

УДК 656.212.5

А. И. КОЛЕСНИК, Е. П. ДРОБЕЦКАЯ (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНА ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОЧНЫХ ГОРЛОВИН

У даній статті розроблена методика визначення оптимальної конструкції гіркової горловини за критерієм мінімуму будівельної довжини її колійного розвитку. Оптимізація параметрів горловини за вказаним критерієм дозволить скоротити вартість її будівництва та подальшої експлуатації. Як показав аналіз існуючих методів оцінки якості проектування колійного розвитку гіркових горловин, вони не в повній мірі характеризують даний об'єкт, оскільки не враховують багато особливостей будівництва та експлуатації сортувальних гірок. Встановлено, що на довжину горловини впливають параметри ділянок сполучення на сортувальних коліях, які, в свою чергу, залежать від місця розташування уповільнювачів паркової гальмової позиції. Оптимізація конструкції горловини виконується за умови розташування паркової гальмової позиції на прямій ділянці колії за основною сполучною кривою; при цьому параметри ділянок сполучення на кожній колії оптимізуються таким чином, щоб паркові гальмові позиції в пучку розташовувалися на мінімальній відстані від вершини гірки. Крім того, на конструкцію ділянок сполучення впливають кути поворотів спускної частини гірки. Вся множина допустимих кутів спускної частини гірки, при яких конструкція горловини відповідає нормативним вимогам, може бути представлена багатокутником на координатній площині. В подальшому із області допустимих кутів визначаються їх конкретні значення, при яких будівельна довжина колійного розвитку горловини мінімальна. Як показали дослідження, для забезпечення мінімальної довжини горловини необхідно обирати такі величини кутів поворотів спускної частини гірки, які належать верхній межі області допустимих кутів, при цьому потреба у рейко-шпальній решітці скорочується на 6-8 %. Запропонований метод може використовуватися як при новому будівництві, так і під час реконструкції існуючих сортувальних гірок.

Ключові слова: сортувальна гірка, гіркова горловина, план колійного розвитку, сполучні криві, проектування гірок.

В данной статье разработана методика определения оптимальной конструкции горочной горловины по критерию минимума строительной длины ее путевого развития. Оптимизация параметров горловины по указанному критерию позволит сократить стоимость ее строительства и дальнейшей эксплуатации. Как показал анализ существующих методов оценки качества проектирования путевого развития горочных горловин, они не в полной мере характеризуют данный объект, поскольку не учитывают многие особенности строительства и эксплуатации сортировочных горок. Установлено, что на длину горловины влияют параметры участков сопряжения на сортировочных путях, которые, в свою очередь, зависят от места размещения замедлителей парковой тормозной позиции. Оптимизация конструкции горловины выполняется при условии размещения парковой тормозной позиции на прямом участке пути за основной сопрягающей кривой; при этом параметры участков сопряжения на каждом пути оптимизируются таким образом, чтобы парковые тормозные позиции в пучке располагались на минимальном расстоянии от вершины горки. Кроме того, на конструкцию участков сопряжения влияют углы поворотов спускной части горки. Все множество допустимых углов спускной части горки, при которых конструкция горловины соответствует нормативным требованиям, может быть представлено многоугольником на координатной плоскости. В дальнейшем из области допустимых углов определяются их конкретные значения, при которых строительная длина горочной горловины минимальна. Как показали исследования, для обеспечения минимальной длины горловины необходимо выбирать такие величины углов поворотов спускной части, которые принадлежат верхней границе области допустимых углов, при этом потребность рельсо-шпальной решетки сокращается на 6-8 %. Предложенный метод может быть использован как при новом строительстве, так и во время реконструкции существующих сортировочных горок.

Ключевые слова: сортировочная горка, горочная горловина, план путевого развития, сопрягающие кривые, проектирование горок.

The method of the determining the optimal construction of a sorting hump neck is given in this article. The minimum of the construction length of the tracks was chosen as a criterion of optimality. The neck's parameters optimization with the chosen criterion allows to reduce it's construction cost and further operating costs. The analysis of existing methods of a quality evaluation of the designing the hump neck shows that they do not fully

characterize the object, because they do not include many of the features of construction and operation of sorting humps.

It is found that the length of the neck depends on the parameters of conjugation sites on sorting tracks, which depend on the location of park retarding position.

Optimization of a neck construction is performed under the condition of placing a park retarding position on a straight path for the main mating curve. Parameters of conjugation sites on each path are optimized so that the park retarding position in the track bunch has to be located at a minimum distance from the top of the hump. In addition, the construction sites of conjugation affect the angles of rotation of the slope of the hump.

All the possible multitude of admissible angles of the slope of the hump in which construction of the neck meets the regulatory requirements can be represented by a polygon on the coordinate plane. And then, the specific angle values are defined from the permissible multitude of angles for which construction length of a hump neck is minimal.

Studies have shown that for the minimum length of the neck it is necessary to choose such values of the angles of rotations of the slope of the hump, which belong to the upper boundary of permissible angles. That is why the need for rail-sleeper grid is reduced by 6-8 %.

The proposed method can be used for both new construction and during the reconstruction of the existing sorting humps.

Key words: sorting hump, hump neck, track construction, mating curves, hump designing.

Конструкция плана горочной горловины сортировочного парка оказывает непосредственное влияние на качество расформирования составов и энергетические затраты при сортировке вагонов. От параметров элементов плана зависит длина горловины, работа сил сопротивления при скатывании отцепов и, соответственно, высота и параметры продольного профиля горки. В этой связи при проектировании горочной горловины необходимо стремиться к сокращению ее длины [1], рациональному размещению стрелочных переводов, вагонных замедлителей и устройств автоматики в соответствии с действующими требованиями. Поэтому качественное проектирование плана путевого развития горочной горловины представляет собой важную и достаточно сложную конструкторскую задачу.

Существенной проблемой при решении данной задачи является определение критерия, которому должна соответствовать оптимальная конструкция горловины. В работах [2, 3] усовершенствование плана горочных горловин выполняется по критерию минимума энергетических затрат на расформирование составов, при этом авторы предлагают новые конструкции горловин, где предусматривается значительное увеличение числа тормозных позиций для регулирования скатывания вагонов и установка маломощных типов замедлителей. В то же время не учитывается значительное усложнение выбора режима торможения отцепов с целью обеспечения допустимых интервалов между ними, а также необходимость увеличения штата работников, связанных с обслуживанием и эксплуатацией замедлителей.

В [4] качество проекта горловины предложено оценивать коэффициентом γ , который рассчитывается по формуле:

$$\gamma = \frac{A_{\min}}{A_{\max}} \quad (1)$$

где A_{\min} , A_{\max} – соответственно, наименьшая и наибольшая удельная работа, потерянная на преодоление всех сил сопротивления очень плохим бегуном при прохождении им расстояния от вершины горки до расчетной точки при неблагоприятных условиях скатывания.

Считается, что с увеличением коэффициента γ , который в идеальном случае должен стремиться к единице, улучшается качество проекта горловины. Однако такой подход к решению задачи не в полной мере характеризует конструкцию путевого развития, поскольку рассматривает маршруты скатывания лишь на два сортировочных пути и не учитывает работу сил сопротивления на остальных путях горловины.

Как показал анализ конструкции горочных горловин, параметры участка сопряжения спускной части и сортировочных путей, а именно величина угла дополнительной кривой, радиусы сопрягающих кривых, могут варьироваться в достаточно широких пределах и во многом зависят от решения проектировщика. Кроме того, на конструкцию участка сопряжения в значительной степени влияют величины углов поворотов спускной части горки. На рис. 1 показаны возможные варианты участков сопряжения сортировочного пути i .

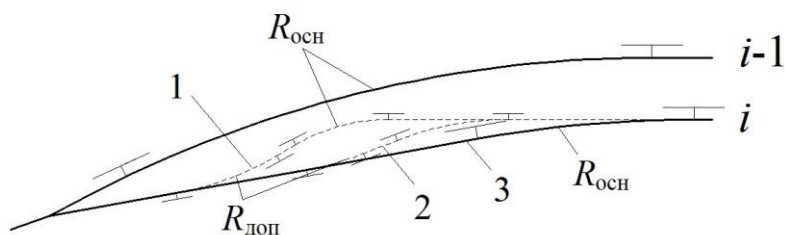


Рис. 1. Варианты конструкции участка сопряжения сортировочного пути

Очевидно, что при этом будет изменяться потребность в рельсо-шпальной решетке на строительство горловины. Таким образом, в данной работе предложена методика определения оптимальной конструкции горочной горловины по критерию минимума ее строительной длины. Оптимизация параметров горловины по указанному критерию позволит сократить стоимость строительства и дальнейшей эксплуатации объекта. Решение

поставленной задачи сводится к отысканию таких параметров участков сопряжения на каждом сортировочном пути и углов поворота дополнительных кривых на спускной части горки, которые обеспечат минимальную длину рельсо-шпальной решетки при строительстве горловины. Предложенная методика рассматривается на примере горловины, представленной на рис. 2.

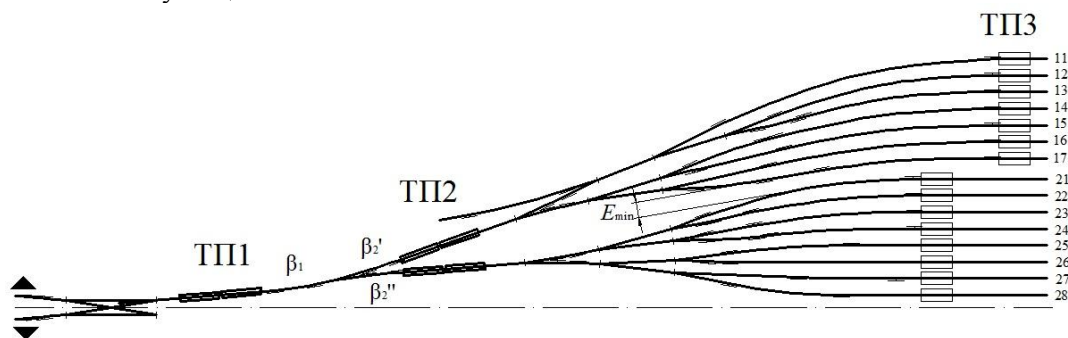


Рис. 2. Схема путевого развития горочной горловины

Полная длина горочной горловины $L_{стр}$ может быть рассчитана по формуле:

$$L_{стр} = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m k_j + \sum_{a=1}^h z_a + n_{сп} l_{сп} + l_{гп}, \quad (2)$$

где l_i , k_j – соответственно длина прямых и кривых участков пути;

z_a – длина тормозной позиции;

$l_{сп}$, $l_{гп}$ – соответственно длина стрелочного перевода и глухого пересечения;

$n_{сп}$ – количество стрелочных переводов.

Поскольку количество и длина стрелочных переводов, тормозных позиций и глухого пересечения не изменяется, при решении задачи оптимизации целесообразно учитывать лишь сумму длин прямых и кривых участков плана (ΣL), которая представляет собой строительную длину горочной горловины, следовательно, целевая функция принимает вид:

$$\sum L = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m k_j \rightarrow \min \quad (3)$$

Параметры участков сопряжения во многом зависят от типа замедлителей парковой тормозной позиции (ТПП), которые допускается размещать в кривой, либо только на прямолинейном участке пути. В [5] разработана методика расчета таких параметров участков сопряжения, которые обеспечивают размещение ТПП в пучке на минимальном расстоянии от вершины горки при определенных углах дополнительных кривых на спускной части β_1 и β_2 . При этом разработаны аналитические зависимости, позволяющие минимизировать координату конца основной сопрягающей кривой, за которой на прямом участке пути в створе размещаются замедлители ТПП. Кроме того, на параметры участков сопряжения влияют величины углов поворотов спускной части горки. Следовательно, возникает задача определения таких величин углов дополнительных кривых на спускной части, которые обеспечивают выполнение условия (3).

В соответствии с [6, 7] вторые тормозные позиции смежных пучков, соединенных общим

стрелочным переводом, как правило, должны проектироваться в створе. При этом обеспечиваются примерно одинаковые расстояния от вершины горки до вторых тормозных позиций, наименьшая вероятность одновременного нахождения двух отцепов на смежных позициях, наилучшие условия построения профиля, прокладки воздухопровода и устройства котлованов под замедлители. Для выполнения указанного условия углы поворота кривых перед второй тормозной позицией приняты равными $\beta_2 = \beta_2' = \beta_2''$.

В работе [8] представлена методика нахождения всех возможных значений углов поворотов дополнительных кривых спускной

части горки β_1 и β_2 при которых конструкция горловины отвечает нормативным требованиям. Совокупность всех допустимых углов представляет собой многоугольник на координатной плоскости $\beta_1\beta_2$, который назван областью допустимых углов (ОДУ), образованный пересечением допустимых полуплоскостей всех сортировочных путей. Так, для горловины, представленной на рис. 2, ОДУ представляет собой многоугольник ABCD (рис. 3), который образован графиками функций $\beta_2 = f(\beta_1)$ для путей с номерами 12, 21, 26, а также ограничением E_{\min} , которое учитывает необходимость обеспечения допустимого междупутного расстояния между смежными пучками.

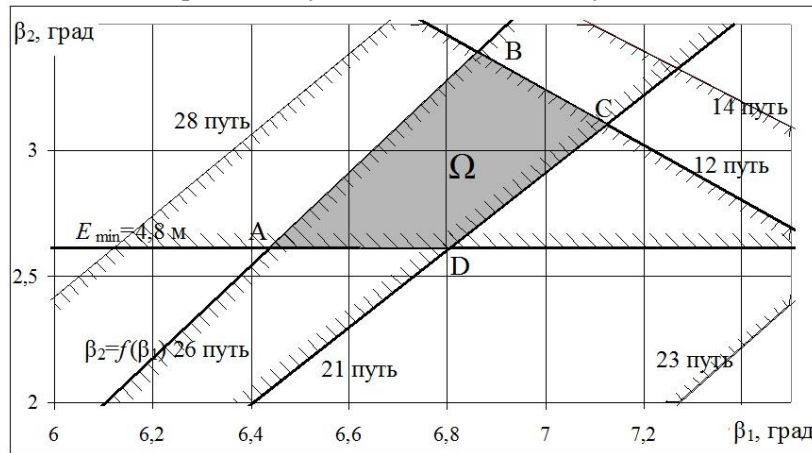


Рис. 3. Область допустимых углов горочной горловины

Таким образом, ограничениями целевой функции (3) являются

$$\begin{cases} \beta_1, \beta_2 \in \Omega; \\ R_{\text{осн}} \geq R_{\text{min}}; R_{\text{доп}} \geq R_{\text{min}}. \end{cases} \quad (4)$$

где Ω – область допустимых углов β_1 и β_2 ;

$R_{\text{осн}}$, $R_{\text{доп}}$ – радиусы, соответственно основной и дополнительной сопрягающих кривых.

Для дальнейших исследований в полученной области допустимых углов Ω было выбрано множество точек, для которых, с использованием соответствующего программного обеспечения, рассчитывалась величина ΣL . Схема расчета и таблица результатов приведены соответственно на рис. 4 и в таблице 1.

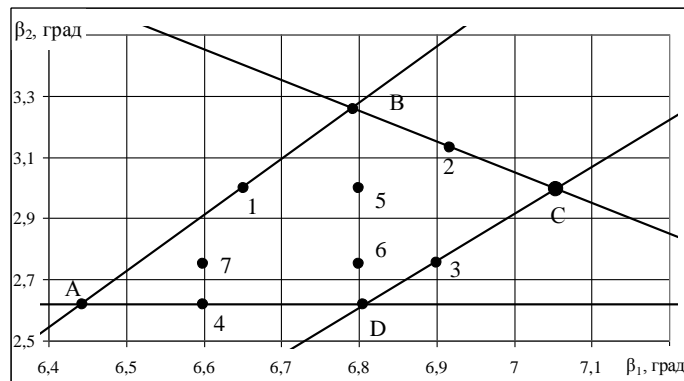


Рис. 4 Схема определения оптимальных значений углов β_1 и β_2

Результаты оптимизации углов β_1 и β_2

№ точки	β_1	β_2	ΣL , м
A	6°26'38"	2°37'00	1 307,3
B	6°47'35	3°15'29	1 220,4
C	7°03'18	2°59'42	1 211,1
D	6°48'18	2°37'00	1 254,3
1	6°39'07	3°00'00	1 254,4
2	6°55'01	3°07'48	1 214,0
3	6°54'00	2°45'18	1 212,9
4	6°36'00	2°37'00	1 274,9
5	6°48'00	3°00'00	1 228,8
6	6°48'00	2°45'00	1 248,9
7	6°36'00	2°45'00	1 286,5

Из приведенной таблицы видно, что наилучшим является вариант конструкции в точке С, при котором обеспечивается минимальная строительная длина путевого развития горловины – 1211,1 м, что позволяет сократить потребность в рельсо-шпальной решетке на 80 – 90 м.

Как показывает анализ результатов исследования, величина ΣL максимальна при минимальных углах дополнительных кривых спускной части горки β_1 и β_2 , с увеличением их значений наблюдается сокращение строительной длины горловины. Таким образом, поиск оптимальных значений β_1 и β_2 , при которых обеспечивается минимальная строительная длина горочной горловины при размещении ПТП на прямом участке за основной сопрягающей кривой, следует вести на верхней границе области допустимых углов (отрезок ВС, см. рис. 4) с использованием методов прямого поиска [9, 10]. Установлено, что применение предложенного метода позволяет сократить строительную длину путевого развития горочной горловины на 6-8 %. Полученные результаты исследований могут быть использованы при строительстве новых и реконструкции существующих сортировочных горок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Родимов, Б. А. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных горок [Текст] /Б. А. Родимов, В. Е. Павлов, В. Д. Прокинова. – Москва: Транспорт, 1980. – 96 с.
2. Огар, О. М. Напрямки удосконалення конструкцій гіркових горловин сортувальних пристроїв з позиції ресурсозбереження [Текст] / О. М. Огар, О. В. Розсоха // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 5/2 (29). – С. 45–49.
3. Данько, М. І. Розробка методу комплексної оцінки конструкцій гіркових горловин [Текст] / М. І. Данько, О. М. Огар, О. В. Розсоха // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 6/3 (42). – С. 30–33.
4. Луговцов, М. Н. Проектирование мортировочных горок [Текст] / М. Н. Луговцов, В. Я. Негрей. – Гомель: УО «БелГУТ», 2005. – 170 с.
5. Бобровский, В. И. Устройство сопрягающих кривых при размещении парковых замедлителей на прямых участках сортировочных путей [Текст] / В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Транспортні системи та технології перевезень : Зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Вип. 5 – Д.: ДНУЗТ, 2013.– С. 17-23.
6. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207-89. [Текст]. – Москва: Транспорт, 1992. – 104 с.
7. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств [Текст] / под ред. Ю. А. Муха. – Москва: Транспорт, 1994. – 220 с.
8. Бобровский, В. И. Совершенствование метода расчета параметров плана горочных горловин [Текст] /В. И. Бобровский, А. И. Колесник // Автоматика, телемеханіка, зв'язок : Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Вип. 26 – Донецк: ДонІЗТ, 2011.– С. 40–47.
9. Банди, Б. Методы оптимизации. Вводный курс [Текст] / Б. Банди // Пер. с англ. – Москва: Радио и связь, 1988. – 128 с.
10. Реклейтис, Г. Оптимизация в технике [Текст] Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел // Пер. с англ. – Москва: Мир, 1986. – 349 с.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Огарем А. Н. (Украина)

Поступила в редколлегию 29.10.2014.

Принята к печати 30.10.2014.