

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

КОЛЕСНИК АНТОН ІГОРОВИЧ

УДК 656.212

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНУ
ТА ПРОФІЛЮ ГІРОК З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
СОРТУВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ**

05.22.20- експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ 2014

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, завідувач кафедри «Станції та вузли»

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент **Огар Олександр Миколайович**,
Українська державна академія залізничного транспорту, завідувач кафедри «Залізничні станції та вузли»

кандидат технічних наук, доцент **Роговий Андрій Сергійович**,
Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, доцент кафедри «Організація перевезень і управління на залізничному транспорті»

Захист відбудеться «27» лютого 2014 р. об 11³⁰ год 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 «24» січня 2014 р.

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

І.В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із найбільш важливих елементів технології обробки вагонопотоку, що вимагає значних енергетичних витрат, являється процес розформування составів на сортувальних гірках. При цьому на величину експлуатаційних витрат суттєво впливає конструкція плану та поздовжнього профілю гірок, що визначає тривалість скочування відчепів, вибір режимів гальмування, обсяги маневрової роботи, пов'язаної з ліквідацією вікон на сортувальних коліях, тощо. У зв'язку з цим конструкція гірки повинна забезпечувати мінімальні експлуатаційні витрати під час переробки вагонів та ефективне використання технічних засобів.

Аналіз існуючих сортувальних гірок виявив суттєві недоліки в конструкції їх плану та профілю, які призводять до збільшення експлуатаційних витрат та, в деяких випадках, можуть стати причиною порушень безпеки руху під час розформування составів. Недоліки конструкції сортувальних пристроїв багато в чому пов'язані з недосконалістю існуючих методів розрахунку та оптимізації параметрів гірок. На даний час параметри багатьох елементів плану та профілю визначаються аналітичними або графічними методами, що не дозволяють оцінити всю сукупність їх можливих значень та обрати найкращий варіант. Це пов'язано із тісним взаємозв'язком всіх елементів сортувальної гірки та великою кількістю можливих варіантів її конструкції, що суттєво відрізняються за техніко-експлуатаційними характеристиками та витратами енергетичних ресурсів при розформуванні составів. Отже, розрахунок оптимальних параметрів плану та профілю сортувальних гірок є важливою та складною оптимізаційною задачею, що в даний час не отримала остаточного вирішення. Таким чином, тема дисертації, що пов'язана з удосконаленням методів розрахунку конструкції сортувальних гірок, є досить актуальною для залізничного транспорту України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку, що визначені у Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 №1555-р), а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Теоретичні дослідження, розробка методів та технологічних алгоритмів керування процесом розформування составів на сортувальних гірках» (№ ДР 0107U001827) та «Удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних комплексів на станціях» (№ ДР 0109U000480), у яких автор брав участь у якості виконавця та співавтора звітів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності сортувального процесу за рахунок удосконалення методів розрахунку параметрів конструкції плану та профілю сортувальних гірок. Використання запропонованих методів дозволить підвищити продуктивність гірок, скоротити витрати енергоресурсів на розформування составів, підвищити безпеку руху та покращити якість сортувального процесу.

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

- аналіз існуючих методів розрахунку плану та поздовжнього профілю сортувальних гірок;
- розробка методу визначення оптимальних параметрів ділянок сполучення на сортувальних коліях;
- розробка методу визначення положення точок можливого розміщення уповільнювачів паркових гальмових позицій на сортувальних коліях;
- визначення області допустимих кутів повороту додаткових кривих спускної частини гірки та розробка методу визначення їх оптимальних параметрів;
- дослідження впливу поздовжнього профілю гірки на процес скочування відчепів та розробка методу визначення його оптимальної конструкції;
- удосконалення імітаційної моделі сортувального комплексу;
- оцінка ефективності оптимізації плану та поздовжнього профілю сортувальної гірки.

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

Предмет дослідження – конструкція сортувальної гірки.

Методи дослідження. Методи оптимізації були використані для визначення величин кутів повороту додаткових кривих спускної частини гірки та параметрів сполучних кривих на сортувальних коліях, а також для розрахунку параметрів елементів поздовжнього профілю сортувальної гірки.

Методи аналітичної геометрії використані для дослідження впливу додаткових кривих спускної частини гірки на конструкцію гіркової горловини.

Чисельні методи вирішення диференційних рівнянь використані для імітаційного моделювання скочування відчепів з гірки в процесі розформування составів.

Методи теорії ймовірностей та математичної статистики використані для визначення впливу параметрів поздовжнього профілю сортувальної гірки на величину інтервалів між відчепами на розділових елементах.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше визначено область допустимих кутів повороту кривих спускної частини сортувальної гірки, що дозволяє розглядати всю сукупність можливих значень даних елементів плану при оптимізації їх величин.
2. Вперше розроблено методи розрахунку оптимальних параметрів додаткових кривих спускної частини гірки та ділянок сполучення сортувальних колій, що дозволяє скоротити довжину гіркової горловини, збільшити корисну довжину сортувальних колій та зменшити роботу сил опору руху відчепів під час їх скочування з гірки.
3. Удосконалено метод визначення оптимальних ухилів елементів поздовжнього профілю, у якому, на відміну від існуючих, в якості критерію прийнято висоту гірки, мінімізація якої дозволить зменшити енергетичні витрати під час насуву та розпуску составів на гірці та при витягуванні груп вагонів із сортувального парку.
4. Удосконалено ергатичну імітаційну модель сортувального комплексу, у якій людина приймає безпосередню участь у моделюванні та керує процесом функціонування комплексу, що, на відміну від існуючих моделей, дає можливість вибору черговості технологічних операцій і, завдяки цьому, отримати комплексну оцінку ефективності сортувального процесу на гірці.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, отримані у дисертаційній роботі, а також розроблені моделі та методи можуть бути використані при реконструкції існуючих або проектуванні нових сортувальних гірок.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє виконувати проектування та оптимізацію конструкції гіркових горловин довільної конфігурації, а також дає можливість оцінки якості конструкції гірки за допомогою імітаційного моделювання роботи сортувального комплексу.

Результати роботи використовуються також у навчальному процесі при підготовці спеціалістів та магістрів зі спеціальності „Організація перевезень та управління на транспорті” в дисциплінах „Автоматизація проектування залізничних станцій”, „Розрахунок та проектування сортувальних пристроїв на станціях”, а також під час дипломного проектування.

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

Особистий внесок здобувача. Всі результати теоретичних та експериментальних досліджень, наведені в роботі, отримані автором самостійно.

Статті [5, 6] опубліковані одноосібно. В роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному. В роботі [1] розроблено методи розрахунку оптимальних параметрів додаткових кривих на спускній частині сортувальної гірки. В статті [2] виконано аналіз впливу режимів гальмування відчепів на показники роботи сортувальної гірки. В статті [3] розроблено метод визначення оптимальних параметрів ділянок сполучення на сортувальних коліях. В статті [4] розроблено метод визначення області допустимих кутів кривих спускної частини гірки.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 68-й, 69-й, 70-й, 71-й, 72-й та 73-й науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 рр.); на II-й та III-й міжнародних науково-практичних конференціях «Інтеграція України у міжнародну транспортну систему» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2010, 2011 рр.); на II-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008 р.); на міжнародній науково-практичній конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми і перспективи» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008 р.); на I та III науково-практичних конференціях «Інноваційні технології на залізничному транспорті» (Красний Ліман, СХУ ім. В. Даля, 2010, 2012 рр.); на наукових семінарах кафедри у 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 рр. У повному обсязі дисертація доповідалася та була схвалена у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна на міжкафедральному науковому семінарі (2013 р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 28 наукових праць: 1 монографія, 10 наукових статей, з них 4 у фахових виданнях, затверджених ВАК України, 1 стаття в іноземному виданні та 17 тез доповідей у матеріалах і тезах міжнародних конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і 6 додатків. Повний обсяг ро-

боти складає 177 сторінок; з них основного тексту – 132 сторінки, списку використаних джерел, додатків, рисунків та таблиць 45 сторінок. Робота ілюстрована 67 рисунками, наведено 14 таблиць. Список використаних джерел складається зі 143 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, сформульовані мета і задачі досліджень, відображені наукова новизна, практичне значення одержаних результатів та особистий внесок автора, наведено відомості про апробацію та публікацію результатів досліджень.

В першому розділі виконано аналіз сучасних методів та підходів до розрахунку та оптимізації плану та поздовжнього профілю сортувальних гірок, а також визначено недоліки конструкції існуючих гірок.

Значний внесок у вирішення теоретичних та практичних проблем оптимізації конструкції плану, профілю та технології роботи сортувальних гірок зробили такі вчені як В.М. Акулінічев, І.В. Берестов, М.І. Березовий, С.А. Бессоненко, А.В. Бикадоров, В.І. Бобровський, М.П. Божко, В.Я. Болотний, С.П. Бузанов, Т.В. Бутько, В.К. Буянова, П.С. Грунтов, М.І. Данько, О.М. Долаберидзе, Ю.І. Єфіменко, І.В. Жуковицький, О.М. Іванков, Л.М. Іванкова, Д.М. Козаченко, А.В. Кудряшов, Д.В. Ломотько, С.С. Мацкель, М.К. Модін, Ю.О. Муха, Є.В. Нагорний, В.Я. Негрей, Г.І. Нечаєв, В.Д. Нікітін, О.І. Павловський, В.М. Образцов, О.М. Огар, В.Є. Павлов, М.В. Правдін, В.Д. Прокінова, А.С. Роговий, Б.А. Родімов, Є.О. Сотніков, І.І. Страковський, Л.Б. Тішков, Б.І. Торопов, М.І. Федотов, В.М. Чернов, Є.М. Шафіт, О.П. Шипулін, В.О. Шиш, В.П. Шейкін, М.Р. Ющенко, П.О. Яновський та інші.

Аналіз наукової літератури показав, що на якість сортувального процесу, переробну спроможність, а також безпеку руху під час розформування составів разом із режимами гальмування суттєво впливає конструкція плану та поздовжнього профілю сортувальної гірки.

Значна частина наукових робіт присвячена методам розрахунку та оптимізації плану гіркових горловин. При цьому, загальним недоліком існуючих методів являється те, що параметри певних елементів плану (додаткових кривих на спускній частині гірки, сполучних кривих на сортувальних коліях) визначаються методом підбору. Відсутність інформації про область допустимих значень цих параметрів не дозволяє оцінити всі можливі конструкції та обрати оптимальний варіант горловини. В той же час зазначені елементи суттєво впливають на величину роботи сил опору руху відчепів, довжину горловини і, як наслідок, на висоту сортувальної гірки та енергетичні витрати при розформуванні составів.

Згідно з діючими нормами проектування розрахункова висота сортувальної гірки визначається як сума втрат енергії від сил опору руху, що діють на розрахунковий відчеп (РВ) у несприятливих умовах при його скочуванні від вершини гірки (ВГ) до розрахункової точки (РТ); при цьому середня швидкість руху РВ приймається сталою в межах окремих ділянок його скочування. В той же час параметри поздовжнього профілю суттєво впливають на швидкість скочування відчепу, що може призвести до недокочування або до перебільшення допустимої швидкості у РТ. Таким чином, при розрахунку висоти гірки необхідно враховувати параметри елементів її поздовжнього профілю. При цьому для оцінки якості проекту

доцільно використовувати імітаційне моделювання скочування відчепів, у зв'язку з чим було виконано аналіз існуючих методів моделювання та визначені їх недоліки.

Огляд конструкції гірок існуючих сортувальних станцій дозволив зробити висновок про наявність суттєвих недоліків параметрів їх плану та профілю, що призводить до зростання експлуатаційних витрат та може бути причиною порушення нормальної роботи гірки. Багато в чому це пов'язано з відсутністю досконалих методів розрахунку та оптимізації конструкції сортувальних гірок.

Аналіз наукової літератури дозволив сформулювати мету та задачі дисертаційного дослідження, що полягають в удосконаленні методів розрахунку конструкції плану та поздовжнього профілю сортувальних гірок, які були вирішені в процесі виконання дисертаційної роботи.

В другому розділі розроблено метод визначення оптимальних параметрів ділянок сполучення на сортувальних коліях за критерієм мінімальної відстані від паркової гальмової позиції (ПГП) до пучкового стрілочного переходу. Це дозволяє скоротити довжину гіркової горловини, і, відповідно, збільшити корисну довжину сортувальних колій.

В залежності від типу уповільнювачів та параметрів плану горловини ПГП може розташовуватися в межах сполучних кривих чи за останньою кривою на прямій ділянці колії; при цьому уповільнювачі повинні розміщуватися в створі. Ділянку колії між торцем хрестовини останнього стрілочного переходу та початком горизонтальної сортувальної колії названо ділянкою сполучення, параметри якої суттєво впливають на місце розташування ПГП. Існують три схеми ділянок сполучення:

- основна та додаткова сполучні криві направлені у різні сторони (S-подібна крива, рис. 1 а)
- основна та додаткова сполучні криві направлені в одну сторону (U-подібна крива, рис. 1 б)
- додаткова сполучна крива відсутня (рис. 1 в).

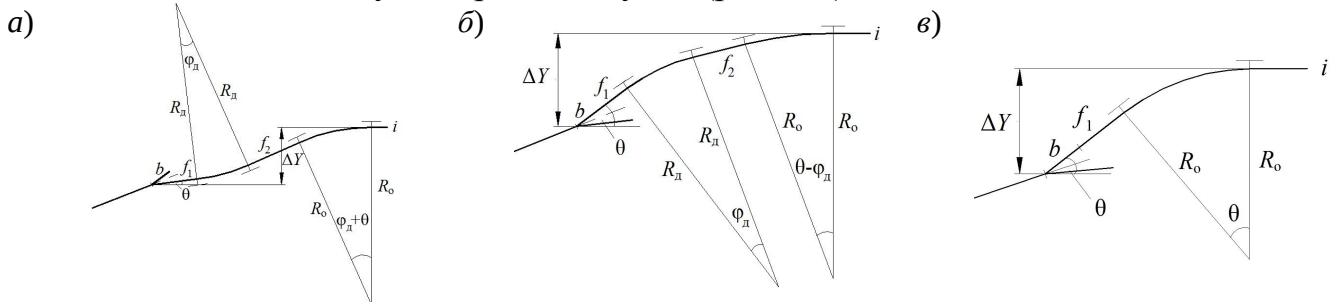


Рисунок 1 – Схеми ділянок сполучення: а) S-подібна крива; б) U-подібна крива; в) додаткова сполучна крива відсутня.

В залежності від схеми план ділянки сполучення в загальному вигляді може бути представлений нелінійним рівнянням виду:

$$\Delta Y = (b + f_1) \sin \theta + R_d \cos \theta - R_d \cos(\theta + \varphi_d) + f_2 \sin(\theta + \varphi_d) + R_o - R_o \cos(\theta + \varphi_d), \quad (1)$$

де ΔY – різниця ординат центру останнього розділового стрілочного переходу та вісі горизонтальної сортувальної колії;

f_1, f_2 – прямі вставки, відповідно, між торцем хрестовини та початком додаткової кривої і між додатковою та основною сполучними кривими;

θ – початковий кут між віссю горловини та вставкою f_1 ;

φ_d – кут додаткової сполучної кривої;

R_o, R_d – радіуси, відповідно, основної та додаткової сполучних кривих.

Між всіма елементами кожної ділянки сполучення i існує значний взаємозв'язок; при цьому величини ΔY_i та θ_i визначаються конструкцією спускної частини гірки і являються незмінними. В якості незалежних змінних в (1) приймаються параметри f_1, φ_d, R_o та R_d , які можуть бути представлені вектором $\mathbf{w}_i = (f_{1i}, \varphi_{di}, R_{oi}, R_{di})$, а величина f_2 розраховується із виразу (1).

Таким чином, виникає задача пошуку для кожної сортувальної колії вектору параметрів $\mathbf{w}_i$, при яких ПГП розміщується на мінімальній відстані від пучкового стрілочного переводу. Вирішення поставленої задачі відрізняється в залежності від способу розташування уповільнювачів ПГП (у кривій чи на прямій ділянці колії).

При розміщенні ПГП в кривій ділянці колії допустимого радіусу введено поняття точки можливого встановлення уповільнювачів P_i (рис. 2), яка розташовується між осями двох суміжних колій i та $(i+1)$ у місці, де мінімальна міжколійна

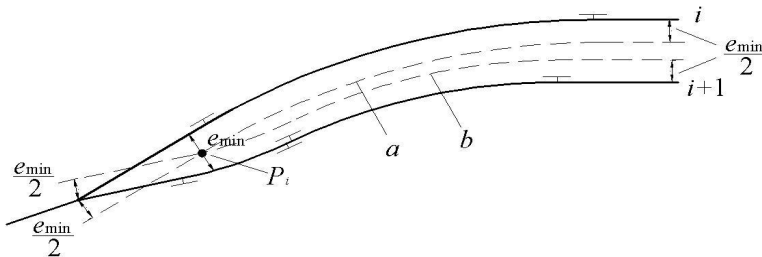


Рисунок 2 – Схема визначення координати точки P_i за допомогою еквідистант

відстань e_{min} , дозволяє розміщення уповільнювачів ПГП. Точка P_i може бути знайдена як точка перетинання еквідистант (лінії a і b , див. рис. 2), які побудовані для ділянок сполучення колій i та $(i+1)$ в їх спільному міжколійї та віддалені від них на відстань $0,5 \cdot e_{min}$. З метою формалізації цієї задачі в роботі розроблено метод апроксимації еквідистант модифікованими кубічними сплайнами дефекту 2

$$y_j(x) = a_j + b_j(x - x_j) + \frac{c_j}{2}(x - x_j)^2 + \frac{d_j}{6}(x - x_j)^3, \quad (2)$$

де a_j, b_j, c_j, d_j – коефіцієнти сплайну;

j – номер елемента ділянки сполучення.

Точки встановлення уповільнювачів P_i , розташовуються в усіх міжколійях пучка на відстані L_i від його головної стрілки; при цьому величина L_i залежить від векторів параметрів $\mathbf{w}_i$ та $\mathbf{w}_{i+1}$. Звідси для забезпечення нормативних вимог проектування всі гальмові позиції пучка повинні розташовуватися від першого пучкового стрілочного переводу $S(x_s, y_s)$ на відстані, не меншій ніж $L_{ПГП}$, яка відповідає найбільш віддаленій точці P_i , тобто $L_{ПГП} \geq \max\{L_i\}$ (рис. 3).

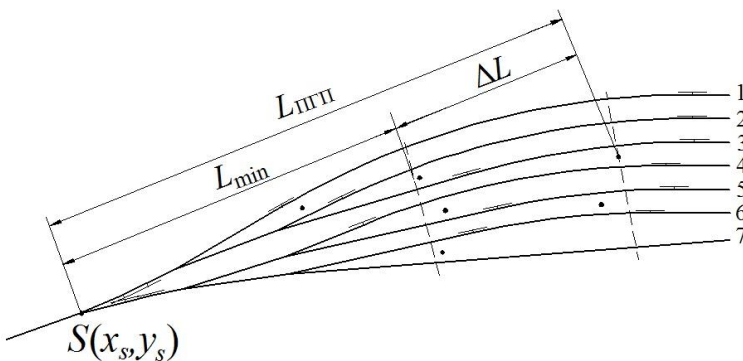


Рисунок 3 – Схема визначення відстані $L_{ПГП}$

В той же час, в кожному пучку при певних параметрах ділянок сполучення існує можливість розташувати ПГП на мінімальній відстані L_{min} від пучкової стрілки. Таким чином, на кожній колії є деяка ділянка $\Delta L = L_{ПГП} - L_{min}$, яка нераціонально збільшує довжину гіркової горловини. Звідси виникає задача опти-

мізації параметрів векторів $\mathbf{w}_i$ всіх сполучних кривих, при яких величина $L_{\text{ПП}}$ досягає мінімуму:

$$L_{\text{ПП}} = F(\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \dots, \mathbf{w}_m) \rightarrow \min, \quad (3)$$

при наступних обмеженнях:

$$\left. \begin{aligned} f_{1i} &\geq 0, \text{ при } |\varphi_{di}| = 0, \\ f_{1i} &= 0, \text{ при } |\varphi_{di}| \neq 0, \\ \varphi_{di} &\in \Psi, R_{di} \in \mathbf{R}, R_{oi} \in \mathbf{R}. \end{aligned} \right\} i = 1, \dots, m \quad (4)$$

де $\mathbf{R}$ – множина допустимих радіусів кривих на сортувальних коліях;

Ψ – множина допустимих значень кутів додаткових сполучних кривих.

Для вирішення поставленої задачі в якості частного критерію оптимізації конструкції сполучних кривих обрана числова функція, яка являє собою абсолютну величину різниці ΔL_i відстаней L_{i-1} та L_i , відповідно, між точками (S, P_{i-1}) та (S, P_i) , тобто $\Delta L_i = |L_i - L_{i-1}|$. Зазначені величини ΔL_i , $i = 2, \dots, m-1$ складають векторний критерій $\mathbf{Z} = (\Delta L_2, \Delta L_3, \dots, \Delta L_{m-1})$. Вирішенням даної задачі оптимізації є деяке значення $\mathbf{W}^*$ вектора параметрів колій пучка $\mathbf{W} = (\mathbf{w}_1, \mathbf{w}_2, \dots, \mathbf{w}_m)$, при якому вектор $\mathbf{Z}^*$ є лексикографічно мінімальним

$$\max\{\Delta L_2, \Delta L_3, \dots, \Delta L_{m-1}\} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Процес оптимізації вважається завершеним, коли максимальна компонента вектора $\mathbf{Z}$ виявиться меншою заданої точності розрахунків ε , або якщо буде доведено, що точності ε досягти неможливо за умови забезпечення нормативних вимог. На рис. 4 наведена конструкція пучка гіркової горловини після оптимізації.

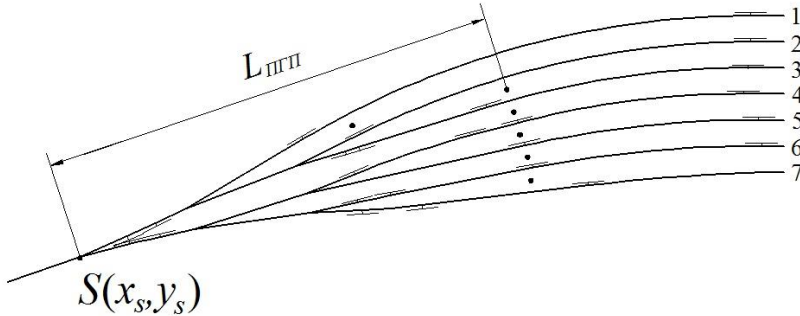


Рисунок 4 – Конструкція пучка колій після оптимізації при розташуванні ПГП у кривих

У випадку розташування ПГП на *прямій ділянці колії* за основною сполучною кривою, координата початку гальмової позиції в пучку $x_{\text{ПП}}$ повинна відповідати найбільш віддаленій від ВГ координаті $x_{\text{КК}}$ кінця основної кривої. У зв'язку з цим виникає задача визначення на кожній сортувальній колії пучку

такої конструкції сполучних ділянок, які забезпечать, з урахуванням обмежень (4), розташування ПГП на мінімальній відстані від вершини гірки:

$$x_{\text{ПП}} = f(x_{\text{КК1}}(\mathbf{w}_1), x_{\text{КК2}}(\mathbf{w}_2), \dots, x_{\text{ККm}}(\mathbf{w}_m)) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Як показав аналіз, зменшення величини $x_{\text{КК}i}$ можливо досягти за рахунок влаштування додаткової S -подібної сполучної кривої при умовах $R_d \rightarrow \min$, $R_o \rightarrow \min$, $f_1 = f_2 = 0$. Таким чином, на першому етапі на кожній сортувальній колії необхідно визначити максимальний кут додаткової сполучної кривої $\varphi_{di}^{\max}$

$$\varphi_{di}^{\max} = \arccos\left(\frac{b \sin \theta + R_d \cos \theta + R_o - \Delta y}{R_d + R_o}\right) - \theta. \quad (7)$$

Після знаходження на кожній сортувальній колії кута $\varphi_{di}^{\max}$ розраховується координата кінця її основної сполучної кривої x_{kki} та визначається у кожному пучку колія з максимальною величиною $x_{kk}^{\max}$. В подальшому на кожній колії необхідно зменшити абсолютну величину кута додаткової сполучної кривої таким чином, щоб забезпечити умову $x_{kk}^{\max} = x_{kki}$. При цьому кут φ_{di} додаткової сполучної кривої розраховується як:

$$\varphi_d = \arcsin\left(\frac{(R_d + R_o)\cos\xi}{\Delta x_i - b\cos\theta + R_d\sin\theta}\right) - (\theta + \xi), \quad (8)$$

де ξ – допоміжний кут, який можна знайти з виразу

$$\frac{(b\sin\theta + R_d\cos\theta + R_o - \Delta y)}{(\Delta x - b\cos\theta + R_d\sin\theta)} = \operatorname{tg}\xi. \quad (9)$$

У випадку від'ємного значення величини φ_d додаткова сполучна крива не влаштовується, а виконується збільшення радіусу основної кривої R_o . На рис. 5 наведено пучок колій гіркової горловини після оптимізації параметрів її сполучних кривих.



Розрахунок параметрів плану гіркових горловин та їх оптимізація виконується за допомогою розробленого програмного забезпечення. Дослідженнями встановлено, що застосування запропонованих методів дозволяє скоротити довжину гіркової горловини на 20–30 м.

В третьому розділі розроблено метод, який дозволяє на основі системного підходу визначити область допустимих кутів повороту додаткових кривих спускної частини сортувальної гірки (між першим розділовим та пучковим стрілочними переводами). Визначення області допустимих кутів дозволило формалізувати та вирішити задачу оптимізації величин кутів повороту вказаних кривих.

Додаткові криві спускної частини гірки призначені для забезпечення допустимої міжколійної відстані між пучками та скорочення довжини гіркової горловини. В той же час кути повороту даних кривих суттєво впливають на конструкцію ділянок сполучення сортувальних колій, у зв'язку з чим необхідне вирішення задачі оптимізації їх величин.

Як показав аналіз типових схем гіркових горловин гірок середньої та великої потужності, на спускній частині траси між вершиною гірки та пучковою стрілкою будь-якої сортувальної колії розташовується як правило не більше двох додаткових кривих з кутами повороту, відповідно, β_1 та β_2 (рис. 6).

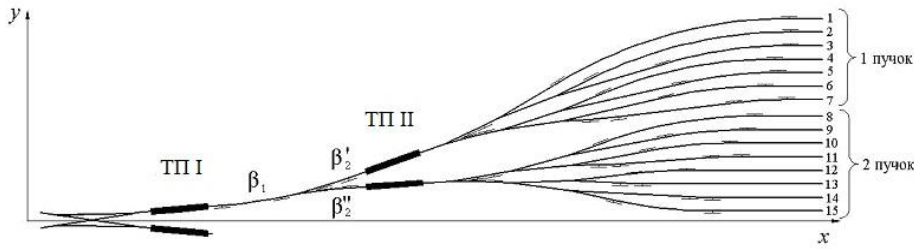


Рисунок 6 – Схема гіркової горловини

Згідно з правилами проектування, пучкові гальмові позиції ТП II рекомендується розташовувати у створі. Для забезпечення цієї вимоги кути повороту β_2' та β_2'' при однаковому

радіусі кривих, повинні бути однакові ($\beta_2' = \beta_2'' = \beta_2$).

Для вирішення задачі оптимізації величин β_1 , β_2 необхідно попередньо на координатній площині $\beta_1\beta_2$ побудувати область допустимих кутів (ОДК), кожна точка (β_1, β_2) якої забезпечує допустиму конструкцію гіркової горловини. Для вирішення цієї задачі було досліджено вплив значень кутів β_1 , β_2 на параметри ділянок сполучення окремих сортувальних колій та на конструкцію горловини в цілому. З цією метою сортувальна колія була представлена у вигляді ламаної лінії (рис. 7), де всі криві замінюються їх тангенсами.

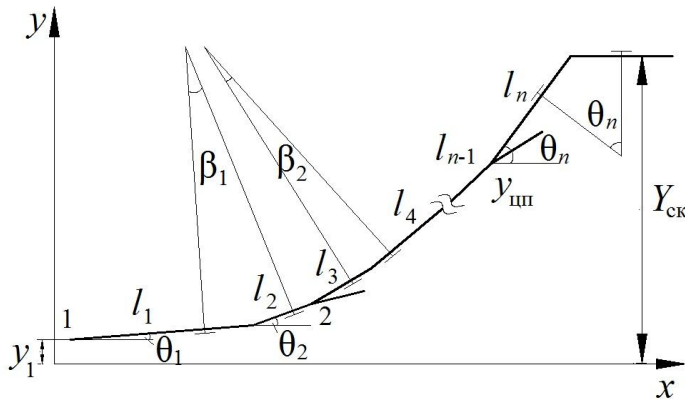


Рисунок 7 – Схема траси сортувальної колії

При цьому кути β_1 , β_2 являються незалежними змінними рівнянь, в яких ордината кожної сортувальної колії $Y_{ск}$ представляється як сума проєкцій відрізків його траси на вісь OY

$$Y_{ск} = y_1 + \sum_{i=1}^n l_i \sin \theta_i, \quad (10)$$

де y_1 – ордината першого розділового стрілочного переходу;

l_i , θ_i – відповідно, довжина та

кут нахилу i -го елемента траси до базису (вісі горловини);

n – кількість елементів траси.

Кут θ_n (див. рис. 7) визначається як алгебраїчна сума кутів повороту траси сортувальної колії, до складу якої входять додаткові кути β_1 та β_2 . Для аналізу впливу даних кутів на параметри ділянки сполучення введено поняття граничної комбінації кутів β_1 та β_2 , при яких відсутня пряма вставка f_1 , а радіус основної сполучної кривої відповідає мінімально допустимому значенню ($f_1=0$, $R_0 = R_{\min}$, див. рис. 1в).

Встановлено, що між кутами β_1 та β_2 при їх граничних комбінаціях існує лінійний функціональний зв'язок $\beta_2 = \varphi(\beta_1)$, графіком якого є пряма, яка поділяє координатну площину $\beta_1\beta_2$ на дві напівплощини Ω_j та $\overline{\Omega_j}$ (рис. 8). При цьому кути повороту, які відповідають координатам довільної точки $P(\beta_1; \beta_2)$ напівплощини Ω_j дозволяють виконати проектування основної сполучної кривої на даній колії допустимим радіусом ($R_0 \geq R_{\min}$). Навпаки, всі точки, що належать напівплощині $\overline{\Omega_j}$, відповідають недопустимим комбінаціям значень кутів (β_1, β_2) . Таким чином, напівплощина Ω_j є ОДК для даної сортувальної колії. Для знаходження ОДК гор-

ловини необхідно визначити множину допустимих напівплощин $\{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m\}$ для всіх m сортувальних колій та знайти область Ω , яка належить всім m напівплощинам, тобто знайти їх перетинання $\Omega = \Omega_1 \cap \Omega_2 \cap \dots \cap \Omega_m$.

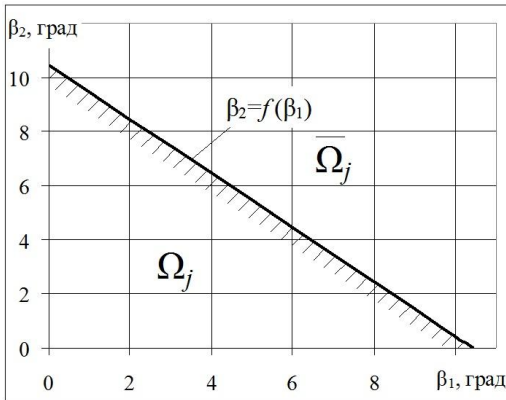


Рисунок 8 – ОДК сортувальної колії

Дослідженнями доведено, що знак кутового коефіцієнту k ліній $\beta_2 = \varphi(\beta_1)$ залежить від напрямку повороту додаткових кривих. Так, у випадку повороту вказаних кривих в одному напрямку (траси колій 1-го пучка, див. рис. 6), коефіцієнт k від'ємний; це означає, що збільшення одного з кутів вимагає відповідного зменшення іншого кута. При повороті кривих в різні сторони (траси колій 2-го пучка) кутовий коефіцієнт додатний, оскільки при збільшенні кута β_1 відповідно збільшується і кут β_2 .

На розташування допустимої напівплощини Ω_j впливає напрямок повороту основної сполучної кривої сортувальної колії, який визначається співвідношенням ординат центра останнього розділового стрілочного перевалу $y_{\text{шп}}$ та вісі колії $Y_{\text{ск}}$. Так, у випадку $y_{\text{шп}} < Y_{\text{ск}}$ (колій 1–12, див. рис. 6) поворот кривої здійснюється за годинниковою стрілкою і допустима напівплощина Ω_j знаходиться зліва від лінії $\beta_2 = \varphi(\beta_1)$; у випадку $y_{\text{шп}} > Y_{\text{ск}}$ (колій 13–15) – поворот кривої відбувається проти годинникової стрілки і допустима напівплощина Ω_j розташовується праворуч. Отже, для даної гіркової горловини на координатній площині $\beta_1\beta_2$ знайдено область $\Omega = (\Omega_1 \cap \Omega_2 \cap \dots \cap \Omega_7) \cap (\Omega_8 \cap \Omega_9 \cap \dots \cap \Omega_{15})$, всі точки якої належать допустимим напівплощинам Ω_{1-15} всіх сортувальних колій горловини (рис. 9).

Згідно з правилами проектування, міжколійна відстань між пучками повинна бути не менше певної величини e_{min} , що також являється обмеженням отриманої області допустимих кутів. Встановлено, що міжколійна відстань залежить тільки від величини кута β_2 , який не може бути менше певного значення $\beta_{2\text{min}}$, при якому забезпечується мінімально допустима відстань між пучками e_{min} . Тому графіком зазначеного обмеження є пряма, паралельна вісі абсцис, що обмежує ОДК знизу (пряма $\beta_2 = \beta_{2\text{min}}$, рис. 10).

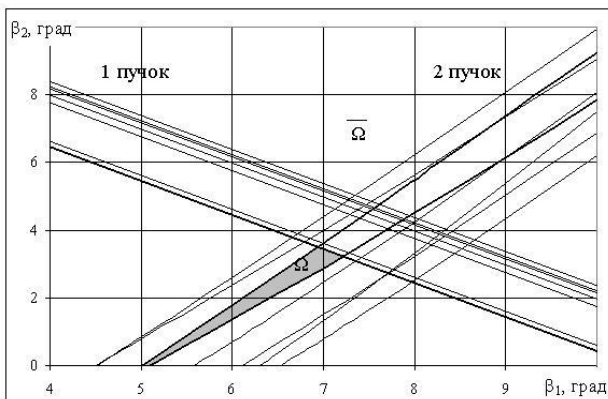


Рисунок 9 – ОДК додаткових кривих гіркової горловини

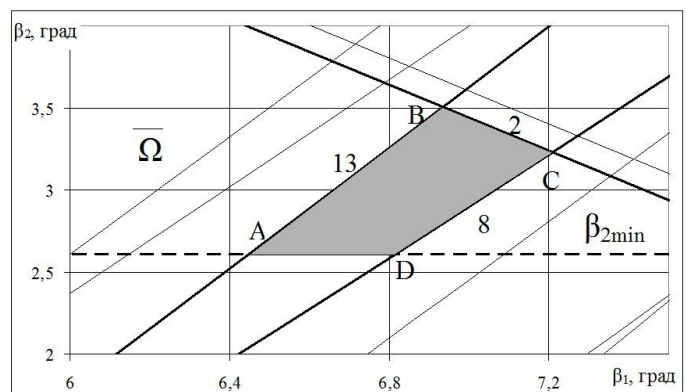


Рисунок 10 – ОДК горловини з урахуванням обмежень

Отже, для наведеної горловини (див. рис. 6) область допустимих кутів Ω являє собою опуклий багатокутник ABCD (див. рис. 10), який обмежений лініями $\beta_2 = \varphi(\beta_1)$ 2-ї, 8-ї, 13-ї колій та прямою $\beta_2 = \beta_{2\min}$.

При наявності на трасі сортувальних колій трьох і більше додаткових кривих, ОДК будується для двох кривих, що розташовані ближче до першого розділового стрілочного переходу; кути інших кривих визначаються згідно з норм проектування.

Після визначення ОДК необхідно вирішити задачу оптимізації величин кутів повороту кривих спускної частини гірки. В якості критерію оптимізації кутів (β_1, β_2) прийнята мінімальна середня сума кутів поворотів на трасі сортувальної колії:

$$g = \sum_{j=1}^m \varphi_j(\beta_1, \beta_2) / m \rightarrow \min, \quad \text{при } (\beta_1, \beta_2) \in \Omega, \quad (11)$$

де $\varphi_j(\beta_1, \beta_2)$ – сума кутів повороту кривих на трасі j -ї сортувальної колії.

Оптимізація кутів β_1 та β_2 в ОДК горловини виконується за допомогою метода Нелдера-Міда. Пошук оптимальних величин β_1 та β_2 горловини (див. рис. 6) наведено на рис. 11. У зв'язку з тим, що кути β_1 і β_2 суттєво впливають на параметри ділянок сполучення сортувальних колій, у кожній розрахунковій точці виконується їх оптимізація за критерієм $L_{\text{ПП}} \rightarrow \min$, після чого розраховується величина g (11). При цьому величини кутів β_1 та β_2 , що належать ОДК, незначно впливають на місце розташування паркової гальмової позиції в пучку.

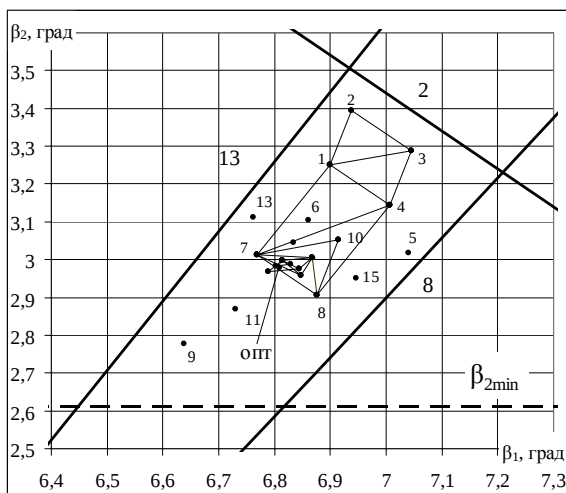


Рисунок 11 – Схема пошуку оптимальних параметрів кутів β_1 та β_2

Розроблений метод визначення ОДК та метод розрахунку оптимальних величин кутів повороту додаткових кривих може бути застосований для горловин будь-якої конфігурації з різною кількістю сортувальних колій. При цьому забезпечується мінімальна робота сил опору від кривих ділянок колії, що сприяє підвищенню якості сортувального процесу та зменшенню витрат енергоресурсів. Крім того, мінімізація величин кутів поворотів дозволяє зменшити знос рейок та колісних пар в кривих, зменшити опір руху відчепів при скочуванні їх з гірки. В цілому все це дозволяє скоротити експлуатаційні витрати при розформуванні составів.

В четвертому розділі виконано дослідження впливу поздовжнього профілю сортувальної гірки на процес скочування відчепів, а також розроблено метод визначення оптимальної конструкції профілю гірки, який забезпечує її мінімальну висоту за умови виконання всіх нормативних вимог. Зменшення висоти дозволить скоротити енергетичні витрати під час насуву составів на гірку, при витягуванні груп вагонів із колій сортувального парку у випадку необхідності їх повторного сортування, а також зменшити експлуатаційні витрати, що пов'язані з роботою гальмових позицій.

Встановлено, що параметри поздовжнього профілю суттєво впливають на швидкість відчепів в розрахунковій точці (РТ) при їх вільному скочуванні. Швидкість відчепів у РТ $V_{\text{рт}}$ залежить як від висоти гірки, так і від параметрів профілю, тому необхідний комплексний розрахунок висоти та поздовжнього профілю сортувальної гірки.

Для вирішення поставленої задачі поздовжній профіль від вершини гірки до РТ запропоновано характеризувати за допомогою коефіцієнту увігнутості μ :

$$\mu = 1 - \frac{P}{P_{\max}}, \quad \text{при } i_1 \geq i_2 \geq \dots \geq i_n, \quad (12)$$

де P – площа поздовжнього перетину сортувальної гірки при деякому профілі;

$P_{\max}$ – максимально можлива площа поздовжнього перетину;

i_j – ухил j -го елемента профілю;

n – кількість елементів профілю.

При цьому величини P та $P_{\max}$ визначаються для заданої висоти гірки H_r (рис.12). Встановлено, що, при незмінній висоті гірки зі збільшенням коефіцієнту увігнутості μ (12) швидкість відчепів в РТ при їх вільному скочуванні суттєво зменшується, що при певному профілі може призводити до недокочування відчепів до розрахункової точки. На рис. 13 показано графік залежності швидкості $V_{\text{рт}}$ поганого бігуна від коефіцієнту увігнутості μ .

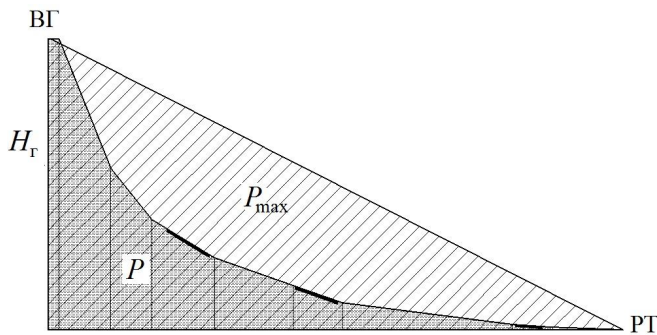


Рисунок 12 – Схема визначення коефіцієнта увігнутості профілю μ

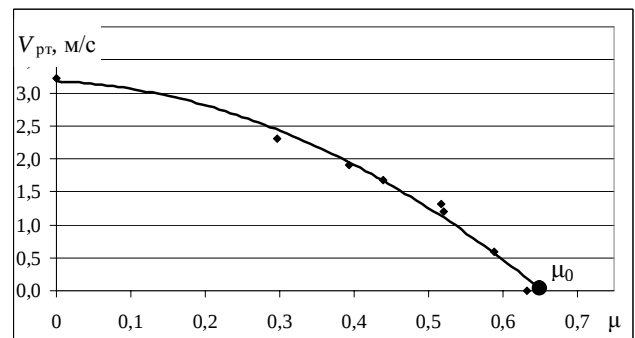


Рисунок 13 – Залежність швидкості поганого бігуна в розрахунковій точці від коефіцієнта увігнутості профілю μ

Коефіцієнт μ , при якому забезпечується зупинка поганого бігуна в розрахунковій точці при певній висоті гірки, названо граничним коефіцієнтом увігнутості μ_0 . Як показали дослідження, між коефіцієнтом μ_0 та висотою сортувальної гірки H_r при певній довжині горловини L_r існує функціональна залежність (рис. 14):

$$\mu_0 = f(H_r, L_r). \quad (13)$$

Як видно з рисунку, мінімальна висота гірки забезпечується при $\mu_0 = 0$; в цьому випадку профіль гірки представляє собою однорідний ухил від ВГ до РТ $P = P_{\max}$ (12). В той же час, як показали дослідження, зазначений профіль не забезпечує необхідну переробну спроможність гірки, оскільки не дозволяє виконувати розпуск составів з нормативною швидкістю у зв'язку з не розділенням відчепів на розділових елементах.

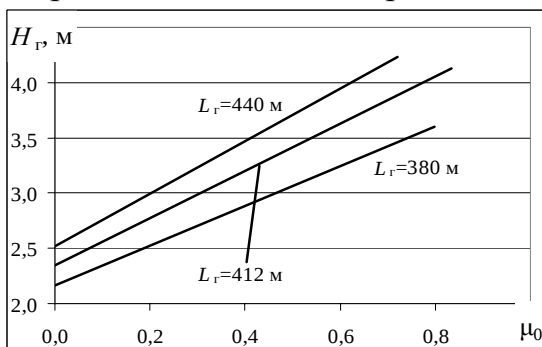


Рисунок 14 – Графіки залежності висоти сортувальної гірки H_r від граничного коефіцієнта увігнутості μ_0

Таким чином, виникає задача пошуку оптимальних параметрів профілю сортувальної гірки, при яких її висота є мінімальною:

$$H_r = \sum_{j=1}^n i_j l_j \rightarrow \min, \quad (14)$$

де l_j – довжина j -го елементу профілю,

При цьому необхідно враховувати нормативні обмеження ухилів:

$$\begin{cases} i_1 \geq i_2 \geq \dots \geq i_n, \\ i_{j_{\max}} \geq i_j \geq i_{j_{\min}}. \end{cases} \quad (15)$$

Крім того, існують обмеження ухилів елементів швидкісної ділянки i_1 та i_2 щодо забезпечення мінімальних інтервалів $\delta t_{1\min}$ та $\delta t_{2\min}$, відповідно, на першому та другому розділових елементах гірки (на першому уповільнювачі ГП1, а також на першій розділовій стрілці, якщо вона є першим розділовим елементом)

$$\begin{cases} \delta t_1 = F_1(i_1, i_2) \geq \delta t_{1\min}, \\ \delta t_2 = F_2(i_1, i_2) \geq \delta t_{2\min}. \end{cases} \quad (16)$$

Вказані ухили i_1 та i_2 визначаються на основі попереднього аналізу процесу скочування розрахункових відчепів.

При вирішенні поставленої задачі ухили стрілочної зони, паркової гальмової позиції та сортувальних колій приймаються згідно з нормами проектування.

Отже, невідомими є ухили першої та другої гальмових позицій i_3 , i_5 , а також ухил проміжної ділянки i_4 , що можуть бути представлені вектором $\mathbf{I} = (i_3, i_4, i_5)$. Таким чином, виникає задача пошуку такого вектору $\mathbf{I}^*$, параметри якого задовольняють умовам (14–16). З цією метою на координатній площині $i_4 O i_3$ необхідно побудувати область допустимих ухилів (ОДУ) вектору $\mathbf{I}$, при яких виконується умова $\mu = \mu_0$, тобто у всіх точках ОДУ $V_{\text{пр}} = 0$. Спочатку, виходячи із нормативних вимог, будується область допустимих ухилів i_3 та i_4 (лінії АО та ОС), після чого за допомогою імітаційного моделювання скочування поганого бігуна визначаються лінії рівня ухилу i_5 (рис. 15), що задовольняють умову:

$$i_5 = f(H_r, \mu_0, i_3, i_4). \quad (17)$$

Після побудови ліній рівня визначається ОДУ, всі точки якої відповідають нормативним вимогам.

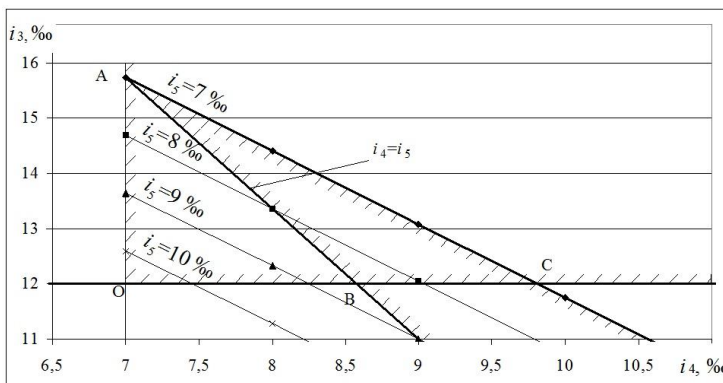


Рисунок 15 – Область допустимих параметрів вектора $\mathbf{I}$

Як видно з рисунку, область допустимих ухилів представляє собою трикутник ABC; при цьому, сторона BC відповідає мінімальному ухилу $i_{3\min}$, AC – мінімальному ухилу $i_{5\min}$, а сторона AB відповідає обмеженню $i_4 = i_5$.

Вибір оптимальних параметрів вектору $\mathbf{I}^*$ в ОДУ визначається методом Хука-Дживса за критерієм (14). Перевагами даного методу є простота використання і ефективність вирішення задачі оптимізації.

Як показали дослідження, застосування розробленого методу дозволяє на 5–7% зменшити висоту гірки і, відповідно, скоротити експлуатаційні витрати на розформування составів.

В п'ятому розділі удосконалено імітаційну модель сортувального комплексу, за допомогою якої виконано оцінку ефективності оптимізації конструкції плану та поздовжнього профілю гірки.

Сортувальний комплекс являє собою складну динамічну систему, у зв'язку з чим прийняття певних рішень про порядок приймання та обробки поїздів, черговість розпуску составів, порядок та технологію виконання осаджування вагонів вимагає комплексного аналізу стану приймальних та сортувальних колій, підходу поїздів, що неможливо формалізувати. Тому з метою підвищення якості результатів моделювання була розроблена ергатична імітаційна модель сортувального комплексу.

Модель складається з інформаційної частини, структурно-параметричних моделей парку прийому та сортувальної гірки, функціональних моделей обробки составів в парку прийому, розформування составів, а також моделі роботи маневрових локомотивів. В моделі розформування виконується моделювання насуву составів на гірку, скочування відчепів, роботи гальмових позицій. Результатами моделювання являються дані про тривалість простою кожного составу в парку прийому, інтервали між відчепами на розділових стрілках, швидкості співударяння відчепів, кількість та величину вікон на сортувальних коліях тощо.

Для аналізу ефективності розроблених в дисертаційній роботі методів визначення оптимальних параметрів плану та профілю з використанням розглянутої моделі виконано порівняння показників двох сортувальних гірок. Конструкція першої гірки розроблена у відповідності з методами, що розглянуті у дисертації, а конструкція другої гірки розроблена згідно з діючими нормами проектування; при цьому висота гірок складає, відповідно, 3,8 м та 4,0 м. З метою виконання аналізу роботи даних сортувальних гірок виконано моделювання розформування потоку з 20 составів.

Як показали дослідження, математичне очікування швидкості співударяння відчепів для 1 та 2 гірки становить, відповідно, $M[V_c] = 1,66$ м/с та $M[V_c] = 1,77$ м/с, середня величина вікна між відчепами на сортувальних коліях – $M[L_v] = 172,04$ м та $M[L_v] = 184,75$ м, середній інтервал між відчепами на розділових стрілочних переводах – $M[\delta t] = 6,02$ с та $M[\delta t] = 5,99$ с. Таким чином, як показав аналіз, показники роботи розглянутих гірок відрізняються несуттєво. В той же час зменшення висоти гірки дозволяє скоротити витрати палива та електроенергії. При цьому для гірки великої потужності економія становить близько 270 тис. грн. на рік.

У додатках наведено параметри плану та профілю сортувальної гірки, що використовується в імітаційних моделях розформування составів, результати оптимізації плану гіркових горловин, результати досліджень впливу параметрів поздовжнього профілю на інтервали між відчепами на розділових елементах, програмна реалізація методу визначення оптимальних параметрів гіркових горловин, а також довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі отримане нове вирішення актуальної науково-практичної задачі удосконалення конструкції плану та поздовжнього профілю сортувальних гірок. Розроблені методи дозволяють підвищити якість конструкції сортувальних гірок, зменшити витрати енергоресурсів на сортування вагонів та підвищити безпеку руху під час розформування составів.

Основні наукові результати і висновки дисертації полягають у наступному:

1. Аналіз наукових праць, присвячених методам розрахунку конструкції плану колійного розвитку та поздовжнього профілю сортувальних гірок показав, що вибір найкращих параметрів гірки є складною оптимізаційною задачею, що не отримала остаточного рішення до теперішнього часу. Вирішення поставленої задачі вимагає системного підходу і комплексної оцінки якості проекту гірки, що пояснюється тісним взаємозв'язком всіх її елементів.

2. Розроблено методи визначення оптимальних параметрів ділянок сполучення на сортувальних коліях за критерієм мінімальної відстані від пучкової стрілки до паркової гальмової позиції при розташуванні ПГП як в кривих, так і на прямих ділянках колії. Застосування розроблених методів дозволяє зменшити довжину гіркової горловини на 20–30 м і, відповідно, підвищити корисну довжину сортувальних колій, а також зменшити потрібну висоту сортувальної гірки.

3. Розроблено метод пошуку точок можливого встановлення уповільнювачів ПГП як точок перетинання еквідистант ділянок сполучення двох суміжних колій. Для реалізації методу запропоновано виконувати апроксимацію еквідистант за допомогою модифікованих кубічних сплайнів, що дозволяє формалізувати та автоматизувати вирішення задачі пошуку точки їх перетинання.

4. Встановлено, що існує залежність між кутами повороту додаткових кривих спускної частини гірки та параметрами ділянок сполучення на сортувальних коліях. Розроблено метод визначення області допустимих кутів повороту додаткових кривих та запропоновано метод розрахунку їх оптимальних величин за критерієм мінімальної середньої суми кутів на трасі сортувальної колії. Використання даного методу дозволяє на 8–10 % скоротити суму кутів поворотів на маршрутах скочування відчепів з гірки, що дає змогу зменшити знос рейок та колісних пар в кривих, зменшити опір руху відчепів і скоротити експлуатаційні витрати при розформуванні составів.

5. Встановлено залежність швидкості відчепів у розрахунковій точці від параметрів поздовжнього профілю гірки. Для комплексного аналізу конструкції поздовжнього профілю від вершини гірки до розрахункової точки запропоновано використовувати коефіцієнт увігнутості профілю. Встановлено, що на діючих сортувальних гірках зазначений коефіцієнт знаходиться у межах 0,55 – 0,70.

6. Визначено залежність між коефіцієнтом увігнутості та швидкістю відчепа в розрахунковій точці; встановлено, що зі збільшенням увігнутості профілю швидкість відчепів у розрахунковій точці істотно зменшується. Для оптимізації профілю гірки визначено граничний коефіцієнт увігнутості, при якому швидкість поганого бігуна у розрахунковій точці дорівнює нулю. Встановлено, що між граничним коефіцієнтом увігнутості та потрібною вистою гірки існує лінійний зв'язок.

7. Встановлено, що існує така конструкція профілю сортувальної гірки, при якій її висота, що забезпечує докочування поганого бігуна до розрахункової точки, є мінімальною. Виконані дослідження показали, що розроблений метод визначення оптимальної конструкції поздовжнього профілю гірки дозволяє на 5–7% зменшити її висоту.

8. Розроблена ергатична імітаційна модель сортувального комплексу дає можливість вибору черговості технологічних операцій і дозволяє отримувати комплексну оцінку якості сортувального процесу. Вказана модель дозволяє виконувати оцінку ефективності конструкції плану та поздовжнього профілю сортувальних гірок. З використанням імітаційної моделі встановлено, що оптимізація конструкції сортувальних гірок дозволяє скоротити експлуатаційні витрати при розформуванні составів на суму близько 270 тис. грн. на рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

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

2. Бобровский В. И. Оценка влияния режимов торможения на качество процесса расформирования составов на сортировочных горках / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов, А. И. Колесник // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 113. – С. 121–127.

3. Бобровский В. И. Оптимизация параметров элементов плана сортировочных путей / В. И. Бобровский, А. И. Колесник, А. С. Дорош // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Вип. 38 – Д.: ДНУЗТ, 2011.– С. 35–40.

4. Бобровский В. И. Совершенствование метода расчета параметров плана горочных горловин / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Збірник наукових праць ДонІЗТ. Серія: «Автоматика, телемеханіка, зв'язок», № 26, 2011.– С.40–47.

5. Колесник А. И. Определение рациональных углов поворота дополнительных кривых горочной горловины / А. И. Колесник // Вісник Академії митної служби України. Серія: «Технічні науки», №1(45), 2011. – С. 48–56.

6. Колесник А. И. Совершенствование методов определения продольного профиля сортировочных горок / А. И. Колесник // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. – Вып. 3, 2013. – С. 17–21.

Додаткові праці:

1. 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. – Вип. 1 – Д.: ДНУЗТ, 2011.– С. 27–33.

2. 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. – Вип. 1 – Д.: ДНУЗТ, 2011.– С. 22–26.

3. Бобровский В. И. Исследования и оценка влияния скорости роспуска составов на показатели работы сортировочного комплекса / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Транспортні системи та технології перевезень: Зб. наук. праць

Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Вип. 2 – Д.: ДНУЗТ, 2011. – С. 10–16.

4. Бобровский В. И. Анализ влияния параметров продольного профиля сортировочной горки на динамику скатывания отцепов / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Транспортні системи та технології перевезень: Зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Вип. 3 – Д.: ДНУЗТ, 2012. – С. 10–14.

5. Бобровский В. И. Определение рациональной конструкции продольного профиля сортировочной горки / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Транспортні системи та технології перевезень: Зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Вип. 4 – Д.: ДНУЗТ, 2012. – С. 19–24.

6. Бобровський В. І. Аналіз кількості розділень відчепів та її зв'язок зі спеціалізацією сортувальних колій / В. І. Бобровський, А. І. Колесник // Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті / Тези II-ї міжнар. наук–практ. конф. – Д.: ДІІТ, 2008. – С. 5–6.

7. Бобровський В. І. Спеціалізація сортувальних колій та її вплив на кількість розділень відчепів / В. І. Бобровський, А. І. Колесник // Проблемы и перспективы развития ж.д. транспорта: Тезисы 68-й междунар. научно–практ. конф. – Д.: ДИИТ, 2008. – С. 12–13.

8. Бобровский В. И. Оценка эффективности итерационного метода оптимизации режима расформирования состава / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов, А. И. Колесник // Проблемы и перспективы развития ж.д. транспорта: Тезисы 69-й междунар. научно–практ. конф. – Д.: ДИИТ, 2009. – С. 64–65.

9. Бобровский В. И. Оптимизация интервального регулирования скорости отцепов расформируемого состава / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов, А. И. Колесник // Проблемы и перспективы развития ж.д. транспорта: Тезисы 69-й междунар. научно–практ. конф. – Д.: ДИИТ, 2009. – С. 66.

10. Бобровский В. И. Анализ и оценка конструкции плана сортировочных горок / В. И. Бобровский, А. С. Дорош, А. И. Колесник // Проблемы и перспективы развития ж.д. транспорта: Тезисы 70-й междунар. научно–практ. конф. – Д.: ДИИТ, 2010. – С. 114–115.

11. Бобровский В. И. Оптимизация параметров сопрягающих кривых на сортировочных путях / В. И. Бобровский, А. И. Колесник, А. С. Дорош, А. Н. Пасичный // Проблемы и перспективы развития ж.д. транспорта: Тезисы 70-й междунар. научно–практ. конф. – Д.: ДИИТ, 2010. – С. 115–117.

12. Бобровский В. И. Область допустимых углов поворота кривых в горочной горловине / В. И. Бобровский, А. И. Колесник, Л. О. Ельникова // Проблемы и перспективы развития ж.д. транспорта: Тезисы 70-й междунар. научно–практ. конф. – Д.: ДИИТ, 2010. – С. 117–118.

13. Бобровский В. И. Определение рациональных параметров кривых спускной части горочной горловины / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Интеграция Украины в международную транспортную систему: Тезисы II-й междунар. научно–практ. конф. – Д.: ДНУЖТ, 2010. – С. 19–20.

14. 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: конф. – Луганськ: СЛУ ім. В. Даля, 2010. – С. 23–25.

15. 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. наук. праць конф. – Луганськ: СЛУ ім. В. Даля, 2010. – С. 26–28.

16. Бобровский В. И. Исследование влияния параметров скоростного участка сортировочной горки на динамику скатывания отцепов / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Тезисы докладов 71 Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Д.: ДНУЗТ, 2011. – С. 125–126.

17. Бобровский В. И. Имитационная модель сортировочного процесса для оптимизации конструкции профиля горок / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Интеграция Украины в международную транспортную систему: Тезисы III-й международ. научно-практ. конф. – Д.: ДНУЖТ, 2011. – С. 12–14.

18. Бобровский В. И. Определение рациональной конструкции продольного профиля горки малой мощности / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Тези доповідей 72 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д.: ДНУЗТ, 2012. – С. 107–108.

19. Бобровский В. И. Определение рациональных параметров профиля сортировочной горки / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Тези доповідей 72 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д.: ДНУЗТ, 2012. – С. 108–109.

20. Бобровский В. И. Определение рациональных параметров плана и профиля головной части сортировочной горки / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Інноваційні технології на залізничному транспорті: конф. – Луганськ: СЛУ ім. В. Даля, 2012. – С. 16–19.

21. Бобровский В. И. Оптимизация параметров продольного профиля горок промышленных сортировочных станций / В. И. Бобровский, А. И. Колесник / Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий: Тезисы II-й Международной научно-практической конференции (Кострина, 21–23 февраля 2013 г.) – Д.: ДНУЖТ, 2013. – С. 34–35.

22. Колесник А. І. Визначення раціональних параметрів поздовжнього профілю сортувальних гірок / А. І. Колесник, Є. Є. Тарнай // Тези доповідей 73 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д.: ДНУЗТ, 2013. – С. 152–153.

АНОТАЦІЯ

Колесник А. І. Удосконалення конструкції плану та профілю гірок з метою підвищення ефективності сортувального процесу. – На правах рукопису.

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, 2014.

Дисертація присвячена питанням підвищення якості сортувального процесу за рахунок удосконалення конструкції плану та поздовжнього профілю сортувальних гірок. Запропоновані методи дозволять зменшити експлуатаційні витрати на розформування составів та покращити умови використання сортувальних пристроїв.

Вперше досліджено вплив параметрів ділянок сполучення сортувальних колій на координату розташування паркової гальмової позиції. Розроблено метод визначення оптимальних параметрів сполучних кривих за критерієм мінімальної відстані від пучкової стрілки до паркової гальмової позиції при її розташуванні як в кривій, так і на прямій ділянці колії.

Розроблено метод визначення області допустимих кутів повороту додаткових кривих спускної частини гірки, а також запропоновано метод розрахунку їх оптимальних параметрів за критерієм мінімальної середньої суми кутів на трасі сортувальної колії.

Виконано дослідження впливу параметрів поздовжнього профілю гірки на динаміку скочування відчепів. Розроблено метод визначення оптимальних ухилів елементів поздовжнього профілю за критерієм мінімальної висоти гірки, за умови докочування поганого бігуна до розрахункової точки зі швидкістю близькою до нуля.

Удосконалено ергатичну імітаційну модель сортувального комплексу, що дозволяє детально моделювати роботу з обслуговування составів від прибуття в парк прийому до розформування їх з гірки, моделювати маневрову роботу, а також отримувати всі необхідні показники, що характеризують якість сортувального процесу.

Наукові результати, отримані у дисертаційній роботі, а також розроблені методи удосконалення конструкції плану та поздовжнього профілю сортувальних гірок можуть бути використані при новому будівництві чи перебудові існуючих гірок з метою покращення якості сортувального процесу.

Ключові слова: план гіркової горловини, поздовжній профіль, відчеп, сортувальна гірка, висота сортувальної гірки, метод оптимізації.

АННОТАЦИЯ

Колесник А. И. Совершенствование конструкции плана и профиля горок с целью повышения эффективности сортировочного процесса. – На правах рукописи.

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, 2014.

Диссертация посвящена вопросам повышения качества сортировочного процесса за счет усовершенствования конструкции плана и продольного профиля сортировочных горок. Предложенные методы позволят уменьшить эксплуатационные расходы на расформирование составов и улучшить условия использования сортировочных устройств.

Впервые исследовано влияние параметров участков сопряжения сортировочных путей на координату размещения парковой тормозной позиции, которая, в зависимости от типа замедлителей может устраиваться в кривой, либо на прямо-

линейном участке пути. Разработан метод определения оптимальных параметров участков сопряжения по критерию минимального расстояния от пучковой стрелки до парковой тормозной позиции. Для решения задачи оптимизации разработано соответствующее программное обеспечение. Использование предложенного метода позволяет сократить длину горочной горловины и, соответственно, увеличить полезную длину сортировочных путей.

Разработан метод определения области допустимых углов поворота дополнительных кривых спускной части горки, а также выполнена их оптимизация по критерию минимальной средней суммы углов на трассе сортировочного пути. Реализация разработанного метода позволяет уменьшить износ рельсов и колесных пар вагонов при их движении в кривых участках пути, а также сократить работу сил сопротивления при скатывании отцепов, что, в свою очередь, приводит к уменьшению эксплуатационных расходов на расформирование составов.

Выполнены исследования влияния параметров продольного профиля горки на процесс скатывания отцепов. Для оценки конструкции профиля в целом от вершины горки до расчетной точки введен такой параметр, как коэффициент вогнутости профиля, представляющий собой отношение площади продольного сечения рассматриваемой горки к максимально возможной площади при одинаковой высоте горки. Коэффициент вогнутости профиля, при котором обеспечивается докатывание плохого бегуна до расчетной точки со скоростью близкой к нулю названо предельным. Разработан метод определения оптимальных уклонов элементов продольного профиля. В качестве критерия принята высота горки, которую необходимо минимизировать, при условии докатывания плохого бегуна до расчетной точки со скоростью близкой к нулю. Использование данного метода позволяет уменьшить высоту сортировочной горки и, тем самым, сократить энергетические расходы при надвиге составов на горку и при вытягивании групп вагонов из сортировочного парка.

Усовершенствована эргатическая имитационная модель сортировочного комплекса, которая позволяет детально моделировать обработку вагонопотока от момента прибытия на станцию до уборки накопленных составов из сортировочного парка. Разработанное программное обеспечение позволяет лицу выполняющему моделирование выполнять технологические операции, которые сложно поддаются формализации, а именно выбор скорости роспуска составов, порядок и способ осаживания вагонов на путях подгорочного парка, порядок уборки составов из сортировочного парка. Программный комплекс позволяет выполнять моделирование при различной конструкции горки и получать все необходимые показатели, которые характеризуют качество сортировочного процесса.

Научные результаты, полученные в диссертационной работе, а также разработанные методы усовершенствования конструкции плана и продольного профиля сортировочных горок могут применяться при новом строительстве или реконструкции существующих горок с целью сокращения энергетических расходов при расформировании составов и улучшения качества сортировочного процесса.

Ключевые слова: план горочной горловины, продольный профиль, отцеп, сортировочная горка, высота сортировочной горки, метод оптимизации.

THE SUMMARY

Kolesnyk A. I. The improvement of plan and profile construction for the purpose of efficiency increase of sorting process. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a speciality 05.22.20 – exploitation and repair of transport means. Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnipropetrovsk, 2014.

The thesis is dedicated to problems of improving the sorting process due to perfection of plan and profile construction of sorting humps. Suggested methods allow reduce operating costs of breaking-up of trains and to improve the conditions of sorting equipment usage.

For the first time it was investigated the influence of coupling curves parameters to the allocation coordinates of yard retarder position. It was developed the method of optimization of coupling curves parameters by the criterion of minimum distance between the wisp switch and yard retarder position in case its allocation as on the curve and in the straight track section.

It was developed the method of determine the multitude of admissible slewing angles of additional curves of the sink part of a hump and also it was suggested the method of their optimization by the criterion of the minimum angles average sum on the sorting track direction.

There were executed investigations of longitudinal profile parameters to the movement of cuts rolling down. The optimization method of elements longitudinal profile gradient is worked out. The hump elevation which is necessary to minimize on conditions that go rolling the bad cut runner to the reference point with the zero speed was chosen as a criterion.

The interactive simulation model of the sorting complex is improved. This model allow simulating the trains attendance in detail from their arrival at station to dispatching the cumulated trains from the sorting yard, to simulate the shunting operation and also to receive all required activities which describe the quality of the sorting process.

Scientific results and improved methods of plan and longitudinal profile construction may be used while designing new humps or rearrangement existing ones for the purpose of improving the quality of the sorting process

Key words: neck plan, longitudinal profile, cut, sorting hump, height of the hump, optimization method.

КОЛЕСНИК АНТОН ІГОРОВИЧ

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНУ
ТА ПРОФІЛЮ ГІРОК З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
СОРТУВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 15.01.2014 р.
Формат 60х84 1/16. Ум. др. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.
Тираж 100 прим. Замовлення № ____.

Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК №1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва і дільниці оперативної поліграфії:
вул. акад. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010.