

Український державний університет залізничного транспорту

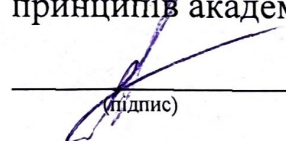
Кафедра залізничних станцій та вузлів

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
(підпис)

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

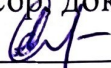
Спеціальність 275 Транспортні технології

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 ПГП; 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
Перевірив	Огар							
Н. Контр.	Шаповал					УкрДУЗТ		
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.

За результатами досліджень опубліковано тези доповідей на науково-технічних конференціях [2, 19].

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 ППП, 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 відцепів з паркової гальмової позиції автоматизованого сортувального пристрою з протиухилами. Встановлено, що середня швидкість співударяння відцепів 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 відцепів 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 відцепів 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 відчепів. *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 Огар О. М., Лагута Р. В. Процедура розрахунку швидкості виходу відчепів з паркової гальмової позиції при застосуванні сортувального пристрою з протиухилами. *Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика* : тези доп. 21-ої наук.-практ. міжнар. конф., м. Харків, 5-6 червня 2025 р. Харків, 2025.