

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК

Колесник А. И. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта, Украина.

Аннотация. В данной статье разработан метод комплексного расчета высоты и продольного профиля сортировочной горки. Полученная конструкция профиля обеспечивает докатывание отцепов до расчетной точки при минимальной высоте горки. Использование предложенного метода при проектировании сортировочных горок позволит снизить эксплуатационные расходы на расформирование составов и повысить качество сортировочного процесса.

Ключевые слова: сортировочная горка, коэффициент вогнутости, профиль, расформирование, расчетная точка.

THE IMPROVEMENT OF CALCULATION METHODS OF A LONGITUDINAL PROFILE OF SORTING HUMPS.

Kolesnyk A. I. Dnipropetrovsk national university of railway transport, Ukraine.

Annotation: The method of the complex of a height and a longitudinal profile of a sorting hump is given in this article. The received construction of the profile is ensuring the roll cuts to the target point with the minimum height of the hump. Using of this method during design of the sorting humps allow to reduce the operating costs to breaking up of trains and to increase the quality of the sorting process.

Key words: sorting hump, concavity factor, profile, breaking, target point.

Конструкция продольного профиля сортировочной горки, совместно с режимами торможения отцепов, оказывает основное влияние на качество сортировочного процесса, динамику скатывания вагонов и перерабатывающую способность горки. Определение рациональных величин уклонов спускной части представляет собой весьма сложную задачу, при решении которой необходимо учитывать множество технических и технологических требований к проекту горки.

В настоящее время существует множество методов определения уклонов спускной части горки, которые отличаются выбранным критерием оптимиза-

ции. В работе [1], с целью минимизации времени скатывания отцепов и получения наибольших интервалов на разделительных элементах, продольный профиль рекомендуется проектировать в виде брахистохроны. Однако подобный профиль горки обеспечивает минимальное время движения только при свободном скатывании отцепов. В то же время, как показано в [2], использование тормозных средств с целью регулирования интервалов между отцепами с разными ходовыми свойствами не позволяет на горках с профилем циклоидальной формы обеспечить минимальное время скатывания отцепов.

В работах [3, 4] оптимизацию горочного профиля предложено выполнять по критерию максимально возможной скорости расформирования составов. Однако, увеличение скорости роспуска составов может привести к дополнительным энергетическим расходам, ухудшению условий разделения отцепов, а также нарушению безопасности движения. Кроме того, увеличение скорости роспуска, с целью сокращения горочного технологического интервала, целесообразно только в периоды интенсивного прибытия поездов в расформирование.

С целью сокращения энергетических затрат на расформирование составов в [5] оптимизацию профиля предложено выполнять по критерию минимума погашаемой энергии на парковой тормозной позиции (ПТП). В то же время, уменьшение торможения на ПТП может привести к необходимости увеличения потребной мощности тормозных позиций на спускной части горки. При этом, перенос торможения с ПТП на первую и вторую тормозные позиции может привести к сокращению интервалов δt между отцепами на разделительных элементах спускной части. Кроме того, следует учитывать, что основные затраты на торможение отцепов зависят не от погашаемой энергетической высоты, а от количества включений замедлителей. Таким образом, задача оптимизации уклонов продольного профиля сортировочной горки до настоящего времени не получила окончательного решения.

В данной работе предложена методика определения рациональной конструкции продольного профиля по критерию минимизации высоты сортировочной горки H_g , при условии докатывания плохого бегуна до расчетной точки $S_{рт}$

и обеспечении всех необходимых технико-технологических требований. Уменьшение высоты, при определенной конструкции подвижной части, даст возможность сократить энергетические расходы на надвиг состава на горку, при вытягивании групп вагонов из сортировочного парка в случае необходимости их повторной сортировки, а также позволит сократить необходимую мощность тормозных позиций. Таким образом, необходимо найти такой профиль горки, при котором выполняется условие

$$H_{\Gamma} = \sum_{j=1}^n i_j l_j \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях

$$V_{\Pi} S_{\text{пр}} = 0, \quad (2)$$

$$i_1 \geq \dots \geq i_{j-1} \geq i_j \geq i_{j+1} \geq \dots \geq i_n. \quad (3)$$

где i, l – соответственно уклон и длина элемента профиля;

n – количество элементов профиля;

$V_{\Pi}(S_{\text{пр}})$ – скорость плохого бегуна в расчетной точке.

Как известно, продольный профиль сортировочной горки состоит из следующих участков: одного или двух элементов скоростного участка ($i_{\text{ск1}}, i_{\text{ск2}}$), первой тормозной позиции $i_{\text{ТП1}}$, промежуточного элемента $i_{\text{пр}}$, второй тормозной позиции $i_{\text{ТП2}}$, стрелочной зоны $i_{\text{сз}}$, парковой тормозной позиции $i_{\text{ПТП}}$ и участка сортировочных путей $i_{\text{сп}}$ с соответствующими уклонами.

Уклоны $i_{\text{сз}}, i_{\text{ПТП}}$ и $i_{\text{сп}}$ принимаются в соответствии с Правилами проектирования сортировочных устройств. Величины уклонов $i_{\text{ск1}}$ и $i_{\text{ск2}}$ определяются исходя из обеспечения минимального интервала на первом разделительном элементе при максимальной скорости роспуска и благоприятных климатических условиях; при этом, используются методы имитационного моделирования.

Таким образом, неизвестными являются уклоны тормозных позиций спускной части $i_{\text{ТП1}}$ и $i_{\text{ТП2}}$ и промежуточного элемента $i_{\text{пр}}$, которые могут быть представлены вектором $\mathbf{I}=(i_{\text{ТП1}}, i_{\text{пр}}, i_{\text{ТП2}})$. Следовательно, необходимо найти вектор \mathbf{I}^* , удовлетворяющий условию (1) и дополнительным ограничениям

$$i_{\text{ТП1}} \geq i_{\text{ТП1}}^{\min}, \quad i_{\text{пр}} \geq i_{\text{пр}}^{\min}, \quad i_{\text{ТП2}} \geq i_{\text{ТП2}}^{\min}. \quad (4)$$

где $i_{\text{ТП1}}^{\min}$, $i_{\text{пр}}^{\min}$, $i_{\text{ТП2}}^{\min}$ – минимальные уклоны соответствующих элементов профиля.

С целью определения вектора \mathbf{I}^* необходимо предварительно исследовать конструкцию продольного профиля от вершины горки до расчетной точки. При этом, характеристикой профиля горки может выступать степень его вогнутости, которая зависит от значений уклонов и длин отдельных его элементов. Указанную характеристику предлагается оценивать коэффициентом вогнутости μ , который определяется как:

$$\mu = 1 - \frac{P}{P_{\max}}, \quad (5)$$

где P – площадь продольного сечения сортировочной горки при некотором профиле;

P_{\max} – максимально возможная площадь продольного сечения горки (при однородном уклоне от вершины горки до расчетной точки).

Продольный профиль (рис.1) может быть описан совокупностью функций $f_j(S)$ [6], каждая из которых должна удовлетворять условиям

$$f_j(s_j) = h(s_j), \quad f_j(s_{j+1}) = h(s_{j+1}), \quad (6)$$

$$f'_j(s_j) = K_j, \quad f'_j(s_{j+1}) = K_{j+1}, \quad j = 1, \dots, n-1 \quad (7)$$

где K_1, \dots, K_n – свободные параметры – угловые коэффициенты касательных;

$h(s_1), \dots, h(s_n)$ – отметки профиля горки в точках $s_1 < \dots < s_n$.

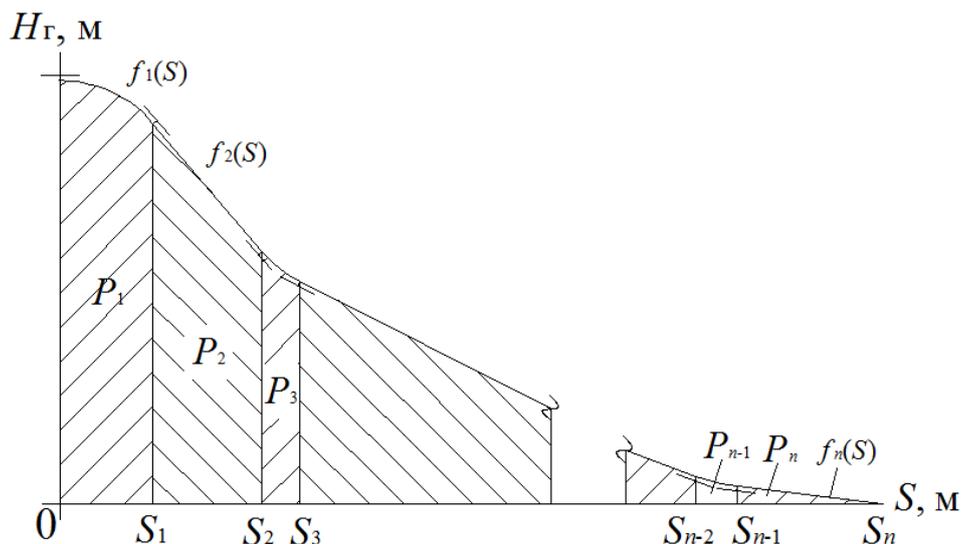


Рис. 1. Продольное сечение сортировочной горки

Следовательно, коэффициент μ можно определить из выражения:

$$\mu = 1 - \frac{\int_0^{S_1} f_1 S dS + \int_{S_1}^{S_2} f_2 S dS + \dots + \int_{S_{n-1}}^{S_n} f_n S dS}{\int_0^{S_n} f_{\max} S dS} \quad (8)$$

где S_{i-1}, S_i – соответственно координаты начала и конца элемента.

Установлено, что при постоянной высоте горки между коэффициентом μ и скоростью плохого бегуна (Π) в расчетной точке $V_{\text{рт}}$ при его свободном скатывании существует функциональная связь $V_{\text{рт}}=f(\mu)$, график которой приведен на рис. 2.

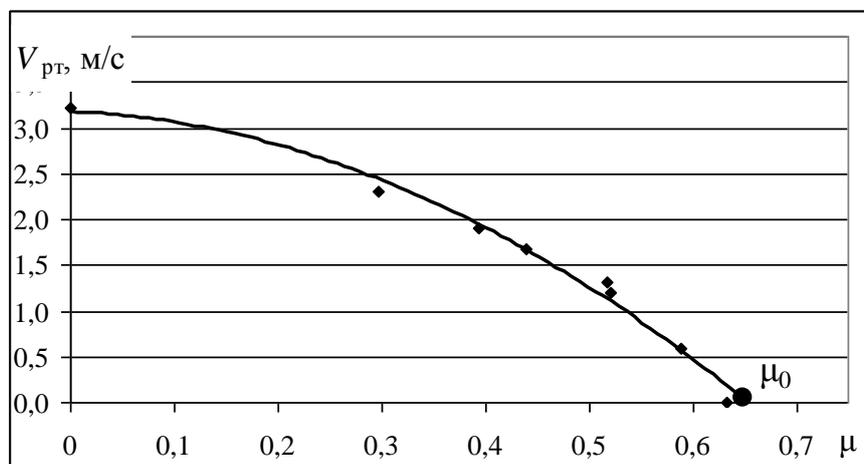


Рис. 2. График зависимости скорости $V_{\text{рт}}$ от коэффициента вогнутости μ .

Из рисунка видно, что с увеличением коэффициента вогнутости профиля наблюдается существенное снижение скорости отцепа в расчетной точке; значение коэффициента μ_0 , при котором скорость отцепа ОП в расчетной точке $V_{рт}=0$, в дальнейшем именуется базовым.

Как показали исследования, между высотой горки H_r и базовым коэффициентом вогнутости μ_0 существует линейная зависимость. В качестве примера на рис. 3 для определенной конструкции горки и расчетных климатических условий приведен график зависимости $H_r = f(\mu_0)$.

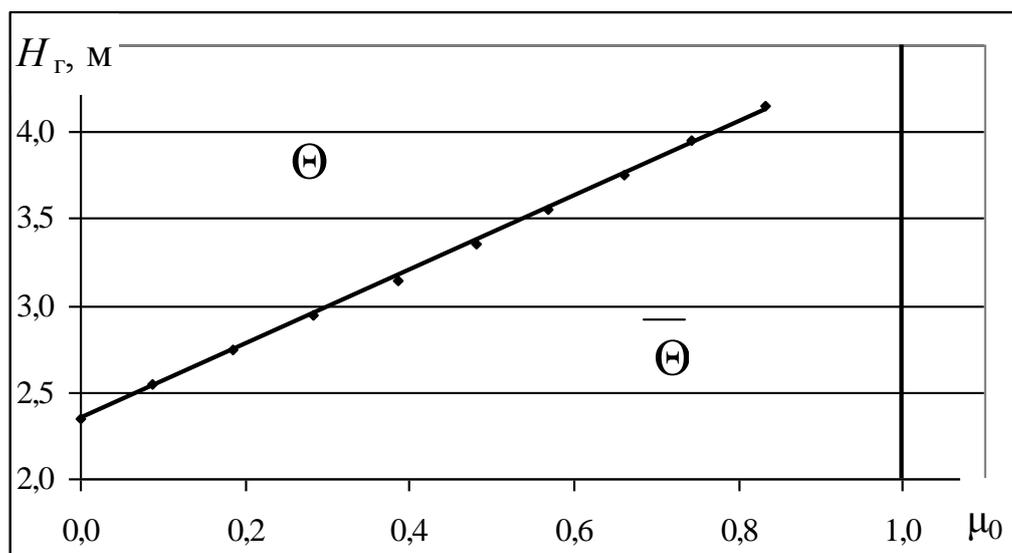


Рис. 3. График зависимости высоты горки от базового коэффициента вогнутости профиля

Как видно из рисунка график функции $H_r = f(\mu_0)$ делит координатную плоскость $\mu_0 O H_r$ на допустимую (Θ) и недопустимую ($\bar{\Theta}$) полуплоскости. При этом, точки (μ_0, H_r) , принадлежащие линии $H_r = f(\mu_0)$, соответствуют таким конструкциям горки, которые обеспечивают докатывание отцепа П до расчетной точки со скоростью $V_{рт}=0$. Таким образом, параметры вектора \mathbf{I}^* , соответствуют горкам со значениями μ_0 и H_r , которые принадлежат прямой $H_r = f(\mu_0)$.

С целью определения параметров вектора \mathbf{I}^* можно воспользоваться методом Хука-Дживса. При этом, первоначально из допустимой области уклонов $i_{ТП1}$, $i_{пр}$, $i_{ТП2}$ (ограничения (3, 4)) выбирается произвольная базисная точка $x_1(i_1, i_2, i_3)$ и определяется шаг длиной Δi для каждой переменной i_j . В точке x_1 конструкции горки соответствует определенная высота H_1 и коэффициент во-

гнутости μ_1 . Подставляя в функцию $H_\Gamma = f(\mu_0)$ полученное значение μ_1 вместо μ_0 определяется высота горки, для которой коэффициент μ_1 будет соответствовать базисному; при этом целевой функцией является выражение (1) при ограничении

$$H_j \geq H_\Gamma. \quad (9)$$

В процессе оптимизации каждая переменная по очереди изменяется прибавлением длины шага Δi , вычисляется значение целевой функции H_j и выполняется проверка условия (9). В случае увеличения значения целевой функции, величина Δi вычитается. Когда рассмотрены все переменные, получаем новую базисную точку x_2 . Если $H_1 = H_2$, т.е. уменьшение шага не было достигнуто, то исследование повторяется вокруг базисной точки x_1 , но с уменьшенной длиной шага. В случае $H_1 \neq H_2$, то поиск точки x_3 производится движением по образцу, который заключается в использовании информации, полученной в процессе исследований. Минимизация функции выполняется в направлении заданном образцом, если переменные в точке x_3 являются недопустимыми, поиск по образцу не производится, а выполняются исследования в окрестностях точки x_2 . На рис. 4 для конкретной горки показана схема определения параметров вектора \mathbf{I}^* методом Хука-Дживса.

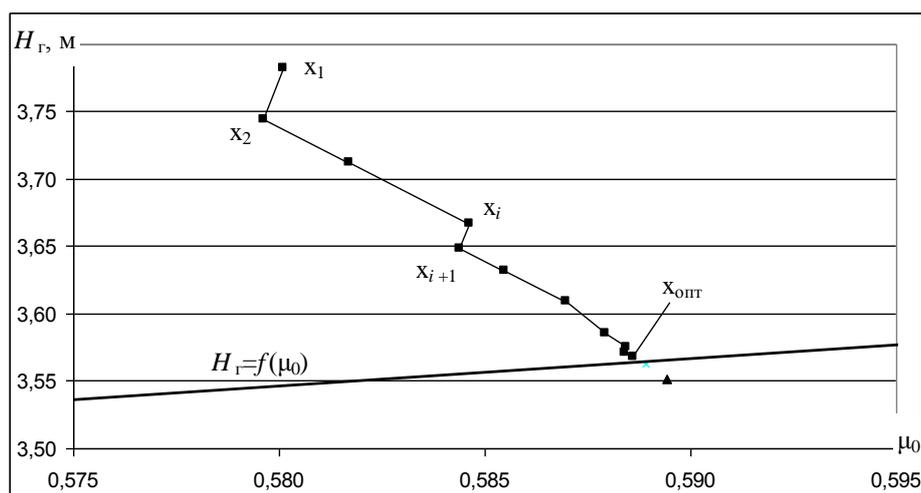


Рис. 4. Схема поиска оптимального варианта методом Хука-Дживса.

Как видно из рисунка, точка $x_{\text{опт}}$ с оптимальными параметрами вектора \mathbf{I}^* принадлежит прямой $H_\Gamma = f(\mu_0)$, что свидетельствует о минимальной высоте горки и обеспечении докатывания отцепов до расчетной точки.

Установлено, что расчет продольного профиля с использованием предложенной методики дает возможность снизить высоту горки на 7...10 % по сравнению с существующими подходами к проектированию сортировочных горок, что позволяет сократить энергетические затраты на переработку вагонов и повысить качество сортировочного процесса.

Литература:

1. Павлов, В. Е. Брахистохрона применительно к сортировочной горке / В. Е. Павлов // Применение современных математических методов в эксплуатации железных дорог // Сб. научн. тр. ЛИИЖТа. – Вып. 300. – Транспорт, Ленинград, 1969. – С. 138-146.
2. Правдин, Н. В., Анализ существующих методов расчета сортировочных горок / Н. В. Правдин, С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2004. – №5. – С. 22-27.
3. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств / под ред Ю. А. Мухи. – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.
4. Бессоненко, С. А. Принципы оптимизации параметров сортировочных горок / С.А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2010. – №5. – С. 17-20.
5. Огарь, А. Н. Методика оптимизации значений уклонов элементов продольного профиля сортировочных горок/ А. Н. Огарь // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001.- №3.- С. 18-22.
6. Бобровский, В. И. Представление продольного профиля сортировочных горок в АСУ расформированием составов // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - №1, 2. - С. 19 - 25.