

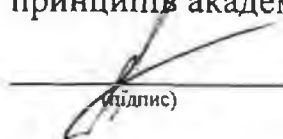
Кафедра залізничних станцій та вузлів

РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ РОЗРАХУНКУ ШВИДКОСТЕЙ ВИХОДУ ВІДЧЕПІВ
З ПАРКОВОЇ ГАЛЬМОВОЇ ПОЗИЦІЇ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ
АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ З ПРОТИУХИЛАМИ

Пояснювальна записка та розрахунки
до випускної кваліфікаційної роботи

РПРШВ.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 221-ОПУТ-Д23
спеціальності 275 / 275.02 (роботу
виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)


Роман ЛАГУТА

Керівник: професор, доктор техн. наук
Олександр ОГАР

Рецензент: професор, доктор техн. наук
Денис ЛОМОТЬКО

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 14 слайдів презентації, 85 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 8 рисунків, 19 таблиць, 19 літературних джерел.

Ключові слова: РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, ПРИЦІЛЬНЕ ГАЛЬМУВАННЯ, ВІДЧЕП, ГАЛЬМОВА ПОЗИЦІЯ, СОРТУВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, ВАГОННИЙ УПОВІЛЬНЮВАЧ, ОПІР РУХУ.

Об'єктом дослідження є процес розформування составів на автоматизованому сортувальному пристрої з протиухилами. Метою дослідження є підвищення ефективності регулювання швидкості скочування відчепів на парковій гальмовій позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню процесу розформування составів на сортувальних гірках та удосконаленню управління скочуванням вагонів. У роботі проведено аналіз сучасних технологій розформування составів, розглянуто підходи до управління процесом скочування вагонів із застосуванням вагонних уповільнювачів, а також досліджено структуру та принципи функціонування відповідних модулів керування. Сформовано процедуру розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами. Запропоновано метод оптимізації швидкості виходу відчепів, спрямований на підвищення ефективності та безпеки розформування составів. Окрему увагу приділено техніко-економічному обґрунтуванню впровадження автоматизованої системи управління парковими уповільнювачами. Результати дослідження можуть бути використані при модернізації сортувальних станцій з метою автоматизації та оптимізації їхньої роботи.

ABSTRACT

This qualification work includes 14 presentation slides, 85 pages of an explanatory note in A4 format, featuring 8 figures, 19 tables, 19 literature references.

Keywords: SPEED CONTROL, TARGETED BRAKING, CUT, RETARDER POSITION, SORTING DEVICE, CAR RETARDER, ROLLING RESISTANCE.

The object of the research is the process of train marshalling on an automated classification device with retarders. The aim of the study is to improve the efficiency of regulating the rolling speed of railcars at the retarder position of an automated classification device with counter-slopes.

The qualification thesis is devoted to the study of the train marshalling process on hump yards and the improvement of railcar rolling control. The paper analyzes modern technologies for train marshalling, examines approaches to controlling the rolling process using railcar retarders, and explores the structure and operational principles of the corresponding control modules. A procedure for calculating the exit speed of railcar cuts from the retarder position of the automated classification device with counter-slopes has been developed. A method for optimizing the exit speed of railcar cuts is proposed, aimed at enhancing the efficiency and safety of train marshalling. Particular attention is paid to the technical and economic justification for implementing an automated control system for yard retarders. The research results can be used for the modernization of classification yards to facilitate automation and optimize their performance.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра залізничних станцій та вузлів

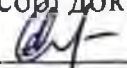
Рівень вищої освіти: магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (залізничний транспорт)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, доктор техн. наук

 О. М. Огар
« 24 » лютого 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лагуті Роману Владиславовичу

1. Тема проекту «Розробка процедури розрахунку швидкостей виходу відчепів з паркової гальмової позиції при застосуванні автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами»

керівник проекту (роботи) Огар Олександр Миколайович, д.т.н., професор
затверджені розпорядженням факультету УПП від «24» лютого 2025 року № 04/25

2. Строк подання студентом закінченої роботи – «16» червня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи): характеристика вагонних уповільнювачів, характеристика пристроїв автоматизації, план гіркової горловини сортувального пристрою, середньодобові розміри переробки на сортувальному пристрої.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз технології розформування составів на сортувальних гірках. Аналіз підходів до управління процесом скочування вагонів з гірок. Структура та принципи функціонування модулів управління вагонними уповільнювачами. Формування процедури розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами. Оптимізація швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами. Техніко-економічне обґрунтування варіанту впровадження автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): об'єкт, предмет, задачі дослідження, елементи наукової новизни, мета роботи; випадкові фактори, що впливають на процес регулювання швидкості скочування відчепів на ППП; конструкція сортувального пристрою з протиухилами; архітектура автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами; математична модель визначення оптимальної швидкості виходу відчепу з паркової гальмової позиції; «розмиті» області значень швидкості співударяння відчепів у

сортувальному парку; математичні очікування швидкості співударяння відчепів; «розмиті» області значень швидкості співударяння відчепа у сортувальному парку, отримані у результаті моделювання; результати моделювання швидкості співударяння відчепа з вагонами у сортувальному парку; раціональні швидкості виходу відчепів розрахункового составу з ПГП, отримані в результаті моделювання; розрахунок економічного ефекту від автоматизації паркової гальмової позиції (2 аркуши); висновки. Загалом 14 аркушів.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування варіанту впровадження автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами.	Наталія ГРИЦЕНКО, доцент, канд. екон. наук		

7. Дата видачі завдання «24» лютого 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
Вступ		
1 Аналіз технології розформування составів на сортувальних гірках	10.03.2025	
2 Аналіз підходів до управління процесом скочування вагонів з гірок. Структура та принципи функціонування модулів управління вагонними уповільнювачами.	24.03.2025	
3 Формування процедури розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами	14.04.2025	
4 Оптимізація швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами	05.05.2025	
5 Техніко-економічне обґрунтування варіанту впровадження автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами	26.05.2025	
7 Висновки	09.06.2025	
8 Оформлення роботи	16.06.2025	

Студент

Роман ЛАГУТА

Керівник проекту (роботи)

Олександр ОГАР

Зміст

Вступ	7
1 Аналіз технології розформування составів на сортувальних гірках	10
2 Аналіз підходів до управління процесом скочування вагонів з гірок. Структура та принципи функціонування модулів управління вагонними уповільнювачами	23
2.1 Аналіз підходів до управління процесом скочування вагонів на автоматизованих сортувальних гірках	23
2.2 Структура та принципи функціонування модулю управління парковою гальмовою позицією у системі АРШ-ПУПГ	29
3 Формування процедури розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами	38
3.1 Вплив випадкових факторів на процес скочування відчепів на сортувальних коліях	38
3.2 Розробка процедури визначення приблизних значень питомих опорів руху відчепу, що мають випадковий характер, та математичної моделі розрахунку оптимальної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції	41
4 Оптимізація швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами	51
4.1 Обґрунтування об'єму вибірки	52

					РПРШВ.300.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка процедури розрахунку швидкостей виходу відчепів з паркової гальмової позиції при застосуванні автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Лагута						5	85
Перевіряв	Огар					УкрДУЗТ		
Н. Контр.	Шаповал							
Затверд.	Огар							

4.2 Моделювання швидкості співударяння одновагонного відчепу з вагонами у сортувальному парку	53
4.3 Розрахунок оптимальної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції	56
5 Техніко-економічне обґрунтування варіанту впровадження автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами	63
5.1 Прогнозування обсягів переробки вагонів на сортувальному пристрої	65
5.2 Визначення витрат на ремонт пошкоджених вагонів	66
5.3 Визначення втрат від пошкодження вантажів	68
5.4 Розрахунок витрат, пов'язаних з простоем вагонів у парку приймання	69
5.5 Розрахунок витрат на електроенергію	70
5.6 Розрахунок коефіцієнту приведення результатів та затрат проекту до розрахункового року	71
5.7 Розрахунок економічного ефекту від реалізації інвестиційного проекту автоматизації паркової гальмової позиції	72
Висновки	75
Список використаних джерел	77
Додаток А Результати натурних спостережень за роботою сортувальної гірки	80

Вступ

Прицільне регулювання швидкості скочування відчепів у сортувальному парку є одним із найважливіших і водночас найскладніших етапів процесу сортування вагонів. Суть проблеми полягає у необхідності забезпечення такого режиму руху кожного окремого відчепа, щоб він досяг точки прицілювання з допустимою швидкістю співударяння вагонів і не створив «вікно» на підгірковій колії.

На вирішення цієї проблеми впливає багато факторів. Основними з них є різноманітність характеристик вагонів, зміна зовнішніх умов, неоднорідність профілю колій, труднощі в налаштуванні гальмівних засобів, необхідність швидкого прийняття рішень операторами гальмових позицій та інші. Якщо більш ширше аналізувати вплив зазначених факторів, то слід зазначити наступне.

Відчепи мають різну вагу, довжину, технічний стан та основний питомий опір. Це безпосередньо впливає на їх прискорення та уповільнення під час скочування. Одні й ті ж гальмівні зусилля можуть бути недостатніми або надмірними для різних вагонів.

Такі, наприклад, погодні умови, як дощ, сніг, ожеледь призводять до зниження коефіцієнта тертя між колесами вагонів і рейками, в результаті чого змінюється динаміка руху, що ускладнює точне регулювання швидкості відчепів на парковій гальмовій позиції (ПГП).

Незначні ухили або підйоми на сортувальних коліях також можуть призводити до істотних змін у швидкості руху відчепів. Особливо важко прицільно відрегулювати швидкість на коліях зі складним профілем.

Ефективність гальмових засобів ПГП може варіюватися в залежності від їх технічного стану, затримок у спрацьовуванні, неправильного вибору сили гальмування.

Часто у процесі сортування вагонів операторам необхідно в режимі реального часу реагувати на зміну ситуації, що вимагає високої кваліфікації та швидкої корекції параметрів скочування.

Відомими наслідками неякісного регулювання швидкості є пошкодження вантажу і вагонів та аварійні ситуації при зіткненні вагонів із сильним ударом, потреба в додатковому втручанні при зупинці відчепів на сортувальній колії, порушення ритму роботи сортувального парку.

У зв'язку з цим підвищення точності розрахунку швидкості виходу відчепів з ПГП автоматизованих сортувальних пристроїв представляє собою актуальне науково-прикладне завдання, що відповідає сучасним напрямкам наукових програм Укрзалізниці, в тому числі Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року [1].

Метою дослідження є підвищення ефективності регулювання швидкості скочування відчепів на парковій гальмовій позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами. Для цього необхідно розробити процедуру розрахунку швидкостей виходу відчепів з паркової гальмової позиції на основі визначення приблизних значень основного питомого опору їх руху і питомого опору їх руху від повітряного середовища і вітру та оптимізації вказаних швидкостей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати технологію розформування составів на сортувальних гірках;
- проаналізувати підходи до управління процесом скочування вагонів на автоматизованих сортувальних гірках;
- сформувати процедуру розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами;
- виконати оптимізацію швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами;
- оцінити економічну ефективність впровадження автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами.

Об'єктом дослідження є процес розформування составів на автоматизованому сортувальному пристрої з протиухилами.

Предметом дослідження є технологічні параметри процесу регулювання швидкості скочування відчепів на парковій гальмовій позиції.

Для моделювання сортувального процесу використано методи імітаційного моделювання. Для визначення оптимальних технологічних параметрів процесу регулювання швидкості скочування відчепів на парковій гальмовій позиції використано чисельні методи розв'язання оптимізаційних задач та методи математичної статистики.

Елементи наукової новизни роботи. Вперше сформовано процедуру розрахунку швидкостей виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами, що базується на визначенні приблизних значень питомих опорів руху відчепу, що мають випадковий характер, та оптимізації вказаних швидкостей. Застосування вказаної процедури дозволить забезпечити допустиму швидкість співударяння вагонів і мінімізувати довжину «вікон» на коліях сортувального парку.

1 Аналіз технології розформування составів на сортувальних гірках

Для створення комп'ютерних методів і засобів, які дають змогу аналізувати системи управління технологічним процесом розпуску залізничних составів на сортувальних гірках з метою розробки рекомендацій щодо автоматизації гірки, перш за все потрібно мати чітке уявлення про процеси, що відбуваються в цих системах, про методи їх автоматизації, основні задачі розпуску, а також способи формалізації процесів формування та розформування составів.

Сортувальні станції виконують основну частину переробки вагонів і формування маршрутних, збірних і передавальних поїздів згідно з планом формування. Для реалізації сортувальних операцій на станціях передбачені сортувальні гірки.

Сортувальна гірка – це технічний пристрій, що призначений для поділу та формування составів. Вона складається з двох основних частин – насувної та спускної, поєднання яких утворює перевальну частину. Початком гірки вважається верхня точка вертикальної кривої, що з'єднує насувну і спускні частини.

Насувна частина охоплює ділянку витяжної колії або парку прийому та її продовження в бік сортувального парку. Вона використовується для розміщення состава перед розпуском і його подачі на вершину гірки. Колія насуву – це колія в межах насувної частини. У деяких випадках для підвищення пропускної здатності додається ще одна колія насуву, що дозволяє розпускати два состави паралельно.

Спускна частина призначена для роз'єднання составу на відчепи, які під дією сили тяжіння скочуються вниз і спрямовуються на відповідні сортувальні колії згідно з призначенням. Її профіль складається з прискорювальної ділянки, гальмових позицій, стрілочної зони та сортувальних колій. На прискорювальній ділянці відбувається набір швидкості відчепом. Гальмові позиції забезпечують регулювання інтервалів між відчепами та здійснюють прицільне гальмування з метою рівномірного заповнення колій і запобігання ушкодженню вагонів і

вантажу. Стрілки задають маршрут руху відчепа, що скеровує його на потрібну колію. У процесі розпуску на коліях сортування формується новий состав.

Процес розформування відбувається так: маневровий локомотив подає состав на вершину гірки, де за сортувальним листом поступово відчіпляються групи вагонів. Після перевалу через вершину вагони, що відокремилися, під дією сили тяжіння скочуються вниз і залежно від положення стрілок потрапляють на потрібні колії. Формування маршруту – це встановлення положення стрілок таким чином, щоб відцеп потрапив саме на призначену для нього колію. Ця операція виконується вручну оператором або автоматично.

На спускній частині гірки одночасно можуть перебувати кілька відцепів, що рухаються з різною швидкістю. Якщо б усі вони мали однакову швидкість, інтервал між ними залишався б незмінним на всій довжині гірки. Насправді ж через відмінності у питомому опорі руху, відстані до колій призначення та інших чинниках, швидкості відцепів неоднакові. Коли передній відцеп рухається повільніше за задній, інтервал між ними зменшується. Якщо він скорочується настільки, що стає неможливим переведення стрілки, вагони можуть потрапити на чужу колію. Це призводить до появи «чужих» вагонів, що потребує додаткової маневрової роботи або може навіть спричинити зіткнення, що, у свою чергу, веде до пошкодження вагонів та вантажів.

Тому контроль швидкості насуву состава та швидкості скочування кожного відчепа є критично важливим завданням для забезпечення ефективності та безпеки роботи сортувальної гірки.

Для забезпечення безпечної та ефективної роботи сортувальної гірки необхідно витримувати мінімально допустимий інтервал між відчепами на розділових стрілках. Це потрібно для того, щоб попередній відцеп зміг пройти стрілку до її переведення на маршрут наступного. Крім того, при підході до вагонів на сортувальних коліях швидкість відцепу не повинна перевищувати встановлену межу допустимого удару. Інакше, як і у випадку нагону одного відчепа іншим, можливе пошкодження рухомого складу й вантажу. Досягнення зазначених умов вимагає ефективного регулювання процесу гальмування.

Водночас надмірне уповільнення відчепів із низькими ходовими якостями призводить до утворення значних інтервалів («вікон») між вагонами, що формують состав, що, у свою чергу, потребує додаткових маневрових операцій.

Збільшення пропускної здатності сортувальних гірок можливе передусім шляхом інтенсифікації процесу розпуску составів, що досягається підвищенням швидкостей їх обробки, активним використанням змінного режиму швидкості розформування та організацією паралельного розпуску двох составів.

Інтенсифікація сортувального процесу зумовлює суттєве скорочення інтервалів між составами, які підлягають розпуску, а також між окремими відчепами на гірці. Збільшується кількість відчепів, що перебувають одночасно в зоні контрольованого скочування. Як наслідок, зростає імовірність виникнення помилок у вигляді нерозділення, неправильного запуску, перевищення допустимої швидкості співударяння та появи надмірних «вікон» на сортувальних коліях. За таких умов необхідним є суттєве покращення якості регулювання інтервалів і швидкостей руху відчепів у зоні сортування.

На навіть частково механізованих гірках оператор виконує декілька ролей: технолога, що реалізує програму розпуску; оператора дистанційного управління, який регулює швидкість скочування; та диспетчера, який контролює маневрові операції. Хронометраж та експертний аналіз свідчать, що оператор працює з великим потоком інформації, яка надходить: безпосередньо під час процесу розпуску (30%), із сигнальних приладів на пульті керування (40%) та з пам'яті (30%).

На операції керування швидкістю скочування, положенням стрілок, сигналами й інші маневрові дії припадає в середньому 80% у разі наявності електричної централізації (ЕЦ) та 60% на гірках із гірковою автоматичною централізацією (ГАЦ). Решта часу витрачається на контроль коректності виконання програми розпуску, оцінку інтервалів між відчепами, їх рухових властивостей, технічного стану засобів керування, правильності маневрових переміщень, спостереження за вагонами з особливими умовами обробки. В умовах ЕЦ на ці функції витрачається близько 20% часу, а на ГАЦ – до 40%.

Таке співвідношення навантаження вказує на переважання функцій управління, яке ускладнюється у випадках відхилень від стандартного розпуску: зміни розпускної програми, самовільне відчеплення вагонів, нагін відчепів, переповнення сортувальних колій, поява вагонів, що потребують особливих умов, помилки в даних, обмежена видимість об'єктів. Наслідками таких збоїв можуть бути: потрапляння вагонів не на свої колії («чужаки»), зупинки відчепів на коліях, великі інтервали між вагонами, затримки у русі, простоя гірки, небезпека аварійних ситуацій, пошкодження вантажів, техніки, сходи з рейок тощо.

Отже, праця гіркового оператора надзвичайно відповідальна, вимагає високого рівня професіоналізму та практичного досвіду. У сучасних умовах існує реальна проблема з підготовкою та підбором кадрів для роботи на таких посадах.

Зазначені чинники пояснюють посилену увагу до автоматизації процесів розформування составів на сортувальних гірках як у вітчизняній практиці, так і за кордоном. На сортувальних станціях широко впроваджуються системи гіркової автоматичної централізації (ГАЦ), а також локальні системи автоматичного завдання швидкості розпуску (АЗШР), автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів (АРШ) та інші подібні рішення.

Система ГАЦ забезпечує встановлення маршрутів у двох режимах: маршрутному та програмному. У маршрутному режимі оператор задає маршрут кожного наступного відчепа безпосередньо перед його скочуванням з вершини. При необхідності маршрут може бути змінений вручну оператором через стрілочну рукоятку. У програмному режимі дані про маршрути надходять з оперативного накопичувача гіркового обладнання (ГОЗП) або з іншого пристрою пам'яті. ГАЦ також передбачає можливість ручного керування окремими стрілками. До складу підсистеми входять блоки формування та передачі маршрутних завдань, стрілочні приводи та пристрої контролю рейкових ланцюгів. Переведення стрілки для чергового відчепа відбувається автоматично після його надходження на попередню стрілку за умови, що відповідний рейковий ланцюг є вільним. Для запобігання переведенню стрілки під вагонами з довгою базою (більше 12,5 м між внутрішніми колісними парами візків) додатково

використовуються фотоелектричні або радіотехнічні датчики. Основними недоліками системи ГАЦ є складність налаштування цих датчиків, відсутність автоматичного контролю за якістю розпуску, застаріле технічне обладнання та обмеженість алгоритмічної взаємодії з іншими підсистемами, зокрема з АСУ СС.

Удосконаленням ГАЦ є система з контролем розпуску (ГАЦ-КР) або децентралізована система автоматизованого управління маршрутами на гірці (АСУ МР). Вони мають зв'язок із АСУ СС, здійснюють моніторинг руху кожного відчепа та формують звіти за результатами розформування, виділяючи «чужаків» – вагони, що потрапили не на призначену колію. Також системи можуть автоматично вносити коригування в програму розпуску у разі помилок у відчепленні вагонів. Якщо, наприклад, замість одного відчепа відокремлюються два чи більше, наступні маршрутні завдання анулюються. Якщо кількість вагонів у відчепі менша, ніж очікувалося, система призначає додаткове завдання для решти вагонів, які залишились. Такі функції реалізуються і в інтегрованих автоматизованих комплексах.

Підсистема АЗШР, спираючись на дані з ГОЗП про склад відчепів, обчислює необхідну швидкість розпуску кожного з них. Ця інформація передається через систему гіркової автоматичної локомотивної сигналізації до підсистеми телеуправління гірковим локомотивом (ТГЛ), яка забезпечує реалізацію змінної швидкості руху. Склад ТГЛ включає стаціонарне обладнання, пристрої на колії та апаратуру в локомотиві.

На гірковому посту встановлюється шифратор для кодування заданої швидкості та передавач, що містить генератор несучої частоти та модулятор. У локомотиві розміщено антену, приймач, дешифратор, блок автоматичного регулювання швидкості, датчик швидкості, а також пульти для контролю та ручного керування швидкістю. Швидкості, згенеровані підсистемою АЗШР, перетворюються в частотно-модульовані сигнали, що передаються до локомотива, де вони декодуються та перетворюються на керуючу напругу, пропорційну швидкості. Блок автоматичного регулювання швидкості порівнює задане й фактичне значення та генерує команди для коригування руху локомотива.

Окрім цього, команда про швидкість надходить від АЗШР також до пристрою перемикання гіркового світлофора та на пульт оператора гірки для візуального контролю.

У вітчизняних комплексних системах автоматизації процесу розпуску составів підсистеми автоматичного керування досі не реалізовані, хоча, згідно з досвідом закордонних залізниць (наприклад, станція Машен, ФРН), застосування радіоуправління дозволяє збільшити середню швидкість розпуску на 10-20%. Умови, що склалися на вітчизняній залізничній мережі, вимагають при вирішенні задачі регулювання швидкості насуву враховувати існуючі обмеження, пов'язані з технічними можливостями зв'язку з гірковим локомотивом, інерційністю процесів та неможливістю індивідуального встановлення швидкості насуву для кожного окремого відчепу.

Робота підсистеми АРШ (автоматичного регулювання швидкості) побудована за таким принципом: на початку вільного руху відчепу здійснюється визначення його прискорення, категорії маси та кількості вагонів. Отримана інформація надходить до обчислювального пристрою, куди також передається стан заповнення сортувальної колії, по якій рухається відчеп, та показники опору середовища. Розрахована вихідна швидкість відчепу передається у виконавчі механізми, які керують уповільнювачами. У них також відбувається коригування цих значень відповідно до вимог інтервального гальмування, що враховує дані радіолокаційного вимірювача швидкості.

Такі алгоритми керування використовуються в багатьох автоматизованих системах розпуску в Україні та за кордоном. Зокрема, у системі КГМ фактична швидкість відчепів у зоні гальмування визначається за допомогою приладів РВШ-В2 або РВШ-В3, а інформація про залишок місця на сортувальній колії отримується з використанням комплексу контролю заповнення колії (КЗК), також на базі радіолокаційних приладів. Вимірювачі РВШ-В2 було створено ще на початку 1980-х років спеціально для потреб гіркової автоматики.

Крім цього, для фіксації швидкості застосовуються магнітні педалі типу ПБМ-56. Встановлені по кілька на вході та виході гальмівної позиції, вони

реєструють проходження осей, тобто безпосередньо вимірюють швидкість руху відчепів.

При обчисленні оптимальної швидкості виходу з паркової гальмівної позиції важливе значення мають не лише ходові характеристики, але й дані про заповненість колій, а також результати руху попереднього відчепа по відповідному маршруту – зокрема, чи досяг він кінця колії, чи відбулося зіткнення, і якщо так, то з якою швидкістю. Ця інформація слугує зворотним зв'язком і дозволяє уточнювати розрахунки відповідно до конкретних умов.

Серед наявних комплексів контролю заповнення колій найефективнішим є КТС-КЗК. Проте, попри функціональність, він має чимало недоліків: велика маса апаратури (понад 300 кг на 8 колій), понад 100 блоків, складність у відстеженні руху кількох відчепів одночасно, що суттєво знижує пропускну спроможність. Дані про заповнення колії є достовірними лише за умови повної зупинки відчепа, яку сам комплекс не фіксує. Через надто повільний рух відчепа перед зупинкою виникають затримки, що негативно впливають на продуктивність. Велика кількість блоків означає значну кількість з'єднань, складне технічне обслуговування й необхідність щотижневих перевірок електромеханіком. Навіть незначні зміни в електропровідності баласту чи ізоляції можуть викликати хибні сигнали. Крім типових вимірювальних приладів для обслуговування системи необхідно мати ще й 7 спеціалізованих стендів для перевірки плат.

Попри ці недоліки, безперечною перевагою комплексу КТС-КЗК є його здатність стабільно працювати в умовах значних кліматичних і вібраційних впливів.

У зарубіжних автоматизованих системах розпуску залізничних составів ефективність підсистем регулювання швидкості значно вища. Це зумовлено застосуванням на першій і другій гальмівних позиціях сучасніших типів уповільнювачів – зокрема, у Німеччині використовують гідравлічні пристрої з можливістю налаштування до 15 ступенів натискання. Для запобігання псуванню вантажів і рухомого складу, а також для ліквідації інтервалів між вагонами в

сортувальному парку, додатково використовуються автономні точкові сповільнювачі Dowty або Thyssen та пристрої для осаджування вагонів.

Вивчення технологій ручного, механізованого та автоматизованого розформування, а також аналіз проєктів і впроваджених систем автоматизації показує, що розпуск складається з трьох основних функціональних напрямів: керування маршрутами руху, контроль швидкості насуву та регулювання швидкості руху відчепів. Останній напрям додатково ділиться на два завдання: інтервальне гальмування, що підтримує необхідні проміжки між відчепами для забезпечення можливості їх розділення на стрілках, і прицільне гальмування, спрямоване на забезпечення допустимої швидкості зіткнення на сортувальних коліях.

Маршрутизація передбачає своєчасне переведення стрілки, щоб відчеп був направлений на задану колію. Здійснення цієї дії ускладнюється необхідністю підтримки високої швидкості відчепів у стрілочній зоні та обмеженням у вигляді інерційності стрілочного механізму. Для зменшення часу переведення стрілок у таких умовах використовуються високошвидкісні електроприводи, які здійснюють перемикання за 0,5-0,6 секунди, що істотно знижує ймовірність неправильного запуску відчепів.

Швидкість насуву складу на сортувальну гірку залежить від показань гіркових світлофорів і встановлюється начальником залізниці з урахуванням профілю гірки та наявного технічного обладнання. Найпоширенішими є нормативи: до 10 км/год. для довгих останніх відчепів, які відчіплюються машиністом під зелений сигнал, і до 5 км/год. – під жовтий. Також можливе комбіноване світлофорове інформування (жовто-зелений сигнал), що дозволяє розпуск із проміжною швидкістю, або червоний – заборона розпуску. Вибір максимальної швидкості насуву (в межах 5-10 км/год.) обумовлений необхідністю виконання розчеплення на протиухилі гірки та початкового прискорення відчепів.

Згідно з нормативами проєктування, нові сортувальні гірки мають забезпечувати швидкість насуву составів не менше 5 км/год. навіть за складних зимових умов та найгірших поєднань відчепів. Разом із тим, експлуатаційна

практика свідчить, що в умовах, відмінних від розрахункових, зокрема за сприятливих параметрів маршруту, режимів гальмування та властивостей відчепів, можливо збільшення швидкості насуву.

Виділяють кілька основних схем регулювання швидкості насуву:

- постійна швидкість для кожного состава, що задається на основі найгіршого варіанту поєднання відчепів у цьому составі;
- постійна, але змінна залежно від довжини состава: кожна частина состава подається з різною сталою швидкістю;
- змінна швидкість насуву, що коригується в процесі, враховуючи умови скочування відчепів, їх розміщення та маршрути.

Максимізація пропускної здатності гірки та досягнення найвищої швидкості розпуску можливі саме при використанні змінної швидкості насуву. Такий підхід потребує складних розрахунків, які залежать від довжини й ваги відчепів, розподілу маршрутів, ходових характеристик, а також умов гальмування. Проте реалізація змінного насуву ускладнюється низкою технічних і технологічних обмежень, які потрібно враховувати в процесі проектування та експлуатації сортувальних систем.

По-перше, при реалізації процесу регулювання швидкості насуву складу важливо, щоб гірковий локомотив мав змогу за час інтервалу t , що виникає між моментами відриву суміжних відчепів, встигнути або розігнати состав, що насувається, або, навпаки, знизити його швидкість до необхідного рівня. Однак це завдання ускладнюється тим, що фактичний час, доступний для впливу, менший за сам інтервал через неминучу затримку реакції системи на момент відриву. Крім того, можливості встановлення потрібної швидкості насуву обмежуються технічними характеристиками маневрових локомотивів, зокрема їх недостатньою тяговою потужністю та слабкістю гальмівної системи. При розгоні состава зусилля тяги можуть бути обмежені коефіцієнтом зчеплення, допустимими динамічними навантаженнями, необхідністю послідовного проходження через керуючі позиції, а також умовами, за яких можливо видавлювання легких вагонів. Тяга має зростати плавно, без стрибків. Аналогічні обмеження існують і в процесі

гальмування, що зазвичай виконується самим локомотивом. Прискорення або уповільнення, яке допустиме у цих умовах, обмежене в діапазоні від 0,05 до 0,2 м/с². Водночас, часті розгони та гальмування призводять до значного збільшення витрат механічної енергії та експлуатаційних витрат.

По-друге, величина прискорення состава при розгоні може бути співставною з прискоренням, що виникає у відчепа при його вільному русі після відокремлення. Це спричиняє затримку моменту відриву, оскільки і состав, що насувається, і відчеп, що відривається, рухаючись з однаковим прискоренням, за той самий проміжок часу проходять однакову відстань. У деяких ситуаціях це призводить до того, що локомотив наздоганяє відчеп, який щойно від'єднався. Крім того, при спробах регулювання шляхом розгону різко скорочується відстань між сусідніми відчепами, що утворюється на швидкісній ділянці, яка, у свою чергу, необхідна для їх чіткого розділення на стрілках.

Регулювання швидкості відчепів на спускній частині гірки – це одна з найскладніших і найвідповідальніших задач сортування з погляду технічної реалізації. Метод контролю швидкості скочування визначається як типом впливу на вагон, так і характеристиками технічних засобів. Усі методи поділяються за принципом дії: на ті, що базуються виключно на гальмуванні, та на комбіновані – з елементами як гальмування, так і прискорення.

У першій групі можна виділити гальмування за допомогою стаціонарних або рухомих уповільнювачів. Також застосовуються керовані гальмівні візки. На стаціонарних гальмівних позиціях можливе як встановлення єдиної швидкості для всіх відчепів, так і індивідуальне завдання параметрів для кожного. Типи уповільнювачів, що застосовуються для таких операцій, різноманітні: це балочні конструкції (натискні та вагові), які працюють на пневматичному, гідравлічному або електричному приводі; також використовуються електромагнітні та електродинамічні (як одновиткові, так і багатовиткові), гвинтові уповільнювачі з гумовими гальмівними елементами, а також традиційні башмачні пристрої.

До другої групи відносять методи, які передбачають безперервний вплив на відчепа за допомогою або рухомих механізмів, або електромагнітного поля. У

першому випадку зазвичай використовуються тросові осаджувачі чи пристрої, що поєднують функції прискорення та гальмування, з лінійними електродвигунами. У другому варіанті електромагнітне поле створюється, наприклад, шляхом подачі струму великої сили через колісні пари вагонів. Методи з «дискретним» впливом передбачають багаторазову зміну швидкості відчепа (прискорення та уповільнення) за допомогою гідравлічних точкових пристроїв, гвинтових механізмів або електродинамічних систем прискорення-гальмування.

Точкові уповільнювачі – це некеровані пристрої, подібні за конструкцією до домкратів, які мають обмежену потужність. Вони активуються лише тоді, коли швидкість відчепа перевищує задану контрольну межу. Якщо такі уповільнювачі розмістити з мінімальними проміжками на прискорювальній ділянці гірки й налаштувати на різні швидкості в межах певної ділянки, то можна досягти квазінеперервного гальмування. Застосування такого типу пристроїв значно спрощує систему регулювання швидкості порівняно з прицільним гальмуванням, оскільки не потребує обчислення пробігу відчепа, його ходових властивостей та інших параметрів, необхідних для визначення швидкості виходу з гальмівної позиції.

У ряді сортувальних станцій за кордоном гальмування здійснюється виключно точковими уповільнювачами з номінальними швидкостями спрацьовування: 4,25 м/с у стрілочній зоні та 1,25 м/с на сортувальних коліях. На інших станціях, таких як Нюрнберг (ФРН), ці пристрої застосовуються лише на сортувальних коліях, тоді як гальмівні позиції обладнані балочними уповільнювачами.

Згідно з досвідом використання аналогічних систем у Китаї, оптимальні умови накопичення вагонів на колії забезпечуються тоді, коли профіль сортувальної колії поділений на три секції. Перша – для поганих бігунів із ухилом, що відповідає питомому опору їх руху (6 ‰); друга – для середніх бігунів; третя – для вагонів із найкращими ходовими характеристиками, де ухил становить 1 ‰. Рекомендоване співвідношення довжин цих відрізків при змішаному потоці вагонів на гірці складає 1:3,5:1.

Крім спеціального профілю колії, квазінеперервне гальмування потребує значної кількості уповільнювачів. Наприклад, на станції Відень-Центральна їх встановлено близько 39 тисяч, а на станції Нюрнберг – приблизно 42 тисячі. Таким чином, подібна система потребує великих початкових інвестицій, а також значних витрат на обслуговування та підтримку у працездатному стані, особливо у зимовий період за наявності снігових заметів.

Саме ці обставини спричиняють відмову від тросових і візкових осаджувальних пристроїв, які, хоча й забезпечують примусове переміщення відчепів із заданою швидкістю від початку сортувальної колії до місця накопичення, потребують високих витрат на утримання. Попри широке застосування таких систем на сортувальних станціях Німеччини, в інших країнах вони дедалі рідше використовуються через технічну складність і дороговартісність експлуатації.

На більшості сортувальних гірок управління швидкістю скочування відчепів здійснюється за допомогою гальмування балочними уповільнювачами. Використання таких пристроїв на спускній частині гірки потребує значно менших капіталовкладень і в цілому дає змогу ефективно вирішувати завдання як інтервального, так і прицільного гальмування. На користь цього методу свідчить накопичений міжнародний досвід його практичного застосування. Наприклад, уже в 1976 році в США було автоматизовано 24 сортувальні станції з використанням гальмівних позицій, серед яких були такі великі об'єкти, як Норттаун і Вест-Колтон. Аналогічні системи застосовуються і на національних залізницях Франції.

Сумарна розрахункова потужність гальмівного обладнання на механізованих гірках має бути достатньою для зупинки відчепів із найкращими ходовими характеристиками на парковій гальмівній позиції, за умови повного використання можливостей усіх гальмівних позицій на маршруті скочування. Як правило, механізовані сортувальні гірки обладнуються двома гальмівними позиціями, тоді як гірки з підвищеною пропускною здатністю та автоматизовані комплекси – трьома. Ключовим показником ефективності гальмівної позиції є

величина реалізованої енергетичної висоти, яка погашається при гальмуванні – тобто кількість виконаної гальмівної роботи, віднесена до однієї тони сили маси вагона. Стандартною одиницею вимірювання гальмівного ефекту прийнято 1 метр енергетичної висоти (м ен.в.).

Процес регулювання швидкості скочування відчепів, як правило, поділяється на два етапи: інтервальне та прицільне гальмування. Інтервальне гальмування відповідає за створення та підтримку необхідних часових і просторових інтервалів між відчепами у межах спускної частини гірки. Прицільне ж гальмування здійснюється з урахуванням конкретної точки зупинки відчепа у сортувальному парку – залежно від довжини пробігу, регулюється допустима швидкість зіткнення вагонів.

Функціональний розподіл цих завдань між гальмівними позиціями відбувається наступним чином. Перша гальмівна позиція (I ГП), розташована одразу після вершини гірки, відповідає за інтервальне гальмування – вона вирівнює інтервали між послідовними відчепами, забезпечуючи умови для переведення стрілок і запобігаючи надмірно високим швидкостям входу на другу позицію. Друга, пучкова гальмівна позиція (II ГП), виконує інтервально-прицільне гальмування – її завданням є не лише підтримка інтервалів, але й контроль швидкості перед входом на третю позицію, а в окремих випадках – забезпечення допустимої швидкості зіткнення на сортувальних коліях.

Третя позиція (III ГП), розташована перед сортувальним парком, відповідає виключно за прицільне гальмування. Вона забезпечує необхідну швидкість зчеплення між вагонами та мінімальні проміжки між ними на колії, що дозволяє уникнути утворення великих «вікон» і необхідності додаткових маневрових операцій. Саме досягнення цих останніх двох вимог залишається найскладнішим завданням як для операторів при ручному розпуску, так і для більшості сучасних автоматизованих систем керування.

2 Аналіз підходів до управління процесом скочування вагонів з гірок. Структура та принципи функціонування модулів управління вагонними уповільнювачами

2.1 Аналіз підходів до управління процесом скочування вагонів на автоматизованих сортувальних гірках

Міжнародний досвід експлуатації сортувальних гірок підтверджує, що комплексна автоматизація процесу розформування поїздів є ключовим засобом зменшення витрат на експлуатацію, підвищення продуктивності використання технічного обладнання та поліпшення умов праці операторів гірки. Одним із базових елементів систем автоматизації сортувального процесу є підсистема автоматичного регулювання швидкості руху відчепів (АРШ). Вона відповідає за обчислення та формування у режимі реального часу значень швидкості виходу відчепів із гальмівних позицій із дотриманням принципів інтервального та прицільного регулювання.

Першою системою такого типу на території колишнього СРСР стала АРШ, розроблена Центральним науково-дослідним інститутом (ЦНДІ). У ній швидкість виходу з першої гальмівної позиції визначалась залежно від ходових властивостей вагонів, які характеризувалися через еквівалент вагової категорії q_{cp} . Для здійснення прицільного гальмування на другій гальмівній позиції й на парковій позиції використовувалось значення прискорення a_x , що вимірювалося за допомогою трьох педальей на відповідній вимірювальній ділянці.

Інтервальне гальмування у цій системі реалізувалося за принципом забезпечення однакового часу скочування відчепів, що в теорії гарантувало формування необхідних інтервалів для переведення стрілок. Однак, такий підхід був суто статистичним і забезпечував потрібні умови лише в середньому по потоку составів. У конкретних випадках точність регулювання порушувалась через випадкові зміни ходових властивостей вагонів, зовнішніх умов або неточності реалізації заданої швидкості.

У системі АРШ, розробленій інститутом «Діпротрасисигналзв'язок» (АРШ ДТСЗ), режим управління уповільнювачами обчислювався з урахуванням еквіваленту ваги, що відповідав питомому опору руху. Своєрідною особливістю системи було виявлення тенденції відхилення прийнятого вагового еквіваленту від реального, що базувалося на порівнянні фактичної вхідної швидкості відчепів у ГП2 з теоретичною для певної вагової категорії. Завдяки обробці статистичних даних система могла автоматично адаптувати програми та налаштовувати режими управління.

Попри інноваційність, системи АРШ ЦНДІ і АРШ ДТСЗ не забезпечували достатньої точності регулювання, що змушувало операторів втручатися в процес. Серед причин цього – недосконалість алгоритмів керування, обмеження технічних засобів реалізації заданих швидкостей, а також низька ефективність засобів контролю заповнення колій (КЗК).

Аналіз виявлених недоліків дозволив фахівцям розробити системи нового покоління – КГМ РІІЗТ і АСУ РСГ, які базуються на дворівневому підході до вирішення задач автоматизації [3]. На першому етапі здійснюється імітаційне моделювання процесу скочування з визначенням оптимальних параметрів управління. Другий етап передбачає адаптацію керуючих впливів під реальні умови та їхнє безпосереднє виконання.

Систему КГМ РІІЗТ було впроваджено на станціях Красний Лиман і Батєво, а АСУ РСГ – на станції Ясинувата. Обидві реалізовані за модульною структурою і виконують розрахунок параметрів управління до початку розпуску составу. Комплекс КГМ РІІЗТ має режим навчання, в якому накопичує і аналізує інформацію про вагонопотік гірки, зберігаючи ці дані у блоці моделей. Розрахунок оптимальних швидкостей розпуску та впливів на гальмівні позиції виконується поетапно, починаючи з визначення допустимих швидкостей співударяння у сортувальному парку. Після цього розраховується необхідна швидкість виходу з паркової гальмівної позиції, далі – швидкість входу на неї з урахуванням необхідності гасіння кінетичної енергії. Аналогічно розраховується швидкісна траєкторія на гальмівних позиціях ГП2 і ГП1, завершуючи обчисленням параметрів на вершині гірки.

Серед основних недоліків системи КГМ РІІЗТ варто відзначити складність її налаштування та чутливість мікропроцесорних компонентів до зовнішніх впливів. Через ці фактори функції інтервального та прицільного гальмування нерідко виконувались у ручному режимі безпосередньо операторами.

У системі АСУ-РСГ (автоматизованої системи керування розформуванням составів на сортувальній гірці) моделювання процесу скочування охоплює всю гірку загалом і починається з вершини. Вона здатна функціонувати як у автоматичному, так і ручному режимах з можливістю оперативного перемикання за рішенням оператора. У програмному режимі система виконує математичне моделювання процесу розпуску на основі заздалегідь введених даних та обчислює необхідні швидкості виходу відчепів з гальмівних позицій разом з іншими параметрами, які підлягають контролю та корекції під час реального процесу.

Однак, головним обмеженням АСУ РСГ є її централізована структура, яка унеможливорює повноцінну автоматизацію у випадку відмови хоча б одного з елементів – у таких ситуаціях система вимагає переходу до ручного керування.

Покращеною версією КГМ РІІЗТ став гірковий мікропроцесорний комплекс нового покоління КГМ ПК, побудований на базі промислових комп'ютерів [4]. Його апаратні засоби мають підвищену надійність і призначені для безперервної цілодобової роботи. Характерною рисою КГМ ПК є інформаційно-аналітична підсистема підтримки прийняття рішень, яка виконує обробку первинної інформації, проводить статистичний та інтелектуальний аналіз роботи системи автоматизації сортувального процесу, формує пропозиції щодо оптимізації керування гіркою.

До складу КГМ ПК входить підсистема АРШ-ПУПГ, що керує швидкістю скочування та прицільним гальмуванням. Вона автоматично адаптується до зміни зовнішніх умов – температури, вітру, а також до стану гальмівних елементів (враховуючи зміну розтвору шин та налаштування регуляторів тиску). Система моделює розміщення осей вагонів у зоні гальмування та безперервно оцінює ходові якості кожного відчепа на основі їхнього руху через контрольні ділянки. У разі відмови технічних пристроїв передбачені алгоритми для безпечного управління рухом відчепів.

Перевагою системи є застосування адаптивних алгоритмів гальмування, які спрямовані на зменшення енергоспоживання, підвищення збереження вагонів і вантажів, а також подовження терміну експлуатації гальмівного обладнання.

Ще однією сучасною підсистемою автоматизованого регулювання швидкості є АРШ МП. Вона базується на адаптивних алгоритмах, що дозволяють моделювати процес скочування та обчислювати режими гальмування для досягнення необхідної швидкості виходу. Керуючі впливи формуються на основі взаємодії з системами ГАЛС, ГАЦ та КЗК. При цьому враховуються осьові моделі руху відчепів, значення вихідних швидкостей з гальмівних позицій і результати аналізу ефективності гальмування.

Система ГАЦ-АРС-ДТСЗ, введена на станціях Естонської залізниці, забезпечує комплексне управління процесом розпуску. Вона підтримує моделювання розташування рухомих одиниць у зоні ГАЦ, визначає швидкості виходу з гальмівних позицій та ПГП, формує команди для уповільнювачів, виконує контроль за заповненням підгіркових колій, реєструє перебіг сортувального процесу та інформує диспетчерів.

Розрахунок необхідних швидкостей виходу виконується з урахуванням таких параметрів, як вагова категорія, довжина і динамічні характеристики груп вагонів, а також особливості гальмівних пристроїв. Система побудована за модульним принципом із використанням стандартного обладнання і підтримує мережеву взаємодію, що дозволяє її інтеграцію як у діючі, так і в нові сортувальні комплекси.

На багатьох закордонних сортувальних гірках завдання автоматизації вже давно вирішується через використання комплексних систем та окремих модулів АРШ. Одним з прикладів є система Proyard II [5], яка успішно застосовується з кінця 1990-х років у США та Канаді. Вона контролює положення стрілок на маршрутах відчепів і керує уповільнювачами на двох гальмівних позиціях, враховуючи ходові властивості вагонів, погодні умови та забезпечуючи моніторинг заповнення сортувальних колій. Характерною особливістю Proyard II є інтеграція з системою АЕІ для зчитування номерів вагонів, що значно спрощує контроль за потоком рухомого складу.

Французька система автоматизації процесу розпуску составів ВУАПІ [6] призначена для автоматичного контролю швидкості скочування відчепів і керування їх маршрутами на сортувальній гірці. Вона працює на основі принципу «прицільного попадання», тобто забезпечення точної відповідності фактичної швидкості відчепа заданому значенню. Дані про кількість осей, середню масу та швидкість відчепу отримуються за допомогою датчиків фіксації відчеплення, тиску та педалей. Додатково враховуються параметри вітру, довжина пробігу відчепа, а також профіль і технічні характеристики колії. На основі цієї інформації в реальному часі обчислюється потрібна швидкість виходу з однієї гальмівної позиції та вхідна швидкість на наступну.

Німецька система Micor [6], створена для автоматичного регулювання швидкості, виконує розрахунок допустимої швидкості виходу відчепа з уповільнювачів і визначає потрібну ступінь гальмування для ефективного погашення його кінетичної енергії. У моделі враховуються напрям і сила вітру, швидкість і довжина відчепа, середня маса, питомий опір руху, а також допустима швидкість співударяння з вагонами на підгіркових коліях. Фактичні дані про швидкість після уповільнювача зберігаються в комп'ютері для подальшого аналізу ефективності гальмування.

На сортувальних гірках у Європі, Африці та Азії застосовується система Saxbi, яка об'єднує функції керування стрілками, компресорною станцією та регулювання швидкості скочування. Вона функціонує за принципом, подібним до ВУАПІ. Вхідні дані про параметри відчепа надходять з датчиків ваги, швидкості та електронних лічильників осей. Ходові властивості визначаються шляхом обчислення часу проходження між лічильниками.

Широке поширення отримала модульна мікропроцесорна система MRS 32 [6], створена компанією Siemens для комплексного управління сортувальними станціями різної категорії. У її склад входять підсистеми керування стрілками, сигналами, датчиками проходження колісних пар, уповільнювачами, системами ідентифікації рухомого складу та радіоуправління локомотивом.

Під кожен конкретний гірку формується математична модель, яка враховує тип і потужність гірки, її профіль, особливості гальмівних пристроїв та місцеві умови. Модель перевіряється шляхом моделювання на ЕОМ, після чого визначаються оптимальні точки розміщення контрольних датчиків і гальмівних позицій.

Управління швидкістю скочування здійснюється через уповільнювачі, розташовані на верхній, середній і нижній гальмівних позиціях. У процесі руху відчепа формується інформація про його масу (зчитується датчиком перед стрілочною зоною), довжину (за допомогою радара), а правильність відчеплення контролюється п'ятипроменевим світловим бар'єром. Ці дані доповнюються інформацією з датчиків спускної частини гірки, КЗК та сортувального листка, після чого обчислюється необхідна інтенсивність гальмування. Вся інформація потрапляє до центрального процесора, який після обробки керує гальмівними позиціями.

Система MRS 32 сумісна з різними типами інформаційних платформ і виконує розрахунок оптимальних параметрів управління ще до початку розформування, враховуючи індивідуальні особливості кожного відчепа. Вона здійснює контроль за ходом розпуску через порівняння запланованих і фактичних швидкостей виходу, веде електронний журнал розформування на АРМ, а також виконує прогнозування критичних ситуацій (зупинка, наздоганяння, бічне зіткнення), що дозволяє оперативно зреагувати й запобігти їх виникненню.

Альтернативним рішенням системи MRS 32 для сортувальних гірок середньої та великої потужності є система DDC III, створена у США і впроваджена на залізничних станціях Німеччини, США, Канади, Китаю, Нідерландів та Італії. Основним критерієм її ефективності виступає швидкість зіткнення відчепів у підгірковому парку, яка стабільно не перевищує 1,5 м/с. Система дозволяє здійснювати постійний моніторинг кожного рухомого елемента на всій ділянці від вершини гірки до кінця сортувальної колії, фіксуючи відстані між відчепами, їх швидкість, а також необхідну довжину пробігу по підгіркових коліях. Виходячи з цих параметрів, з урахуванням метеоумов, колійних характеристик та параметрів уповільнювачів, система обчислює потрібне гальмівне зусилля і подає відповідні команди виконавчим пристроям.

Дослідження наявних систем гіркової автоматизації свідчить, що питання ефективного регулювання швидкості скочування відчепів досі не має повністю задовільного вирішення. Основні перешкоди на шляху до досягнення необхідної точності пов'язані з недосконалістю теоретичних основ формування керуючих впливів у процесі розформування составів та з технічними обмеженнями й недоліками в роботі апаратури гіркової автоматики.

У процесі вдосконалення сучасних методів розрахунку оптимальних керуючих дій у системах гіркового керування особливу увагу необхідно приділяти врахуванню впливу випадкових чинників зовнішнього середовища, індивідуальних ходових характеристик вагонів, а також інерційних властивостей гальмівного обладнання, які мають суттєвий вплив на кінцевий результат.

2.2 Структура та принципи функціонування модулю управління парковою гальмовою позицією у системі АРШ-ПУПГ

Для управління швидкістю руху відчепів шляхом гальмування їх на гальмових позиціях до складу гіркового комплексу КГМ у складі КСАУ СС входить підсистема автоматизованого регулювання швидкостей скочування відчепів і управління прицільним гальмуванням (АРШ-ПУПГ).

Підсистема реалізує інтервальне регулювання швидкості з метою забезпечення необхідних інтервалів між суміжними відчепами та прицільне регулювання для з'єднання відчепів на сортувальних коліях з допустимою швидкістю співударяння та запобігання утворення «вікон» між ними.

Реалізацію вказаних функцій підсистеми забезпечують три гальмові позиції, розташовані на гірці таким чином, що перша ГП повинна забезпечити інтервальне регулювання швидкості відчепів для створення достатніх інтервалів між ними на розділових стрілках. Друга (пучкова) ГП забезпечує розділення відчепів на наступних розділових стрілках по маршруту скочування і, у випадку зайнятості третьої ГП, допустиму швидкість співударяння відчепу, що рухається, з відчепом,

що знаходить на уповільнювачах ПГП. Перша та друга ГП обладнані балочними уповільнювачами натискного типу КЗ-3. Третя гальмова позиція реалізує функції прицільного регулювання і обладнана уповільнювачами типу РНЗ-2М. Особливість РНЗ-2М полягає в тому, що він складається із 3 окремих уповільнювачів довжиною 3 м, які приводяться у робочий стан одночасно.

Для вирішення задачі підвищення точності інтервального та прицільного регулювання швидкості скочування відчепів в системах АРШ та АРШ-ПУПГ використовується принцип плавного управління уповільнювачами гальмових позицій. Цей принцип передбачає зниження швидкостей до розрахункових значень шляхом безперервного гальмування з постійним контролем тиску в гальмовій полості циліндра уповільнювача та інтенсивності зміни швидкості відчепа.

Прицільне регулювання швидкості руху відчепів у підсистемі АРШ-ПУПГ виконує модуль управління парковою гальмовою позицією (рис. 2.1).

Для вирішення задачі автоматичного регулювання швидкості скочування відчепів необхідно мати повну інформацію про маршрут руху відчепа, його вагову категорію, кількість осей і вагонів у відчепі. Також потрібно мати постійну інформацію про проходження відчепом контрольних ділянок сортувальної гірки по датчикам осей і рейковим колам.

Контрольні ділянки (КД) зони паркової гальмової позиції починаються за лічильниками осей останніх стрілочних переводів і закінчуються на уповільнювачах ПГП (рис. 2.2). До складу КД ПГП входять:

- ізольовані ділянки рейкових кіл: РК0 – перед уповільнювачем, РК1 – уповільнювач;
- один швидкостемір РИС-ВЗМ;
- датчик-лічильник осей Д1 на вході з уповільнювача ПГП;
- один уповільнювач натискного типу.

Сигнали колійних реле, датчиків і швидкостемірів надходять у контролер ГАЦ і інформація про їх стан зберігається в загальній пам'яті системи. На основі даної інформації ведеться модель руху відчепа по підгірковим коліям, яка дозволяє відстежувати взаємне розташування відчепів та розраховувати їх швидкість.

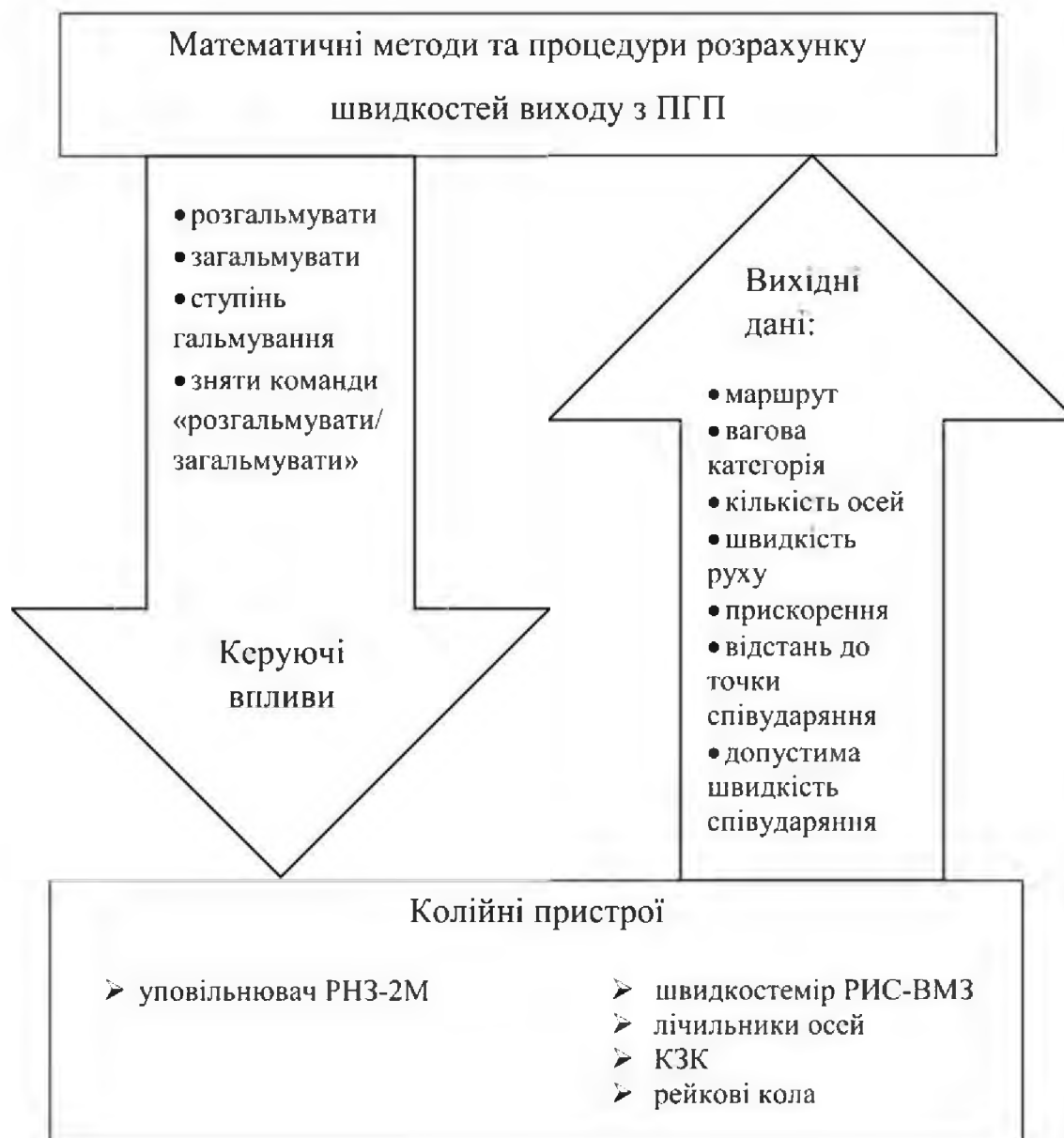


Рисунок 2.1 – Модуль управління ПГП в АРШ-ПУПГ

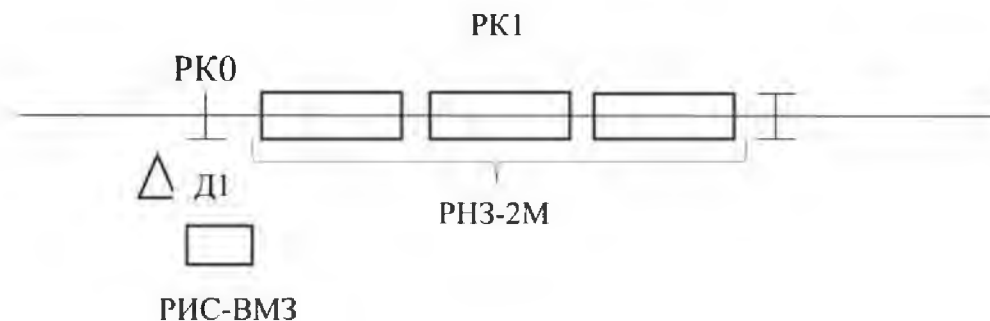


Рисунок 2.2 – Контрольна ділянка паркової гальмової позиції

Задача розрахунку швидкості виходу відчепа з ПГП використовує дані моделі руху відчепа по сортувальним коліям і дані про стан КЗК, а саме:

- відстань від ГП до точки співударяння;
- кількість ділянок КЗК до точки прицілювання;
- час руху відчепа по ділянках КЗК;
- встановлене нормативними документами допустиме значення швидкості співударяння вагонів у сортувальному парку.

На вхід задачі подається номер колії сортувального парку на яку рухається відчеп. Щоб встановити координати точки прицілювання, задача перевіряє стан уповільнювача ПГП. Якщо уповільнювач вільний і не був зайнятим, а у моделі немає відчепа на колії, то задача завершує роботу. Якщо уповільнювач зайнятий, а КЗК дорівнює 0 (тобто колія вільна), то відчеп, що знаходиться в уповільнювачі, ставиться у моделі на відповідну колію і записується інформація про його параметри та поточну швидкість.

У момент звільнення уповільнювача поточному відчепу присвоюється ознака «хвіст» і визначається швидкість його виходу з уповільнювача. Після цього розраховується координата «голови» відчепа:

$$X_{гол} = X_{хв} + L_{від}, \quad (2.1)$$

де $L_{від}$ – довжина відчепа, м.

Далі координата хвоста постійно збільшується на величину поточної швидкості помножену на час виклику задачі. Якщо хвіст вийшов за контрольовану зону КЗК, то координата зупинки $X_{зуп}$ дорівнює довжині цієї зони. Якщо ж голова поточного відчепа дійшла до точки зупинки хвоста попереднього, то $X_{зуп} = X_{хв}^{ном}$.

Після встановлення точки прицілювання необхідно визначити поточну швидкість руху відчепа та його прискорення. Так, як на коліях сортувального парку відсутні інші пристрої для визначення швидкості, поточна швидкість визначається

шляхом підрахунку часу руху хвоста відчепа по ділянці КЗК (T) при відомій довжині ділянки $L_{\text{КЗК}}$:

$$V_{\text{ном}} = \frac{L_{\text{КЗК}}}{T}. \quad (2.2)$$

Задача постійно перевіряє стан КЗК колії, що обробляється. Якщо він не змінився, то відбувається збільшення лічильника часу руху відчепа по ділянці. При звільненні ділянки розраховується швидкість $V_{\text{ном}}$ та прискорення $A_{\text{ном}}$ відчепа на ній.

$$A_{\text{ном}} = \frac{(V_{\text{ном}}^2 - V_{\text{попер}}^2)}{2L_{\text{КЗК}}}, \quad (2.3)$$

де $V_{\text{попер}}$ – швидкість руху відчепа по попередній ділянці.

Значення прискорення на кожній ділянці КЗК є основним параметром, що визначає точність прицільного регулювання, тому воно повинно корегуватися залежно від ходових властивостей конкретного відчепа, виміряних під час його руху по спускній частині гірки. Для найбільш точного визначення прискорення відчепа на ділянці КЗК необхідно з великою точністю визначити його поточну швидкість. Тому до апаратури КЗК пред'являються жорсткі вимоги щодо швидкості оновлення інформації – не менше 1 разу на секунду, та строго фіксованої зони дії ділянки – 25 або 30 м [7].

Розраховане прискорення записується у відповідну таблицю прискорень у залежності від вагової категорії та кількості вагонів у відцепі, а потім корегується під час кожного наступного розрахунку. Корегування відбувається наступним чином: якщо нове значення прискорення $A_{\text{ном}}$ більше табличного A_m на величину більшу чи рівну коефіцієнту адаптації K_a , то

$$A_m = A_m + K_a, \quad (2.4)$$

якщо ні –

$$A_m = A_{nom} , \quad (2.5)$$

K_a характеризує швидкість адаптації і залежить від різниці поточних та табличних прискорень. Збільшення різниці означає різку зміну зовнішніх умов, що впливають на прискорення відчепів – скачки температури, збільшення сили вітру, опади, тощо. У такому випадку збільшується значення K_a і швидкість адаптації таблиць збільшується. Однак, для швидкого реагування на різкі зміни погодних умов необхідне пряме вимірювання параметрів повітряного середовища за допомогою метеодатчиків із занесенням відповідних поправок у таблиці прискорень.

Отримавши всю необхідну інформацію: координати точки прицілювання $X_{зуп}$, кількість ділянок до співударяння та прискорення на цих ділянках, задача обирає швидкість співударяння $V_{співуд}$ (3-5 км/год.) у залежності від відстані до $X_{зуп}$. Далі розраховується швидкість виходу з останньої перед точкою прицілювання ділянки КЗК:

$$V_{вихі} = \sqrt{V_{співуд}^2 - 2A_{mi}L_{КЗК}} , \quad (2.6)$$

де i – номер останньої ділянки перед співударянням;

$V_{вихі}$ – швидкість виходу відчепа з ділянки i ;

A_{mi} – середнє накопичене прискорення відчепів з визначеними параметрами на i -тій ділянці.

Далі задача переходить на попередню ділянку й розраховує швидкість виходу з неї:

$$V_{вих(i-1)} = \sqrt{V_{вихі}^2 - 2A_{m(i-1)}L_{КЗК}} . \quad (2.7)$$

На наступних кроках i зменшує і процедура розрахунку повторюється до тих пір, доки i не стане дорівнювати 0. Після останнього розрахунку при $i=0$ задача видає розрахункову швидкість виходу відчепа із уповільнювача паркової гальмової позиції $V_{вихПГП}$.

Після визначення $V_{вихПГП}$ модуль управління ПГП вирішує задачу управління швидкістю відчепів на ГП та гальмування їх до розрахункової швидкості [8].

Вхідними даними для задачі є:

- стан контрольної ділянки ГП (рис. 2.2), а саме зайнятість чи вільність РК, кількість осей, що пройшли через лічильник Д1;
- характеристика відчепа: кількість осей, вага, кількість вагонів;
- поточна швидкість зі швидкостеміра та лічильника осей;
- розрахункова швидкість виходу з ГП.

Управління відчепом може починатися з моменту появи першої його осі на датчику Д1 і продовжуватись до моменту виходу останньої осі з РК1. У випадку, якщо лічильник осей несправний або відсутній, моменти зайняття та звільнення уповільнювача ГП визначаються по РК.

Алгоритм управління уповільнювачами наведений у додатку Б. Він передбачає два стани КД ГП. Якщо КД вільна проводиться контроль очікування відчепа, що підходить до ГП (по наявності системного номера у черзі КД). У випадку «очікування» відчепа на уповільнювач подається команда «розгальмувати», інакше команди «розгальмувати/загальмувати» знімаються, що дозволяє знизити витрати повітря (не тримати уповільнювач піднятим).

При зайнятій КД, залежно від швидкості об'єкта на ГП, формується ознака активного управління. Якщо $V_{ном} < (V_{рвихПГП} + \varepsilon)$, де ε – допустима похибка управління, то формується ознака «немає необхідності керувати об'єктом». В іншому випадку формується ознака «керувати».

Під час руху об'єкта по КД ГП можливі наступні ситуації [9]:

- відчеп не ідентифікований – відсутня інформація про його вагу, число вагонів та кількість осей. У такому випадку запускається алгоритм аварійного

управління уповільнювачами. Відчепу присвоюються фіктивні параметри: третя вагова категорія та кількість вагонів у відчепі – два. Аналіз розміщення осей в уповільнювачі не проводиться;

– відчеп ідентифікований, але не завершений – інформація про його параметри неповна. Для розрахунку і реалізації розрахункової швидкості виходу відчепа з ГП використовуються фіктивні параметри: третя вагова категорія та кількість вагонів у відчепі – чотири;

– відчеп ідентифікований і завершений. Це стандартна ситуація, у якій параметри відчепа обираються за його системним номером у загальній пам'яті системи.

Якщо сформована ознака «керувати» та об'єкт ідентифікований, то у залежності від розміщення відчепа відносно датчика Д1 та величини його енергії, яку необхідно погасити, визначається необхідна ступінь гальмування:

$$st = \frac{V_{nom}^2 - (V_{p\text{auxIII}} + \varepsilon)^2}{2(E + K)}, \quad (2.8)$$

де V_{nom} – поточна швидкість відчепа;

E – енергія, яку може погасити одна ступінь уповільнювача;

K – коефіцієнт, що враховує поточну швидкість відчепа.

Значення E і K є табличними та налаштовуються на етапі встановлення програмного забезпечення.

По величині поточної швидкості відчепа та його відносному прискорення формується прогноз зміни швидкості, що використовується для визначення моменту розгальмування. Під час гальмування проводиться контроль зниження швидкості на поточній ступені гальмування і, якщо вона не дозволяє загальмувати відчеп, відбувається підвищення ступені.

Після визначення ступеню гальмування реалізація управління уповільнювачами може відбуватися двома способами:

— безперервне гальмування з контролем зміни швидкості до виконання нерівності $V_{пот} < (V_{р\ вих\ ПГП} + \varepsilon)$;

— імпульсне гальмування з контролем зміни швидкості та заданої тривалості впливу.

Таким чином, система АРШ-ПУПГ реалізує функції прицільного гальмування за адаптивними алгоритмами, забезпечуючи енергозбереження, безпечну швидкість співударяння відчепів та збільшуючи строк експлуатації гальмових засобів.

У той же час неповністю вирішеним залишається питання визначення ходових властивостей відчепу, що є актуальним для підвищення точності розрахунку швидкостей виходу відчепів із паркової гальмової позиції. Іде пошук математичних методів, що адекватно описують процес руху відчепів на ділянках перед ПГП для того, щоб використовувати отримані дані для прогнозування руху тих же відчепів на коліях сортувального парку в зоні дії апаратури КЗК і підвищити точність прицільного регулювання швидкостей руху відчепів на ПГП.

3 Формування процедури розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами

3.1 Вплив випадкових факторів на процес скочування відчепів на сортувальних коліях

Складність рішення задачі прицільного регулювання швидкості пов'язана з тим, що сортувальні гірки працюють в умовах невизначеності вхідної інформації про відчепи та умови скочування. 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. Зазначена проблема має місце і при застосуванні сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відчепів [10] (рис. 3.1).

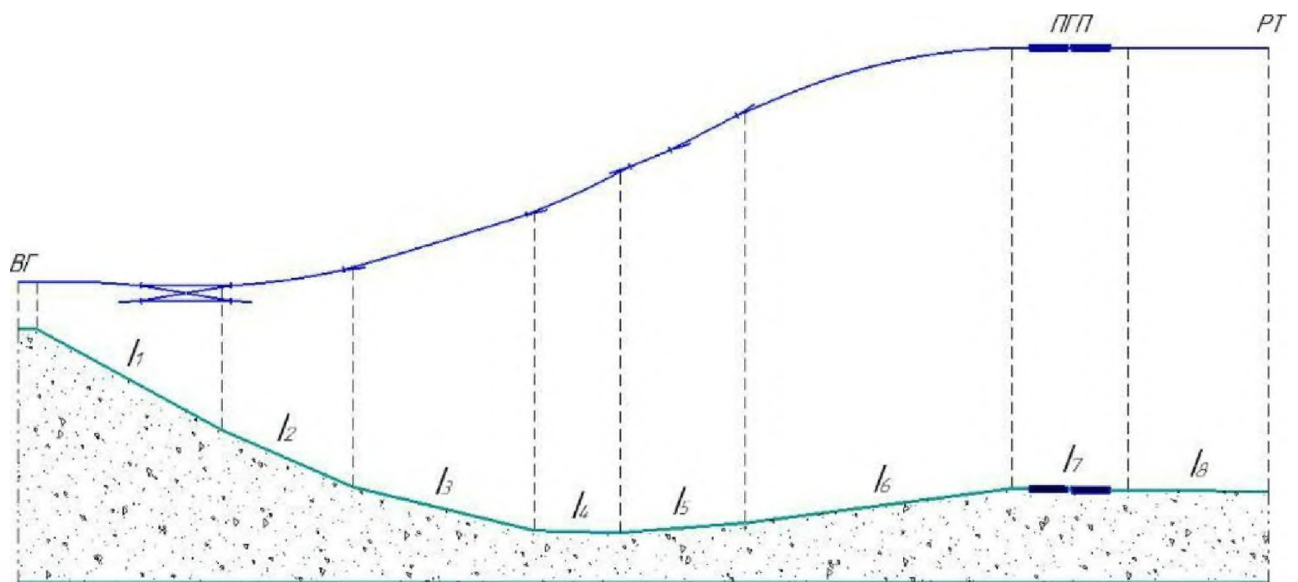


Рисунок 3.1 – Конструкція сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відчепів

До факторів, що складно піддаються формалізації і прогнозуванню, та впливають на ефективність прицільного гальмування, відносять технічний стан засобів регулювання швидкості скочування відчепів та пристроїв автоматизації, ступінь

урахування і спосіб представлення при конструктивно-технологічних розрахунках параметрів, що мають випадковий характер, стан колісних пар вагонів, що розформовуються на гірці, швидкість реакції та рівень професійної підготовки оперативного персоналу тощо [11]. Перелік випадкових факторів, що впливають на точність розрахунку технологічних параметрів паркової гальмової позиції наведено у табл. 3.1.

Ефективність гальмування відчепів для уповільнювачів РНЗ-2М [12, 13] залежить від розміщення колісних пар у їх шинах і може змінюватися в декілька разів. Враховуючи, що в кожного із трьох сповільнювачів різний технічний стан і вони по-різному відрегульовані, то від їх однакових за тривалістю впливів на відчеп можуть бути малопередбачувані наслідки. Сукупна інерційність розгальмовування доходить в окремих випадках до 2,5-3,0 с.

Незадовільний стан колісних пар (наявність на колесах мастила, напливів з металу великої твердості, бітуму або свіжої фарби) може бути причиною помилок у реалізації заданої швидкості виходу відчепів з ПГП та параметричних відмов вагонних уповільнювачів [11]. Половина параметричних відмов виникають саме через незадовільний стан колісних пар [11].

Значний вплив на ефективність прицільного гальмування здійснюють погодні умови, зокрема наявність атмосферних опадів та відносна вологість повітря. Навіть невеликий дощ знижує гальмову потужність натискного сповільнювача на 10 %, а за вологості 100 % гальмова потужність кліщоподібних уповільнювачів знижується приблизно на 32,5 %. Влучення в пару тертя вологи знижує ефективність гальмування на 15-20 %.

Помилки операторів при управлінні гальмовими засобами також є випадковими факторами, що впливають на якість прицільного регулювання [11]. На механізованих сортувальних гірках 20% помилок оператори допускають при реалізації програми розпуску, 50% – при регулюванні швидкості скочування відчепів і 30% – при оцінці оперативної ситуації [11]. На автоматизованих сортувальних гірках помилки операторів мали місце відповідно у 22%, 65% і 13% випадків [11]. Спрогнозувати ці помилки неможливо. Тому зменшення впливу

«людського» фактору на процес регулювання швидкості скочування відчепів є першочерговим завданням на шляху підвищення його ефективності.

Таблиця 3.1 – Випадкові фактори, що впливають на точність розрахунку швидкості виходу відчепа з ПГП

Позначення	Опис фактору
φ_y	гальмові характеристики уповільнювачів ПГП, а саме час загальмування/розгальмування, розтвір шин, номінальна гальмова потужність
ω_o	основний питомих опір відчепа, що є результатом тертя осей колісних пар у буксах, тертя кочення між колесами вагона та рейками, ударів коліс на стиках, нерівномірності зносу бандажів, перекосу осей та ін.
$\varphi_{кт}$	стан колісних пар вагонів, що розформовуються на гірці (наявність на колесах мастила, напливів з металу великої твердості, бітуму або свіжої фарби)
φ_{po}	розміщення колісних пар відчепа в уповільнювачі в момент гальмового натиснення
$k_{св}$	поведінка повітряних мас, що діють на відчеп у процесі його скочування с гірки
$\omega_{сн}$	характер взаємодії колісних пар відчепа з колією у зимових умовах за наявності снігу та інію
φ_{ao}	наявність атмосферних опадів та відносна вологість повітря, що впливає на коефіцієнт тертя відчепів в шинах уповільнювачів
$k_{зав}$	рівномірність завантаження вагонів відчепа
$k_{ін}$	інертні властивості різних типів вантажів, що розміщуються у вагонах відчепа
$k_{кр}$	тип та стан кріплення вантажу у вагонах
V_{po}	швидкість реакції та рівень професійної підготовки оперативного персоналу

Отже, коректне врахування параметрів, що мають стохастичну природу, при розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції є необхідною умовою підвищення ефективності процесу розформування составів.

3.2 Розробка процедури визначення приблизних значень питомих опорів руху відчепу, що мають випадковий характер, та математичної моделі розрахунку оптимальної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції

Як зазначено вище, на даний момент невирішеним питанням є забезпечення достатньої точності розрахунку швидкості виходу відчепів з ПГП за наявності множини випадкових факторів. Важливо зазначити, що точне значення основного питомого опору руху відчепу не є відомим. Цей опір розглядається як випадкова величина, що підпорядкована гамма-розподілу [14]. Також не є відомим точне значення питомого опору руху відчепів від повітряного середовища і вітру. Цей опір залежить від швидкості і напрямку вітру, які можуть суттєво змінюватися протягом коротких проміжків часу, і спрогнозувати його величину після виходу відчепу з ПГП до моменту зупинки на сортувальній колії або зіткнення з вагонами дуже складно. Крім того, величина зазначеного опору залежить від середньої швидкості відчепа на дільниці скочування, а, щоб визначити середню швидкість, необхідно, щоб була відома початкова швидкість – швидкість виходу відчепу з ПГП, яку потрібно визначити спочатку.

Таким чином, для підвищення точності розрахунку швидкостей виходу відчепів з ПГП необхідно розробити процедуру визначення приблизних значень питомих опорів руху відчепу, що мають випадковий характер.

Розрахункова швидкість виходу відчепа з ПГП розраховується за відомаю формулою

$$V_{вих}^{ПГП} = \sqrt{V_{снів.}^2 + 2 \cdot g' \cdot (i_{СП} - \omega) \cdot l_{проб.} \cdot 10^{-3}}, \quad (3.1)$$

де $V_{снів.}$ – допустима швидкість співударяння відчепів, м/с;

g^l – приведені прискорення вільного падіння з урахуванням інерції маси елементів відчепа, що обертаються, м/с²;

$i_{СП}$ – ухил поздовжнього профілю колій сортувального парку, ‰;

ω – питомий опір руху відчепа, Н/кН;

$l_{проб.}$ – відстань, яку необхідно подолати відчепу з моменту виходу з ПГП до точки прицілювання (ТП), м,

$$l_{проб.} = l_{ПГП-ТП} - l_{відч.}, \quad (3.2)$$

де $l_{ПГП-ТП}$ – відстань від кінця ПГП до ТП, м;

$l_{відч.}$ – довжина відчепу по осям автозчеплень, м.

При виході відчепів з ПГП на швидкість їх скочування впливають чотири види питомого опору, а саме: основний питомий опір руху (ω_0), питомий опір руху від повітряного середовища і вітру ($\omega_{СВ}^{СП}$), питомий опір руху від криволінійної ділянки колії (за її наявності на коліях сортувального парку) ($\omega_{кр.}^{СП}$) і питомий опір руху відчепів від снігу і інею ($\omega_{сн.}^{СП}$). Таким чином,

$$\omega = \omega_0 + \omega_{СВ}^{СП} + \omega_{кр.}^{СП} + \omega_{сн.}^{СП}. \quad (3.3)$$

Підвищити точність розрахунку швидкості виходу відчепів з ПГП можна шляхом впровадження на сортувальному пристрої з гравітаційно-прицільним їх гальмуванням автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами (АСКПУ), структуру якої наведено на рис. 3.2.

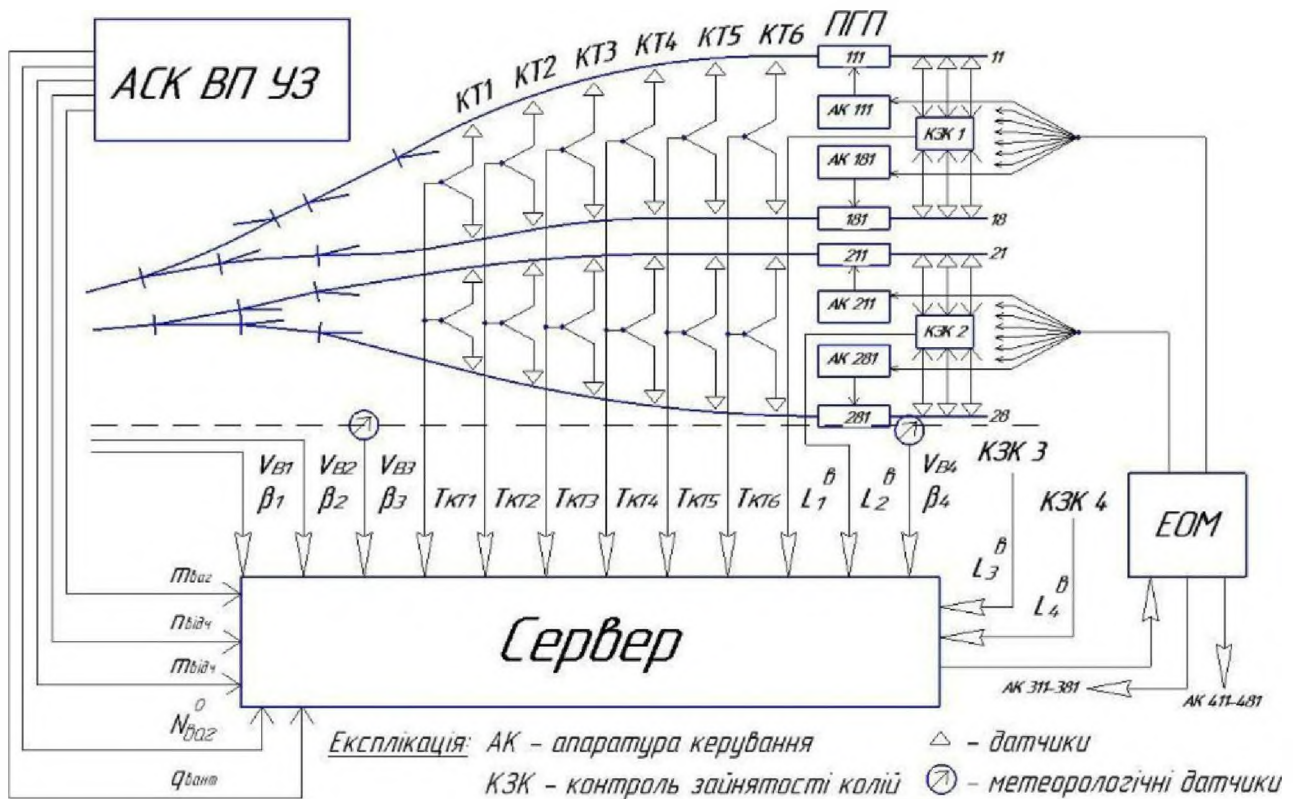


Рисунок 3.2 – Архітектура автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами

В проміжок часу руху першої осі відчепу, що обмежується моментами її проходження контрольних точок (КТ) 1 і 6, АСКПУ фіксує та зберігає у сервері поточні значення швидкості і напрямку вітру у місці розташування кожного метеорологічного датчика та моменти проходження цієї віссю КТ1 ($T_{КТ1}$), КТ2 ($T_{КТ2}$), КТ3 ($T_{КТ3}$), КТ4 ($T_{КТ4}$), КТ5 ($T_{КТ5}$) і КТ6 ($T_{КТ6}$). На основі інформації про моменти проходження першою віссю відчепу контрольних точок і з урахуванням відстані між цими точками розраховуються середні швидкості відчепу на ділянках КТ1-КТ2, КТ2-КТ3, КТ3-КТ4, КТ4-КТ5 і КТ5-КТ6 та будується залежність швидкості відчепу від часу $V = V(t)$, де $t \in [T_{КТ1}, T_{КТ6}]$. Також у вказаний проміжок часу будуються залежності від часу швидкості і напрямку вітру, що мають місце в зоні розташування кожного метеорологічного датчика. Зазначені залежності і дані про відчеп (тип, маса і довжина вагонів, число осей в кожному вагоні) використовуються для розрахунку питомих опорів його руху від криволінійних

дільниць і стрілочних переводів ($\omega_{CK}^{KT1-KT6}$), Н/кН, повітряного середовища і вітру ($\omega_{CB}^{KT1-KT6}$), Н/кН, в проміжок часу $[T_{KT1}; T_{KT6}]$. Визначення кількості стрілочних переводів і суми кутів повороту, які проходить відчеп в зазначений проміжок часу, та середньої крутизни підйому, по якому рухається центр ваги відчепу протягом цього проміжку часу ($i_C^{KT1-KT6}$), $^{\circ}/_{\text{оо}}$, здійснюється на основі вісної моделі вагону.

Зазначених даних достатньо для того, щоб розрахувати приблизне значення основного питомого опору руху відчепу (ω_0^{Π}). При розташуванні дільниці, що обмежується КТ1 і КТ6, на підйомі

$$\omega_0^{\Pi} = \frac{(V_{KT1}^2 - V_{KT6}^2) \cdot 10^3}{2 \cdot g' \cdot l_{KT1-KT6}} - i_C^{KT1-KT6} - \omega_{CK}^{KT1-KT6} - \omega_{CB}^{KT1-KT6} - \omega_{сн.}^{KT1-KT6}, \quad (3.4)$$

де V_{KT1} , V_{KT6} – швидкість відчепу в момент проходження його першою віссю відповідно КТ1 і КТ6, м/с;

$l_{KT1-KT6}$ – довжина дільниці колії, що обмежується КТ1 і КТ6, м;

$\omega_{сн.}^{KT1-KT6}$ – питомий опір руху відчепу від снігу і інею, Н/кН, в проміжок часу $[T_{KT1}; T_{KT6}]$. $\omega_{сн.}^{KT1-KT6}$ розраховується згідно [14].

$i_C^{KT1-KT6}$, $\omega_{CK}^{KT1-KT6}$ і $\omega_{CB}^{KT1-KT6}$ визначаються шляхом моделювання руху відчепу одразу після проходження його першої осі КТ6.

Миттєве значення крутизни підйому, по якому рухається центр ваги відчепу, $^{\circ}/_{\text{оо}}$, коли його перша вісь знаходиться в точці S [15] ($S \in [S_{KT1}; S_{KT6}]$, де S_{KT1} , S_{KT6} – координата відповідно КТ1 і КТ6, м),

$$i(S) = \frac{1}{Q_{сидч}} \sum_{j=1}^{m_{сидч}} \frac{Q_{саз,j}}{n_{саз,j}} \sum_{r=1}^{n_{саз,j}} i(S_{rj}), \quad (3.5)$$

де $Q_{відч}$, $m_{відч}$ – відповідно маса відчепа, т, і число вагонів у відчепі;
 $Q_{ваг. j}$ – маса j -го вагона відчепа, т;
 $n_{ос. j}^{ваг.}$ – число осей в j -му вагоні відчепа;
 S_{rj} – координата точки, в якій знаходиться r -та вісь j -го вагона, м;
 $i(S_{rj})$ – крутизна елемента профілю, на якому знаходиться r -та вісь j -го вагона, °/оо.

Випадкове миттєве значення питомого опору руху відчепа від стрілок і кривих при вісній його моделі [15]

$$\omega_{СК}^* = - \frac{0,125 \cdot V^2}{n_{ос. відч.}} \cdot \sum_{v=1}^{n_{ос. відч.}} \frac{(0,56 \cdot \Theta_{b_y} + 0,23 \cdot \varphi_{b_y}) \cdot \ln(\prod_{x=1}^8 R_{b_x})}{l_{СКb_y}}, \quad (3.6)$$

де V – миттєва швидкість відчепа, м/с, (визначається на основі залежності $V = V(t)$, яку формує АСКПУ);

$n_{ос. відч.}$ – число осей у відчепі;

Θ_{b_y} , $l_{СКb_y}$ – відповідно тип і довжина, м, b -го елемента, по якому проходить y -ва вісь відчепа ($\Theta_{b_y} = 0$, якщо y -ва вісь відчепа знаходиться у кривій або на прямій дільниці; $\Theta_{b_y} = 1$, якщо y -ва вісь відчепа знаходиться на стрілочному переводі);

φ_{b_y} – кут повороту кривої b -го елемента, по якому проходить y -ва вісь відчепа, °;

R_{b_x} – випадкові числа, що рівномірно розподілені в інтервалі $[0;1]$, для b -го елемента.

Згідно [14] миттєве значення питомого опору руху відчепа від середовища і вітру, Н/кН, визначається за формулою

$$\pm \omega_{CB} = \frac{17,8 \cdot \left(C_{x_1} \cdot S_1 \cdot V_{P_1}^2 + \sum_{j=2}^{m_{\text{відч.}}} C_{xx_j} \cdot S_j \cdot V_{P_j}^2 \right)}{(273 + t_n) \cdot \sum_{j=1}^{m_{\text{відч.}}} Q_{ваз,j}}, \quad (3.7)$$

де $C_{x_1}, C_{xx_j}, S_1, S_j$ – значення коефіцієнту миттєвого повітряного опору і площа поперечного перетину, м^2 , першого і j -го вагону відчепа, де $j \in 2, n$;

t_n – температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$;

V_{P_1}, V_{P_j} – результуюча миттєва швидкість вітру відносно першого і j -го вагону відчепа, м/с ,

$$V_{P_j} = \sqrt{V^2 + V_{B_j}^2 + 2 \cdot V \cdot V_{B_j} \cdot \cos \beta_{ваз,j}}, \quad (3.8)$$

де V_{B_j} – миттєва швидкість вітру в точці місцезнаходження j -го вагону відчепа, м/с ;

$\beta_{ваз,j}$ – миттєвий кут між векторами напрямів руху j -го вагону відчепа і вітру,

$^{\circ}$,

$$\beta_{ваз,j} = |\beta_j - \gamma_j|, \quad (3.9)$$

де β_j – миттєвий напрямок вітру відносно базису гіркової горловини у точці місцезнаходження j -го вагону відчепа, $^{\circ}$. β_j можна фіксувати двома варіантами: від 0° до $\pm 180^{\circ}$ або від 0° до 360° .

γ_j – кут між дотичною до осі колії і базисом гіркової горловини у точці місцезнаходження j -го вагону відчепа, $^{\circ}$. Даний кут може приймати знаки «+» або

«-» в залежності від величини кутового коефіцієнта дотичної [16]. Якщо $\beta_{\text{виз},j} \geq 180^\circ$, то слід використовувати наступну формулу:

$$\beta_{\text{виз},j} = |360 - |\beta_j - \gamma_j||. \quad (3.10)$$

$V_{B,j}$ і β_j пропонується розраховувати на основі значень дійсної (a) і уявної (b) частин комплексного числа $w \leftrightarrow (a, b)$ [16]

$$w = - \frac{\begin{vmatrix} 1 & z_0 & z_0^2 & \dots & z_0^n & w_0 \\ 1 & z_1 & z_1^2 & \dots & z_1^n & w_1 \\ 1 & z_2 & z_2^2 & \dots & z_2^n & w_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & z_n & z_n^2 & \dots & z_n^n & w_n \\ 1 & z & z^2 & \dots & z^n & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & z_0 & z_0^2 & \dots & z_0^n \\ 1 & z_1 & z_1^2 & \dots & z_1^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & z_n & z_n^2 & \dots & z_n^n \end{vmatrix}}, \quad (3.11)$$

де $z_0, z_1, z_2, \dots, z_n$ — комплексні числа. Дійсна і уявна частини цих чисел є відповідно абсцисами і ординатами розміщення n метеорологічних датчиків на полігоні [16];

$w_0, w_1, w_2, \dots, w_n$ — комплексні числа. Дійсна і уявна частини цих чисел є абсолютними величинами проекції вектора миттєвої швидкості вітру відповідно на вісь x і y в зоні розміщення 0-го, 1-го, 2-го, ..., n -го метеорологічних датчиків [16];

z – комплексне число. Дійсна і уявна частини цього числа є абсолютними величинами проекції радіус-вектора до точки місцезнаходження j -го вагону відчепу ($x_{ваг.}, y_{ваг.}$) відповідно на вісь x і y [16].

Отже,

$$V_{B_j} = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad (3.12)$$

$$\beta_j = \arctg \frac{b}{a}. \quad (3.13)$$

Метеорологічні датчики слід встановлювати на рівних відстанях один від одного. При розміщенні на сортувальному пристрої чотирьох датчиків інтерполяційний багаточлен має наступний вид:

$$w = \frac{(z - z_1) \cdot (z - z_2) \cdot (z - z_3)}{(z_0 - z_1) \cdot (z_0 - z_2) \cdot (z_0 - z_3)} \cdot w_0 + \frac{(z - z_0) \cdot (z - z_2) \cdot (z - z_3)}{(z_1 - z_0) \cdot (z_1 - z_2) \cdot (z_1 - z_3)} \cdot w_1 + \\ + \frac{(z - z_0) \cdot (z - z_1) \cdot (z - z_3)}{(z_2 - z_0) \cdot (z_2 - z_2) \cdot (z_2 - z_3)} \cdot w_2 + \frac{(z - z_0) \cdot (z - z_1) \cdot (z - z_2)}{(z_3 - z_0) \cdot (z_3 - z_1) \cdot (z_3 - z_2)} \cdot w_3. \quad (3.14)$$

Таким чином, формулу (3.1) можна записати у наступному вигляді:

$$V_{вих.}^{ППП} = \sqrt{V_{снів.}^2 + 2 \cdot g^j \cdot (i_{СП} - \omega_0^{II} - \omega_{CB}^{СП} - \omega_{кр.}^{СП} - \omega_{сн.}^{СП}) \cdot (l_{ППП-ПП} - l_{відч.}) \cdot 10^{-3}}. \quad (3.15)$$

При розрахунку питомого опору від повітряного середовища і вітру, що діє на відчеп з моменту його виходу з ПГП до моменту співударяння з вагонами, що знаходяться на колії сортувального парку, результуючу швидкість вітру відносно відчепа можна знайти за формулою

$$V_p^{СП} = \sqrt{V_{СП}^2 + V_{B_c}^2 + 2 \cdot V_{СП} \cdot V_{B_c}^2 \cdot \cos \beta_{сер.}}, \quad (3.16)$$

де $V_{СП}$ – середня швидкість відчепа з моменту його виходу з ПГП до моменту співударяння з вагонами, м/с,

$$V_{СП} = \frac{V_{вих}^{ПГП} + V_{спів.},}{2}; \quad (3.17)$$

$V_{В.}$ – середнє значення швидкості вітру, що діяв на вагони відчепа в проміжок часу $[T_{КТ1}; T_{КТ6}]$, м/с;

$\beta_{сер.}$ – середнє значення напрямку вітру, що діяв на вагони відчепа в проміжок часу $[T_{КТ1}; T_{КТ6}]$, відносно базису гіркової горловини, °.

Виходячи з формули (3.17), видно, що $\omega_{СВ}^{СП} = f(V_{вих}^{ПГП})$, де $V_{вих}^{ПГП}$ є параметром, який необхідно розрахувати спочатку. Від $V_{вих}^{ПГП}$ також залежить $\omega_{ВР}^{СП}$. Одним із методів рішення задач такого типу є метод послідовних наближень.

В даному випадку оптимальну швидкість виходу відчепу з ПГП можна визначити з використанням наступної моделі:

$$\Delta V_{спів.} = |V_{спів.}^{зад.} - V_{спів.}^{мод.}(V_{вих}^{ПГП})| \rightarrow \min, \quad (3.18)$$

$$0 \leq V_{вих}^{ПГП} \leq V_{вих. max}^{ПГП}, \quad (3.19)$$

де $\Delta V_{спів.}$ – критерій оптимізації – різниця між заданою швидкістю співударяння вагонів на коліях сортувального парку ($V_{спів.}^{зад.}$) і швидкістю співударяння вагонів, що отримується в результаті моделювання в залежності від заданої швидкості виходу відчепу з ПГП, ($V_{спів.}^{мод.}(V_{вих}^{ПГП})$), м/с;

$V_{вих. max}^{ПГП}$ – максимальна швидкість виходу відчепа з ПГП (визначається, виходячи з умови проходження відчепу без гальмування на ПГП), м/с.

$V_{снв.}^{зад.}$ можна прийняти 0,75 м/с, виходячи з того, що максимально допустима швидкість співударяння складає 1,4 м/с, а мінімальна швидкість співударяння, при якій забезпечується зчеплення вагонів, – 0,1 м/с. Отже, 0,75 м/с – середнє значення в інтервалі $[0,1;1,4]$.

Швидкість співударяння вагонів, що отримується в результаті моделювання, визначається за формулою

$$V_{снв.}^{мод.} = \sqrt{\frac{V_{вих.}^{ППП^2} - 2 \cdot g^j \cdot (i_{СП} - \omega_0^П - \omega_{СВ}^{СП}(V_{вих.}^{ППП}) - \omega_{кр.}^{СП}(V_{вих.}^{ППП}) - \omega_{сн.}^{СП})}{\cdot (l_{ППП-ТП} - l_{відч.}) \cdot 10^{-3}}} \quad (3.20)$$

Таким чином, цільова функція (3.18) набуває наступного вигляду:

$$\Delta V_{снв.} = \left| 0,75 - \sqrt{\frac{V_{вих.}^{ППП^2} - 2 \cdot g^j \cdot (i_{СП} - \omega_0^П - \omega_{СВ}^{СП}(V_{вих.}^{ППП}) - \omega_{кр.}^{СП}(V_{вих.}^{ППП}) - \omega_{сн.}^{СП})}{\cdot (l_{ППП-ТП} - l_{відч.}) \cdot 10^{-3}}} \right| \rightarrow \min \quad (3.21)$$

Отже, запропонована математична модель дозволяє визначати раціональну швидкість виходу відчепів з паркової гальмової позиції, що забезпечує мінімальне відхилення швидкості співударяння відчепів з вагонами на сортувальних коліях від заданого значення, завдяки врахуванню випадкового характеру основного питомого опору руху відчепів та умов зовнішнього середовища.

4 Оптимізація швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами

Для оцінки величини відхилення $V_{снів.}^{mod}$ від $V_{снів.}^{зад}$ при різних значеннях $V_{вих.}^{ПГП}$ необхідно провести імітаційне моделювання скочування відчепів від ПГП до ТП при випадкових параметрах метеорологічних умов, що дозволить відтворити умови скочування, наближені до реальних. В результаті для конкретного значення $V_{вих.}^{ПГП}$ отримується розмита область значень $V_{снів.}^{mod}$ (рис. 4.1). В кожній такій області розраховується математичне очікування швидкості співударяння вагонів $M(V_{снів.}^{mod})$ (рис. 4.2), яке далі використовується для визначення $\Delta V_{снів.}$.

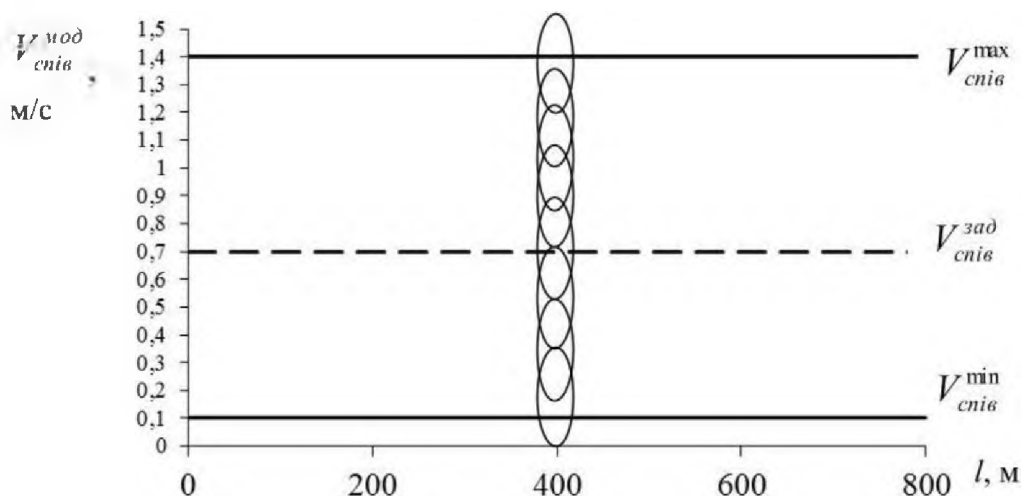


Рисунок 4.1 – «Розмиті» області значень швидкості співударяння відчепів у сортувальному парку, що отримуються у результаті моделювання

Подальше рішення задачі оптимізації зводиться до пошуку точки у області допустимих значень, координата якої має мінімальне відхилення від заданої швидкості співударяння відчепів. Значення швидкості виходу відчепа з паркової гальмової позиції, що відповідає даній точці, є оптимальним.

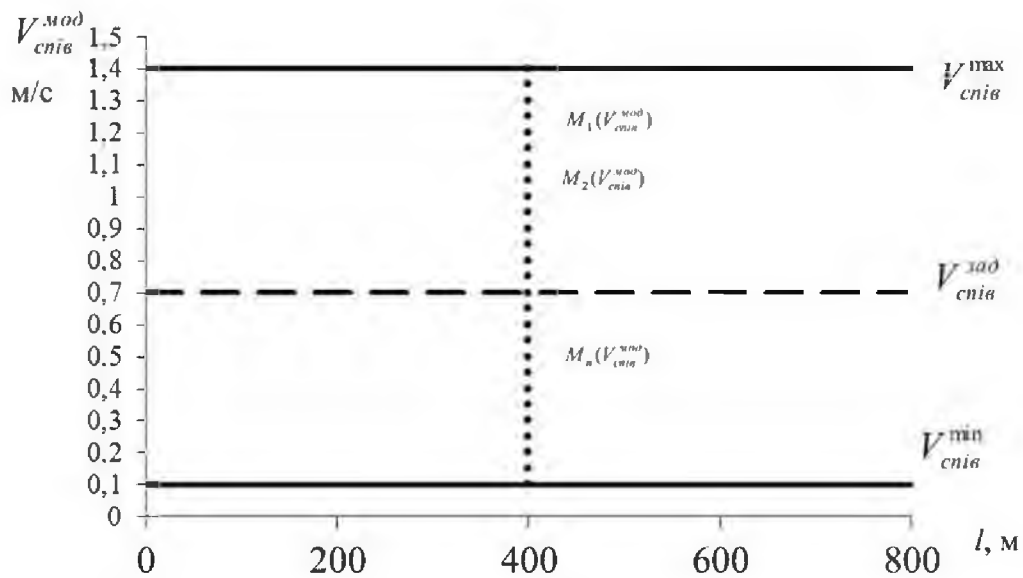


Рисунок 4.2 – Математичні очікування швидкості співударяння відчепів у сортувальному парку, що отримуються у результаті статистичної обробки результатів моделювання

4.1 Обґрунтування об'єму вибірки

Для того, щоб отримати показники якості накопичення вагонів на сортувальній колії при використанні запропонованої моделі, потрібно виконати спостереження з фіксацією швидкостей підходу відчепів до вагонів на сортувальній колії, а також довжини вікон між вагонами після розпуску чергового состава і після кожного осаджування або підтягування вагонів.

Провести такі натурні спостереження технічно і організаційно дуже складно. Тому для вирішення поставленої задачі використовувалася імітаційна модель скочування відчепів з гірки, що розроблена на кафедрі залізничних станцій та вузлів.

Мінімальна необхідна кількість спостережень для формування вибірки значень швидкості співударяння відчепів у сортувальному парку, що дозволяє адекватно характеризувати генеральну сукупність визначається за формулою

$$n \geq \frac{v^2 t^2}{\varepsilon^2}, \quad (4.1)$$

де v – коефіцієнт варіації випадкової величини;

t – число середньоквадратичних відхилень, що визначає інтервал нормального розподілу, у якому з ймовірністю $P(t)$ може знаходитись математичне очікування досліджуваної величини;

ε – допустима помилка, що встановлюється у залежності від природи явища, що досліджується. При вирішенні експлуатаційних задач ε приймають рівним 0,05.

Прийнявши ймовірність потрапляння математичного очікування в довірчий інтервал 0,95, встановлюємо значення $t=1,96$. Коефіцієнт варіації випадкової величини швидкості співударяння вагонів у підгірковому парку за результатами досліджень проведених у [17] дорівнює 0,3.

Таким чином, мінімальний об'єм вибірки швидкості співударянь відчепів у сортувальному парку

$$n = \frac{0,3^2 \cdot 1,96^2}{0,05^2} = 140 \text{ одиниць.}$$

4.2 Моделювання швидкості співударяння одновагонного відчепу з вагонами у сортувальному парку

Для визначення оптимальної швидкості виходу одновагонного відчепа легкої вагової категорії з ПГП було проведено ряд дослідів імітаційного моделювання і отримані вибірки значень швидкості співударяння вагонів у підгірковому парку для кожного значення швидкості виходу відчепа з ПГП, що належить ОДЗ.

У якості розрахункового відчепа легкої вагової категорії було прийнято одновагонний відчеп масою 26 т і дальністю пробігу 400 м. Значення основного

питомого опору руху вагона визначалося як випадкова величина згідно [14]. Під час моделювання також враховувався стохастичний характер швидкості та напрямку вітру.

За даними отриманих вибірок побудований графік «розмитих» областей значень швидкості співударяння відчепу з вагонами у сортувальному парку (рис. 4.3).

Для кожної вибірки, що відповідає одному значенню швидкості виходу відчепу з ПГП, побудований статистичний ряд розподілу, а також визначені статистичні оцінки математичного очікування швидкості підходу відчепів до вагонів в сортувальному парку. Приклад розрахунку параметрів розподілу величини швидкості виходу з ПГП $V_{вих}^{ПГП} = 4,8$ м/с наведено у табл. 4.1.

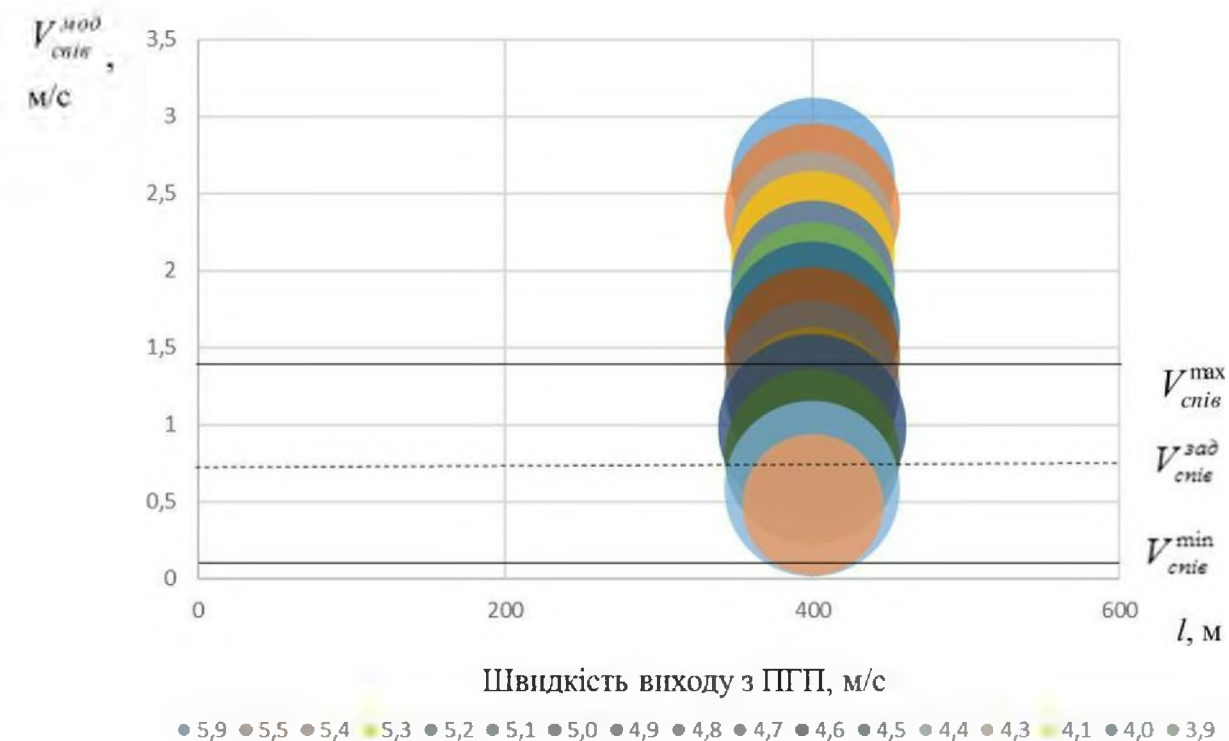


Рисунок 4.3 – «Розмиті» області значень швидкості співударяння відчепу у сортувальному парку, отримані у результаті моделювання

Таблиця 4.1 – Розрахунки параметрів розподілу випадкової величини швидкості підходу відчепа до вагонів в сортувальному парку за результатами моделювання

Номер розряду	Ліва межа розряду, м/с	Права межа розряду, м/с	k_i	$\bar{x}_i$, м/с	P_i	$\bar{x}_i P_i$, м/с
1	1,14	1,18	27	1,16	0,1929	0,224
2	1,18	1,21	22	1,195	0,1571	0,188
3	1,21	1,24	63	1,225	0,45	0,551
4	1,24	1,27	15	1,255	0,107	0,134
5	1,27	1,31	13	1,29	0,093	0,12
Σ			140		1	1,217

Тепер розрахуємо математичне очікування випадкової величини швидкості підходу відчепа до вагонів в сортувальному парку (X) для $V_{вих}^{ПГП} = 4,8$ м/с:

$$M[x] = \sum \bar{x}_i P_i, \quad (4.2)$$

$$M[x] = 1,217 \text{ м/с.}$$

Аналогічно розраховуються математичні очікування для інших значень швидкості виходу відчепа з ПГП та їх відхилення від заданої швидкості співударяння. Результати розрахунків наведено у табл. 4.2.

Знаходимо мінімальне значення відхилення модельної швидкості співударяння від заданої – 0,045 м/с. Швидкість виходу з ПГП, що відповідає даному значенню похибки, є раціональною для даного відчепа.

Отже, для одновагонного відчепа масою 26 т для заданої дальності пробігу до точки співударяння в сортувальному парку 400 м раціональною є швидкість виходу

з паркової гальмової позиції $V_{вих}^{ПГП} = 4,5$ м/с. При цьому швидкість співударяння відчепа з вагонами на колії становить 0,795 м/с.

Таблиця 4.2 – Результати моделювання швидкості співударяння відчепа з вагонами у сортувальному парку

$V_{вих}^{ПГП}$	5,9	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5,0	4,9	4,8	4,7
$V_{снів}^{мод}$	2,591	2,38	2,238	2,112	1,921	1,783	1,615	1,45	1,217	1,02
ΔV	1,841	1,63	1,488	1,362	1,171	1,033	0,865	0,7	0,467	0,27
$V_{вих}^{ПГП}$	4,6	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1	4,0	3,9	3,8	3,7
$V_{снів}^{мод}$	0,979	0,795	0,585	0,482	0,31	0,174	0,11	0,05	0,02	0
ΔV	0,229	0,045	0,165	0,268	0,44	0,576	0,64	0,7	0,73	0,75

4.3 Розрахунок оптимальної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції

Для перевірки ефективності застосування запропонованої математичної моделі розрахунку раціональної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції було проведене імітаційне моделювання процесу прицільного регулювання швидкості руху відчепів.

Для моделювання процесу скочування та регулювання швидкості скочування використовувались параметри составів, встановлені під час натурного спостереження, а саме кількість, колія призначення відчепів, кількість і тип вагонів у кожному відчепі та їх вага. Було проведено 140 випробувань моделі кожного з відчепів для усіх значень швидкості виходу відчепа з ПГП, що входять до області обмежень запропонованої моделі.

Значення основного питомого опору руху вагонів визначалося як випадкова величина. Основний питомий опір руху відчепа розраховувався як середньозважена величина по масі вагонів у складі відчепа

$$w_o = \frac{\sum_{i=1}^n q_i w_{o_i}}{\sum_{i=1}^n q_i}, \quad (4.3)$$

де q – маса вагона, т;

w_o – основний питомий опір вагона, Н/кН;

n – кількість вагонів у відчепі.

Координата точки прицілювання для кожного з відчепів состава залежить від корисної довжини сортувальної колії, якщо відчеп скочується на вільну колію, або від координати автозчепного пристрою вагона, який надійшов на сортувальну колію останнім в попередньому відчепі.

Температура навколишнього середовища, швидкість і напрямок вітру моделюються як випадкові величини за розподілом ймовірності цих параметрів.

Порядок розрахунку раціональної швидкості виходу відчепів з ПГП розглядається на прикладі першого розрахункового состава, до складу якого входить 50 вагонів і 12 відчепів. Його маса 2610 т. Параметри відчепів, що використовуються у процесі моделювання представлені у табл. 4.3.

Для кожного відчепа проводиться серія імітаційних моделювань.

За допомогою табличного процесора MS Excel здійснюється статистична обробка отриманих результатів моделювання. За даними кожної вибірки будується статистичний ряд розподілу та графіки «розмитих» областей значень швидкості співударяння відчепів.

Для визначення величини відхилення модельних значень від заданої швидкості співударяння необхідно перейти від «розмитої» області значень до

математичного очікування швидкості співударяння в даній області, здійснюючи розрахунки за формулою (4.2).

Таблиця 4.3 – Параметри відчепів розрахункового составу

Номер відчепа	Кількість вагонів	Номер колії у СП	Маса відчепа, т	Основний питомий опір руху відчепа, Н/кН
1	2	3	4	5
1	3	02	152,7	1,34
2	2	06	129,2	1,47
3	1	07	53,2	1,37
4	5	22	260,0	0,97
5	14	02	712,4	1,35
6	2	19	131,6	1,18
7	1	26	22,0	0,6
8	5	10	332,2	1,56
9	3	03	110,1	1,67
10	2	07	46,4	2,15
11	6	10	348,6	2,11
12	6	04	254,4	1,58

Оптимальні швидкості виходу відчепів з ПГП, що забезпечуються мінімальне відхилення швидкості співударяння вагонів у сортувальному парку від заданої, наведені у табл. 4.4. На рис. 4.4 як приклад наведено залежність ΔV_{enia} від швидкості виходу восьмого відчепа з ПГП.

Середня швидкість співударяння відчепів составу за результатами моделювання розраховується за формулою

$$M(V_{\text{снв}}^{\text{ср}}) = \frac{\sum_{i=1}^n M(V_{\text{снв}i})}{n}, \quad (4.4)$$

де $M(V_{\text{снв}i})$ – значення швидкості виходу i -того відчепа составу з ПГП, м/с;

n – кількість відчепів у составі.

Таблиця 4.4 – Раціональні швидкості виходу відчепів розрахункового составу з ПГП, отримані в результаті моделювання

Номер відчепа	$V_{\text{вих}}^{\text{ПГП}}$, м/с	$M[V_{\text{снв}}^{\text{модел}}]$, м/с	$\Delta V_{\text{снв}}$, м/с
1	3,0	0,65	0,1
2	3,9	0,76	0,01
3	3,5	0,81	0,06
4	3,6	0,63	0,12
5	2,3	0,69	0,06
6	3,1	0,77	0,02
7	4,1	0,86	0,11
8	4,4	0,8	0,05
9	5,0	0,76	0,01
10	5,3	0,74	0,01
11	5,2	0,65	0,1
12	2,9	0,82	0,07

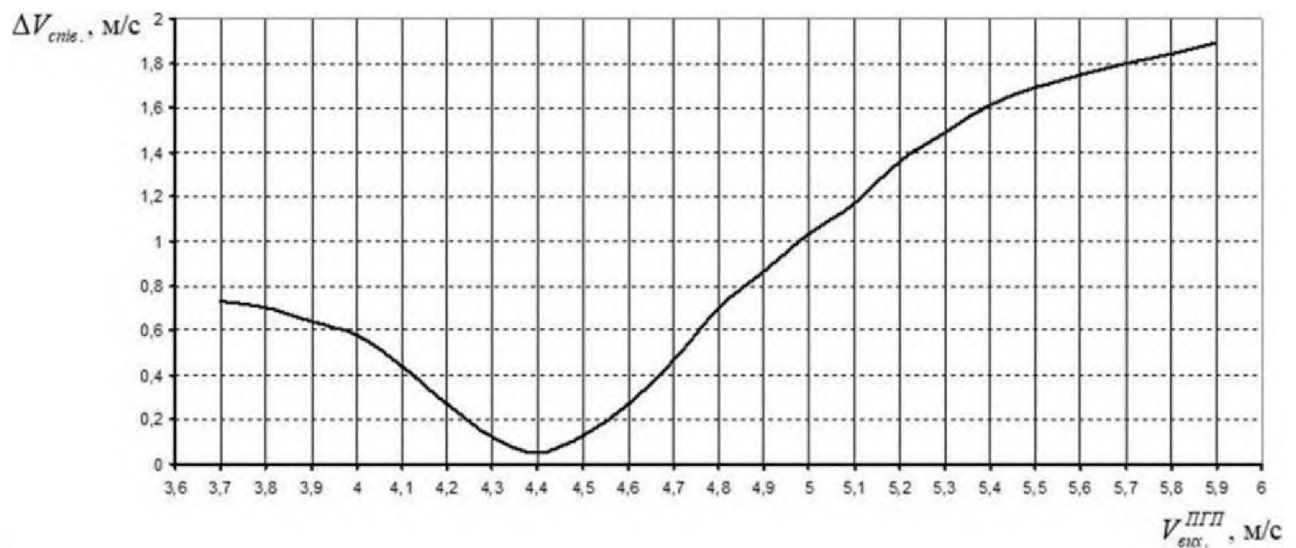


Рисунок 4.4 – Залежність різниці між заданою швидкістю співударання вагонів на коліях сортувального парку і математичним очікуванням швидкості співударання вагонів від швидкості виходу відчепу з ППП

Для состава, що розглядається, середня швидкість співударання відчепів з вагонами у сортувальному парку за результатами імітаційного моделювання становить

$$M(V_{снв}^{сер}) = \frac{0,65 + 0,76 + 0,81 + 0,63 + 0,69 + 0,77 + 0,86 + 0,8 + 0,76 + 0,74 + 0,65 + 0,82}{12} = 0,75 \text{ м/с.}$$

Таким чином, у результаті імітаційного моделювання процесу скочування відчепів составу і розрахунку швидкості виходу відчепів з ППП з використанням запропонованої математичної моделі було отримано значення середньої швидкості співударання вагонів у сортувальному парку 0,75 м/с, що відповідає поставленій у роботі задачі та дозволить підвищити збереженість вагонів та вантажів.

У той же час, середнє значення швидкості співударання відчепів того ж составу за результатами натурних спостережень становить 1,79 м/с, що перевищує допустиму швидкість співударання 1,4 м/с.

З використанням аналогічної процедури було проведено моделювання процесу скочування і регулювання швидкості скочування відчепів решти составів, параметри яких були встановлені під час натурних спостережень. Після статистичної обробки вибірки, отриманої у результаті моделювання було розраховано середню швидкість співударяння відчепів. Розрахунок математичного очікування даної величини наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунки середньої швидкості підходу відчепів до вагонів в сортувальному парку за результатами моделювання

Номер розряду	Ліва межа розряду, м/с	Права межа розряду, м/с	k_i	$\bar{x}_i$, м/с	P_i	$\bar{x}_i P_i$, м/с
1	0,6	0,64	3	0,62	0,03	0,019
2	0,64	0,67	5	0,655	0,05	0,033
3	0,67	0,70	6	0,685	0,06	0,041
4	0,70	0,73	22	0,715	0,22	0,157
5	0,73	0,76	23	0,745	0,23	0,171
6	0,76	0,80	27	0,78	0,27	0,211
7	0,80	0,83	7	0,815	0,07	0,057
8	0,83	0,86	5	0,845	0,05	0,042
9	0,86	0,90	2	0,88	0,02	0,018
Σ			100		1	0,749

Отже, за результатами імітаційного моделювання процесу скочування відчепів із застосуванням запропонованої математичної моделі розрахунку раціональної швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції було отримано середнє значення швидкості співударяння відчепів з вагонами на сортувальних коліях – 0,749 м/с.

Середня величина швидкості співударяння відчепів з ідентичними параметрами і середня довжина «вікна» на один перероблений вагон, встановлені у

результаті натурних спостережень, відповідно складають 1,79 м/с, що перевищує максимально допустиме значення на 0,39 м/с, і 6,42 м (додаток А). За результатами імітаційного моделювання встановлено, що в умовах автоматизації роботи ПГП середня довжина «вікна» на один перероблений вагон складає 3,31 м.

Таким чином, використання запропонованої математичної моделі для розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції дозволить підвищити ефективність прицільного гальмування відчепів, забезпечуючи докочування відчепів до вагонів, що знаходяться на коліях накопичення, та зіткнення з ними з допустимою швидкістю.

5 Техніко-економічне обґрунтування варіанту впровадження автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами

Метою даної роботи є підвищення ефективності прицільного регулювання швидкості скочування відчепів на сортувальному пристрої з гравітаційно-прицільним їх гальмуванням за рахунок впровадження процедури визначення приблизних значень питомих опорів руху відчепу, що мають випадковий характер, та оптимізації швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції. Це дозволить зменшити довжину «вікна» та забезпечити безпечну швидкість співударяння відчепів на сортувальних коліях, що, відповідно, позитивно вплине на якісні показники сортувального процесу.

Автоматизація ПГП сортувального пристрою з використанням запропонованої системи керування парковими уповільнювачами дозволить зменшити експлуатаційні витрати на ремонт вагонів та відшкодування збитків вантажовласникам.

Пропонується встановити на посту чергового по сортувальному пристрою ЕОМ зі спеціалізованим програмним забезпеченням, яке дозволяє розраховувати оптимальну швидкість виходу відчепів з ПГП на основі даних, що надходять у сервер з системи контролю зайнятості колій, колійних та метеорологічних датчиків. Функціонування автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами вимагає також встановлення на полігоні апаратури керування вагонними уповільнювачами.

Для обґрунтування економічної доцільності впровадження запропонованого варіанту автоматизації необхідно визначити загальну суму грошових вкладень та сукупний економічний ефект за розрахунковий період з урахуванням зміни вартості грошей у часі, базуючись на прогнозах переробки вагонів та ступені економічного ризику. При прийнятті остаточного рішення також враховується строк окупності інвестиційних вкладень, рівень загальної і внутрішньої рентабельності.

Одночасні витрати при здійсненні даного інвестиційного проекту виникають у перший рік. Економічна вигода починається з першого року життєвого циклу проекту.

Вихідні дані для визначення економічної привабливості запропонованого варіанту автоматизації та обґрунтування найбільш ефективного управлінського рішення наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для обґрунтування економічної доцільності реалізації проекту автоматизації ПГП

Показник	Значення показнику
1	2
1 Витрати електроенергії на технологічні цілі, кВт-год.	1100
2 Вартість електроенергії, грн за 1 кВт-год.	3,68
3 Одночасні витрати на здійснення проекту, тис. грн: автоматизована система керування парковими уповільнювачами	265,7
4 Життєвий цикл проекту, років	5
5 Розрахунковий рік	Останній
6 Середня вартість ремонту одного вагону, грн	10600
7 Середня маса вантажу, перевезеного у вагонах, т	20
8 Ціна 1 тони вантажної маси, грн	18400
9 Середня швидкість співударяння вагонів на сортувальних коліях, м/с: у базисному варіанті після автоматизації ПГП	1,79 0,75
10 Середня величина «вікна» у розрахунку на один вагон, м: у базисному варіанті після автоматизації ПГП	6,42 3,31
11 Тривалість піврейсу заїзду одиночного локомотива на сортувальну колію, год.	0,025
12 Кількість осаджувань у розрахунку на один вагон: у базисному варіанті після автоматизації ПГП	0,0064 0,0045

Продовження таблиці 5.1

1	2
13 Річний розмір переробки вагонів на гірці за попередні 5 років, вагонів	544224 554610 566650 587254 600824
12 Дисконтна ставка комерційних банків за депозитними вкладками, %	12
13 Очікуваний рівень інфляції, %	7
14 Рівень ризику здійснення проекту, %	1

5.1 Прогнозування обсягів переробки вагонів на сортувальному пристрої

При розрахунку економічної доцільності проекту необхідно спрогнозувати рівень переробки вагонів на сортувальному пристрої на п'ять років експлуатації. Для надання прогнозової оцінки обсягів переробки вагонів на наступні п'ять років слід визначити середньорічний темп збільшення переробки $T_{річ}$ за формулою

$$T_{річ} = \sqrt[n]{\frac{P_{2024}}{P_{2020}}}, \quad (5.1)$$

де P_{2024} , P_{2020} – річна переробка вагонів за 2024 р та 2020 р відповідно;
 n – кількість точок фактичного часового ряду.

$$T_{річ} = \sqrt[5]{\frac{600824}{544224}} = 1,01.$$

Визначивши середньорічний темп зміни розмірів переробки вагонів $T_{річ}$, слід обчислити прогнозні значення переробки вагонів за 2025-2029 роки за формулою

$$y_n = T_{n-1} \cdot T_{річ} \cdot \quad (5.2)$$

де T_{n-1} – число перероблених вагонів у попередньому році, вагонів.

Результати розрахунків за формулою 5.2 занесені в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Прогнозна величина переробки вагонів на гірці у 2025-2029 р.р.

Рік	2025	2026	2027	2028	2029
Величина переробки на пристрої, ваг.	606832	612900	619029	625220	631472

5.2 Визначення витрат на ремонт пошкоджених вагонів

Витрати від пошкодження вагонів на пристрої складаються із вартості ремонту вагонів, додаткових витрат на рухомий склад для заміни вагонів із-за простою у ремонті, а також втрат коштів у результаті пошкодження вантажів.

За результатами моделювання процесу розформування составів встановлюємо середню швидкість співударяння відчепів на коліях сортувального парку ($V_{спів}$) для кожного із варіантів. У базисному варіанті вказана швидкість дорівнює 1,79 м/с, а у варіанті з автоматизованою ПГП – 0,75 м/с.

Число пошкоджених вагонів на 1000 перероблених вагонів на гірці визначається за формулою

$$n_{пошк} = 0,00143 \cdot V_{спів}^{3,865}, \quad (5.3)$$

а число пошкоджених вагонів за рік за формулою

$$N_{\text{пошк}} = 0,365 \cdot N \cdot n_{\text{пошк}} \quad (5.4)$$

Результати розрахунків числа пошкоджених вагонів за варіантами наведено у таблиці 5.3.

Після розрахунку числа пошкоджених вагонів слід розрахувати витрати на ремонт вагонів. При співударянні відчепів найчастіше пошкоджуються запобіжники у автозчепному обладнанні. Його заміна та сукупний ремонт коштує в середньому 4200 гривень, але при ударі між відчепами можуть виникати і більш серйозні наслідки пошкодження, тому середнє значення витрат на один пошкоджений вагон приймаємо рівним 10600 гривень.

Розрахунки витрат на ремонт вагонів за варіантами наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.3 – Розрахунок числа пошкоджених вагонів

Рік	2025	2026	2027	2028	2029
Річний розмір переробки, ваг	606832	612900	619029	625220	631472
Кількість пошкоджених вагонів у базисному варіанті, ваг.	8	8	10	10	10
Кількість пошкоджених вагонів після автоматизації ПГП, ваг.	4	4	6	6	6

Таблиця 5.4 – Витрати на ремонт вагонів, пошкоджених у результаті перевищення допустимої швидкості співударяння на сортувальних коліях

Рік	2025	2026	2027	2028	2029
Кількість пошкоджених вагонів у базисному варіанті, ваг	8	8	10	10	10
Витрати на ремонт у базисному варіанті, тис. грн	42,4	42,4	53,0	53,0	53,0
Кількість пошкоджених вагонів після автоматизації ПГП, ваг.	4	4	6	6	6
Витрати на ремонт після автоматизації ПГП, тис. грн	21,2	21,2	31,8	31,8	31,8

5.3 Визначення втрат коштів від пошкодження вантажів

Наслідками пошкодження вагонів на пристрої може бути псування вантажу. Як правило, найбільш масовими вантажами є щебінь, пісок, вугілля, мінеральні добрива, рідше електричні пристрої. Слід зазначити, що при розрахунку втрати коштів треба рахувати тільки той вантаж, який було зіпсовано чи втрачено у наслідок сильного удару. Тому при розрахунку враховуємо коефіцієнт $t_{\text{втр}}$, який дорівнює 5% від втрати вантажу.

Втрати коштів на виплату компенсації вантажовласникам у результаті пошкодження вантажу розраховується за формулою

$$K_{\text{вант}} = \Gamma \Pi_m N_{\text{пошк}} t_{\text{втр}}, \quad (5.5)$$

де Γ – розмір вантажної маси, яка перевозиться у вагоні, $\Gamma = 20$ т;

Π_m – ціна 1 т вантажної маси, грн;

$t_{\text{втр}}$ – коефіцієнт втрати вантажу, $t_{\text{втр}} = 0,05$.

Розраховані значення $K_{\text{вант}}$ наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Витрати на відшкодування вартості вантажів, пошкоджених у результаті співударяння вагонів зі швидкістю, що перевищує максимально допустиму

Рік	2025	2026	2027	2028	2029
Кількість пошкоджених вагонів у базисному варіанті, ваг	8	8	10	10	10
Витрати на відшкодування вартості пошкодженого вантажу у базисному варіанті, тис. грн	73,6	73,6	92,0	92,0	92,0
Кількість пошкоджених вагонів після автоматизації ПГП, ваг	4	4	6	6	6
Витрати на відшкодування вартості пошкодженого вантажу після автоматизації ПГП, тис. грн	36,8	36,8	55,2	55,2	55,2

5.4 Розрахунок витрат, пов'язаних з простоем вагонів у парку приймання

Додаткові витрати, пов'язані з простоем составів у парку приймання в очікуванні розформування

$$\Delta E_{nn} = 0,365 N \cdot \Delta t_{nn} \cdot e_{\text{вагон-год}}, \quad (5.6)$$

де $e_{\text{вагон-год}}$ – вартість однієї вагоно-години, грн;

Δt_{nn} – додатковий простій составів в очікуванні розформування, год.

При збільшенні гіркового інтервалу у варіанті, що розглядається

$$\Delta t_{nn} = 0,000125 \cdot n_p^2 \cdot (t_{\Gamma 1}^2 - t_{\Gamma 2}^2) - 0,1568 \cdot n_p \cdot (t_{\Gamma 1} - t_{\Gamma 2}), \quad (5.7)$$

де n_p – розміри переробки составів за добу;

$t_{\Gamma 1}, t_{\Gamma 2}$ – гірковий інтервал відповідно у базовому варіанті і варіанті, що пропонується, год.

Гірковий інтервал при роботі одного гіркового локомотива

$$t_{\Gamma} = t_z + t_n + t_p + t_{oc} + t_{nn}, \quad (5.8)$$

де t_z – тривалість заїзду гіркового локомотива, год.;

t_n – тривалість насуву состава, год.;

t_p – тривалість розпуску состава, год.;

t_{oc} – тривалість осаджування вагонів у сортувальному парку, год.;

t_{nn} – тривалість виконання маневрів з ліквідації наслідків нагонів відчепів, год.

Тривалість осаджування вагонів у сортувальному парку

$$t_{oc} = m_c \cdot \left[2 \cdot P_{oc} \cdot t_1 + \lambda \cdot \left(\frac{1}{V_{oc}} + \frac{1}{V_{ol}} \right) \right], \quad (5.9)$$

де m_c – середнє число вагонів у составі;

P_{oc} – число осаджувань з розрахунку на один вагон;

t_1 – тривалість піврейсу заїзду одиночного локомотива на сортувальну колію, год.;

λ – середня величина «вікна», км;

V_{oc} , V_{ol} – відповідно швидкість осаджування і швидкість руху одиночного локомотива по сортувальній колії, $V_{oc} = 5$ км/год., $V_{ol} = 25$ км/год.

Тривалість виконання маневрів з ліквідації наслідків нагонів відчепів

$$t_{ин} = 2 \cdot m_c \cdot P_n \cdot t_1, \quad (5.10)$$

де P_n – число нагонів відчепів з розрахунку на один вагон.

Результати розрахунків експлуатаційних витрат пов'язаних з простоем вагонів у парку приймання наведено у таблиці 5.6.

5.5 Розрахунок витрат на електроенергію

У результаті автоматизації ПГП і встановлення додаткових споживачів електроенергії експлуатаційні витрати на електроенергію на технологічні цілі збільшуються.

Річні витрати електроенергії після автоматизації зростуть на 1100 кВт-год.

Витрати на електроенергію для технологічних цілей розраховуються за формулою

$$E_{el.en} = C_e \cdot B_{p/q}, \quad (5.11)$$

де C_e – ціна 1 кВт/год. електроенергії, грн;

$B_{p/q}$ – витрати електроенергії на технологічні цілі, кВт-год./рік.

$$E_{el.en} = 3,68 \cdot 1100 = 1958 \text{ грн.}$$

5.6 Розрахунок коефіцієнту приведення результатів та затрат проекту до розрахункового року

Приведення результатів і затрат різних років періоду реалізації проекту до розрахункового року здійснюється множенням їх вартісної оцінки за кожний рік на коефіцієнт приведення α_t , що відповідає даному року.

Результати і затрати різних років здійснення проекту приводяться до останнього року його життєвого циклу, тобто визначаються в майбутній вартості грошей (компаундування). Коефіцієнт приведення визначається за формулою

$$\alpha_t = \left(\frac{1+E}{1+I+R} \right)^{t_p-t_k}, \quad (5.12)$$

де E – середня річна ставка комерційних банків за депозитними внесками (дисконтна ставка), в частках одиниці;

R – ставка, що враховує ступінь ризику здійснення проекту, в частках одиниці;

I – річний рівень інфляції, що прогнозується на період здійснення проекту;

t_p – порядковий номер розрахункового року;

t_k – порядковий номер року, грошові потоки якого приводяться до розрахункового року.

$$\alpha_1 = \left[\frac{1 + 0,12}{[1 + 0,07 + 0,01]} \right]^4 = 1,019 \text{ ,}$$

$$\alpha_2 = \left[\frac{1 + 0,12}{[1 + 0,07 + 0,01]} \right]^3 = 1,014 \text{ ,}$$

$$\alpha_3 = \left[\frac{1 + 0,12}{[1 + 0,07 + 0,01]} \right]^2 = 1,009 \text{ ,}$$

$$\alpha_3 = \left[\frac{1 + 0,12}{[1 + 0,07 + 0,01]} \right]^1 = 1,005 \text{ ,}$$

$$\alpha_5 = \left[\frac{1 + 0,12}{[1 + 0,07 + 0,01]} \right]^0 = 1,0 \text{ .}$$

5.7 Розрахунок економічного ефекту від реалізації інвестиційного проекту з автоматизації паркової гальмової позиції

Економічний ефект від здійснення реального інвестиційного проекту визначається згідно з розміром переробки вагонів на гірці за розрахунковий період. Сукупний економічний ефект визначається як сума річних економічних ефектів за розрахунковий період з обов'язковим урахуванням фактору часу (компаундуванням грошових потоків) за формулою

$$\mathcal{E}_T = Z_{T2} - Z_{T1} = \sum_{t=1}^n \mathcal{E}_t \alpha_t = \sum_{t=1}^n (Z_{t2} - Z_{t1}) \alpha_t \text{ ,} \quad (5.13)$$

де $\mathcal{E}_T$ – економічний ефект проекту за розрахунковий період;

Z_{T2} – вартісна оцінка витрат, пов'язаних з функціонуванням ПГП, за розрахунковий період у базисному варіанті;

Z_{T1} – вартісна оцінка витрат після автоматизації ПГП;

Z_{t2} – вартісна оцінка витрат, пов'язаних з функціонуванням ПГП, у році t у базисному варіанті;

Z_{t1} – вартісна оцінка витрат у році t після автоматизації ПГП;

α_t – коефіцієнт приведення результатів і затрат до розрахункового року.

Розрахунки економічного ефекту від реалізації запропонованого проекту наведені у таблиці 5.6.

Результати розрахунків свідчать про те, що при впровадженні проекту автоматизації паркової гальмової позиції число пошкоджених вагонів на сортувальному пристрої зменшиться на 44%. Витрати на ремонт вагонів за п'ять років зменшаться у середньому на 21,2 тис. грн на рік, а витрати на відшкодування за пошкоджений вантаж – на 36,8 тис. грн на рік.

Сукупний економічний ефект склав 2550,91 тис. грн. Повернення одночасних витрат на реалізацію проекту відбудеться на другому році реалізації проекту. За сукупністю отриманих результатів можна зробити висновок про доцільність реалізації проекту з автоматизації паркової гальмової позиції.

Таблиця 5.6 – Розрахунок економічного ефекту від автоматизації ПГП

Показники до впровадження	Роки				
	2025	2026	2027	2028	2029
Кількість перероблених вагонів за рік	606832	612900	619029	625220	631472
До автоматизації ПГП					
Кількість пошкоджених вагонів	8	8	10	10	10
Вартість ремонту 1 вагону, грн	10600	10600	10600	10600	10600
Річні витрати на ремонт вагонів, тис. грн	42,4	42,4	53,0	53,0	53,0
Вартість пошкодженого вантажу, тис. грн	73,6	73,6	92,0	92,0	92,0
Витрати, пов'язані з простоем составів у парку приймання в очікуванні розформування, тис. грн	427,20	460,43	492,03	549,95	587,35
Усього витрат, тис. грн	543,20	576,43	637,03	694,95	732,35
Після автоматизації ПГП					
Одноразові витрати на впровадження системи, тис. грн	265,7	-	-	-	-
Кількість пошкоджених вагонів	4	4	6	6	6
Річні витрати на ремонт вагонів, тис. грн	21,2	21,2	31,8	31,8	31,8
Вартість пошкодженого вантажу, тис. грн	36,8	36,8	55,2	55,2	55,2
Витрати на електроенергію на технологічні потреби, тис. грн	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
Усього витрат, тис. грн	325,66	59,96	88,96	88,96	88,96
Економічний ефект, тис. грн	217,54	516,47	548,07	606,00	643,39
Коефіцієнт приведення	1,019	1,014	1,009	1,005	1,0
Економічний ефект з урахуванням коефіцієнта приведення, тис. грн	221,66	523,78	553,23	608,84	643,39
Ефект з наростаючим підсумком, тис. грн	221,66	745,44	1298,67	1907,51	2550,91

Висновки

У кваліфікаційній роботі представлено рішення актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності регулювання швидкості скочування відчепів на ПГП автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами. Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. У технології розформування составів на сортувальних гірках існує низка характерних проблем, які впливають на ефективність, безпеку та точність процесу. Основними з них є недостатня точність регулювання швидкості скочування відчепів, висока інерційність гальмівних засобів, випадковість зовнішніх факторів, ненадійність засобів контролю, наявність «чужаків» на сортувальних коліях, недосконалість алгоритмів керування, обмеження автоматизованих систем, проблеми з підготовкою персоналу, високі експлуатаційні витрати. У сукупності ці проблеми потребують комплексного підходу – модернізації технічних засобів, вдосконалення алгоритмів керування, підвищення адаптивності систем до зовнішніх впливів і підготовки кваліфікованого персоналу.

2. Дослідження сучасних систем гіркової автоматизації свідчить про те, що завдання ефективного регулювання швидкості скочування відчепів залишається до кінця не вирішеним. Головними чинниками, що заважають досягненню необхідної якості управління, є недосконалість існуючих теоретичних засад щодо побудови керуючих дій у процесі розпуску составів, а також технічні обмеження в роботі обладнання гіркової автоматики. Для подальшого вдосконалення методів розрахунку оптимальних керуючих впливів, що забезпечують ефективне скочування відчепів, слід приділити особливу увагу включенню до розрахунків випадкових впливів зовнішнього середовища, варіацій у ходових властивостях вагонів та інерційних характеристик гальмівних пристроїв.

3. Запропоновано процедуру розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції з використанням актуальної інформації щодо погодних умов, конструкційних параметрів, складу та параметрів руху відчепів.

Вперше в контексті задачі прицільного гальмування запропоновано метод визначення приблизного значення основного питомого опору руху відчепа на основі фіксації поточних значень швидкості і напрямку вітру та визначення фактичної його швидкості при проході першої осі відчепа контрольних точок, що дозволяє значно підвищити точність обчислень параметрів гальмування. Для практичного застосування даного методу розроблено структуру автоматизованої системи керування парковими уповільнювачами.

Запропонована оптимізаційна модель дозволяє знаходити значення швидкості виходу відчепа з ПГП, яке мінімізує відхилення від заданої швидкості співударяння з вагонами на колії призначення. Для цього використано метод послідовних наближень та імітаційне моделювання. Оптимізаційні розрахунки здійснюються з урахуванням приблизного значення основного питомого опору руху відчепа та середніх значень швидкості і напрямку вітру в проміжок часу руху першої осі відчепа, що обмежується моментами її проходу першої і останньої контрольних точок.

4. Виконано оптимізацію швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами. Встановлено, що середня швидкість співударяння відчепів у сортувальному парку зменшується на 1,04 м/с у порівнянні з базовим варіантом і становить 0,749 м/с. Отримане значення швидкості співударяння забезпечує докочування відчепів до вагонів у сортувальному парку і виключає пошкодження вагонів та вантажів у наслідок ударів. Також встановлено, що в умовах автоматизації роботи паркової гальмової позиції середня довжина «вікна» на один перероблений вагон зменшується на 3,1 м.

5. Розрахунок економічного ефекту довів доцільність реалізації проекту автоматизації паркової гальмової позиції з використанням запропонованої процедури розрахунку швидкості виходу відчепів з вказаної позиції. Сумарний економічний ефект за розрахунковий період з урахуванням коефіцієнту приведення до останнього року реалізації проекту складає 2550,91 тис. грн. Повернення одночасних затрат на реалізацію проекту відбудеться на першому році його життєвого циклу.

Список використаних джерел

- 1 Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р. *Офіційний вісник України*. 2018. № 52. С. 533. Ст. 1848.
- 2 Огар О. М., Левченко А. О., Лагута Р. В. Напрями вдосконалення методів управління технологічними процесами на сортувальних пристроях. *Інтелектуальні транспортні технології* : тези доп. 5-ої міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків, 25-27 лист. 2024 р. Харків, 2024. С. 271-272.
- 3 Оптимізація режимів гальмування на сортувальних гірках: монографія / В. І. Бобровський та ін. Дніпропетровськ : Вид-во Маковецький, 2010. 260 с.
- 4 Shabelnikov A. N., Lyabakh N. N. Intellectualization of sorting processes control on the basis of instrumental determination of analogies. *2nd International Conference on Intelligent Information Technologies for Industry, IITI 2017, Varna, Bulgaria*. 2017. pp. 138-145. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-68324-9_15.
- 5 Kozachenko D. M., Bobrovskiy V. I., Grevtsov C. V., Berezovyi M. I. Controlling the speed of rolling cuts in conditions of reduction of brake power of car retarders. *Science and Transport Progress*. 2021. 3(63). pp. 28-40. <https://doi.org/10.15802/stp2016/74710>
- 6 Kovalev S. M., Shabelnikov A. N., Sukhanov A. V. Dynamic programming for automatic positioning of wheel chocks on marshalling yards. *2nd International Conference on Intelligent Information Technologies for Industry, IITI 2017, Varna, Bulgaria*. 2017. pp. 119-127.
- 7 Kozachenko D., Grevtsov S., Titova A. Determination of the Optimal Cars Exit Speeds from the Retarders on Sorting Humps. *Proceedings of 27th International Scientific Conference Transport Means 2023. Part II*. 2023. pp. 966–971.
- 8 Дорош А. С. Оптимізація режимів гальмування відчепів на сортувальній гірці. *Транспортні системи та технології перевезень* : збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2021. Вип. 22. С. 28–35.

9 Probabilistic approach for the determination of cuts permissible braking modes on the sorting humps / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, A. Dorosh et al. *Transport Problems*. 2016. 11(1). pp. 147–155. Available From: <http://dx.doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.14>

10 Ohar O., Berestov I., Kutsenko M., Smachilo J., Kogaro I. Using the new car braking systems in marshalling yards. *ICTE in Transportation and Logistics 2019: Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. 2020. pp. 203-210. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_27

11 Огар О. М., Таратушка К. В. Дослідження ефективності застосування технології гравітаційно-прицільного гальмування відцепів. *Транспортні системи та технології перевезень*: зб. наук. праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2015. Вип. 9. С. 49-56.

12 Моделювання роботи вагонних уповільнювачів в задачах дослідження сортувального процесу / В. І. Бобровський, Д. М. Козаченко, Р. Г. Коробйова. *Залізничний транспорт України*. 2010. №1. С. 5-8.

13 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.

14 Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування ГБН В.2.3-37472062-1:2012. Київ : Міністерство інфраструктури України, 2012. 112 с.

15 Бобровський В. І. Теоретичні основи вдосконалення конструкції та технології роботи залізничних станцій : дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.20. Дніпропетровськ, 2002. 534 с.

16 Огар О. М. Розвиток теорії експлуатації та методів розрахунку конструктивно-технологічних параметрів сортувальних гірок : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.20. Харків, 2011. 368 с.

17 Журавель В. В., Музикіна В. І., Журавель І. Л. Точність гальмування, вага вагонів і показники роботи сортувальної гірки. *Залізничний транспорт України*. 2008. Вип. 5. С. 46-48.

18 Балака Є. І., Зоріна О. І., Колеснікова Н. М., Писаревський І. Н. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційних проектах на транспорті: навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.

19 Науковий підхід до зменшення потужності паркової гальмової позиції сортувального пристрою з гравітаційно-прицільним гальмуванням відчепів / О. М. Огар, А. О. Левченко, І. В. Кондратьєв та ін. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків, 2024. Вип. 208. С. 250-261.

Додаток А

Результати натурних спостережень за роботою сортувальної гірки

Таблиця А.1 – Дослідження елементів гіркового технологічного інтервалу

№ п/п	t_z , хв.	t_n , хв.	t_p , хв.	t_o , хв.	$V_{снів}$, м/с	$L_{вікна}$, м
1	2	3	4	5	6	7
1	15	5	17	3	1,7	175
2	11	2	12	7	1,3	12,5
3	6	1,3	5	3	1,4	62,5
4	8	1,7	10	5	1,5	75
5	14	5	9	10	1,4	188
6	5	7	15	8	1,4	38
7	12	1	11	3	1,3	250
8	5	1,5	13	5	1,3	150
9	11	3	10	7	1,1	25
10	7	1,3	15	5	2,2	88
11	5	1	14	10	1,2	75
12	6	5	8	5	1,1	35
13	6	1,1	15	4	1,4	188
14	14	1,9	27	5	1,5	38
15	5	1,7	19	10	1,3	75
16	8	4,3	20	5	1,6	75
17	7	3,7	10	4	1,4	125
18	8	1,7	11	4	1,3	38
19	11	1,5	10	8	1,3	25
20	5	1,4	25	9	1,4	12,5
21	5	1,4	5	3	1,3	75
22	7	1,2	15	10	1,7	125
23	14	2,8	12	6	1,4	63
24	12	1	10	7	1,9	63
25	6	5,3	20	10	1,1	38
26	8	6,0	14	10	1	50
27	14	1,3	11	5	1,5	188
28	5	1,7	18	10	1,1	75
29	12	5	11	5	1,3	7
30	5	7	14	3	1,8	25
31	11	1	9	3	1	38
32	7	1,5	15	6	1,8	12,5
33	14	3	18	5	1,6	150
34	11	1,3	30	10	1	100
35	5	1	28	10	1,1	38
36	5	5	11	8	1	12,5

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7
37	5	1,1	13	8	1,6	7
38	7	1,9	25	4	1,5	438
39	14	1,7	12	3	2,0	250
40	12	11	16	9	1	38
41	15	7	5	3	1,2	75
42	11	8	11	10	1,1	12,5
43	6	10	15	5	1,6	188
44	8	3	9	10	1,4	100
45	14	2,8	8	3	1,3	88
46	5	1	5	7	1,4	63
47	12	5,3	11	10	1,3	25
48	5	6,0	6	6	1,6	50
49	11	1,3	19	7	1,3	125
50	7	1,7	8	10	1,3	75
51	5	5	15	10	2,1	38
52	6	7	11	5	2,0	125
53	6	1	10	10	1,6	175
54	14	1,5	10	5	2,0	12,5
55	16	3	7	3	2,1	62,5
56	8	1,3	15	3	1	75
57	7	7	11	6	1,8	188
58	8	9	15	7	1,7	38
59	11	11	14	5	1,9	250
60	5	9	11	5	1,8	150
61	5	8	18	10	1,8	25
62	7	1,6	11	3	1,7	88
63	14	5	14	8	1,4	75
64	12	2	9	3	2,2	35
65	6	1,3	15	5	1,9	188
66	8	1,7	18	7	1,6	38
67	14	5	10	5	2,0	63
68	5	7	10	10	2,1	88
69	12	1	7	10	1,6	175
70	5	1,5	8	4	1,4	75
71	11	3	5	5	1,8	25
72	7	1,3	11	10	1,9	38
73	14	1	15	5	1,7	250
74	11	5	9	4	2,0	100
75	5	1,1	8	3	1,3	88
76	5	1,9	5	9	1,6	12,5
77	5	2	10	3	1,4	63
78	7	1,3	10	10	1,3	50
79	14	1,7	10	5	2,0	125

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7
80	12	5	10	10	2,1	250
81	6	7	5	3	1	12,5
82	6	1	11	7	1,5	150
83	8	1,3	16	3	1,4	100
84	10	1	9	6	1	38
85	14	5	11	7	1,9	12,5
86	6	1,1	15	10	1,4	7
87	6	1,9	8	3	1	438
88	5	2	22	5	1,4	250
89	8	1,3	10	10	2,0	38
90	8	1,7	22	5	1,3	75
91	11	5	10	3	2,1	12,5
92	8	7	10	3	1,6	188
93	5	1	10	6	1,4	100
94	5	1,5	11	7	1,4	88
95	5	3	8	8	1,2	63
96	12	1,3	13	3	1	37,5
97	11	1	5	5	1,5	25
98	11	5	12	7	1,2	87,5
99	5	1,5	10	5	1,7	150
100	5	7	15	10	1,4	37,5

Таблиця А.2 – Результати розрахунків математичного очікування тривалості заїзду локомотиву під состав

Ліва межа розряду, хв	Права межа розряду, хв	k_i	$\bar{x}_i$, хв	P_i	$\bar{x}_i P_i$, хв
5	6	4	5,5	0,04	0,2
6	7	6	6,5	0,06	0,36
7	8	8	7,5	0,08	0,56
8	9	12	8,5	0,12	0,96
9	10	14	9,5	0,14	1,26
10	11	15	10,5	0,15	1,5
11	12	13	11,5	0,13	1,43
12	13	9	12,5	0,09	1,08
13	14	8	13,5	0,08	1,04
14	15	6	14,5	0,06	0,84
15	16	4	15,5	0,04	0,6
		100			M(X)=9,83

Таблиця А.3 – Результати розрахунків математичного очікування тривалості насуву составу на сортувальну гірку

Ліва межа розряду, хв	Права межа розряду, хв	k_i	$\bar{x}_i$, хв	P_i	$\bar{x}_i P_i$, хв
1	2	10	1,5	0,1	0,15
2	3	9	2,5	0,09	0,23
3	4	13	3,5	0,13	0,46
4	5	19	4,5	0,19	0,86
5	6	16	5,5	0,16	0,88
6	7	13	6,5	0,13	0,85
7	8	12	7,5	0,12	0,9
8	9	8	8,5	0,08	0,68
		100			$M(X)=5,01$

Таблиця А.4 – Результати розрахунків математичного очікування тривалості розпуску составу з сортувальної гірки

Ліва межа розряду, хв	Права межа розряду, хв	k_i	$\bar{x}_i$, хв	P_i	$\bar{x}_i P_i$, хв
5	7	8	6	0,08	0,48
7	9	6	8	0,06	0,48
9	11	12	10	0,12	1,2
11	13	14	12	0,14	1,68
13	15	16	14	0,16	2,24
15	17	11	16	0,11	1,76
17	19	9	18	0,09	1,62
19	21	6	20	0,06	0,12
21	23	5	22	0,05	1,1
23	25	5	24	0,05	1,2
25	27	4	26	0,04	1,04
27	29	4	28	0,04	1,12
		100			$M(X)=14,04$

Таблиця А.5 – Результати розрахунків математичного очікування тривалості осаджування

Ліва межа розряду, хв	Права межа розряду, хв	k_i	$\bar{x}_i$, хв	P_i	$\bar{x}_i P_i$, хв
0,5	1	1	0,75	0,1	0,075
1	1,5	13	1,25	0,13	0,163
1,5	2	15	1,75	0,15	0,263
2	2,5	19	2,25	0,19	0,428
2,5	3	16	2,75	0,16	0,44
3	3,5	14	3,25	0,14	0,455
3,5	4	13	3,75	0,13	0,486
		100			$M(X)=2,31$

Таблиця А.6 – Результати розрахунків математичного очікування швидкості співударяння відчепів у сортувальному парку

Ліва межа розряду, м/с	Права межа розряду, м/с	k_i	$\bar{x}_i$, м/с	P_i	$\bar{x}_i P_i$, м/с
1,1	1,2	5	1,15	0,05	0,069
1,2	1,3	6	1,25	0,06	0,088
1,3	1,4	7	1,35	0,07	0,121
1,4	1,5	10	1,45	0,1	0,015
1,5	1,6	13	1,55	0,13	0,201
1,6	1,7	12	1,65	0,12	0,198
1,7	1,8	14	1,75	0,14	0,245
1,8	1,9	14	1,85	0,14	0,259
1,9	2,0	8	1,95	0,08	0,156
2	2,1	5	2,05	0,05	0,103
2,1	2,2	3	2,15	0,03	0,06
2,2	2,3	2	2,25	0,02	0,045
		100			$M(X)=1,79$

Таблиця А.7 – Результати розрахунків математичного очікування середньої довжини «вікна» на 1 перероблений вагон

Ліва межа розряду, м	Права межа розряду, м	k_i	$\bar{x}_i$, м	P_i	$\bar{x}_i P_i$, м
2	4	14	3	0,14	0,42
4	6	29	5	0,29	1,45
6	8	36	7	0,36	2,52
8	10	14	9	0,14	1,26
10	12	7	11	0,07	0,77
		100			M(X)=6,42

АКТ
перевірки кваліфікаційної роботи магістра
на наявність ознак академічного плагіату

Відповідно до даних сервісу Strikeplagiarism праця «РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ РОЗРАХУНКУ ШВИДКОСТЕЙ ВИХОДУ ВІДЧЕПІВ З ПАРКОВОЇ ГАЛЬМОВОЇ ПОЗИЦІЇ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ З ПРОТИУХИЛАМИ», автор Лагута Роман Владиславович. містить 4,57 % текстових збігів. Ознаки академічного плагіату відсутні.

Перевірку виконала доцент

кафедри залізничних станцій та вузлів



Ганна ШАПОВАЛ