

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

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ НА ДИНАМИКУ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ

В данной статье приведены результаты исследований, которые касаются влияния конструкции продольного профиля сортировочной горки на динамику скатывания отцепов. Параметры профиля горки предложено оценивать степенью его вогнутости, которая существенно влияет на скорость движения плохого бегуна в расчетной точке. Полученные результаты целесообразно учитывать при проектировании новых и реконструкции существующих сортировочных горок.

*Ключевые слова:* сортировочная горка, продольный профиль, вогнутость, отцеп.

In the present article the results of the research of an influence of a construction of a longitudinal profile of a sorting hump are given. The parameters of a sorting hump profile were suggested to be estimated with a degree of its concavity which has a significant impact on a speed of a bad runner in the target point. It is reasonable to consider the given results when working out a project of a new sorting hump or when reconstructing the existing ones.

*Ключевые слова:* сортировочная горка, продольный профиль, вогнутость, отцеп.

The results of the research of an influence of a construction of a longitudinal profile of a sorting hump are given in this article. The parameters of a sorting hump profile were suggested to be estimated with a degree of its concavity which has a significant impact on a speed of a bad runner in the target point. It is reasonable to consider the given results when working out a project of a new sorting hump or when reconstructing the existing ones.

*Key words:* sorting hump, longitudinal profile, concavity, cut.

Конструкция сортировочной горки оказывает существенное влияние на качество сортировочного процесса. Продольный профиль горки должен обеспечивать необходимые интервалы между отцепами на разделительных элементах при установленной скорости роспуска составов. Оптимизация величин уклонов спускной части горки представляет собой весьма сложную задачу, при решении которой необходимо учитывать особенности динамики скатывания отцепов с различными ходовыми качествами, а также обеспечить выполнение всех конструкционных и технологических требований к проекту сортировочной горки.

При решении указанной задачи используются различные критерии оптимальности продольного профиля, от выбора которых в значительной мере зависит эффективность функционирования сортировочной горки. Так, в [1] оптимальной считается конструкция горки, которая обеспечивает минимальную величину горочного технологического интервала. Однако, в современных условиях функционирования железнодорожного транспорта время расформирования состава не является основным показателем сортировочного процесса. Действительно, увеличение скорости роспуска, которая определяет продолжительность сортировки,

приводит к возрастанию расходов на надвиг составов на горку. Кроме того, сокращение горочного интервала целесообразно только в периоды интенсивного прибытия поездов либо при наличии завершающих групп вагонов в расформируемых составах.

С целью интенсификации сортировочного процесса путем увеличения скорости роспуска составов в ряде работ профиль спускной части горки рекомендуется проектировать ступенчатым (см., например, [2]). Однако, как показали исследования [3], ступенчатый профиль сортировочной горки не обеспечивает условий пропуска длиннобазных вагонов, приводит к значительному дополнительному вертикальному смещению осей автосцепок и их силовому взаимодействию на спускной части горки и поэтому не может считаться целесообразным, исходя из условий сохранности подвижного состава.

Оптимизация параметров горки по критерию минимума потребной мощности замедлителей спускной части [4] при скатывании очень хорошего бегуна (ОХ) также не позволяет установить наилучший профиль. При решении данной задачи необходимо учитывать динамику скатывания не одного вагона ОХ, а всего потока отцепов с различными ходовыми каче-

ствами при определенных режимах торможения, обеспечивающих надежное разделение отцепов на стрелках. При этом, изменение режима торможения может потребовать существенного увеличения потребной мощности тормозных позиций. Минимизация мощности парковой тормозной позиции [5] также не является наилучшим критерием оптимизации продольного профиля горки, поскольку основные энергетические затраты на торможение отцепов зависят не от величины погашаемой мощности, а от числа включений замедлителей. Таким образом, как показывает анализ, задача оптимизации уклонов продольного профиля сортировочной горки до настоящего времени не получила окончательного решения.

При фиксированной высоте сортировочной горки существует бесчисленное множество вариантов продольного профиля  $\mathbf{I} = (i_1, i_2, \dots, i_n)$ , каждый из которых может быть представлен точкой в  $n$ -мерном пространстве уклонов отдельных его элементов (рис.1). Следовательно, целью оптимизации продольного профиля является отыскание вектора  $\mathbf{I}^*$ , который, при условии соблюдения необходимых технико-эксплуатационных ограничений, обеспечит максимальную эффективность сортировочного процесса на горке. Для решения данной задачи в настоящей работе выполнены исследования влияния конструкции профиля на скорость отцепов в расчетной точке  $V_{пр}$ , что в дальнейшем позволит определить параметры сортировочной горки, обеспечивающие наилучшую динамику скатывания отцепов.

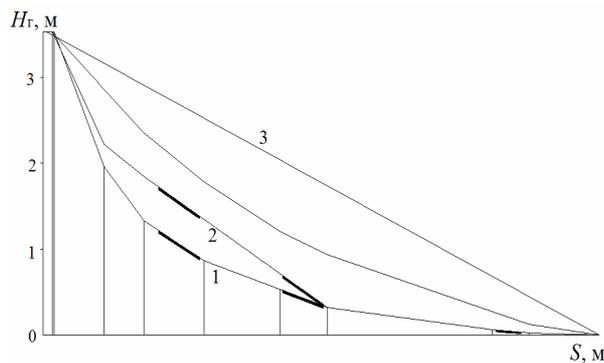


Рис. 1. Варианты профиля сортировочной горки

Конструкционной характеристикой профиля горки может выступать степень его вогнутости, которая зависит от значений уклонов и длин отдельных его элементов. Указанную характеристику предлагается оценивать коэффициентом вогнутости  $\xi$ , который представляет собой отношение площади продольного сечения  $P$

рассматриваемой горки к ее максимально возможной площади  $P_{max}$ . Очевидно, что величина  $P_{max}$  соответствует продольному профилю горки с одинаковым уклоном от условной вершины до расчетной точки (см.рис.1, профиль 3).

Отдельные элементы профиля на координатной плоскости  $SOH_r$  представляют собой графики функций  $H_r = f(S)$ . Следовательно, площадь продольного сечения в пределах некоторого элемента профиля  $P_i$  можно найти как

$$P_i = \int_{S_{i-1}}^{S_i} f(S) dS \quad (1)$$

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

На рис. 2 показана схема определения площади продольного сечения сортировочной горки.

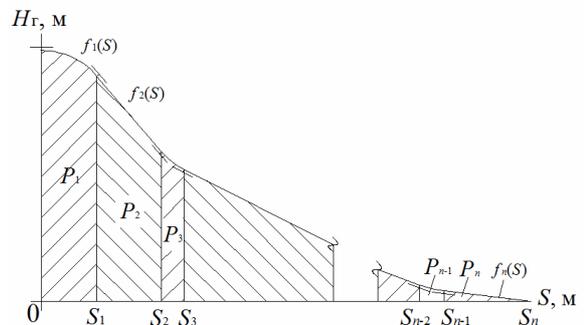


Рис. 2. Схема определения площади продольного сечения горки

Как видно из рисунка, площадь продольного сечения сортировочной горки определяется суммой площадей ее отдельных элементов  $P_i$ :

$$P = \int_0^{S_1} f_1(S) dS + \int_{S_1}^{S_2} f_2(S) dS + \dots + \int_{S_{n-1}}^{S_n} f_n(S) dS \quad (2)$$

где  $n$  – количество элементов профиля.

Таким образом, коэффициент вогнутости  $\xi$  может быть определен как

$$\xi = \frac{\int_0^{S_1} f_1(S) dS + \int_{S_1}^{S_2} f_2(S) dS + \dots + \int_{S_{n-1}}^{S_n} f_n(S) dS}{\int_0^{S_{1max}} f_{1max}(S) dS + \int_{S_{1max}}^{S_{2max}} f_{2max}(S) dS} \quad (3)$$

где  $S_{1max}$ ,  $S_{2max}$  – соответственно, координаты условной вершины горки и расчетной точки.

Как показывают результаты имитационного моделирования, степень вогнутости профиля оказывает существенное влияние на динамику скатывания отцепов с горки. Для примера на

рис. 3 приведены графики скорости и времени торможения по профилям 1 и 2 (см. рис. 1). скатывания очень плохого бегуна (ОП) без то-

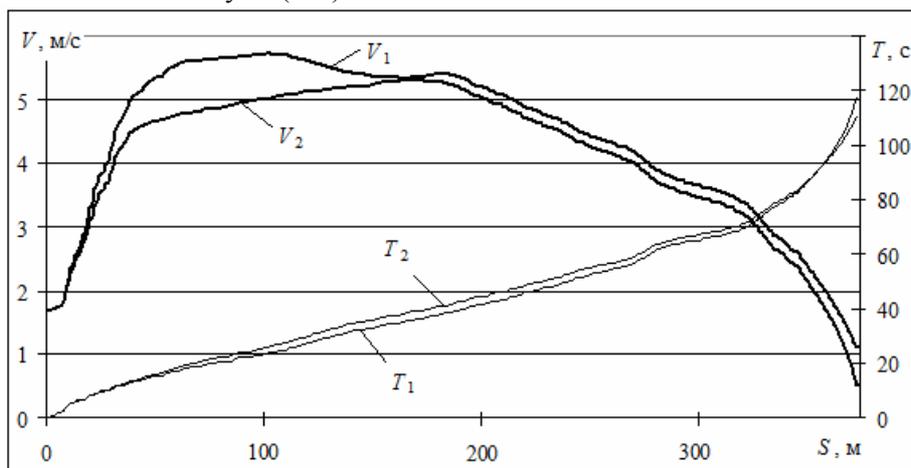


Рис. 3. Графики  $V=f(S)$  и  $T=f(S)$  для различных профилей горки

Как видно из рисунка, скорость движения отцепа ОП на участке от вершины горки до пучкового стрелочного перевода ( $S=173$  м) по профилю 1 существенно выше по сравнению с профилем 2. После прохождения пучковой стрелки ситуация изменяется: скорость отцепа при скатывании его по профилю 2 становится выше, чем по профилю 1; при этом разность скоростей остается практически постоянной до расчетной точки маршрута.

Изменение характера движения объясняется тем, что при скатывании по более пологому участку профиля отцеп имеет меньшую скорость и, как следствие, меньшее сопротивление движению; при этом сохраняется энергия, за счет которой происходит увеличение скорости скатывания на участке стрелочной зоны.

В соответствии с [6] высота горки должна обеспечивать докатывание плохого бегуна до расчетной точки. Для проверки выполнения данного требования при различной степени вогнутости профиля горки были исследованы режимы скатывания отцепа ОП на горках с одинаковой высотой и различными значениями коэффициента  $\xi$ . Оказалось, что скорость отцепа ОП в расчетной точке  $V_{рт}$  существенно зависит от величины коэффициента вогнутости профиля  $\xi$  (см. табл. 1).

Как показали исследования, между коэффициентом вогнутости и скоростью отцепа ОП в расчетной точке существует корреляционная зависимость. На рис. 4 показаны варианты профиля сортировочной горки с различным значением коэффициента  $\xi$  и график зависимости  $V_{рт} = f(\xi)$ , полученный по данным табл. 1. Как видно из приведенного графика (см.

рис. 4, б), коэффициент  $\xi$  существенно влияет на скорость отцепа ОП в расчетной точке. При максимальной вогнутости профиля (см. табл. 1, вариант 1,  $\xi=0,366$ ) отцеп ОП не докатывается до расчетной точки ( $V_{рт} = 0$ ).

Таблица 1

**Скорости отцепа ОП в расчетной точке при различной вогнутости профиля**

№ п/п	$P, \text{ м}^2$	$P_{\text{max}}, \text{ м}^2$	$\xi$	$V_{рт}, \text{ м/с}$
1	263,0	718,1	0,366	0,000
2	294,7		0,410	0,598
3	344,6		0,480	1,202
4	346,0		0,482	1,321
5	403,1		0,561	1,671
6	435,1		0,606	1,908
7	505,2		0,704	2,299
8	718,1		1,000	3,212

Очевидно, что использование такого профиля приведет к недокатыванию плохих бегунов до расчетной точки и, соответственно, к увеличению числа и величины окон между отцепами, ликвидация которых требует дополнительных энергетических затрат.

При дальнейшем уменьшении вогнутости профиля и соответственном увеличении коэффициента  $\xi$  скорость  $V_{рт}$  плохого бегуна в расчетной точке существенно возрастает и при  $\xi > 0,55$  она превышает 1,5 м/с; очевидно, что при таком профиле может потребоваться дополнительное торможение отцепов на парковой тормозной позиции, и, соответственно, возрастут энергетические расходы на горке. Таким образом, как показали исследования, наилучшим является профиль горки с коэффициентом

вогнутости  $\xi = 0,4 \dots 0,55$ , при котором обеспечивается докатывание плохого бегуна до рас-

четной точки с допустимой скоростью соударения отцепов.

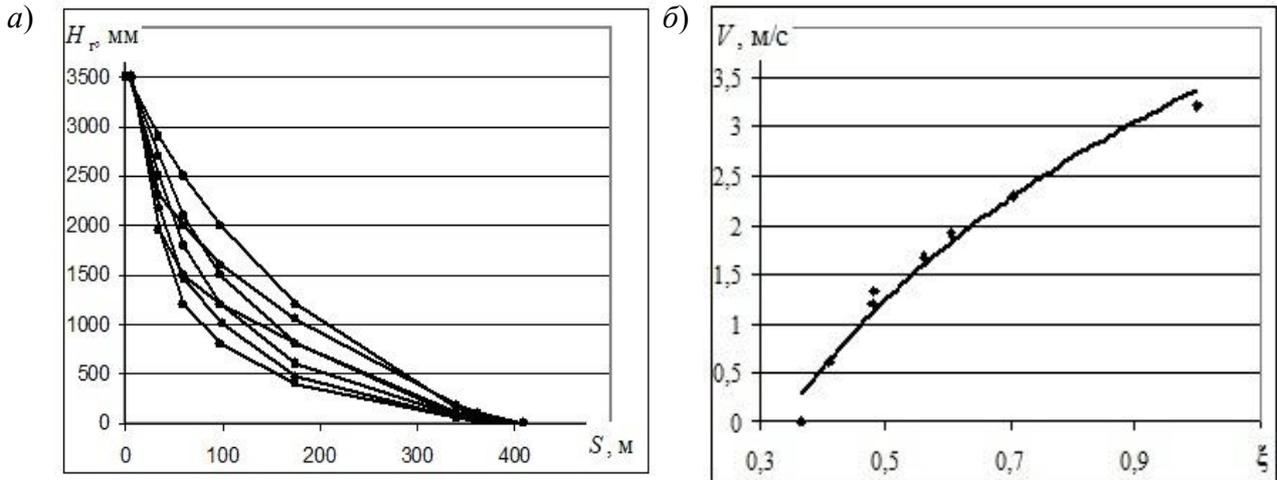


Рис. 4. Влияние вогнутости профиля горки на скорость отцепа ОП в расчетной точке:  
а - варианты продольного профиля горки; б - график зависимости

Степень вогнутости профиля оказывает существенное влияние не только на скорость, но и на время скатывания отцепов с горки (см. рис. 3). Для анализа указанного влияния на рис. 5 приведены графики зависимости времени  $T$  движения отцепа ОП от величины  $\xi$  для различных точек профиля (РТ – расчетная точка, ПТП – точка выхода из парковой тормозной позиции, 5СП – точка выхода из изолированного участка 5-й стрелки).

ветствующей точки на спускной части; очевидно, что указанный профиль не является наиболее вогнутым. При этом, чем ближе указанная точка к вершине горки, тем более вогнутый профиль обеспечивает минимальное время скатывания отцепа до этой точки.

Как показал анализ, в научных работах, посвященных исследованиям влияния продольного профиля на условия работы горок, как правило, рассматривается только расчетный трудный путь. При этом не учитываются особенности динамики скатывания на остальные пути сортировочного парка, профили которых могут достаточно существенно отличаться друг от друга. Указанные отличия вызваны особенностями конструкции поперечного профиля сортировочного парка, которая влияет на продольный профиль путей.

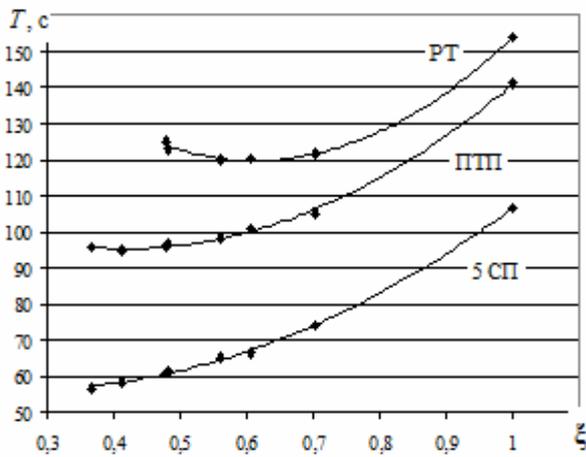


Рис. 5. Время движения отцепа ОП до различных точек спускной части горки

Как видно из рисунка, между коэффициентом вогнутости  $\xi$  и временем скатывания отцепа существует определенная связь. Наличие минимума в зависимостях  $T = f(\xi)$ , свидетельствует о существовании продольного профиля, который обеспечивает минимальное время движения отцепа от вершины горки до соот-

В соответствии с [6], поперечный профиль земляного полотна в пучке необходимо устраивать односкатным (либо двускатным) с уклоном 0,02 (рис. 6, а). Для минимизации расхода балласта и устойчивости балластной призмы целесообразно проектировать указанный поперечный уклон и по верху балласта.

Поперечный уклон пучка достигается путем изменения уклонов продольного профиля (за счет изменения толщины балластной призмы) после пучковой стрелки на каждом сортировочном пути. Очевидно, что максимальный поперечный уклон будет при условии проектирования крайних путей пучка, соответственно, с максимальным и минимальным допустимыми продольными уклонами, т.е.  $i_{c31} = 2,5 \text{ ‰}$  и  $i_{c38} = 1,5 \text{ ‰}$  (см. рис. 6, б).

При этом, как показал анализ, обеспечить уклон  $i_{п} = 20 \text{ ‰}$  по верху балласта при существующих ограничениях уклонов продольного профиля не представляется возможным. Расчетами установлено, что уклон по верху балласта

перед парковой тормозной позицией при 8 путях в пучке не превышает  $2,5 \dots 4 \text{ ‰}$ , в зависимости от числа путей в пучке и расстояния между пучковой стрелкой и парковой тормозной позицией.

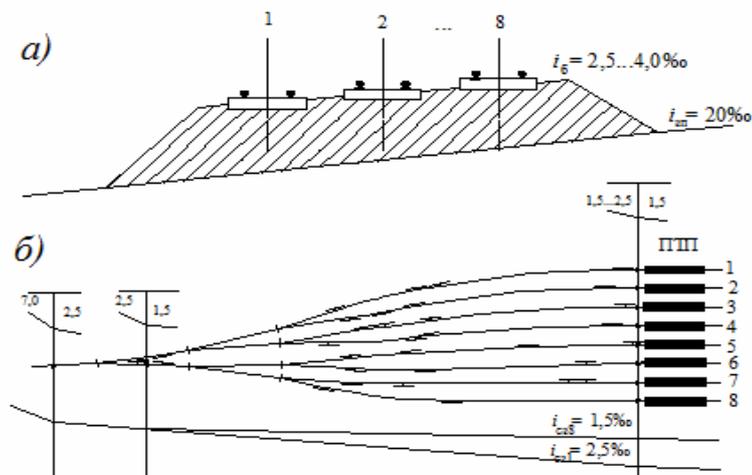


Рис. 6. Профиль пучка сортировочного парка:  
а – поперечный; б – продольный

Следовательно, изменения отметок отдельных путей, вызванные необходимостью обеспечения требований к конструкции поперечного профиля сортировочного парка, приводят к различиям продольного профиля путей. Указанные различия плана и продольного профиля оказывают значительное влияние на характер движения отцепов на разных сортировочных путях, что также необходимо учитывать при оптимизации продольного профиля горки.

Таким образом, в настоящей работе установлено, что на скорость движения отцепов в расчетной точке, совместно с высотой горки, существенное влияние оказывает конструкция ее продольного профиля, степень вогнутости которой предложено оценивать коэффициентом вогнутости  $\xi$ . Результаты исследований следует учитывать при решении задачи оптимизации продольного профиля сортировочной горки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессоненко, С. А. Принципы оптимизации параметров сортировочных горок [Текст] / С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2010. – № 5. – С.17-20.

2. Федотов, Н. И. Проектирование сортировочных горок [Текст]: учеб. пособие / Н. И. Федотов // – Новосибирск: НИИЖТ, 1981. – 83 с.

3. Дашков, М. Г. К вопросу проектирования ступенчатого профиля спускной части сортировочной горки [Текст] / М. Г. Дашков // Повышение эффективности эксплуатационной работы железных дорог. – Межвуз. сб. научн. тр. Новосибирск, 1987. – 153 с.

4. Берестов, И. В. До питання розробки методики комплексного розрахунку оптимальних конструктивних параметрів сортувальних гірок [Текст] / І. В. Берестов, О. М. Огар, О. Б. Ахієзер, М. Ю. Куценко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 2/3(38). – С. 56-60.

5. Огарь, А. Н. Методика оптимизации значений уклонов элементов продольного профиля сортировочных горок [Текст] / А. Н. Огарь // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 3. – С. 18-22.

6. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207-89 [Текст]. – М.: Транспорт, 1992. – 104 с.

Поступила в редколлегию 17.09.2012.

Принята к печати 19.09.2012.