

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Дніпропетровський національний університет залізничного  
транспорту імені академіка В. Лазаряна

**ДОРОШ АНДРІЙ СЕРГІЙОВИЧ**



УДК 656.212.5

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗФОРМУВАННЯ  
СОСТАВІВ НА ГІРКАХ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ  
ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ  
2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор **Бобровський Володимир Ілліч**,  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри «Станції та вузли»

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор **Огар Олександр Миколайович**,  
Український державний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри «Залізничні станції та вузли»

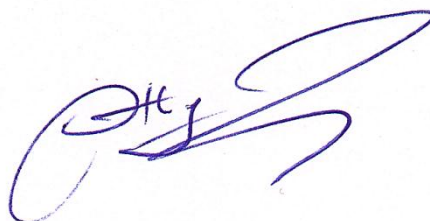
кандидат технічних наук, доцент **Яновський Петро Олександрович**,  
Національний авіаційний університет, професор кафедри «Організація авіаційних перевезень»

Захист відбудеться «26» травня 2016 р. об 11 год 00 хв на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, к. 314, зал засідань.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розісланий «23» квітня 2016 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
д.т.н., професор



І. В. Жуковицький

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В сучасних умовах функціонування залізничного транспорту України одним з найважливіших елементів у системі організації перевізного процесу є сортувальні станції, від ефективності роботи яких залежать показники роботи галузі в цілому. Першочерговим завданням роботи сортувальних станцій є переробка составів, що прибувають у розформування. У зв'язку з цим зростає актуальність проблеми підвищення ефективності функціонування сортувальних гірок, як основного технічного засобу розформування-формування составів вантажних поїздів на станціях.

Вирішення вказаної проблеми можливе за рахунок впровадження систем комплексної механізації та автоматизації процесів розформування составів на сортувальних гірках. Розробка та впровадження системи автоматизації сортувального процесу дозволить підвищити якість сортувального процесу за рахунок мінімізації нерозділень відчепів на стрілках, скорочення числа випадків пошкоджень вагонів і вантажів, а також підвищення якості заповнення сортувальних колій. Все це сприятиме економії витрат енергоресурсів на гальмування відчепів і на маневрову роботу з ліквідації вікон між вагонами на сортувальних коліях, а також по перестановці вагонів, викликаній помилками в керуванні маршрутами скочування відчепів.

Слід відмітити, що найбільш відповідальною і складною задачею, вирішення якої забезпечить ефективність та якість автоматизованого керування процесом розформування составів на сортувальних гірках, є визначення раціональних режимів гальмування відчепів. Вказані режими повинні забезпечувати необхідні швидкості скочування відчепів, реалізація яких дозволить досягти надійного розділення сукупності відчепів состава на всіх розділових елементах по маршруту скочування і, таким чином, мінімізувати ймовірність їх нерозділень. Підвищенню якості інтервального регулювання швидкості відчепів состава сприяє і конструкція плану сортувальної гірки. Таким чином, проблема визначення ефективних режимів гальмування відчепів состава є складною оптимізаційною задачею, що не отримала остаточного вирішення і в даний час. У зв'язку з цим тема дисертації, що присвячена підвищенню ефективності процесу розформування составів на сортувальних гірках за рахунок визначення раціональних режимів гальмування відчепів є достатньо актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, що визначені у Транспортній стратегії України до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 №2174-р), а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних комплексів на станціях» (№ ДР 0109U000480), «Удосконалення інформаційних технологій на залізничному транспорті» (№ ДР 0111U003613) та «Визначення умов та розробка рекомендацій з безпечної організації розпуску составів на сортувальних гірках станції Нижньодніпровськ-Вузол для різних ступенів зменшення гальмової потужності уповільнювачів спускної частини гірки та паркової гальмової позиції» (№ ДР 0115U007067), у яких автор брав участь у якості виконавця та спів-автора звітів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності та якості сортувального процесу на станціях за рахунок удосконалення вибору режимів гальмування відчепів при розформуванні составів на гірках.

Для досягнення зазначеної мети в дисертації поставлено і вирішено наступні задачі:

- аналіз сучасних напрямків підвищення ефективності процесу розформування составів на сортувальних гірках;
- удосконалення імітаційної моделі розформування составів на автоматизованих сортувальних гірках;
- дослідження та визначення області допустимих швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій (ГП);
- розробка методу оптимізації режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи;
- удосконалення методу оптимізації режимів гальмування відчепів состава з урахуванням їх розділення на всіх розділових елементах (стрілках, уповільнювачах) та оцінка його ефективності;
- дослідження та вибір раціональної конструкції колійного розвитку гіркової горловини сортувального парку, що забезпечує підвищення ефективності регулювання швидкості скочування відчепів з гірки.

**Об'єктом дослідження** є процес розформування составів вантажних поїздів на сортувальних гірках.

**Предмет дослідження** – взаємозв'язки режимів гальмування відчепів состава, що розформовується, з показниками функціонування сортувальної гірки.

**Методи дослідження.** Методи імітаційного моделювання та чисельні методи вирішення диференціальних рівнянь були використані при дослідженні впливу режимів гальмування на величину інтервалів між відчепами при їх скочуванні з сортувальної гірки.

Методи оптимізації були використані при розробці методу пошуку оптимального режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи, а також для визначення оптимальних режимів скочування відчепів составів.

Методи аналітичної геометрії були використані для автоматизованого проектування плану гіркових горловин сортувальних парків.

Методи теорії ймовірності та математичної статистики були використані при аналізі показників сортувального процесу на гірках з різною конструкцією.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше сформульовано та вирішено задачу оптимізації режиму гальмування керованого відчепа на основі системного аналізу розділення відчепів розрахункової групи на розділових стрілках і уповільнювачах гальмових позицій спускної частини гірки, що дозволяє підвищити надійність розділення відчепів під час розформування состава.

2. Вперше виконано комплексну оцінку впливу конструкції гіркових горловин на ефективність сортувального процесу на основі імітаційного моделювання процесу розформування составів, що дозволяє вибрати раціональну конструкцію горловини для впровадження системи автоматизації сортувальної гірки.

3. Удосконалено імітаційну модель процесу розформування составів на автоматизованих сортувальних гірках за рахунок реалізації модуля керування рухом відчепів, що, на відміну від існуючих, враховує реальні умови гальмування відчепів та дозволяє оцінити вплив параметрів керування уповільнювачами на показники сортувального процесу.

4. Удосконалено ітераційний метод оптимізації режиму гальмування відчепів состава, який на відміну від існуючих, крім інтервалів на стрілках враховує інтервали і на уповільнювачах між суміжними відчепами состава. Метод дозволяє раціонально розподілити існуючий ресурс часу між всіма відчепами состава і за рахунок цього підвищити ефективність та якість процесу його розформування.

**Практичне значення отриманих результатів.** Наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, а також розроблені моделі та методи можуть бути використані для вирішення задачі керування швидкістю скочування відчепів при створенні систем автоматизації сортувального процесу на гірках, а також для оцінки якості конструкції сортувальних гірок, що проектуються.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє вирішити задачу оптимізації режимів гальмування відчепів состава, що розформовується на гірці. Вирішення вказаної задачі виконується з використанням імітаційного моделювання процесу розпуску. В даний час отримані результати використані:

1. При розробці проектної документації для будівництва сортувального парку та сортувальної гірки парку «Южний» станції «Хімічна» (ТОВ з П «Трансінвестсервіс»);

2. У навчальному процесі при підготовці спеціалістів та магістрів зі спеціальності 7(8).07010102 «Організація перевезень і управління на залізничному транспорті» та під час дипломного проектування.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені у додатках до дисертації.

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові положення, розробки та результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно.

Стаття [4] опублікована одноосібно. В роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному. В роботі [1] виконано розробку та дослідження конструкції гіркових горловин з різним колійним розвитком та розміщенням гальмових позицій. В статті [2] доведено, що при виборі режимів гальмування необхідно враховувати умови розділення відчепів як на стрілочних переводах, так і на уповільнювачах гальмових позицій. В статті [10] виконано дослідження впливу керування уповільнювачами гальмових позицій на показники сортувального процесу. В статтях [4, 5] удосконалено модель процесу розформування составів на автоматизованих сортувальних гірках. В статті [6] досліджено існуючі обмеження режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 70-й, 72-й, 73-й, 74-й та 75-й міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015 рр.); на II-й та III-й міжнародних науково-практичних конференціях «Інтеграція України в міжнародну

транспортну систему» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2010, 2011 рр.); на VI-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2012 р.); на I-й та III-й науково-практичних конференціях «Інноваційні технології на залізничному транспорті» (Луганськ, СНУ ім. В. Даля, 2010, 2012 рр.); на V міжнародній науково-практичній конференції «Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2014 р.); на міжнародній науково-технічній конференції «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом» (Москва, МІТ, 2014 р.); на науково-практичній конференції «Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2014 р.); на 77-й міжнародній науково-практичній конференції «Развитие научной и инновационной деятельности на транспорте» (Харків, УкрДАЗТ, 2015 р.); на наукових семінарах кафедри «Станції та вузли» 2011-2014 рр. У повному обсязі дисертація доповідалась та була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (2015 р.).

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковано 29 наукових праць: 1 монографія, 8 наукових статей, з яких 1 стаття в іноземному виданні, включеному до наукометричної бази *Scopus*, 4 статті у фахових виданнях, затверджених Департаментом атестації кадрів МОН України та включених до міжнародних наукометричних баз, 3 статті в інших виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, 19 тез доповідей у матеріалах і тезах міжнародних конференцій, а також патент на корисну модель №56315 «Пристрій для формування багатогрупних составів».

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і 4 додатків. Повний обсяг роботи – 180 сторінок, з яких основного тексту – 145 сторінок, які містять 38 рисунків та 30 таблиць; список використаних джерел із 155 найменувань викладено на 20 сторінках; додатки викладені на 15 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність проблеми керування процесом розформування составів на сортувальних гірках, сформульовані мета і задачі досліджень, відображені наукова новизна, практичне значення отриманих результатів та особистий внесок автора, наведено відомості про апробацію та публікацію результатів досліджень.

В першому розділі виконано аналіз сучасного стану та напрямків підвищення ефективності процесу розформування составів на сортувальних гірках.

Значний внесок у вирішення проблеми удосконалення роботи сортувальних гірок та підвищення ефективності процесу розформування составів на сортувальних станціях зробили такі вчені як Альошинський Є.С., Бессоненко С.А., Березовий М.І., Бобровський В.І., Божко М.П., Бутько Т.В., Долаберидзе О.М., Іванков О.М, Іванкова Л.М., Іванченко В.М., Жуковицький І.В., Козаченко Д.М., Кобзєв В.А., Кудряшов А.В., Модін М.К., Муха Ю.О., Нагорний Є.В., Негрей В.Я., Образцов В.М., Огар О.М., Павлов В.Є., Тішков Л.Б., Торопов Б.І., Устенко А.Б., Шабельников О.М., Шафіт Є.М., Шейкін В.П., Шиш В.О., Ющенко М.Р., Яновський П.О. та інші.

Виконаний аналітичний огляд літератури показав, що показники функціонування сортувальної гірки, а також якість регулювання швидкості відчепів, що скочуються, суттєво залежать не лише від конструкції гірки, але і від обраних режимів гальмування (РГ) відчепів составів.

Проблемі визначення раціональних РГ відчепів присвячено цілий ряд наукових праць, в яких використовувалися різні методи її вирішення та різні критерії оптимальності. Як показав аналіз публікацій, при вирішенні задачі оптимізації РГ відчепів розглядаються умови їх розділення лише на стрілочних переводах спускної частини гірки, тоді як розділення суміжних відчепів на уповільнювачах ГП не враховується.

Враховуючи, що при реалізації режимів гальмування виникають похибки, пов'язані з різними причинами (недостовірність або неточність інформації про ходові властивості відчепів, неможливість врахування всіх впливаючих випадкових факторів, поточний стан вагонних уповільнювачів та ін.), необхідно до початку процесу розформування визначати такі РГ, що забезпечують максимальну величину розрахункових інтервалів між відчепами состава на всіх розділових елементах (стрілках, уповільнювачах) по маршруту скочування. Такий підхід дозволить мінімізувати ймовірність виникнення на спускній частині гірки нагонів, пов'язаних з можливими похибками регулювання швидкостей відчепів на ГП.

Процес регулювання швидкості скочування відчепів та умови їх розділення в значній мірі залежать від конструкції гіркової горловини, а саме від взаємного розташування гальмових засобів та стрілочних переводів сортувального парку. У зв'язку з цим було виконано аналіз існуючих конструкцій гіркових горловин, методів їх оцінки та поставлено задачу вибору раціональної конструкції, що забезпечить найкращі умови розділення відчепів на розділових елементах гірки.

Аналіз наукової літератури дозволив сформулювати мету дисертаційного дослідження, що полягає в удосконаленні методів визначення режимів гальмування відчепів при розформуванні составів на гірках, а також визначити основні задачі, що повинні бути вирішені у процесі виконання дисертаційної роботи.

**В другому розділі** удосконалено імітаційну модель процесу розформування составів на автоматизованих гірках за рахунок створення моделі системи керування рухом відчепів, що враховує реальний процес їх гальмування уповільнювачами гальмових позицій.

В розробленій моделі імітація процесу скочування відчепа з сортувальної гірки виконується шляхом взаємодії двох відокремлених модулів: модулю розпуску та модулю керування. Модуль розпуску імітує рух відчепів состава на спускній частині гірки на кожному кроці  $\Delta t$  та передає сигнали про моменти зайняття та звільнення розділових елементів в модуль керування. Модуль керування перетворює вхідні сигнали від блоку імітації розпуску по встановленому алгоритму і подає відповідні команди на виконавчі органи (уповільнювачі, гірковий локомотив). Слід зауважити, що така організація імітаційної моделі забезпечує незалежність модулю розпуску та модулю керування, що дозволяє виконувати дослідження різних автоматизованих систем та алгоритмів керування, не змінюючи при цьому модуль розпуску.

Модель сортувальної гірки відображає її конструкцію і служить інформаційною базою для побудови функціональної моделі, що забезпечує кероване скочування відчепів на колії сортувального парку. Модель включає дані про конструкцію плану гіркової горловини, а також про пристрої керування процесом скочування

відчепів (стрілочні переводи, уповільнювачі ГП, пристрої збору інформації про параметри відчепів та про умови розпуску). Вказана модель дозволяє імітувати роботу уповільнювачів разом із системою керування, переведення розділових стрілок, роботу рейкових кіл, контролювати нагін відчепів, їх зіткнення та проштовхування на сортувальних коліях. Модель гірки складається з трьох блоків: план, поздовжній профіль, уповільнювачі та гальмові позиції.

Модель плану гіркової горловини сортувального парку побудована на базі орієнтованого бінарного дерева  $D=(V, E)$ , де  $V$  – множина вершин,  $E$  – множина дуг. При цьому вершинам  $V$  відповідають розділові стрілки, а дугам – ділянки між ними.

В моделі гірки кожен елемент плану представлено структурою:

$$\mathbf{h} = \{l, w, \theta, I_c, \mu\}, \quad (1)$$

де  $l$  – довжина елемента;  $w$  – ідентифікатор опору руху;  $\theta$  – тип елемента;  $I_c$  – індекс пристрою (розділової стрілки або уповільнювача) у списку керуючих елементів;  $\mu$  – покажчик розміщення останньої осі відчепа.

Інформація про кожний стрілочний перевід гіркової горловини представлена структурою:

$$\mathbf{S} = \{C, I_l, I_p, P_c, \sigma\}, \quad (2)$$

де  $C$  – інформація про поточний стан рейкового кола стрілки;  $I_l, I_p$  – індекси перших елементів відповідно лівої та правої секцій, суміжних з даною стрілкою, у загальному списку елементів плану гірки;  $P_c$  – номер стрілочної позиції до якої відноситься стрілка;  $\sigma$  – поточне положення стрілки ( $\sigma = 0$  - вліво,  $\sigma = 1$  - вправо).

Дані про сортувальні колії необхідні для моделювання процесу їх заповнення вагонами під час розпуску составів. Інформація про кожен сортувальну колію представлена структурою:

$$\mathbf{X} = \{C, S_{\text{вих}}^{\text{'''}}, L_{\text{кор}}, S_{\text{прц}}, m_{\text{тр}}, z\}, \quad (3)$$

де  $C$  – код колії;  $S_{\text{вих}}^{\text{'''}}$  – координата кінця паркової гальмової позиції (ПГП);  $L_{\text{кор}}$  – корисна довжина колії;  $S_{\text{прц}}$  – координата точки прицілювання;  $m_{\text{тр}}$  – число вагонів у составі на дану колію;  $z$  – номер останнього відчепа в составі, що направлено на дану колію.

Поздовжній профіль сортувальної гірки в імітаційній моделі представлений сукупністю параметрів профілю маршруту скочування на кожен сортувальну колію

$$\mathbf{P} = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}, \quad (4)$$

де  $P_i$  – профіль маршруту скочування на  $i$ -ту колію сортувального парку;  $n$  – кількість колій в сортувальному парку.

В імітаційній моделі передбачена можливість керування кожним окремим уповільнювачем ГП (спускна частина гірки), або керування групою уповільнювачів ПГП. Дані про уповільнювачі ГП сортувального парку представлені наступною структурою:

$$\mathbf{R} = \{P_r, Pos, M[w_r], \sigma_w, \Delta t_3, \Delta t_p\}, \quad (5)$$

де  $P_r$  – номер гальмової позиції, до якої відноситься уповільнювач;  $Pos$  – ознака розміщення уповільнювача в ГП (1 - вихідний уповільнювач, 0 - інші);  $M[w_r], \sigma_w$  – математичне очікування та середньоквадратичне відхилення питомого



гальмівного опору уповільнювача, відповідно;  $\Delta t_3, \Delta t_p$  – тривалість спрацювання уповільнювача при його загальмуванні та розгальмуванні, відповідно.

Керування роботою уповільнювачів гальмових позицій здійснюється на основі інформації, що надходить з модуля системи керування розпуском, і представлена наступною структурою:

$$\mathbf{U} = \{U_\phi, U_p, t_{\text{вх рк}}, t_{\text{вих рк}}, \psi_{\text{рк}}, T_{\text{п(к)}}\}, \quad (6)$$

де  $U_\phi$  – фактична швидкість руху відчепа під час зайняття уповільнювача;  $U_p$  – розрахункова швидкість виходу відчепа з ГП;  $t_{\text{вх рк}}, t_{\text{вих рк}}$  – відповідно, моменти зайняття та звільнення рейкового кола уповільнювача відчепом;  $\psi_{\text{рк}}$  – стан рейкового кола уповільнювача (0 - зайняте, 1 - вільне);  $T_{\text{п(к)}}$  – момент початку або завершення дії гальмівного опору  $w_T$  (початок або кінець гальмування).

Імітація роботи модуля керування уповільнювачами ГП здійснюється за допомогою керуючих параметрів, які представлені наступною структурою:

$$\mathbf{D} = \{\delta V_{\text{вгп}}, \delta V_{\text{сгп}}, L_{T \text{ min}}, dV, \phi\}, \quad (7)$$

де  $\delta V_{\text{вгп}}, \delta V_{\text{сгп}}$  – упередження, що враховує інерційність уповільнювачів першої (ВГП) та другої (СГП) гальмових позицій, відповідно;  $L_{T \text{ min}}$  – мінімальна довжина ефективної зони гальмування;  $dV$  – обмеження, що характеризує допустиме перевищення фактичної швидкості відчепа над заданою швидкістю виходу з ГП;  $\phi$  – режим роботи уповільнювача (0 - без розгальмування, 1 - з розгальмуванням).

Слід відмітити, що режим роботи уповільнювача з розгальмуванням ( $\phi=1$ ) передбачає припинення гальмування відчепа  $i$  в межах ГП у випадку, якщо попередній відчеп  $i-1$  звільнив ізольовану ділянку стрілочного переводу  $\sigma_{i,i-1}$  на якому розділяється пара відчепів  $i$  та  $i-1$ . Такий підхід при керуванні роботою уповільнювачів ГП дозволяє покращити умови розділення відчепів на стрілках та скоротити витрати стисненого повітря під час гальмування.

Моделювання переміщення відчепів состава під час їх насуву, розпуску та скочування виконується за допомогою диференційного рівняння другого порядку; при цьому насув та розпуск состава виконується при постійній швидкості  $v_0$ .

Режим розформування состава в імітаційній моделі представлений вектором швидкостей виходу відчепів з ВГП та СГП; при цьому вказані швидкості визначаються окремо до початку процесу розформування з використанням методів оптимізації, що розроблені у четвертому розділі дисертації.

Таким чином, розроблена в дисертації система керування роботою ГП враховує реальний процес гальмування відчепів, забезпечує розділення відчепів на всіх розділових елементах та скорочення енерговитрат на гальмування.

**В третьому розділі** виконано дослідження та визначення області допустимих швидкостей виходу відчепів з ГП з метою подальшого вирішення задачі оптимізації РГ відчепів состава, що розформується на гірці.

Для вирішення задачі оптимізації управління процесом розформування составів на сортувальних гірках необхідно встановити можливі обмеження РГ відчепів, що скочуються. Вказані режими визначаються множиною значень швидкості виходу відчепа з

ГП спускної частини гірки. На сортувальних гірках з трьома гальмовими позиціями РГ відчепа може бути представлений вектором швидкостей виходу з ВГП, СГП та ПГП

$$\mathbf{U} = \{U', U'', U'''\}. \quad (8)$$

З трьох компонент вектора  $\mathbf{U}$  найбільш складними для визначення є перші дві, які визначають якість інтервального регулювання швидкості відчепа і, в той же час, впливають на режим прицільного гальмування. При цьому швидкість виходу відчепа з ПГП  $U'''$  залежить від  $U''$  і може бути однозначно визначена за умови забезпечення найкращих показників прицільного регулювання, тому РГ відчепа (8) можна представляти як  $\mathbf{U} = \{U', U''\}$ . Вектор значень швидкостей  $\mathbf{U} = \{U', U''\}$  можна розглядати як точку на площині; при цьому вся множина  $\mathbf{U}$  може бути представлена у вигляді замкнутої області  $\Omega$  допустимих швидкостей виходу відчепа з ВГП і СГП (рис. 1).

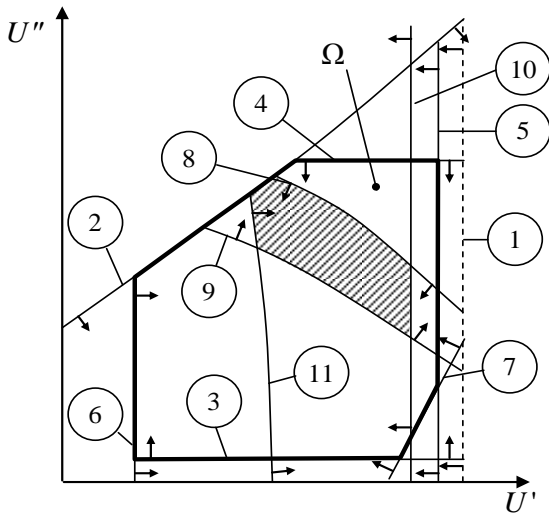


Рисунок 1 – Область  $\Omega$  можливих швидкостей виходу відчепа з ВГП та СГП

Область  $\Omega$  утворюється такими обмеженнями: 1 - за максимально можливою швидкістю виходу відчепа з ВГП; 2 - за максимально можливою швидкістю виходу відчепа з СГП; 3 - за допустимою швидкістю співударяння вагонів в сортувальному парку; 4 - за потужністю ПГП; 5 - за ймовірністю перевищення встановленої швидкості входу відчепа на СГП; 6 - за потужністю ВГП; 7 - за потужністю СГП.

Додаткові обмеження в області  $\Omega$  з'являються при послідовному скочуванні відчепів з гірки. В цьому випадку з'являються обмеження за умовами розділення відчепа з попереднім та наступним відчепами на стрілках та уповільнювачах ВГП і СГП. Обмеження за умовами розділення відчепа на стрілочних переходах з попереднім та наступним відчепами представлені відповідно лініями 8 та 9 (див. рис. 1). Розміщення вказаних обмежень в області  $\Omega$  залежить від комбінації номерів розділових стрілочних переходів в парах суміжних відчепів.

Кількість обмежень за умовами розділення на перших уповільнювачах ВГП та СГП в залежності від комбінації номерів розділових стрілок у групі відчепів може варіюватись в межах від 0 до 4. Вказані обмеження пов'язані із необхідністю забезпечення достатнього інтервалу на уповільнювачах  $\delta t_{уп}$ , який повинен бути не менше часу  $t_{пб}$ , необхідного для переходу їх гальмівних балок з одного положення в інше

$$\delta t_{уп} \geq t_{пб}. \quad (9)$$

Встановлено, що інтервал  $\delta t_{уп}$  на уповільнювачі в парі суміжних відчепів може бути нерегульованим або залежати від РГ керованого відчепа групи. Залежність величини інтервалів  $\delta t_{12}^{ВГП}$ ,  $\delta t_{23}^{ВГП}$  від РГ керованого відчепа на ВГП наведена на рис. 2. Як видно, інтервал  $\delta t_{12}^{ВГП}$  взагалі не залежить від РГ на ВГП і має постійне значення, тому необхідна величина інтервалу  $\delta t_{12}^{ВГП}$  повинна забезпечуватись конструкцією плану та поздовжнього профілю головної частини сортувальної гірки.

В той же час інтервал  $\delta t_{23}^{\text{ВГП}}$  лінійно залежить від швидкості виходу керованого відчепа з ВГП; при цьому інтервал  $\delta t_{23}^{\text{ВГП}}$  суттєво перевищує  $t_{\text{пб}}$  при будь-якому значенні  $U'$  і тому не потребує обмеження РГ в області  $\Omega$ .

Встановлено, що розділення суміжних відчепів на уповільнювачах СГП відбувається тільки у випадках, якщо номер стрілки їх розділення  $\sigma > 2$  при умові, що СГП розташована між другою та третьою розділовими стрілками. За результатами дослідження встановлено, що для групи з 3-х відчепів, в якій перший відчеп скочується без гальмування, інтервал  $\delta t_{12}^{\text{СГП}}$  нелінійно залежить від швидкості виходу керованого відчепа з ВГП; при цьому умова (9) виконується при  $U' \leq 6,0$  м/с (рис. 3). У зв'язку з цим допустима швидкість виходу керованого відчепа з ВГП має бути обмежена. Отримана швидкість представлена у вигляді обмеження 10 на рис. 1.

Інтервал  $\delta t_{23}^{\text{СГП}}$  в другій парі відчепів розрахункової групи залежить від РГ керованого відчепа як на ВГП, так і на СГП (рис. 4). Як видно, характер залежності  $\delta t_{23}^{\text{СГП}} = f(U', U'')$  нелінійний; при цьому значення  $\delta t_{23}^{\text{СГП}}$ , які не задовольняють вимогам (9), спостерігаються при низькій швидкості виходу керованого відчепа з ВГП ( $U' < 4,0$  м/с). Встановлено, що величина  $U'$  більш істотно впливає на інтервал  $\delta t_{23}^{\text{СГП}}$ , ніж величина  $U''$ ; так, збільшення  $U'$  на 1 м/с дозволяє збільшити інтервал в 2,5-3 рази, а при збільшенні  $U''$  на 1 м/с інтервал збільшується лише на 5-10%. З метою забезпечення надійного розділення відчепів другої пари на СГП необхідно враховувати швидкості  $U'$  та  $U''$ , при яких виконується умова (9). Вказані швидкості представлені у вигляді обмеження 11 на рис. 1.

Встановлені обмеження допустимих швидкостей виходу відчепа з ВГП та СГП необхідні для вирішення задачі оптимізації РГ відчепів на сортувальних гірках.

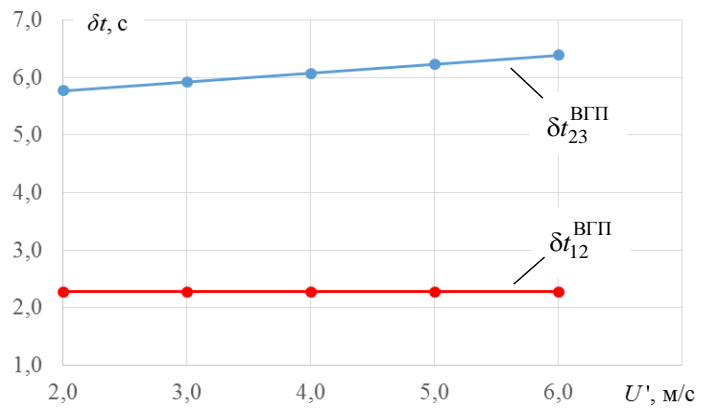


Рисунок 2 – Залежність величини інтервалу на ВГП від режиму гальмування керованого відчепа

За результатами дослідження встановлено, що для групи з 3-х відчепів, в якій перший відчеп скочується без гальмування, інтервал  $\delta t_{12}^{\text{СГП}}$  нелінійно залежить від швидкості виходу керованого відчепа з ВГП; при

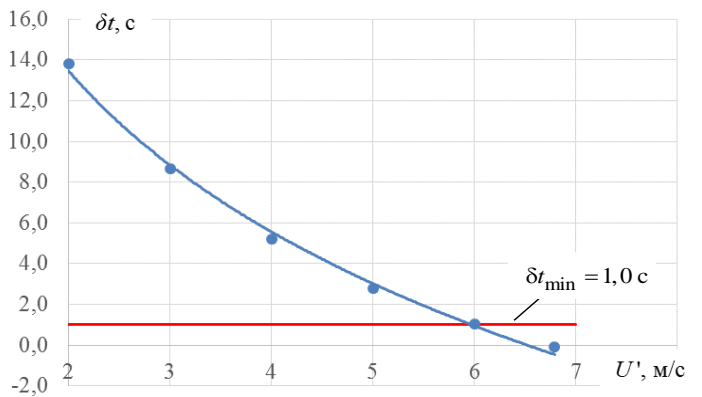


Рисунок 3 – Залежність інтервалу  $\delta t_{12}^{\text{СГП}}$  від режиму гальмування керованого відчепа

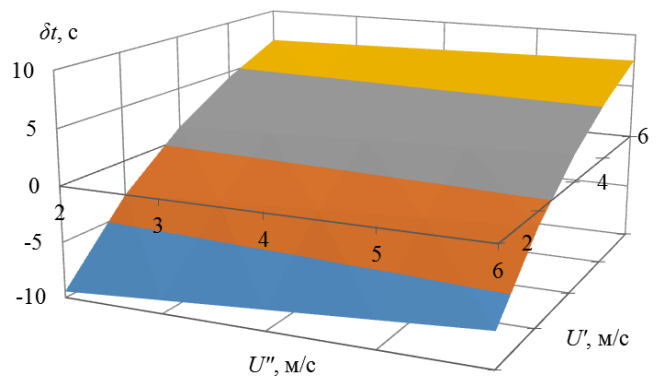


Рисунок 4 – Залежність інтервалу  $\delta t_{23}^{\text{СГП}}$  від режиму гальмування керованого відчепа

Вказані швидкості представлені у вигляді обмеження 11 на рис. 1.

Встановлені обмеження допустимих швидкостей виходу відчепа з ВГП та СГП необхідні для вирішення задачі оптимізації РГ відчепів на сортувальних гірках.

**В четвертому розділі** виконано розробку методу оптимізації режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи, з використанням якого удосконалено ітераційний метод оптимізації режимів гальмування відцепів состава, що розформовується на гірці.

Слід відмітити, що недоліком існуючих методів оптимізації РГ є те, що вони не враховують розділення відцепів на уповільнювачах ГП спускної частини гірки. Встановлено, що при РГ, визначених за допомогою існуючих методів, близько 6-8% інтервалів  $\delta t_{уп}$  на уповільнювачах мають значення менше допустимої величини  $t_{пб}$ , що може призвести до порушення вимог безпеки при розпуску составів на гірці.

Відомо, що в групі з трьох відцепів існує два інтервали між ними на розділових стрілках ( $\delta t_{12}$ ,  $\delta t_{23}$ ), а також може бути до 4-х інтервалів на уповільнювачах ВГП і СГП ( $\delta t_{12}^{ВГП}$ ,  $\delta t_{12}^{СГП}$ ,  $\delta t_{23}^{ВГП}$ ,  $\delta t_{23}^{СГП}$ ). У зв'язку з цим задача оптимізації режиму гальмування  $U$  керованого відчепа групи полягає у пошуку такого режиму, при якому забезпечується надійне розділення відцепів групи як на стрілочних переводах, так і на уповільнювачах ВГП та СГП. При цьому найкращим для керованого відчепа є такий режим гальмування  $U$ , при якому найменший з інтервалів  $\delta t$  в групі досягає максимуму. Тоді критерій оптимізації вказаної задачі можна представити у вигляді

$$\delta t = \min\{\delta t_{12}(U), \delta t_{23}(U), \delta t_{12}^{ВГП}(U), \delta t_{12}^{СГП}(U), \delta t_{23}^{ВГП}(U), \delta t_{23}^{СГП}(U)\} \rightarrow \max \quad (10)$$

з наступними обмеженнями

$$\delta t_i \geq \delta t_{\min}, \quad i = 1, \dots, m + 2, \\ U \in \Omega,$$

де  $\delta t_{\min}$  – мінімальний інтервал на розділовому елементі гірки;  $m$  – кількість розділень на уповільнювачах ГП;  $\Omega$  – область допустимих швидкостей (ОДШ) виходу відчепа з ВГП та СГП.

Встановлено, що кількість інтервалів в (10) залежить як від взаємного розташування стрілок і гальмових позицій (ВГП перед/після головної стрілки) на сортувальній гірці, так і від маршрутів скочування відцепів групи. Як показав аналіз, на гірках, що мають 4 пучки сортувальних колій, існує 9 комбінацій розділових стрілок групи з 3-х відцепів (табл. 1), які відрізняються числом і розташуванням розділових елементів на ГП спускної частини гірки і, відповідно, числом інтервалів у цільовій функції (10).

Таблиця 1 – Умови розділення відцепів на уповільнювачах ГП гірок різної конструкції

| Комбі-<br>нація | Розділові стрілки |            | Кількість розділень на ГП, $m$ |          |     |                             |          |     |
|-----------------|-------------------|------------|--------------------------------|----------|-----|-----------------------------|----------|-----|
|                 |                   |            | ВГП після головної стрілки     |          |     | ВГП перед головною стрілкою |          |     |
|                 | $\sigma_1$        | $\sigma_2$ | 1-а пара                       | 2-а пара | $m$ | 1-а пара                    | 2-а пара | $m$ |
| 1               | 1                 | 1          | 0                              | 0        | 0   | 1                           | 1        | 2   |
| 2               | 1                 | 2          | 0                              | 1        | 1   | 1                           | 1        | 2   |
| 3               | 1                 | 3-5        | 0                              | 2        | 2   | 1                           | 2        | 3   |
| 4               | 2                 | 1          | 1                              | 0        | 1   | 1                           | 1        | 2   |
| 5               | 2                 | 2          | 1                              | 1        | 2   | 1                           | 1        | 2   |
| 6               | 2                 | 3-5        | 1                              | 2        | 3   | 1                           | 2        | 3   |
| 7               | 3-5               | 1          | 2                              | 0        | 2   | 2                           | 1        | 3   |
| 8               | 3-5               | 2          | 2                              | 1        | 3   | 2                           | 1        | 3   |
| 9               | 3-5               | 3-5        | 2                              | 2        | 4   | 2                           | 2        | 4   |

Як видно з табл.1, на сортувальних гірках, де ВГП розташована до головної стрілки, кількість розділень на уповільнювачах зростає більше ніж на 30 %, що ускладнює регулювання швидкості скочування відчепів состава та вирішення оптимізаційної задачі (10).

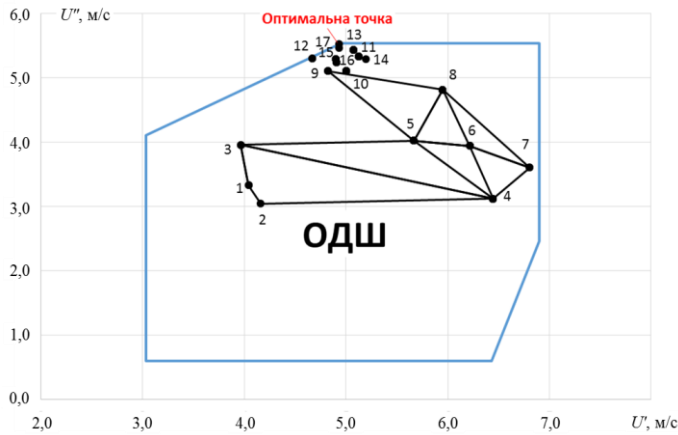


Рисунок 5 – Схема пошуку оптимального РГ відчепу з використанням методу Бокса.

Для вирішення оптимізаційної задачі (10) була розроблена ітераційна процедура з використанням комплексного методу Бокса. Вказаний метод передбачає пошук мінімуму цільової функції  $f = \delta t$  (10) за рахунок переміщення точок  $\mathbf{x}_i$  комплексу в напрямку її мінімізації всередині області обмежень (рис. 5). Оскільки вказаний метод мінімізує цільову функцію, то знак цільової функції  $f$  було змінено на  $-f$ . Кожна точка комплексу  $\mathbf{x}_i$  характеризується параметрами

$U_i'$ ,  $U_i''$  значення кожного з яких визначаються як

$$\begin{aligned} U_i' &= U_{i,\min}' + r_i(U_{i,\max}' - U_{i,\min}'), \\ U_i'' &= f(U_i') = U_{i,\min}'' + r_i(U_{i,\max}'' - U_{i,\min}''), \end{aligned} \quad (11)$$

де  $i$  – номер точки комплексу,  $i=1, 2, \dots, k$ ;  $r_i$  – випадкові числа, що рівномірно розподілені в інтервалі  $[0;1]$ ;  $U_{i,\min}'$ ,  $U_{i,\max}'$  – відповідно, мінімальна та максимальна швидкості виходу відчепу з ВГП (СГП), яка визначається за його ОДШ ( $\mathbf{U} \in \Omega$ ).

На кожному кроці оптимізації обирається точка  $\mathbf{x}_h$  з найбільшим значенням функції  $f(\mathbf{x})$ , тобто  $f_h = f(\mathbf{x}_h) = \max\{f_1, f_2, \dots, f_k\}$ , і вона відкидається. Нова точка комплексу  $\mathbf{x}_r$  визначається шляхом відображення точки  $\mathbf{x}_h$  через центр тяжіння  $\mathbf{x}_0$  інших  $k-1$  точок

$$\mathbf{x}_r = (1 + \alpha)\mathbf{x}_0 - \alpha\mathbf{x}_h, \quad (12)$$

де  $\alpha$  - емпіричний коефіцієнт відображення ( $\alpha=1,3$ ).

В свою чергу центр тяжіння  $k-1$  точок комплексу визначається як

$$\mathbf{x}_0 = \frac{1}{k-1} \left( \sum_{i=1}^k \mathbf{x}_i - \mathbf{x}_h \right). \quad (13)$$

Для перевірки приналежності ОДШ отриманої точки  $\mathbf{x}_r$  використовується метод обчислювальної геометрії, заснований на перевірці положення точки  $\mathbf{x}_r$  відносно кожної із сторін ОДШ. У випадку якщо точка  $\mathbf{x}_r$  не належить ОДШ, то її переміщують на половину відстані між  $\mathbf{x}_r$  та  $\mathbf{x}_0$ , тобто

$$\mathbf{x}_r' = \frac{(\mathbf{x}_r + \mathbf{x}_0)}{2}. \quad (14)$$

При перевірці на допустимість точки  $\mathbf{x}_r$  виконується розрахунок значення функції  $f_r = f(\mathbf{x}_r)$  і порівняння з  $f_h$ . Якщо  $f_r < f_h$ , то точка  $\mathbf{x}_r$  замінює точку  $\mathbf{x}_h$ , інакше точка  $\mathbf{x}_r$  зміщується в точку  $\mathbf{x}'_r$  (14).

В якості критерія завершення оптимізації обрано дисперсію  $D$  для  $k$  значень цільової функції та відстань  $L$  між точками комплексу  $\mathbf{x}_i$  і їх центром тяжіння  $\mathbf{x}_0$ :

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left( f(\mathbf{x}_i) - \bar{f} \right)^2, \\ L &= \sum_{i=1}^k \left( \mathbf{x}_i - \mathbf{x}_0 \right)^2. \end{aligned} \quad (15)$$

Процес оптимізації завершується якщо виконується умова  $D \leq \varepsilon_D$  і  $L \leq \varepsilon_L$ , де  $\varepsilon_D$  та  $\varepsilon_L$  – допустима похибка рішення.

Перевірка ефективності розробленої процедури оптимізації РГ керованого відчепа розрахункової групи була виконана з використанням імітаційного моделювання скочування групи відчепів ДП-ДХ-ДП для всіх комбінацій розділових стрілок, що наведені в табл. 1. За результатами моделювання встановлено, що розроблений в дисертації метод оптимізації РГ відчепів дозволяє в 2-4 рази збільшити інтервали на уповільнювачах ВГП та СГП і за рахунок цього виключити випадки їх нерозділення на ГП. Аналіз отриманих результатів показав, що розроблена процедура оптимізації є достатньо ефективною і дозволяє забезпечити надійне розділення відчепів розрахункової групи на стрілках і уповільнювачах.

Розроблений метод оптимізації для групи з 3-х відчепів був використаний для удосконалення ітераційного методу оптимізації РГ потоку відчепів состава. Задача оптимізації режимів гальмування потоку відчепів полягає в максимізації мінімальних інтервалів на всіх розділових елементах між суміжними відчепами

$$\delta t = \max \min \{ \delta t_1(\mathbf{U}), \delta t_2(\mathbf{U}), \dots, \delta t_{n-1}(\mathbf{U}) \}, \quad (16)$$

де  $n$  – кількість відчепів состава.

На кожному кроці процесу оптимізації обирається критична група з трьох відчепів, для якої абсолютна величина різниці мінімальних інтервалів в кожній парі суміжних відчепів  $|\Delta t_i|$  максимальна

$$\begin{aligned} \Delta t_i &= \delta t_i(\mathbf{U}_i, \mathbf{U}_{i+1}) - \delta t_{i-1}(\mathbf{U}_{i-1}, \mathbf{U}_i), i \in [2, n-1], \\ \delta t_i(\mathbf{U}_i, \mathbf{U}_{i+1}) &= \min \{ \delta t_{(i,i+1)}, \delta t_{(i,i+1)}^{\text{ВГП}}, \delta t_{(i,i+1)}^{\text{СГП}} \}, \\ \delta t_{i-1}(\mathbf{U}_{i-1}, \mathbf{U}_i) &= \min \{ \delta t_{(i-1,i)}, \delta t_{(i-1,i)}^{\text{ВГП}}, \delta t_{(i-1,i)}^{\text{СГП}} \}. \end{aligned} \quad (17)$$

Таким чином, на кожному кроці ітерації виконується оптимізація РГ середнього відчепа критичної групи, в результаті чого коригуються інтервали на стрілках та уповільнювачах в парах суміжних відчепів. Після цього виконується перехід до наступного кроку ітерації, на якому обирається нова критична група. Ітераційний процес триває до тих пір, доки не буде виконана умова

$$\max |\Delta t_i| \leq \varepsilon, i = 2, \dots, n-1, \quad (18)$$

де  $\varepsilon$  – допустима різниця мінімальних інтервалів в суміжних парах відчепів.

Для оцінки ефективності удосконаленого ітераційного методу було виконано оптимізацію РГ відчепів состава при встановленій для гірок великої потужності

швидкості розпуску  $v_0=1,7$  м/с. Для порівняння в табл. 2 наведені показники інтервального регулювання при оптимізації РГ відчепів існуючим та удосконаленим методами.

Таблиця 2 – Показники інтервального регулювання при оптимізації режимів гальмування

| Показник  | Без урахування розділення на ГП | З урахуванням розділення на ГП |
|---|---------------------------------|--------------------------------|
| Мінімальний інтервал на уповільнювачах $\delta t_{\min}^{\text{уп}}$ , с            | -2,28                           | 3,29                           |
| Максимальний інтервал на уповільнювачах $\delta t_{\max}^{\text{уп}}$ , с           | 15,55                           | 16,48                          |
| Мінімальний інтервал на розділовій стрілці $\delta t_{\min}^{\text{сп}}$ , с        | 6,40                            | 5,12                           |
| Максимальний інтервал на розділовій стрілці $\delta t_{\max}^{\text{сп}}$ , с       | 9,58                            | 15,73                          |
| Математичне очікування величини інтервалу на розділовому елементі $M[\delta t]$ , с | 7,22                            | 7,85                           |
| Ймовірність $P$ появи інтервалів на розділовому елементі $\delta t < 3,5$ с         | 0,035                           | 0,001                          |

Як видно з таблиці удосконалений ітераційний метод оптимізації РГ дозволяє виключити випадки нерозділення відчепів состава на уповільнювачах ГП, а зменшення  $\delta t_{\min}^{\text{сп}}$  до 5,12 с несуттєво погіршує умови інтервального регулювання на розділових стрілках.

Таким чином, удосконалений ітераційний метод визначення режимів гальмування може бути використаний для встановлення оптимальних швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій в системах автоматизації сортувального процесу на гірках.

**В п'ятому розділі** виконано дослідження та вибір раціональної конструкції колійного розвитку гіркової горловини сортувального парку, що забезпечує ефективне регулювання швидкості скочування відчепів на автоматизованій сортувальній гірці.

Ефективність і якість сортувального процесу на станціях в значній мірі визначається конструкцією плану колійного розвитку гіркових горловин. Існуючі на мережі залізниць України сортувальні гірки мають різну конструкцію плану та поздовжнього профілю. Це пов'язано з різним технічним оснащенням гірок: розміщенням гальмових позицій і їх кількістю, конструкцією пучків колій сортувального парку, і, відповідно, розподілом стрілочних переводів в гірковій горловині.

В четвертому розділі дисертації встановлено, що конструкція плану гіркової горловини істотно впливає на умови інтервального регулювання швидкості скочування відчепів, які, в свою чергу, визначають якість розформування составів на сортувальній гірці.

В дисертаційній роботі були розглянуті симетричні конструкції плану гіркових горловин сортувального парку з 30 колій з різною кількістю колій у пучках та різним взаємним розташуванням ВГП і першого розділового стрілочного переводу (1РСП). З цією метою було розроблено 4 варіанти конструкції гіркових горловин (при цьому для кожного варіанта розглянуто два можливих варіанта розміщення ВГП відносно 1РСП):

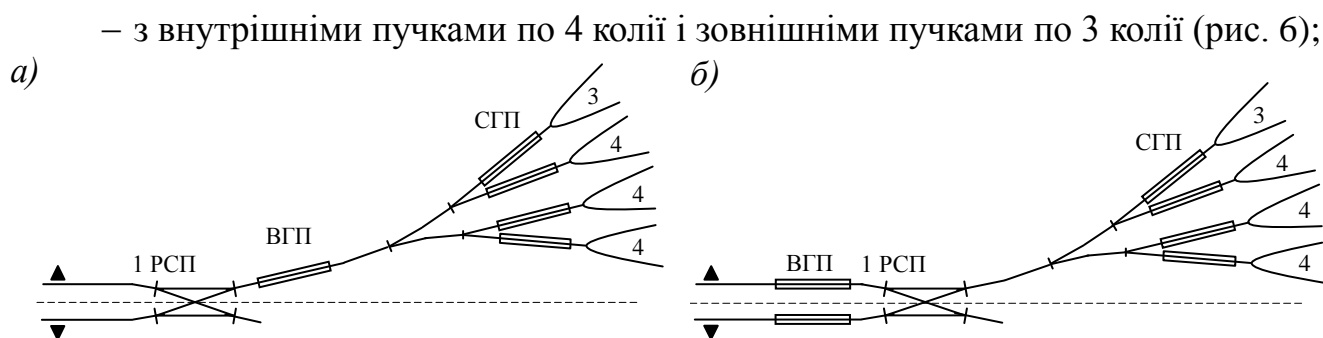


Рисунок 6 – Схеми гіркових горловин з пучками по 4 колії:  
а) ВГП після 1РСП; б) ВГП перед 1РСП

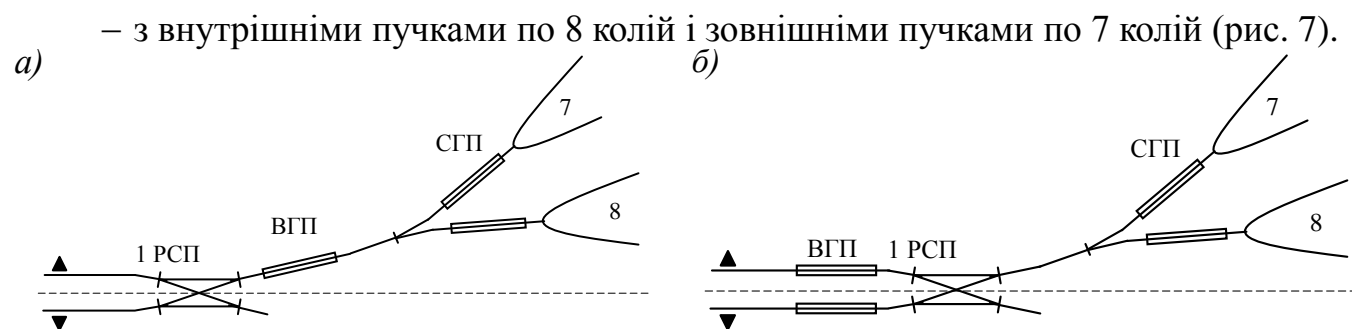


Рисунок 7 – Схеми гіркових горловин з пучками по 8 колій:  
а) ВГП після 1РСП; б) ВГП перед 1РСП

Оцінка варіантів конструкції сортувальних гірок виконувалась на основі моделювання процесу розформування потоку составів з використанням імітаційної моделі, розробленої в другому розділі дисертації. При цьому для визначення РГ відчепів було використано ітераційний метод оптимізації, розроблений у розділі 4.

Для аналізу та оцінки досліджуваних конструкцій гіркових горловин були виділені основні техніко-експлуатаційні показники, за якими виконувалось порівняння розроблених варіантів горловин (табл. 3).

Таблиця 3 – Техніко-експлуатаційні показники конструкцій гіркових горловин

| Показник   | 4 колії в пучку |                | 8 колій в пучку |                |
|--|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
|  | ВГП після 1РСП  | ВГП перед 1РСП | ВГП після 1РСП  | ВГП перед 1РСП |
| Висота гірки, м  | 3,013           | 3,160          | 2,966           | 3,277          |
| Розрахункова довжина горловини, м                      | 370,86          | 374,59         | 365,13          | 386,58         |
| Ухил першого елемента швидкісної ділянки, ‰            | 40,10           | 42,76          | 42,32           | 46,62          |
| Кількість уповільнювачів на спускній частині гірки, шт | 20              | 20             | 12              | 12             |
| Середня величина інтервалу між суміжними відчепами, с  | 6,14            | 6,79           | 6,57            | 7,43           |
| Середня довжина вікна на один перероблений вагон, м    | 13,83           | 12,37          | 16,00           | 12,43          |
| Середня швидкість відчепів в точці прицілювання, м/с   | 1,06            | 1,09           | 1,18            | 1,20           |

Аналіз показників якості сортувального процесу показав, що розміщення ВГП перед 1РСП призводить до збільшення розрахункової довжини гіркової горловини на 2-6% і відповідного збільшення висоти гірки на 5-10%. В той же час така конструкція гіркової горловини дозволяє збільшити ухил першого елемента швидкісної ділянки на 6-10%. Це, в свою чергу, призводить до збільшення середнього інтервалу



між відчепами на 10-13% і скороченню на 15-25% довжини вікна, що припадає на один перероблений вагон.

Порівняльний аналіз ефективності конструкцій розглянутих гіркових горловин дозволив зробити наступні висновки:

- при розміщенні ВГП до 1РСП черговому по гірці не надається можливості в достатній мірі оцінити ходові якості вагонів, що скочуються на ділянці від вершини гірки до ВГП, і, відповідно, забезпечити ефективне та раціональне використання потужності уповільнювачів ВГП;

- при розміщенні ВГП до 1РСП збільшується довжина зони неконтрольованого скочування відчепів до СГП;

- при розміщенні ВГП до 1РСП збільшуються як експлуатаційні витрати, пов'язані з розформуванням составів, так і будівельні витрати на спорудження земляного полотна і гірки необхідної висоти.

Таким чином, на основі виконаних досліджень встановлено, що при розміщенні ВГП перед 1РСП показники інтервального регулювання покращуються неістотно, тому остаточний вибір положення ВГП необхідно виконувати шляхом техніко-економічних розрахунків для конкретних умов проектування чи реконструкції. Також встановлено, що зменшення кількості колій в пучках не істотно впливає на показники сортувального процесу та призводить до збільшення кількості уповільнювачів на спускній частині гірки і експлуатаційних витрат на їх утримання.

У додатках наведено параметри плану та профілю сортувальної гірки, що використовується в імітаційних моделях розформування составів, результати автоматизованого проектування плану гіркових горловин, програмна реалізація методу визначення оптимального режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи, а також акти про впровадження результатів дисертаційної роботи.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують науково-практичне завдання підвищення ефективності та якості сортувального процесу на станціях за рахунок удосконалення вибору режимів гальмування при розформуванні составів на гірках.

Основні наукові результати і висновки дисертації полягають у наступному:

1. Аналіз наукових праць, присвячених проблемі підвищення ефективності процесу розформування составів на сортувальних гірках, показав, що визначення раціональних режимів гальмування відчепів є актуальною і, в той же час, складною оптимізаційною задачею, що в даний час остаточно не вирішена.

2. Удосконалення імітаційної моделі процесу розформування составів на сортувальній гірці за рахунок реалізації модуля керування швидкістю скочування відчепів дозволило врахувати реальні умови гальмування відчепів та оцінити вплив методів керування уповільнювачами гальмових позицій на показники сортувального процесу.

3. Встановлено, що при визначенні області допустимих режимів гальмування відчепа необхідно враховувати обмеження за умовами його розділення з суміжними відчепами на уповільнювачах гальмових позицій спускної частини гірки. Загальне

число вказаних обмежень для групи з трьох відчепів може варіюватись від 0 до 4; при цьому деякі з них можуть бути неактивними.

4. Встановлено, що кількість інтервалів на розділових елементах, які впливають на якість інтервального регулювання, залежить як від маршрутів руху відчепів групи, так і від конструкції головної частини гірки, і, в першу чергу, від схеми взаємного розташування ВГП та головної стрілки гірки. Так, на сортувальних гірках, де ВГП розташована до головної стрілки, кількість розділень на уповільнювачах зростає більше ніж на 30 %, що ускладнює процес інтервального регулювання.

5. Формалізація та вирішення задачі оптимізації режиму гальмування керованого відчепа групи, що враховує його розділення як на стрілочних переводах, так і на уповільнювачах гальмових позицій спускної частини гірки, дозволило в 2-4 рази збільшити інтервали на уповільнювачах ВГП та СГП і за рахунок цього виключити випадки нерозділення відчепів на гальмових позиціях спускної частини гірки.

6. Удосконалення ітераційного методу оптимізації режимів гальмування відчепів состава дозволяє встановити такі режими гальмування, при яких відсутні випадки нерозділення відчепів на уповільнювачах ВГП та СГП, а ймовірність появи інтервалів на розділових елементах менше 3,5 с становить 0,001.

7. Встановлено, що зменшення кількості колій у пучках гіркових горловин дозволяє збільшити середній інтервал між відчепами всього на 5%, але, в той же час, кількість уповільнювачів на спускній частині гірки зростає майже у два рази, що вимагає додаткових експлуатаційних витрат на їх утримання. Таким чином, використання гіркових горловин із меншою кількістю колій у пучках є нераціональним.

8. Розміщення ВГП перед першою розділовою стрілкою дозволяє покращити умови інтервального регулювання швидкості скочування відчепів. Але, в той же час, на гірках такої конструкції збільшуються енергетичні витрати на розформування, оскільки вказані гірки мають більшу на 5-10% висоту у порівнянні з гірками, на яких ВГП розташована після першої стрілки. Тому вибір доцільної схеми розміщення ВГП при проектуванні чи реконструкції сортувальної гірки повинен виконуватись на основі техніко-економічних розрахунків з використанням моделей та методів, розроблених в дисертації.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Основні праці:**

1. Совершенствование конструкции и технологии работы сортировочных комплексов железнодорожных станций: монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, А. И. Колесник, Е. Б. Демченко, А. С. Дорош. – Днепропетровск, Маковецкий, 2012. – 236 с.

2. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов расчетной группы состава / В. И. Бобровский, А. С. Дорош // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – № 1(43). – С. 104-112. (журнал індексується в базах УІНЦ, Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus та ін.)

3. Dorosh, A. S. Determination of braking optimal mode of controlled cut of design group / A.S. Dorosh // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2015. – № 3(57) – С. 36-44. (журнал індексується в базах УІНЦ, Ulrich's Periodicals

Directory, Index Copernicus та ін.)

4. Бобровський, В. І. Імітаційна модель процесу розпуску составів на сортувальних гірках / В.І. Бобровський, А.С. Дорош, Є.Б. Демченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2015. – №49(1158) – С. 94-98. (журнал індексується в базах WorldCat, ResearchBib та ін.)

5. Бобровський, В.І. Підвищення ефективності функціонування сортувальних комплексів станцій в умовах нерівномірності вхідного потоку поїздів / В.І. Бобровський, Є.Б. Демченко, А.С. Дорош // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 10. – С. 16-22. (журнал індексується в базах УІНЦ, РІНЦ).

6. Bobrovskiy, V. Probabilistic approach for the determination of cuts permissible braking modes on the gravity humps / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, A. Dorosh, E. Demchenko, T. Bolvanovska, A. Kolesnik // Transport Problems. – 2016. – Vol. 11, is. 1. – PP. 147-155. (журнал індексується в базі Scopus)

7. Пат. 56315 Україна, МПК 2011.01, В61В 1/00. Пристрій для формування багатогрупних составів [Текст] / Бобровський В.І., Сковрон І.Я., Дорош А.С. (Україна); заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2010 07489; заявл. 15.06.2010; опубл. 10.01.11, Бюл. № 1. – 4 с.

#### **Додаткові праці:**

8. Бобровский, В. И. Анализ и оценка конструкции плана путевого развития горочных горловин / В. И. Бобровский, А. С. Дорош, А. И. Колесник // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 1. – С. 22–26. (журнал індексується в базах УІНЦ, РІНЦ)

9. Бобровский, В. И. Совершенствование конструкции плана путевого развития горочных горловин / В. И. Бобровский, А. И. Колесник, А. С. Дорош // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 1. – С. 27–33. (журнал індексується в базах УІНЦ, РІНЦ).

10. Бобровський, В. І. Дослідження впливу параметрів керування уповільнювачами на точність гальмування відчепів / В.І. Бобровський, А.С. Дорош // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 6. – С. 10-14. (журнал індексується в базах УІНЦ, РІНЦ)

11. Бобровский, В. И. Анализ и оценка конструкции плана сортировочных горок / В. И. Бобровский, А. С. Дорош, А. И. Колесник // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 70-ї Міжнар. науково-практ. конф. (Дніпропетровськ, 15-16 квітня 2010 р.) – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2010. – С. 114–115.

12. Бобровский, В. И. Оптимизация параметров сопрягающих кривых на сортировочных путях / В. И. Бобровский, А. И. Колесник, А. С. Дорош, А. Н. Пасичный // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 70-ї Міжнар. науково-практ. конф. (Дніпропетровськ, 15-16 квітня 2010 р.) – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2010. – С. 115–117.

13. Бобровский, В. И. Оценка эффективности конструкции сортировочных горок на основе имитационного моделирования / В. И. Бобровский, А. С. Дорош,

А. И. Колесник // Інноваційні технології на залізничному транспорті: зб. наукових праць конф. (м. Красний Лиман, 23-25 вересня 2010 р.). – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2010. – С. 23–25.

14. Бобровский, В. И. Оптимизация конструкции плана путевого развития горочных горловин / В. И. Бобровский, А. И. Колесник, А. С. Дорош // Інноваційні технології на залізничному транспорті: зб. наукових праць конф. (м. Красний Лиман, 23-25 вересня 2010 р.). – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2010. – С. 26–28.

15. Бобровський, В. І, Удосконалення конструкції плану гіркових горловин сортувальних парків / В. І Бобровський, А. С. Дорош // Інтеграція України в міжнародну транспортну систему: тези допов. II Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 27-28 травня 2010 р.). – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2010. – С. 17-18.

16. Бобровський, В. І. Автоматизація сортувальних гірок як засіб підвищення ефективності їх функціонування / В. І Бобровський, А. С. Дорош // Інтеграція України в міжнародну транспортну систему: тези допов. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 17-18 листопада 2011 р.). – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. – С. 11-12.

17. Бобровский, В. И. Проблемы регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных сортировочных горках / В. И Бобровский, А. С. Дорош // Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті: тези допов. VI Міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. – С. 4.

18. Бобровский, В. И. Влияние технико-эксплуатационных характеристик замедлителей на качество сортировочного процесса / В. И Бобровский, А. С. Дорош // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 72-ї Міжнар. науково-практ. конф. (Дніпропетровськ, 19-20 квітня 2012 р.) – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2012. – С. 106-107.

19. Бобровский, В. И. Анализ точности реализации скорости выхода отцепов с тормозных позиций на сортировочной горке / В. И Бобровский, А. С. Дорош // Інноваційні технології на залізничному транспорті: зб. наукових праць конф. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2012. – С.14-15.

20. Бобровский, В. И. Оптимизация режима торможения управляемого отцепа расчетной группы состава / В. И Бобровский, А. С. Дорош // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 73-ї Міжнар. науково-практ. конф. (Дніпропетровськ, 23-24 травня 2013 р.) – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2013. – С. 136-137.

21. Бобровский, В. И. Пути повышения эффективности управления скатыванием отцепов на сортировочной горке / В. И Бобровский, А. С. Дорош // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 73-ї Міжнар. науково-практ. конф. (Дніпропетровськ, 23-24 травня 2013 р.). – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2013. – С. 137-138.

22. Бобровский, В. И. Совершенствование имитационной модели управляемого скатывания отцепов на сортировочных горках / В. И Бобровский, А. С. Дорош, Е. Б. Демченко // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 73-ї Міжнар. науково-практ. конф. (Дніпропетровськ, 23-24 травня 2013 р.) – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2013.– С. 138-139.

23. Демченко, Є. Б. До питання застосування нечіткої логіки при керуванні розформуванням составів на сортувальних гірках / Є. Б. Демченко, А. С. Дорош // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези 74-ї Міжнар. науково-практ. конф. (Дніпропетровськ, 15-16 травня 2014 р.) – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – С. 176-177.

24. Бобровський, В. І. Удосконалення методу оптимізації режиму гальмування середнього відчепа розрахункової групи / В. І. Бобровський, А. С. Дорош // Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези допов. 76-ї Міжнар. науково-техн. конф. (Харків, 15-17 квітня 2014). – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – С. 281-282.

25. Бобровський, В. І. Розробка енергоефективної методики оптимізації режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках / В. І. Бобровський, А. С. Дорош // Енергозбереження на залізничному транспорті та в промисловості: матеріали V Міжнар. науково-практ. конф. (Воловець, 11-13 червня 2014 р.). – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – С. 23.

26. Бобровский, В. И. Совершенствование метода оптимизации режима торможения управляемого отцепа расчетной группы / В. И. Бобровский, А. С. Дорош // Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом: сборник трудов Междунар. научно-технич. конф. (Москва, 16-17 октября 2014 г.). – М.: МИИТ, 2015. – С. 61-62.

27. Бобровський, В. І. Удосконалення імітаційної моделі керованого скочування відчепів на сортувальній гірці / В. І. Бобровський, А. С. Дорош // Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів: тези науково-практ. конф. (Дніпропетровськ, 11-12 грудня 2014 р.). – Д.: ДНУЗТ, 2014. – С. 14-15.

28. Бобровський, В. І. Регулювання швидкості скочування відчепів на автоматизованих сортувальних гірках / В. І. Бобровський, А. С. Дорош // Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези допов. 77-ї Міжнар. науково-техн. конф. (Харків, 21-23 квітня 2015 р.). – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – С. 281-282.

29. Бобровський, В. І. Визначення режиму гальмування керованого відчепа групи з використанням комплексного методу Бокса / В. І. Бобровський, А. С. Дорош // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези допов. 75-ї Міжнар. науково-практ. конф. (Дніпропетровськ, 14-15 квітня 2015 р.). – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2015. – С. 143-144.

## АНОТАЦІЯ

Дорош А. С. Підвищення ефективності розформування составів на гірках шляхом удосконалення методів визначення режимів гальмування відчепів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2016.

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують науково-практичне завдання підвищення ефективності сортувального процесу на станціях за рахунок удосконалення вибору режимів гальмування відчепів при розформуванні составів на гірках.

У дисертації удосконалено імітаційну модель процесу розформування составів на сортувальній гірці за рахунок створення моделі системи керування рухом відчепів, що враховує реальні умови їх гальмування та дозволяє оцінити вплив параметрів керування уповільнювачами на показники сортувального процесу.

Вперше формалізована та вирішена задача оптимізації режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи, що враховує розділення на стрілочних переводах і уповільнювачах гальмових позицій спускної частини гірки.

Виконані дослідження конструкції гіркових горловин з різною кількістю колій у пучках та різним взаємним розташуванням гальмових засобів на спускній частині гірки дозволили встановити, що зменшення кількості колій в пучках є нераціональним, а обґрунтування місця розміщення першої гальмової позиції повинно виконуватись на основі відповідних техніко-економічних розрахунків.

Наукові результати, отримані у дисертаційній роботі, а також розроблені моделі та методи можуть використані при вирішенні задачі керування швидкістю скочування відцепів в системах автоматизації сортувального процесу, а також для оцінки проектних рішень під час будівництва нових або реконструкції існуючих сортувальних гірок.

**Ключові слова:** сортувальна гірка, розформування составів, режим гальмування, відцеп, гіркова горловина, гальмова позиція.

### АННОТАЦИЯ

Дорош А. С. Повышение эффективности расформирования составов на горках за счёт совершенствования методов определения режимов торможения отцепов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2016.

Диссертационная работа содержит полученные автором результаты, которые в совокупности решают научно-практическую задачу повышения эффективности сортировочного процесса на станциях за счет совершенствования метода определения режимов торможения отцепов при расформировании составов на горках.

Автором выполнен анализ научных публикаций, посвященных проблеме повышения эффективности функционирования сортировочных горок. В результате анализа установлено, что показатели функционирования сортировочной горки, а также качество регулирования скорости скатывающихся отцепов существенно зависят не только от конструкции горки, но и от выбранных режимов их торможения.

Основным инструментом для теоретических исследований сортировочного процесса на горках с целью получения определенных технико-эксплуатационных показателей является имитационное моделирование. В диссертационной работе усовершенствована имитационная модель процесса расформирования составов на сортировочной горке за счет внедрения системы управления движением отцепов, которая, в отличие от существующих, учитывает реальные условия их торможения и обеспечивает разделение отцепов на всех элементах по маршруту скатывания. Указанная модель может быть использована для теоретических исследований сортировочного процесса на станциях.

Впервые сформулирована и решена задача оптимизации режима торможения управляемого отцепа расчетной группы, которая учитывает разделение на стрелочных переводах и замедлителях тормозных позиций спускной части горки. Для решения указанной задачи разработан метод, который позволяет существенно увеличить интервалы на замедлителях и за счет этого исключить неразделение отцепов расчетной группы на тормозных позициях спускной части горки. С использованием

разработанного метода для расчетной группы усовершенствован итерационный метод оптимизации режимов торможения отцепов состава. Указанный метод позволяет исключить неразделение отцепов состава на стрелках и замедлителях сортировочной горки.

Выполнены исследования конструкции горочных горловин с разным количеством путей в пучках и различным взаимным расположением тормозных средств на спускной части горки. Установлено, что уменьшение количества путей в пучках является нерациональным, поскольку влечет за собой увеличение затрат на установку и обслуживание большего количества замедлителей. В свою очередь, решение о размещении первой тормозной позиции для конкретных условий проектирования необходимо принимать на основании соответствующих технико-экономических расчетов.

Научные результаты, полученные в диссертационной работе, а также разработанные модели и методы могут быть использованы при решении задачи управления скоростью скатывания отцепов в системах автоматизации сортировочного процесса, а также для оценки проектных решений при строительстве новых или реконструкции существующих сортировочных горок.

**Ключевые слова:** сортировочная горка, расформирование составов, режим торможения, отцеп, горочная горловина, тормозная позиция.

## THE SUMMARY

Dorosh A. S. The efficiency increase of train breaking-up process at the humps by the improvement of cuts braking modes determination methods. – Manuscript.

Thesis for Ph.D. degree in the specialty 05.22.20 – maintenance and repair of transport facilities. Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipropetrovsk, 2016.

Thesis contains the results obtained by the author, which solve scientific and practical task of the efficiency improving of the sorting process at the stations.

The simulation model of train breaking-up process at the hump was improved at the thesis by the introduction of system of cuts movement controlling, which takes into account the real conditions of their braking and allows to estimate the effect of the parameters of retarders controlling on the sorting process performance.

The problem of optimizing the braking mode of the controlled cut of design group, which takes into account the separation at switches and retarders was formulated and solved for the first time.

The studies of hump necks construction with a different tracks number in bunches and different positional relationship of the retarders at hump rolling-down part were done. It was found that the tracks number decrease in the bunches is irrational, and the substantiation of the first retardation position placing must be carried out on the basis of the technical and economic calculations.

The scientific results obtained in the thesis, as well as the developed models and methods can be used to solve the problem of cuts rolling speed controlling in the sorting process automation systems, as well as to evaluate the design solutions of new humps construction or renovation of existing ones.

**Keywords:** hump, trains breaking-up, braking mode, cut, hump neck, brake position.

**ДОРОШ АНДРІЙ СЕРГІЙОВИЧ**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗФОРМУВАННЯ  
СОСТАВІВ НА ГІРКАХ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ  
ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 21.04.2016 р.  
Формат 60x84 1/16. Ум. др. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.

Тираж 100 пр. Замовлення № 130.

Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №1315 від 31.03.2003

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:  
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010.