

УДК 656.212.5

А. І. КОЛЕСНИК<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-12, ел. пошта kolesnyk\_anton@mail.ru, ORCID 0000-0003-2490-5843

## УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНУ ГОРЛОВИН СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК ТЕХНІЧНИХ СТАНЦІЙ

Конструкція плану гіркових горловин суттєво впливає на динаміку та тривалість скоочування відчепів. Капітальні вкладення при будівництві та експлуатаційні витрати під час функціонування гірки в першу чергу залежать від параметрів її горловини. У даній статті наведено результати досліджень впливу параметрів горловини на її будівельну довжину. Під будівельною довжиною розуміють розгорнуту довжину горловини від вершини гірки до початку паркової гальмової позиції без врахування довжин елементів стрілочних переводів. Як показав аналіз існуючих методів розрахунку та оптимізації конструкції плану сортувальних гірок, вони не в повній мірі відображають та враховують характер роботи гірок. Тому задача оптимізації конструкції гіркових горловин потребує подальшого вирішення. Аналіз типових схем гіркових горловин показав, що на спускній частині гірки необхідно розміщувати не більше двох додаткових кривих. Тому було розроблено методичку, що дозволяє визначити всі можливі значення кутів повороту додаткових кривих спускної частини гірки, при яких конструкція сортувальної гірки відповідає нормативним вимогам, та обрати найкращі з них. Доведено, що найменша будівельна довжина горловини досягається при максимальній сумі кутів додаткових кривих спускної частини. Також було запропоновано методичку оптимізації параметрів ділянок сполучення при розміщенні паркової гальмової позиції на прямій ділянці колій за основною сполучною кривою. В роботі виконано дослідження впливу кількості пучків горловини на її будівельну довжину. Встановлено, що зі збільшенням числа пучків будівельна довжина зменшується на 10–15 %. Також спостерігається скорочення середньої відстані пробігу відчепів від вершини гірки до розрахункової точки. В той же час, збільшення кількості пучків призводить до зростання необхідної кількості уповільнювачів на спускній частині та ускладнення керування ними. Отже, задача вибору раціональної кількості пучків гіркової горловини повинна вирішуватися на основі техніко-економічних розрахунків. Результати досліджень доцільно враховувати під час будівництва та реконструкції сортувальних гірок.

*Ключові слова:* гіркова горловина, сортувальна гірка, будівельна довжина, план колійного розвитку, ділянки сполучення, область допустимих кутів, сортувальні станції.

Визначення раціональної конструкції плану колійного розвитку гіркової горловини представляє собою одну з найбільш складних задач під час проектування сортувальних гірок. Специфіка проблеми полягає в необхідності ув'язки всіх нормативних вимог до розташування пристроїв механізації та автоматики з елементами плану та профілю, а також елементів плану між собою. Крім того, під час проектування параметри деяких елементів плану визначаються підбором, що не дозволяє розглянути всі їх можливі значення та виконати оптимізацію. Це пов'язано, з однієї сторони, з відсутністю математичних методів, які дозволяють розрахувати оптимальні значення цих параметрів, а з іншої – з відсутністю єдиного критерію оптимізації конструкції гіркової горловини в цілому.

Наявність сучасних технічних засобів та програмного забезпечення дозволяє значно прискорити процес побудови та розрахунку

плану сортувальних гірок, проте проблема вибору конкретних значень окремих параметрів горловини потребує подальшого вирішення.

До зазначених елементів в першу чергу відносяться додаткові криві спускної частини гірки та ділянки сполучення на сортувальних коліях, що тісно пов'язані між собою. Додаткові криві забезпечують допустиму міжколійну відстань між пучками та дозволяють значно скоротити довжину гіркової горловини. Під ділянкою сполучення розуміють частину сортувальної колії від торця осердя хрестовини останнього розділового стрілочного переводу до кінця основної сполучної кривої. Параметри елементів ділянок сполучення впливають на місце розташування паркової гальмової позиції (ПП) і, відповідно, на довжину всієї гіркової горловини. Таким чином, визначення оптимальних значень вказаних параметрів являється важливою задачею, вирішення якої дозволить суттєво покращити якість проектування гіркових горловин.

На даний час існує ряд підходів до розрахунку та оптимізації плану гіркових горловин. Так, в [1] запропоновано методику, що дозволяє за допомогою методів множників Лагранжа визначити величини невідомих кутів на трасі розрахункової колії за критерієм мінімуму довжини маршруту від вершини гірки до граничного стовпчика останнього розділового стрілочного перевалу. Проте даний підхід не враховує вплив величини кутів розрахункової колії на параметри елементів плану інших колій горловини, внаслідок чого від не отримав широкого розповсюдження.

В роботі [2] з метою спрощення процедури пошуку величини кутів додаткових кривих спускної частини гірки, запропоновано визначити їх величину виходячи із довжини передстрілочних ділянок, що розташовані перед протишершніми стрілочними перевалами. Основним недоліком даного підходу є необхідність збільшення довжини гіркової горловини у зв'язку з невеликою величиною кута додаткової кривої. Крім того, існує висока ймовірність неможливості сполучення елементів плану на внутрішніх сортувальних коліях.

Під час проектування гіркових горловин однією із основних вимог являється забезпечення мінімальної міжколійної відстані між суміжними пучками. У зв'язку з цим в [3], невідомі кути повороту визначаються виходячи із мінімальної відстані між пучками; при цьому проектування починається з укладки внутрішніх пучків, до яких поступово приєднують зовнішні. Недоліком даної методики являється те, що її застосування можливе лише для симетричних гіркових горловин, в яких базис (вісь горловини) співпадає з віссю сортувальних колій. Крім того, в даному методі не виконується контроль вписування сполучних кривих на внутрішніх сортувальних коліях пучка.

Іншою важливою проблемою під час проектування гіркових горловин є визначення критерію оптимізації їх конструкції. Виконаний в [4] аналіз існуючих методів оцінки конструкції гіркових горловин показав, що ці методи не в повній мірі характеризують проектне рішення чи існуючу горловину. У зв'язку з цим в [5] запропоновано виконувати таку оцінку з використанням комплексного показника  $G$ , який враховує приведені витрати, а також показники надійності і безпеки функціонування гірок і представляє собою адитивну функцію. Параметрами даної функції є: величина приведених витрат на спорудження гіркової горловини, середній строк праці вагонних уповільнювачів,

ймовірність відмови і відновлення уповільнювачів. Кожному із параметрів відповідає певний ваговий коефіцієнт, значення якого визначається методом експертних оцінок. Недоліком запропонованої методики є відсутність в цільовій функції  $G$  параметру, що характеризує загальні експлуатаційні витрати на розформування составів, а не тільки на утримання і ремонт вагонних уповільнювачів. Крім того, вагові коефіцієнти параметрів функції  $G$  залежать від технічного обладнання і конструкції гіркової горловини і не можуть бути однаковими для всіх сортувальних гірок.

Як показав аналіз [6], існуючі методи конструкції гіркових горловин в основному базуються на техніко-економічному порівнянні проектних рішень. При цьому методи комплексної оцінки конструкції гірки, із врахуванням надійності роботи її елементів, в даний час відсутні.

В даній роботі виконано дослідження конструкції горловини та її вплив на будівельну довжину  $\Sigma L$ . Під будівельною довжиною розуміють сумарну довжину рейко-шпальної решітки, яка необхідна для будівництва горловини [7], без врахування довжини стрілочних перевалів.

$$\Sigma L = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m k_j \quad (1)$$

де  $l_i, k_j$  – відповідно довжина прямих та кривих ділянок колії;

$n, m$  – відповідно кількість прямих та кривих ділянок колії.

Мінімізація будівельної довжини дозволить скоротити капітальні та експлуатаційні витрати при будівництві та експлуатації сортувальної гірки.

Одними із основних елементів плану горловини, що суттєво впливають на її будівельну довжину являються ділянки сполучення на сортувальних коліях, від параметрів яких залежить місце розташування паркової гальмової позиції і, відповідно, довжина гіркової горловини. В залежності від типу уповільнювачів, паркова гальмова позиція може розташовуватися як на прямій ділянці колії, так і у кривій. При розташуванні на прямій ділянці, ПГП, як правило розміщується за основною сполучною кривою. В той же час, в залежності від конструкції горловини, можливе розміщення ПГП між основною та додатковою сполучними кривими. Так, зазначена схема розташування була впроваджена під час проектування сортувальної гірки промислової станції Южная морського порту ТОВ з П «Трансінвестсервіс» [8].

З метою виконання досліджень було розроблено 4 варіанти гіркових горловин, що складаються з 23 сортувальних колій та відрізня-

ються кількістю пучків, у які вони згруповані (рис. 1).

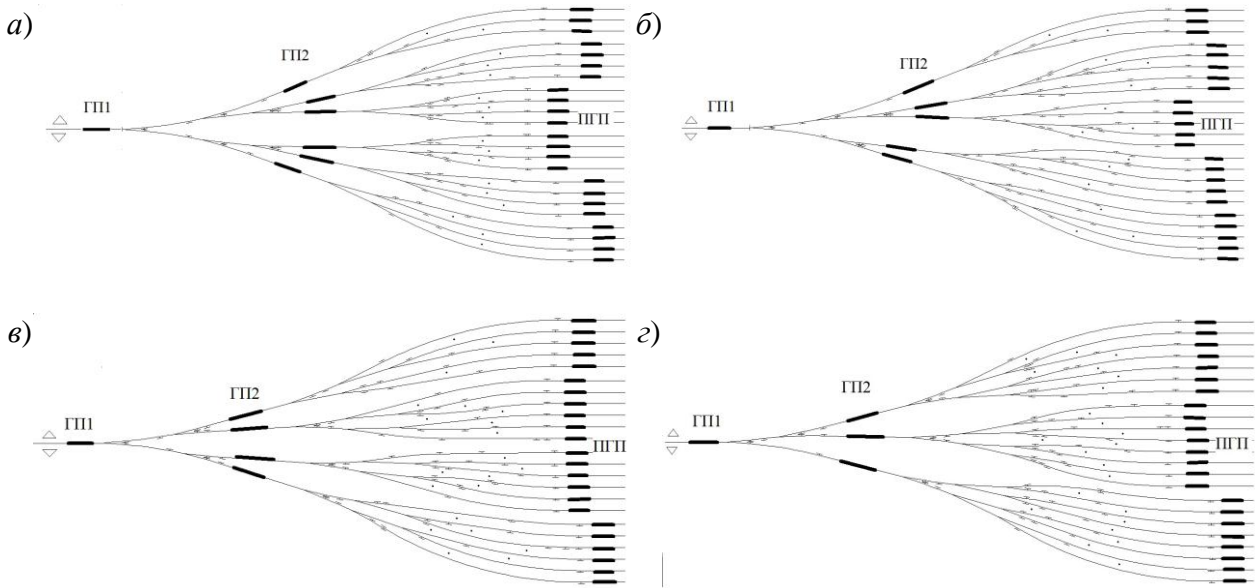


Рис. 1. Схеми гіркових горловин, що складаються: а) з 6 пучків; б) з 5 пучків; в) з 4 пучків; г) з 3 пучків.

Згідно з Правилами проектування сортувальних пристроїв [9] уповільнювачі ППП в пучку необхідно розташовувати в створі. У зв'язку з цим в роботі [10] розроблено методику визначення параметрів ділянок сполучення, при яких відстань від пучкової стрілки до ППП є мінімальною, а уповільнювачі розташовуються в створі. В даній роботі під час досліджень прийнято розміщення уповільнювачів на прямій ділянці колії за основною сполучною кривою.

Дослідження параметрів горловин виконуються за допомогою розробленого програмного забезпечення. При цьому попередньо було складено моделі гіркових горловин, в яких горловина представляється у вигляді орієнтованого бінарного дерева [11], в якому виділено три підмножини вершин, а саме центри стрілочних переводів (позначаються номерами від 1 до 99), вершини кутів поворотів спускної частини гірки (номери від 101 до 199) та вершини кутів поворотів основних сполучних кривих на сортувальних коліях (номери від 201 до 299). В якості прикладу на рис. 2 наведена схема гіркової горловини, що складається з 23 колій об'єднаних в 3 пучки.

Одними із основних елементів плану, що значно впливають на параметри всієї конструкції горловини є додаткові криві спускної частини гірки. Визначення величини кутів повороту зазначених кривих представляє собою досить

складну задачу. Як показав аналіз гіркових горловин, на трасі сортувальних колій гірок великої та середньої потужності на ділянці від вершини гірки до пучкової стрілки розташовується не більше двох додаткових кривих  $\beta_1$  та  $\beta_2$ , параметри яких потребують визначення. Для горловини представленої на рис. 2 кут  $\beta_1$  відповідає кривій 101, а кут  $\beta_2$  кривим 103 та 104. Величина кривих в пучках, як правило, відповідає довжині передстрілочної ділянки, а кут повороту на сортувальній колії дорівнює алгебраїчній сумі кутів спускної частини. У зв'язку з цим, в роботі [12] розроблено методику визначення всіх можливих значень кутів повороту додаткових кривих  $\beta_1$  та  $\beta_2$ , при яких конструкція горловини відповідає нормативним вимогам.

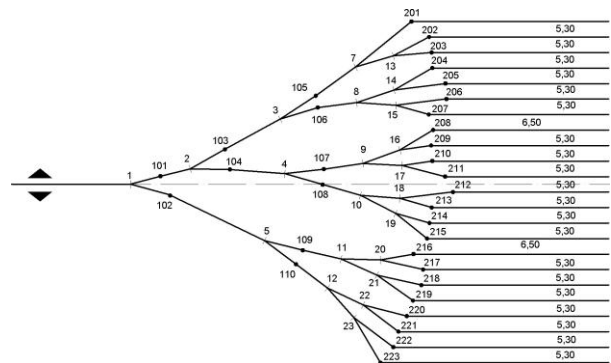


Рис. 2. Схема гіркової горловини на 23 колії

Множина допустимих кутів представляє собою область допустимих кутів (ОДК) на координатній площині  $\beta_1\beta_2$ , всі точки якої дозволяють виконати проектування гіркової горло-

вини. На рисунку 3 наведено область допустимих кутів двох верхніх пучків горловини, що наведена на рис. 2.

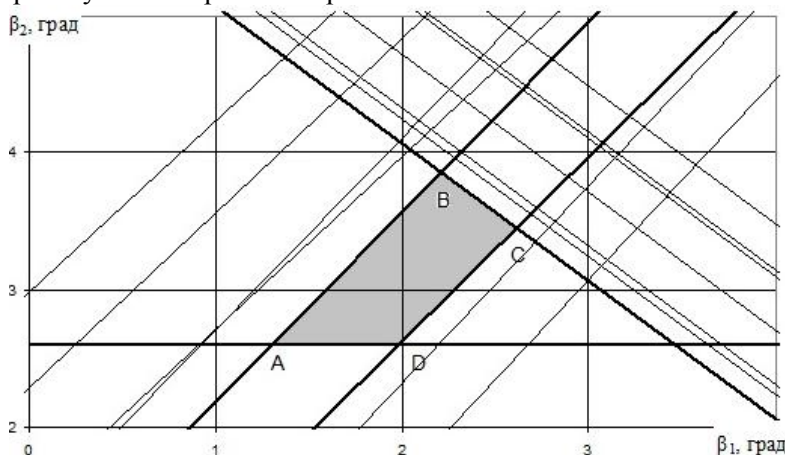


Рис. 3. Область допустимих кутів гіркової горловини

Кожна точка, що належить лінії графіку представляє собою множину граничних комбінацій кутів  $\beta_1$  та  $\beta_2$  для певної сортувальної колії, що дозволяють виконати її проектування з дотриманням нормативних вимог. Під граничною комбінацією кутів розуміють такі їх значення, які забезпечують сполучення даної сортувальної колії зі спускною частиною лише однією сполучною кривою мінімального радіуса при відсутності прямої вставки між торцем осердя хрестовини останнього стрілочного перевалу та початком даної кривої. Між кутами  $\beta_1$  та  $\beta_2$  в їх граничних комбінаціях існує функціональна залежність, графіком якої являється пряма. Кожна лінія поділяє координатну площину  $\beta_1\beta_2$  на дві півплощини. Півплощина, всі точки якої дозволяють виконати проектування траси даної колії з урахуванням всіх нормативних вимог називається допустимою, інша недопустимою. Область перетинання допустимих

півплощин всіх сортувальних колій представляє собою ОДК гіркової горловини, яка в даному прикладі, для двох верхніх пучків, являє собою багатокутник ABCD.

Таким чином, при виконанні досліджень конструкції гіркових горловин, при певних значеннях кутів  $\beta_1$  і  $\beta_2$  з ОДК виконувалася оптимізація ділянок сполучення сортувальних колій після чого визначалася будівельна довжина горловини. Як показали дослідження, найменше значення величини  $\Sigma L$  спостерігається при максимальній сумі кутів додаткових кривих спускної частини ( $\beta_1 + \beta_2$ ).

Після побудови моделей горловин, що наведені на рис. 1, та оптимізації їх параметрів було виконано дослідження впливу кількості пучків  $n$  на величину будівельної довжини горловини  $\Sigma L$ . Встановлено, що між зазначеними величинами існує функціональна залежність, графік якої наведено на рис. 4.

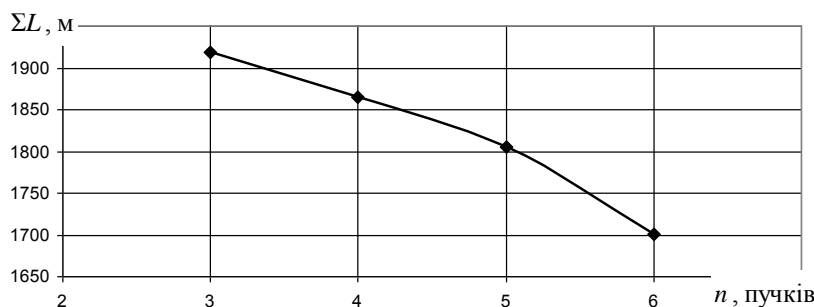


Рис. 4. Графік залежності будівельної довжини від кількості пучків гіркової горловини

Як видно з рисунку, зі збільшенням числа пучків при однаковій кількості сортувальних колій будівельна довжина горловини скорочується на 13 %. Крім того, зі збільшенням кількості пучків дещо зменшується довжина марш-

руту прямування відчепа від першої розділової стрілки до ППІ на сортувальній колії. Графік залежності середньої довжини маршруту скочування відчепів від першої розділової стрілки до паркової гальмової позиції наведено на рис. 5.

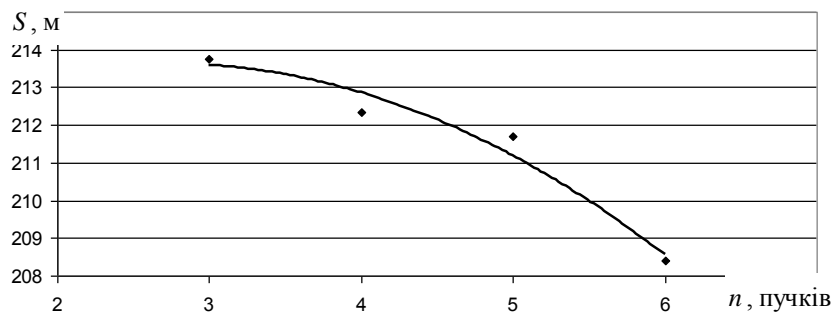


Рис. 5. Графік залежності довжини маршруту прямування відчепів від кількості пучків гіркової горловини

Отже, будівельна довжина горловин суттєво скорочується зі збільшенням кількості пучків сортувальних колій. При цьому покращуються умови розмежування відчепів на розділових елементах та якість сортувального процесу. В той же час, збільшення кількості пучків призводить до зростання капітальних вкладень та експлуатаційних витрат у зв'язку з необхідністю встановлення на спускній частині додаткових уповільнювачів. Крім того, значно ускладнюється процес управління уповільнювачами. Таким чином, розробка конструкції горловини та визначення кількості пучків сортувальних колій повинні виконуватися після всебічного техніко-економічного порівняння та обґрунтування варіантів. Результати досліджень можна застосовувати під час нового будівництва та реконструкції гіркових горловин технічних станцій.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Павлов, В.Е. Элементы оптимального проектирования плана горловины автоматизированной сортировочной горки / В. Е. Павлов // Железнодорожные системы автоматики и телемеханики с применением бесконтактных элементов : Сб. научн. тр. ЛИИЖТа. – Вып. 314. – Ленинград : Транспорт, 1971. – С. 148-155.
2. Апатцев, В. И. Проектирование сортировочных устройств (горок повышенной, большой и средней мощности) : Уч. пособие / В. И. Апатцев, В. Я. Болотный, А. Н. Сухопяткин. – Москва : РГОТУПС, 2004. – 136 с.
3. Иванкова, Л. Н. Проектирование сортировочных горок : Уч. пособие / Л. Н. Иванкова, А. Н. Иванков. – Иркутск : ИрГУПС, 2005. – 137 с.
4. Огар, О. М. Аналіз існуючих методів оцінки конструкцій гіркових горловин / О. М. Огар, В. І. Мойсеєнко, О. В. Розсоха // Удосконалення управління експлуатаційною роботою : Зб. наук. праць. – Харків:УкрДАЗТ, 2009 – Вип. 102. – С. 5–14.
5. Данько, М. І. Розробка методу комплексної оцінки конструкцій гіркових горловин / М. І. Данько, О. М. Огар, О. В. Розсоха // Восточно-

Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 6/3 (42). – С. 30-33.

6. Огар, О. М. Аналіз і особливості конструкції гіркових горловин вітчизняних сортувальних пристроїв / О. М. Огар, О. В. Розсоха, С. М. Светличний // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2007. – Вип. 85. – С. 57–64.

7. Колесник, А. И. Оптимизация конструкции плана путевого развития горочных горловин / А. И. Колесник, Е. П. Дробецкая // Транспортні системи і технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 7. – С. 33-37.

8. Березовый, Н. И. Особенности комплексного проектирования продольного и поперечного профиля сортировочных горок / Н. И. Березовый / Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – 2014. – № 37. – С. 20-24.

9. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207 – 89. – Москва : Транспорт, 1992. – 104 с.

10. Бобровский, В. И. Устройство сопрягающих кривых при размещении парковых замедлителей на прямых участках сортировочных путей / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 5. – С. 17-23.

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

12. Бобровский, В. И. Совершенствование метода расчета параметров плана горочных горловин / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – 2011. – № 26. – С.40–47.

*Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Огарем О. М. (Україна)*

Надійшла до редколегії 03.11.2015.

Прийнята до друку 05.11.2015.

А. И. КОЛЕСНИК

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНА ГОРЛОВИН СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Конструкция плана горочных горловин существенно влияет на динамику и продолжительность скатывания отцепов. Капитальные вложения при строительстве и эксплуатационные расходы во время функционирования горки в первую очередь зависят от параметров ее горловины. В данной статье приведены результаты исследований влияния параметров горловины на ее строительную длину. Под строительной длиной подразумевается развернутая длина горловины от вершины горки до начала парковой тормозной позиции без учета длин элементов стрелочных переводов. Как показал анализ существующих методов расчета и оптимизации конструкции плана сортировочных горок, они не в полной мере отражают и учитывают характер работы горок. Поэтому задача оптимизации конструкции горочных горловин требует дальнейшего решения. Анализ типовых схем горочных горловин показал, что на спускной части целесообразно размещать не более двух дополнительных кривых. В этой связи была разработана методика, которая позволяет определить все возможные значения углов поворотов дополнительных кривых спускной части горки, при которых конструкция сортировочной горки соответствует нормативным требованиям и выбрать наилучшие из них. Доказано, что наименьшая строительная длина достигается при максимальной сумме углов дополнительных кривых спускной части горки. Также было предложено методике оптимизации параметров участков сопряжения при размещении парковой тормозной позиции на прямом участке пути за основной сопрягающей кривой. В работе выполнены исследования влияния количества пучков горловины на ее строительную длину. Установлено, что с увеличением количества пучков строительная длина сокращается на 10–15 %. Также наблюдается сокращение среднего расстояния пробега отцепов от вершины горки до расчетной точки. В то же время, увеличение количества пучков приводит к увеличению необходимого числа замедлителей на спускной части и усложнения процесса управления ними. Таким образом, задача выбора рационального количества пучков горочной горловины должна решаться на основании технико-экономических расчетов. Результаты исследований целесообразно учитывать при строительстве и реконструкции сортировочных горок.

*Ключевые слова:* горочная горловина, сортировочная горка, строительная длина, план путевого развития, участки сопряжения, область допустимых углов, сортировочные станции.

A. KOLESNIK

## DESIGN IMPROVEMENT OF SORTING HUMPS'S NECK PLAN ON THE TECHNICAL STATIONS

The plan construction of humps neck has a large influence on the movement and duration of cuts rolling down. The capital investments to building and the operating costs during hump operation first of all depend of the neck's parameters. The findings of investigation of neck's parameters influence to the construction length are given in this article. By the construction length is understand the unfolded neck length from the top hump to park retarder position without taking the switches length into account. The analysis of existing methods of optimization the hump neck shows that they do not fully characterize the object, because they do not include many of the features of sorting humps operation. As a result, the optimization problem of hump necks needs further inquiry. As the review of standard construction of hump necks shows, there are not more than two additional curves on the descent part of the sorting hump. Thereupon it was developed the method of determine all values of rotation angles on the descent part of the hump. It permits to design neck plan keeping the normative requirements and to choose the best values of angles. It was proved, that the minimum construction length is when the sum of angles on the descent part of the hump is the maximum. Also it was developed the method of optimization of coupling sections parameters in placing a park retarder position on a straight path for the main mating curve. The researches of number bunches influence to its construction length are made in this article. Studies have shown that the increase of the number bunches permits to reduce the construction length per 10–15 %. Also decrease of the average distance from the top hump to considering point has been observed. But, at the same time increase of number of bunches reduce to increase of required number of retarders on the descent part of the sorting hump and to complicate the control process. Thus, the problem of selection of the efficient number of the hump neck must be solved based on the feasibility study. The findings of investigation can be use during new construction and the reconstruction of the existing sorting humps.

*Keywords:* hump neck, sorting hump, construction length, track construction, track's plan, mating curves, district of admissible angles, classification yards.