результатом ідентифікації ризику є перелік небажаних подій, що призводять до аварії або інших небажаних наслідків. В результаті ідентифікації ризику визначаються подальші дії з аналізу ризику, наприклад:

- Рішення про припинення подальшого аналізу ризику зважаючи на незначний рівень небезпеки;
- Рішення про проведення більш детального аналізу ризику;
- Вироблення рекомендацій щодо зменшення або усунення небезпеки.

Для ідентифікації ризику можуть застосовуватися різні методи: статистичні, аналітичні, експертні, методи аналогій та інші. Після ідентифікації ризику виконується його оцінка.

Оцінка величини ризику - визначення величини (заходи) ризику аналізованої небезпеки для здоров'я людини, довкілля та матеріальних цінностей в ситуаціях, пов'язаних з реалізацією небезпеки. Оцінка величини ризику є обов'язковою частиною аналізу ризику та включає аналіз частоти, аналіз наслідків та їх поєднань, а також визначення рівня ризику.

Згідно з визначенням, оцінка величини ризику включає в себе аналіз частоти і аналіз наслідків. Однак, коли наслідки незначні і частота вкрай мала, досить оцінити один з цих параметрів.

Метою аналізу частот є визначення частоти виникнення кожного з небажаних подій або сценаріїв аварій, виявлених на стадії ідентифікації ризику.

Для визначення частоти виникнення події використовуються такі методи:

- Оцінка частоти виникнення даної події в минулому на основі статистичних даних (дані, накопичені за деякий період експлуатації даного об'єкту інфраструктури або рухомого складу, статистичні дані про транспортних пригодах та інших події тощо) та прогнозування частоти, з якою ця подія буде виникати в майбутньому;

- Оцінка частоти виникнення даної події на основі даних про відмови технічних засобів, що відбулися за певний період часу, припадають на одиницю виміру експлуатаційної роботи по кожному господарству залізничного транспорту;

- Прогнозування частот подій з використанням аналізу діаграми можливих відмов об'єкта інфраструктури або рухомого складу (аналіз «Дерева відмов», FTA) і аналіз діаграми можливих наслідків даної відмови («дерева подій», ETA);

- Оцінка на основі думки експертів. При проведенні експертних оцінок слід враховувати будь-яку доступну інформацію про об'єкт інфраструктури або рухомого складу: статистичну, експериментальну, конструктивну і т.п. Існують методи отримання експертних оцінок, що виключають двозначність, наприклад, метод Делфі, парних збігів, класифікації груп ризику та інші.

Отримані оцінки частот виникнення подій співвідносять із заданими рівнями частот. Кількість використовуваних рівнів частот та їх характеристики визначає керівництво організації залізничного транспорту відповідно до конкретних умов.

Типові рівні частот (ймовірностей) виникнення небезпечної події і опис кожного рівня представлені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Типові рівні частот виникнення події

| Рівень частоти | Частота подій,<br>$f \text{ рік}^{-1}$ | Опис                                                                                                                                    |
|----------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Часте          | $f > 10^{-3}$                          | Вірогідність частого виникнення. Постійна наявність небезпеки                                                                           |
| Вірогідне      | $5 \times 10^{-4} \leq f \leq 10^{-3}$ | Неодноразове виникнення. Очікується часте виникнення небезпечної події                                                                  |
| Випадкове      | $10^{-4} \leq f \leq 5 \times 10^{-4}$ | Вірогідність неодноразового виникнення. Очікується виникнення неодноразової небезпечної події                                           |
| Рідкісне       | $10^{-5} \leq f < 10^{-4}$             | Вірогідність того, що подія буде інколи виникати протягом життєвого циклу об'єкту. Обґрунтоване очікування виникнення небезпечної події |
| Вкрай рідкісне | $10^{-6} \leq f < 10^{-5}$             | Виникнення події маловірогідне, але можливе. Можна припустити, що небезпечна ситуація може виникнути у винятковому випадку              |
| Маловірогідне  | $f \leq 10^{-6}$                       | Вірогідність виникнення вкрай маловірогідна. Можна припустити, що небезпечна подія не виникне.                                          |

Наприклад п. 7.2. ПТЕ: номінальна величина змінного струму на пристроях СЦБ повинна бути 380 В. Допускається відхилення в бік зменшення не більше 10%, в бік збільшення не більше 5 %. В результаті спостережень встановлено, що номінальна величина змінного струму є випадковою величиною з нормальним законом розподілу з математичним очікуванням 371 В та середнім квадратичним відхиленням 6 В.

Імовірність того, що ВВ буде меншою  $(380 \cdot 0,9) = 349$  В складає 0,000123 (випадкова подія). Імовірність того, що випадкова величина буде більшою за  $(380 \cdot 1,05) = 399$  В буде складати  $2 \cdot 10^{-6}$  (дуже рідкісна подія).

В результаті аналізу частот виходять дані про частоту виникнення небезпечної події, ранжирування по заданих для цієї події рівням частот.

Аналіз наслідків передбачає оцінку результатів вплив небажаної події на людей, майно і довкілля.

Аналіз наслідків може бути виконаний як у вигляді простого опису результатів з використанням спрощених аналітичних методів, так і у вигляді детального кількісного моделювання.

При проведенні аналізу наслідків виконується:

а) вибір небезпечної події за результатами ідентифікації небезпек;

б) опис всіх наслідків, які є результатом даного небезпечного події, включаючи:

- наслідки, які заподіяли шкоду даного об'єкту оцінки ризику;

- наслідки, які можуть проявитися через певний період часу (якщо їх розгляд не виходить за рамки області застосування аналізу ризику);

- вторинні наслідки, що поширюються на суміжні об'єкти інфраструктури та рухомого складу.

в) розгляд заходів, спрямованих на пом'якшення наслідків, з урахуванням усіх факторів, що впливають на наслідки.

Отримані оцінки наслідків виникнення небезпечної події співвідносять із заданими рівнями тяжкості наслідків.

Кількість рівнів тяжкості наслідків, що використовуються для аналізу і їх характеристики визначає керівництво організації залізничного транспорту залежно від конкретних умов.

Таблиця 6.2 - Типові рівні тяжкості наслідків

| Рівень тяжкості подій | Можлива транспортна подія |
|-----------------------|---------------------------|
| Катастрофічний        | Катастрофа                |
| Критичний             | Аварія                    |
| Незначний             | Серйозний інцидент        |
| Несуттєвий            | Інцидент, порушення       |

В результаті аналізу тяжкості наслідків виходять дані про тяжкість наслідків небезпечної події, ранжування по заданих для цієї події рівнях тяжкості наслідків.

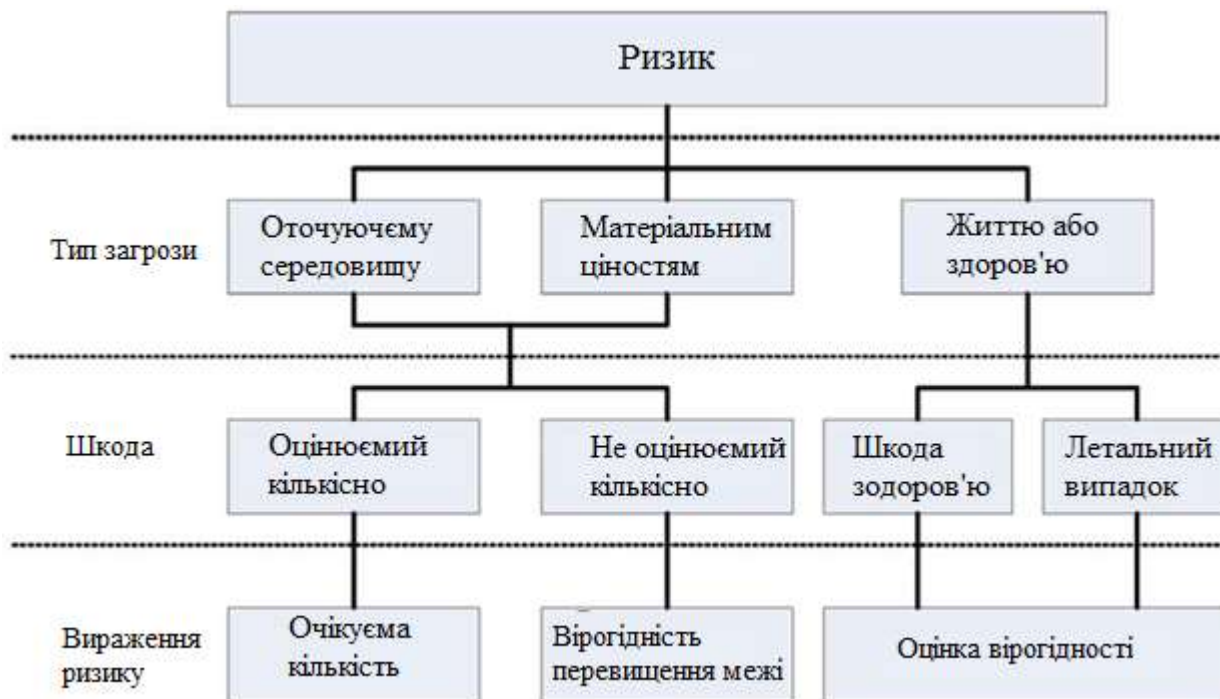
Визначення рівня ризику проводиться після завершення аналізу частот і аналізу наслідків.

При визначенні рівня ризику проводиться кількісна оцінка, для чого використовують різні математичні формулювання.

У загальному випадку визначення рівня ризику  $R$  передбачає вираз ризику за допомогою двох величин - ймовірності  $P$  небажаної події і його наслідків  $C$ . Часто при визначенні рівня ризику ймовірність і тяжкість наслідків виступають як співмножники (визначається ризик втрати):

$$R = P \cdot C \quad (6.1)$$

При невідомих наслідки ризик може бути виражений ймовірністю або частотою. Також можна використовувати визначення ризику як ймовірності перевищення деяким випадковим параметром певної межі (порогу).



Малюнок 6.3 - Представлення ризиків виникнення відповідних небажаних подій та методи їх вимірювання.

При небезпеці для матеріальних цінностей ризик часто вимірюють у грошовому вираженні. Якщо різні наслідки небажаної події однакові або дуже великі, то для порівняння досить розглядати тільки відповідні ймовірності. Разом з цим може виникнути небезпека, яку не можна виразити кількісно, наприклад, коли наслідки події не можна передбачити досить повно. Прикладом можуть служити наслідки виходу з ладу компонента, використовуваного в різних галузях економіки,

які постачальник компонента оцінити не може. У такому випадку мірою ризику доводиться прийняти ймовірність перевищення межі навантаження на систему, в складі якої експлуатувався даний компонент.

Якщо ризик, пов'язаний зі здоров'ям, то наслідки можуть бути частково оцінені кількісно в таких категоріях, як простий в роботі або витрати на оплату підміняємому персоналу, страхові виплати і т. п. При ризику, пов'язаному з летальним результатом, кількісні оцінки наслідків у більшості випадків відсутні.

В результаті оцінки рівня ризику отримують кількісний (напівкількісний або якісний) вираз ризику, що є узагальненою характеристикою даного ризику і використовується на подальших етапах процесу управління ризиком.

При оцінюванні ризику отримана оцінка рівня ризику  $R$  співвідносять з одним(допустимим рівнем  $R_{\text{доп}}$ ) або декількома заданими рівнями ризику, які визначаються на основі допустимого рівня ризику.

Допустимий рівень ризику визначається критеріями прийнятного ризику. Якщо  $R > R_{\text{доп}}$ , то такий ризик вважається неприйнятним.

Таблиця 6.3 - Рекомендовані типові рівні (категорії) ризику та їх діапазони

| Рівень ризику         | Діапазон значень                                                |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Неприпустимий         | $R > R_{\text{доп}}$                                            |
| Небажаний             | $0,1 \times R_{\text{доп}} \leq R < R_{\text{доп}}$             |
| Допустимий            | $0,01 \times R_{\text{доп}} \leq R < 0,1 \times R_{\text{доп}}$ |
| Не прийнятий до уваги | $R < 0,01 \times R_{\text{доп}}$                                |

Подання результатів оцінювання ризику може бути виконано за допомогою матриці ризиків, яка являє собою таблицю з поєднанням частоти виникнення події і тяжкості наслідків цієї події і дозволяє в наочній формі проінформувати особи, які приймають рішення, про рівні ризиків для аналізованої події. Форма (розмірність) матриці залежить від області її застосування.

Матриця ризику будується таким чином:

- По вертикальній осі відраховуються ймовірності (частоти) виникнення події, представлені у вигляді шкали (як правило, логарифмічною) відповідно до прийнятих рівнями частот;

- По горизонтальній осі відраховуються розміри наслідків виникнення події, представлені у вигляді шкали (як правило, логарифмічною) відповідно до прийнятих рівнями тяжкості наслідків;

- Проводиться визначення і ранжування рівня ризику для кожної осередку матриці з урахуванням критеріїв прийнятності ризику.

Типова форма матриці ризиків, що містить 6 рівнів частот і 4 рівня тяжкості

Таблиця 6.4. - Типова форма матриці ризиків

| Рівні частоти  | Рівні ризику             |                       |                       |                       |
|----------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Часте          | Небажаний                | Неприпустимий         | Неприпустимий         | Неприпустимий         |
| Вірогідне      | Допустимий               | Небажаний             | Неприпустимий         | Неприпустимий         |
| Випадкове      | Допустимий               | Небажаний             | Небажаний             | Неприпустимий         |
| Рідке          | Не прийнятий до уваги    | Допустимий            | Небажаний             | Небажаний             |
| Вкрай рідкісне | Не прийнятий до уваги    | Не прийнятий до уваги | Допустимий            | Допустимий            |
| Маловірогідне  | Не прийнятий до уваги    | Не прийнятий до уваги | Не прийнятий до уваги | Не прийнятий до уваги |
|                | Незначний                | Несуттєвий            | Критичний             | Катастрофічний        |
|                | Рівні тяжкості наслідків |                       |                       |                       |

Більш точним представленням результатів оцінювання ризику, застосовуваним при необхідності, може бути графік в логарифмічних координатах «частота-тяжкість наслідків».

За результатами оцінювання ризику приймається рішення про необхідність проведення обробки ризику, а також про пріоритетність обробки ризику.

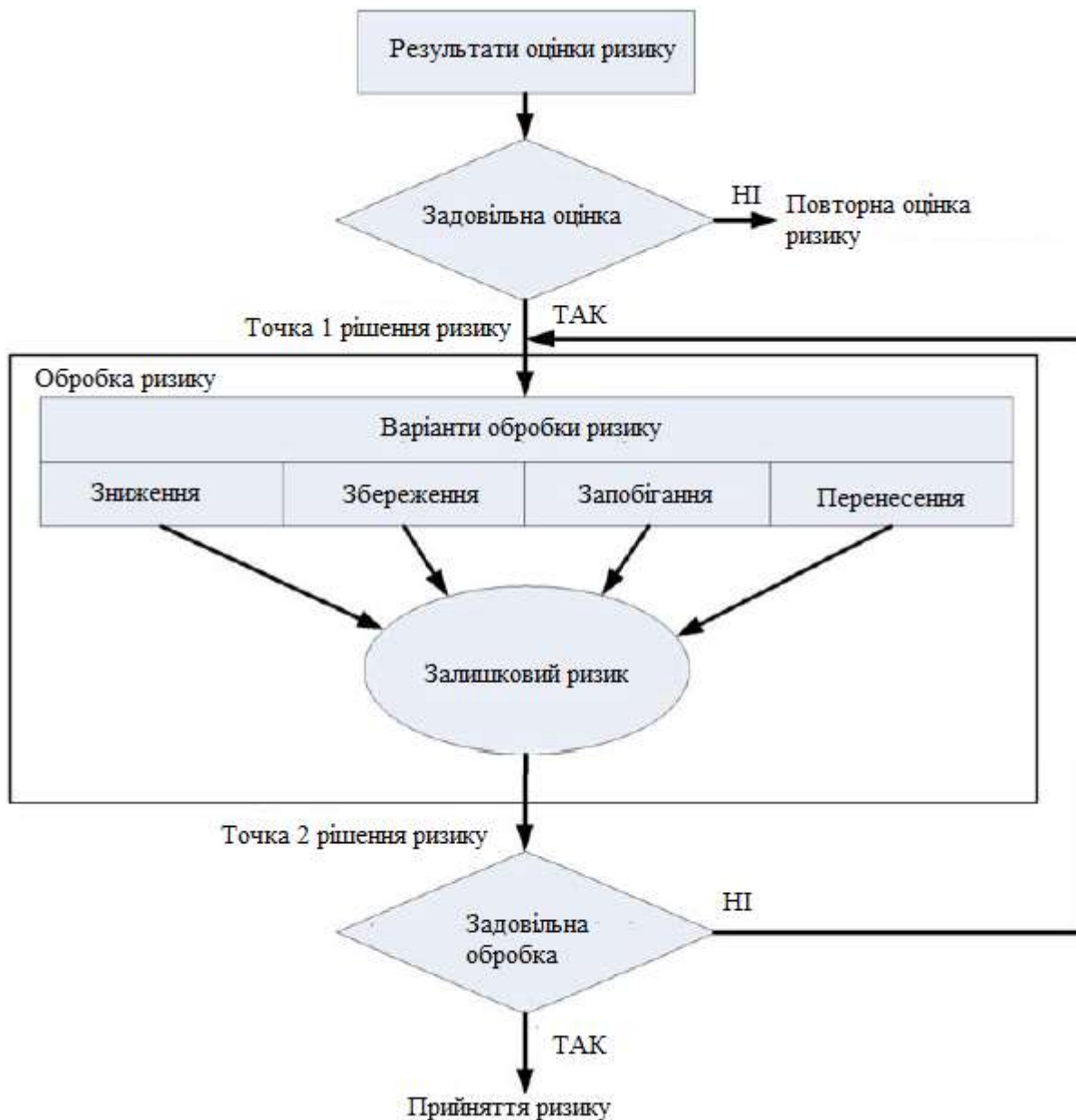
Рішення по обробці ризику приймається керівництвом організації залізничного транспорту на основі етичних, юридичних, фінансових та інших міркувань, включаючи сприйняття ризику.

Таблиця 6.5 - Приклад прийнятих рішень за результатами оцінювання ризику для кожного рівня ризику

| Рівень ризику         | Рішення                                                                                                                                                                        |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Неприпустимий         | Ризик повинен виключатися. Обробка ризику необхідна.                                                                                                                           |
| Небажаний             | Ризик має бути знижений. Обробка ризику необхідна.                                                                                                                             |
|                       | Ризик може бути прийнятий за погодженням керівництва організації, у випадку, коли зниження ризику нездійснено або не доцільно. Обробка ризику зводиться до усунення наслідків. |
| Допустимий            | Ризик приймається при відповідному моніторингу та контролю керівництва організації. Обробка ризику не вимагається або зводиться до усунення наслідків.                         |
| Не прийнятий до уваги | Ризик приймається без погодження керівництва організації. Обробка ризику не потребується.                                                                                      |

Обробка ризику є ітеративним процесом і передбачає наступні кроки:

- Вибір одного або декількох варіантів заходів щодо зниження ризику;
- Планування заходів щодо зниження ризику;
- Проведення заходів щодо зниження ризику.



Малюнок 6.4 - Дії на етапі обробки ризику

Заходи щодо зменшення ризику можуть носити технічний і/або організаційний характер. На практиці широко застосовуються такі чотири варіанти заходів щодо обробки ризику:

- Запобігання ризику - розгляд способів усунення небезпеки або зміни виробничого процесу або діяльності таким чином, щоб небезпека у них більше не виникала. У випадку, якщо ідентифіковані ризики вважаються занадто високими, то може бути прийняте рішення про повне припинення або відмову від планованої або існуючої діяльності;

- Перенесення ризику - перенесення ризику на третю сторону, яка може взяти на себе ризик, наприклад на страхові компанії, або через передачу функцій управління безпекою спеціалізованим компаніям. Перенесення ризику може створювати нові ризики або модифікувати існуючі ідентифіковані ризики, тому може бути необхідна додаткова обробка ризику;

- Зниження ризику - застосування відповідних засобів контролю небезпечних відмов та інших небажаних подій дозволяє знизити частоту (імовірність) переходу системи в непрацеспроможні небезпечні стани або знизити розмір можливих наслідків транспортних подій. Кожен засіб контролю може забезпечувати один або декілька видів захисту: попередження, стримування, виявлення, зниження, відновлення, виправлення, моніторинг та інформування;

- Прийняття ризику - прийняття рішення щодо того рівня ризику, який залишається. Організація повинна прийти до рішення про прийняття ризику на основі критеріїв прийняття. Це рішення виникає з двох причин. Першою причиною є успішне зниження ризику, коли залишковий ризик після реалізації засобів контролю не перевищує критеріїв прийнятності ризику. Другою причиною є збереження ризику, тобто, навіть якщо початковий або залишковий ризик перевищує критерії прийнятності, керівництво організації виносить рішення про прийняття ризику, враховуючи різні умови, такі як бюджет, тимчасові обмеження і т.д.

Обробка ризику повинна бути чітко впорядкована за пріоритетами, в рамках кожного з яких будуть реалізовуватися індивідуальні варіанти обробки ризику. Впорядкування за пріоритетами може бути виконано з використанням різних методів, включаючи ранжування ризику та аналіз витрат і вигод. В результаті обробки ризику присутній залишковий ризик, рішення про прийнятті якого, як правило, вимагає його оцінки.

## **ВИСНОВКИ**

Після завершення розробки дипломної магістерської роботи отримано результати:

- в першому розділі проведений аналіз проблеми управлінням розформуванням составів на сортувальних гірках з використанням автоматичних систем розпуску, виділені напрямки підвищення ефективності розформування составів та виконано моделювання роботи сортувальної гірки при невідомих параметрах відчепів та характеристик навколишнього середовища;
- в другому розділі виконано загальну характеристику станції К а також технічну та експлуатаційну характеристику сортувального комплексу, виконане проектування гіркової горловини та сортувальної гірки а також змодельоване скочування відчепів з гірки;
- в третьому розділі виконано дослідження характеристик вагонопотоків, що прибувають у розформування на станцію К та наведено структуру, послідовність та методи проведення досліджень;
- в четвертому розділі розібрані методи моделювання процесу скочування відчепів та виконано постановку задачі дослідження;
- в п'ятому розділі оцінені якості прицільного регулювання швидкості скочування відчепів виведений імовірнісний критерій оптимізації режимів гальмування відчепів у стрілочній зоні та виконано оптимізацію швидкості виходу відчепів з гальмових позицій;
- в шостому розділі визначені аспекти безпеки руху поїздів та визначені основні критерії в управлінні ризиками на залізничному транспорті.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2006 році / розробники: В. Мельничук, О. Федоренко, В. Крот, А. Рашко, В. Гусь. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху та екології, 2007. 127 с.
2. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2007 році / розробники: В. Гусь, М. Кутняк, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху та екології, 2008. 131 с.
3. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2008 році / розробники: О. Мусієнко, В. Гусь, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху та екології, 2009. 131 с.
4. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2009 році / розробники: О. Мусієнко, В. Гусь, С. Ребриков, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху та екології, 2010. 92 с.
5. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2010 році / розробники: О. Мусієнко, В. Гусь, С. Ребриков, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху та екології, 2011. 105 с.
6. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2011 році / розробники: О. Мусієнко, О. Ходаковський, С. Ребриков, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху та екології, 2012. 94 с.
7. Аналіз стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці у 2012 році / розробники: О. Мусієнко, О. Ходаковський, С. Ребриков, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху, 2013. 94 с.
8. Аналіз стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці у 2013 році / розробники: О. Мусієнко, О. Ходаковський, С. Ребриков, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху, 2014. 94 с.
9. Аналіз стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці у 2014 році / розробники: О. Мусієнко, С. Ребриков, В. Крот. Київ : Укрзалізниця, Головне управління безпеки руху, 2015. 122 с.

10. Аналіз стану безпеки руху в структурі ПАТ «Укрзалізниця» у 2015 році / розробники: О. Мусієнко, С. Ребриков, В. Крот. Київ : ПАТ «Укрзалізниця», Департамент безпеки руху, 2016. 167 с.

11. Архатов В. С., Муха Ю. А., Длоугий В. В. и др. Проблема эффективности автоматизированного управления процессом расформирования составов на сортировочных горках // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск : ДИИТ, 1985. С. 8-21.

12. Берент В. Я., Николаев А. В., Старшов И. П. Снижение повреждаемости колес вагонов на сортировочных горках // Вестник ВНИИЖТ. 2009. № 2. С. 34–39.

13. Бессоненко С. А., Иванченко В. Н., Лященко А. М. Математическая модель расчета параметров интервального торможения отцепов и переменных скоростей роспуска составов // Вестник РГУПС. 2013. № 1(49). С. 55–65.

14. Бессоненко С. А. Расчет скорости отцепов и мощности тормозных позиций с использованием вероятностных показателей // Транспорт: наука, техника, управление. 2006. № 5. С. 11–16.

15. Бобровский В. И., Рогов Н. В. Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2004. Вип. 4. С. 174–182.

16. Бобровский В. И., Рогов Н. В. Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2004. № 4. С. 174–182.

17. Бобровский В. И., Кудряшов А. В. Анализ числа разделений отцепов в составах, расформируемых на действующих сортировочных горках // Транспортні системи та технології перевезень. 2011. Вип. 2. С. 17–21.

18. Бобровский В. И., Дорош А. С., Колесник А. И. Анализ и оценка конструкции плана путевого развития горочных горловин // Транспортні системи і технології перевезень. 2011. Вип. 1. С. 22–26.

19. Бобровский В. И. Дифференциальные уравнения движения отцепа и методы их решения // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 1996. № 6. С. 34–39.

20. Бобровский В. И., Козаченко Д. Н., Вернигора Р. В., Малашкин В. В. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций : монография. Днепропетровск : Изд-во Маковецкий, 2010. 156 с.

21. Бобровский В. И. Определение вероятностей разделения отцепов на стрелках сортировочной горки // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях : тр. ДИИТа. Днепропетровск, 1976. Вып. 181/10. С. 56–63.

22. Бобровский В. И., Козаченко Д. Н., Божко Н. П. и др. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках. Днепропетровск : Изд-во Маковецкий, 2012. 236 с.

23. Болвановська Т. В. Розрахунок переробної спроможності сортувальних комплексів // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2014. Вип. 8. С. 27–34. doi: 10.15802/tstt2014/38080.

24. Болвановська Т. В., Яновський П. О., Міляннич А. Р. Дослідження області допустимих режимів гальмування при зміні швидкості розпуску составів // Транспортні системи та технології перевезень. 2017. Вип. 14. С. 14–19. – doi:10.15802/tstt2017/123145.

25. Гревцов С. В. Дослідження ризиків, пов'язаних з розформуванням составів поїздів на сортувальних гірках // Транспортні системи і технології перевезень. 2016. № 12. С. 10–15. doi: 10.15802/tstt2016/85879.

26. Гревцов С. В. Дослідження умов розділення відцепів на немеханізованих гальмових позиціях // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2016. Вип. 11. С. 26–32. doi: 10.15802/tstt2016/7682

27. Грунтов П. С., Пищик Ф. П. Безопасность движения на железнодорожном транспорте. Гомель : БелИИЖТ, 1988. 122 с.

28. Дудниченко А. М., Савицкий А. Г. Методика оценки систем автоматического управления скоростью роспуска составов на сортировочных горках // Вестник ВНИИЖТ. 1985. № 6. С. 13–16.

29. Жуковицкий И. В. Решение дифференциального уравнения свободного скатывания отцепа с горки // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 1997. № 4. С. 14–17.

30. Кобзев В. А. Направление совершенствования исполнительных устройств горочных замедлителей // Автоматика телемеханика и связь. 1996. №10. С. 30–33.

31. Козаченко Д. М., Березовий М. І., Таранець О. І. Моделювання роботи сортувальної гірки в умовах невизначеності параметрів відчепів та характеристик навколишнього середовища // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2007. Вип. 16. С. 73–76.

32. Козаченко Д. М., Болвановська Т. В., Яновський П. О. Оптимізація режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках у стохастичних умовах // Вісн. Нац. тех. ун-ту «ХПІ». Серія : Механіко-технологічні системи та комплекси : зб. наук. пр. 2017. № 44. С. 97–102.

33. Козаченко Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2010. Вип. 34. С. 46–50.

34. Козаченко Д. Н. Критерий оптимизации режимов торможения отцепов расчетной группы в условиях действия случайных факторов // Збірник наукових праць Донецького ін-ту залізничного транспорту Української держ. академії залізничного транспорту. 2010. Вип. 23. С. 14–21.

35. Козаченко Д. Н., Коробьева Р. Г., Таранец О. И. Исследование прицельного регулирования скорости скатывания отцепов в условиях неопределенности

информации об их ходовых свойствах // Восточно-Европейский журн. передовых технологий. 2009. № 6/2 (42). С. 45–50.

36. Козаченко Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2010. Вип. 34. С. 46–50.

37. Кораблев Е. А. Использование ЭЦВМ для расчета горок // Труды ЛИИЖТа. Ленинград : Транспорт, 1967. Вып. 256.

38. Красковский А. Е., Рогоза Д. И., Плеханов П. А. Комплексная оценка рисков для безопасности движения // Известия ПГУПС. 2011. Вып. 1. С. 54–65.

39. Лисенков В. М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов. Москва : Транспорт, 1992. 192 с.

40. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов : учеб. для вузов. Москва : ВИНТИ РАН, 1999. 332 с.

41. Мацкель С. С. Расчет элементов станций на ЭВМ. Москва : Транспорт, 1980. 176 с.

42. Методичні рекомендації операторам сортувальних гірок щодо управління пристроями на механізованих і автоматизованих сортувальних гірках : затв.: Наказ Укрзалізниці від 22.02.2013 р. № 042-Ц/од. Київ : ТОВ «Інпрес», 2013. 108 с.

43. Модин Н. К. Безопасность функционирования горочных устройств. Москва : Транспорт, 1995. 173 с.

44. Нагорный Е. В., Берестов И. В. Эффективность применения систем автоматического регулирования конечных скоростей движения отцепов // Применение микропроцессорных устройств в системах железнодорожной автоматики : сб. научн. тр. Харьков : ХИИТ, 1988. Вып. 7. С. 54–58.

45. Нагорный Є. В., Чеклов В. Ф. Удосконалення принципу регулювання швидкості розпуску составів на сортувальних гірках, обладнаних системами АЗРШ // Концепція підвищення ефективності вантажних перевезень на залізничному транспорті : міжвуз. зб. наук. пр. Харків : ХарДАЗТ, 1998. Вип. 33. С. 104–107.

46. Огар О. М., Асєєв М.А, Іваненко О.А. Аналіз роботи підсистем регулювання швидкості скочування відчепів в автоматизованих системах управління сортувальними станціями // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2016. №161. С. 70-75.

47. Огар О. М., Розсоха О. В., Костенніков О. М. Визначення інтенсивностей відмов та відновлення підсистем сортувальної гірки // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2012. № 3. С. 3–12.

48. Правила технічної експлуатації залізниць України. Київ : Транспорт України, 2005. 256 с.

49. Талалаев В. И. Обеспечение безопасности движения – на уровень государственных стандартов // Автоматика, телемеханика и связь. 1992. № 1. С. 2–4.

50. Шейкин В. П. Средства регулирования скорости вагонов на горочных сортировочных станциях // Железные дороги мира. 1981. № 9. С. 8–28.

51. Шиш В. О. Автоматизація та механізація технологічних процесів на сортувальних станціях // Залізничний транспорт України. 2011. № 3. С. 44–47.

52. Ющенко Н. Р. Графический метод построения кривых скорости и времени скатывания отцепов с горки // Труды ДИИТа. Москва : Трансжелдориздт, 1951. Вып. 21. С. 27–287.