

УДК 656.212.5:681.3

В. И. БОБРОВСКИЙ<sup>1\*</sup>, И. Я. СКОВРОН<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, 49010, ул. Лазаряна, 2, г. Днепро, Украина, тел. +38 (068) 444 63 95, эл. почта: 1973bvi@gmail.com, ORCID 0000-0001-8622-2920

<sup>2\*</sup> Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, 49010, ул. Лазаряна, 2, г. Днепро, Украина, тел. +38 (095) 230 50 34, эл. почта: norvoks@gmail.com, ORCID 0000-0003-0697-2698

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЯ ДВУСТОРОННЕГО СОРТИРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ

**Цель.** Основной целью совершенствования конструкции и режимов функционирования сортировочных устройств является минимизация расходов временных и энергетических ресурсов, особенно, при формировании многогранных составов. В этой связи задача определения оптимальных параметров предложенного двустороннего вспомогательного сортировочного устройства является актуальной. Целью данной работы является разработка методики оптимизации параметров профиля двусторонней горки и группировочного парка, обеспечивающих надежное разделение отцепов расформируемой группы вагонов. **Методика.** Для достижения поставленной цели использован метод оптимизации Бокса-Уилсона; необходимые данные получены в результате вычислительных экспериментов с использованием разработанной имитационной модели роспуска состава с горки малой мощности (ГММ). **Результаты.** Выполнена оценка качественных показателей различных вариантов продольного профиля предложенного устройства. Получены оптимальные значения параметров профиля сортировочной горки малой мощности, при которых обеспечиваются максимальные значения интервалов между отцепами на разделительных элементах горки. **Научная новизна.** Впервые решена задача поиска оптимального режима торможения отцепов расчетной группы на ГММ, при котором обеспечивается надежное разделение отцепов на разделительных элементах горки. Разработана методика поиска оптимальных параметров продольного профиля, обеспечивающая максимальное значение минимального интервала между отцепами расчетной группы. **Практическая значимость.** Разработанные методики оптимизации параметров продольного профиля и поиска оптимальных режимов торможения отцепов на тормозных позициях могут быть использованы для проектирования специализированных сортировочных устройств, а также при разработке автоматизированных систем управления процессом формирования многогранных составов на горках малой мощности.

**Ключевые слова:** двустороннее вспомогательное сортировочное устройство; горка малой мощности; продольный профиль; режим торможения.

### Введение

В современных условиях весьма важным является повышение экономической эффективности функционирования железнодорожного транспорта, которое может быть обеспечено путем совершенствования технических средств и технологии работы железнодорожных станций. Одним из наиболее продолжительных элементов процесса обработки вагонов на станциях является формирование составов. При этом все большее значение приобретает совершенствование методов и технических средств формирования многогранных составов, которое способствует сокращению простоя местных вагонов на станциях и ускорению доставки грузов, а также обеспечивает повышение экономи-

ческой эффективности перевозочного процесса.

### Анализ литературных источников и постановка задачи исследования

Указанной проблеме посвящено достаточно большое число научных работ, в которых были предложены рекомендации по совершенствованию конструкции устройств для повышения эффективности формирования многогранных составов. Так, в [1, 2] в результате исследований рекомендовано использовать для формирования многогранных составов основную сортировочную горку; при этом не учтено, что это может вызвать задержку основного сортировочного процесса станции. На основе анализа в работах [3-5] было показано, что применение дополнительных сортировочных устройств

ускоряет формирование поездов из вагонов местного потока, а также позволяет механизировать и автоматизировать данный процесс. Однако, как следует из указанных публикаций, формирование многогруппных составов на дополнительном сортировочном устройстве выполняется без повторной сортировки вагонов, что требует значительного путевого развития сортировочно-группировочного парка. Также в этих работах не учитывается необходимость использования специальных методов формирования многогруппных составов, которые позволяют значительно сократить потребность в сортировочных путях и продолжительность процесса формирования.

В работе [5] предложен метод определения числа и длины путей вспомогательных сортировочных парков, а также методика проектирования вспомогательных сортировочных устройств. В работах [6, 7] в качестве одного из возможных путей совершенствования сортировочной работы с многогруппными составами предложено применение вспомогательных сортировочных устройств. Автором были разработаны различные схемы односторонних сортировочных станций со вспомогательными сортировочными устройствами. Также выполнено исследование методов расчета числа и длины путей группировочного парка [7]. В качестве замечания следует отметить, что в указанных работах недостаточно внимания уделено определению параметров профиля сортировочных устройств, предлагаемых для формирования многогруппных составов, в связи с чем эффективность их применения может быть недостаточно высокой.

Таким образом, исследование и совершенствование технических средств и технологии формирования многогруппных составов является актуальной научно-прикладной проблемой.

С целью решения указанной проблемы необходимо выполнить ее всесторонний анализ, который позволит установить эффективное сортировочное устройство, оптимизировать параметры его профиля, а также разработать рациональную технологию формирования, что даст возможность минимизировать непроизводительные перемещения транспортных средств в процессе выполнения маневровой работы, сократить ее продолжительность и соответствующие эксплуатационные расходы.

## Цель

Целью работы является улучшение качества процесса формирования многогруппных составов на станциях.

## Методика

Формирование многогруппных составов обычно выполняется на сортировочных и участковых станциях на ограниченном числе путей путем многократного повторения сортировки вагонов, что связано со значительными затратами времени и энергоресурсов. В этой связи авторами было предложено специализированное сортировочное устройство [8–10], представляющее собой двустороннюю горку малой мощности (ГММ), расположенную между двумя группировочными парками ГрП1 и ГрП2 (см. рис. 1); двусторонняя сортировка вагонов на данном устройстве позволяет исключить операции сборки и вытягивания вагонов из группировочных парков на всех этапах формирования многогруппного состава и за счет этого сократить его продолжительность и уменьшить эксплуатационные расходы. В указанных работах приведены основные характеристики и общий принцип работы указанного двустороннего вспомогательного сортировочного устройства (ДВСУ).

На рис. 1 показана схема взаимного расположения основного сортировочного устройства (ОСУ) и двух группировочных парков – ГрП1 ( $P = 1$ ) и ГрП2 ( $P = 2$ ).

Конструкция продольного профиля сортировочной горки оказывает существенное влияние на качество сортировочного процесса. Определение рациональных величин уклонов спускной части представляет собой сложную задачу, при решении которой необходимо учитывать множество требований к конструкции горки. Кроме того, следует подчеркнуть характерную особенность двусторонней горки, к которой можно отнести различные значения ее высоты  $H_p^{ГММ}$  для двух группировочных парков ГрП1 и ГрП2.

Для обеспечения максимальной эффективности процесса формирования многогруппных составов необходимо разработать методику оптимизации продольного профиля ГММ. В этой связи в данной статье поставлена задача оптимизации параметров продольного профиля ДВСУ, схема которого приведена на рис. 2.

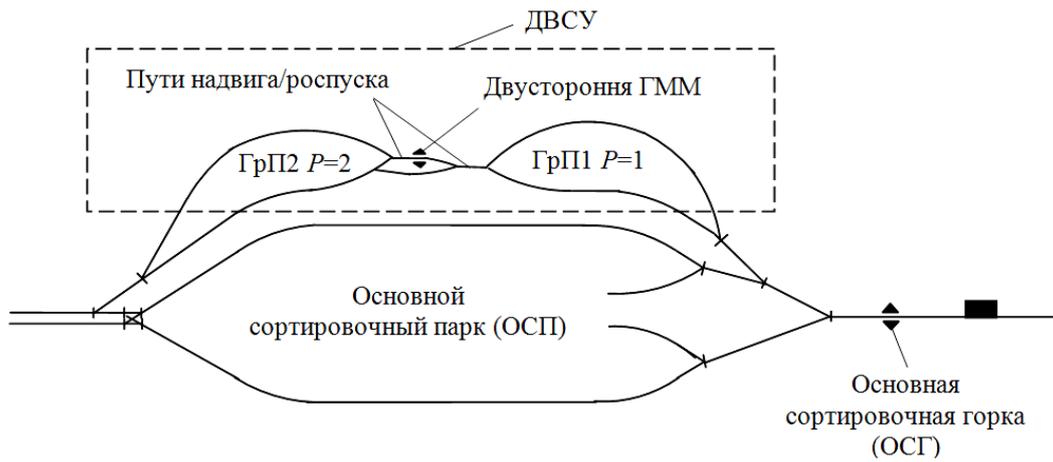


Рис. 1. Двустороннее вспомогательное сортировочное устройство для формирования многогруппных составов

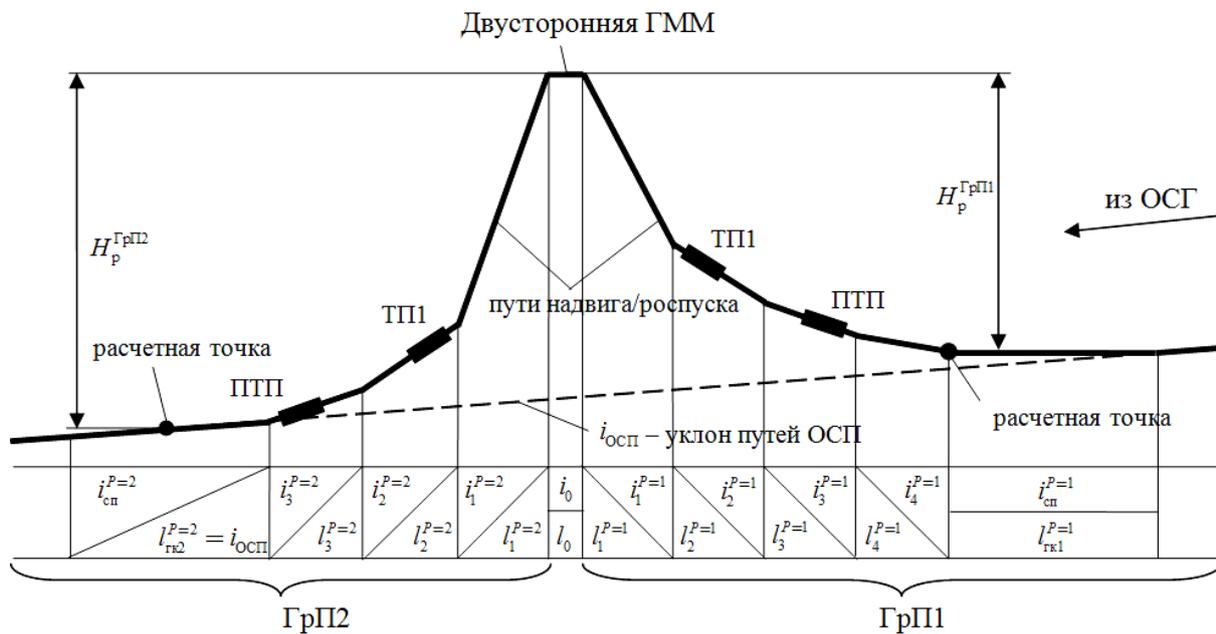


Рис. 2. Продольный профиль двустороннего вспомогательного сортировочного устройства

Как известно, продольный профиль горки должен обеспечить такую высоту горки  $H_p^{ГрП^P}$ , при которой выполняется условие докатывания отцепов до расчетной точки. При этом параметры профиля должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить наилучшие условия разделения отцепов, которые характеризуются величиной интервала  $\delta t$  на разделительных элементах.

Задача определения профиля горки решается на основе анализа условий разделения отцепов расчетной группы из 3-х отцепов; расчетная группа представляет собой неблагоприятное сочетание отцепов ОП-Х-ОП. Для указанной группы на каждом разделительном элементе определяют два значения интервала:

интервал  $\delta t_1$  в первой паре отцепов ОП-Х и интервал  $\delta t_2$  во второй паре Х-ОП.

В результате оптимизации необходимо найти такой профиль горки малой мощности, при котором выполняется условие

$$\min \{ \delta t_1(i_j); \delta t_2(i_j) \} \text{ ® } \max, \quad (1)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned}
 & i_j^{ГрП^P} > 0, \text{ при } P = 1, 2; j = 1, 2, \dots, k, \\
 & i_1^{ГрП^P} > i_2^{ГрП^P} > \dots > i_k^{ГрП^P}, i_1^{ГрП^P} \geq 25\%, \\
 & i_1^{ГрП^1} + i_1^{ГрП^2} \geq 55\%, i_1^{ГрП^1} - i_2^{ГрП^1} \geq 25\%, \\
 & i_2^{ГрП^P} = i_{2расч}^{ГрП^P}, i_4^{ГрП^P} = i_{4норм}^{ГрП^P}, \mathbf{e} \prod_{j=1}^{k(P)} i_j^{ГрП^P} = H_p^{ГрП^P},
 \end{aligned}$$

$$\delta t_1(i_j) > \delta t_{\min}, \delta t_2(i_j) > \delta t_{\min}.$$

где  $P$  – номер группировочного парка;

$j$  – номер элемента продольного профиля

$P$ -й сортировочной горки;

$k(P)$  – количество элементов продольного профиля  $P$ -й сортировочной горки;

$i_{j\text{норм}}^{\text{ГрПП}}$  – нормативное значение уклона  $j$ -го элемента профиля  $P$ -го группировочного парка;

$l_j^{\text{ГрПП}}$  – значение длины  $j$ -го элемента профиля  $P$ -го группировочного парка;

$i_{j\text{расч}}^{\text{ГрПП}}$  – расчетное значение уклона  $j$ -го элемента профиля  $P$ -го группировочного парка, обеспечивающее заданную высоту горки  $H_p^{\text{ГрПП}}$ ;

$\delta t_{\min}$  – минимальное значение интервала на конкретном разделительном элементе.

Продольный профиль  $P$ -ой ГММ состоит из следующих элементов: скоростного участка с параметрами  $i_1^p, l_1^p$ , первой тормозной позиции ( $i_2^p, l_2^p$ ), стрелочной зоны и парковой тормозной позиции ( $i_3^p, l_3^p$ ), а также участка сортировочных путей ( $i_4^p, l_4^p$ ).

Уклон  $i_4^p$  принимается нормированным в соответствии с Правилами проектирования сортировочных устройств. Величина уклона  $i_2^p$  определяется из условия обеспечения расчетной высоты горки  $H_p^{\text{ГрПП}}$ . Неизвестными являются уклоны скоростного участка  $i_1^p$  и стрелочной зоны  $i_3^p$ , которые можно представить вектором  $\mathbf{I} = (i_1, i_3)$ . При этом необходимо найти вектор  $\mathbf{I}^*$ , удовлетворяющий условию (1) и всем ограничениям.

Таким образом, для определения параметров вспомогательного сортировочного комплекса был выполнен поиск оптимальной конструкции двусторонней сортировочной горки, обеспечивающей максимум минимального интервала между отцепами на разделительных элементах; при этом оптимизация выполнялась с учетом всех действующих ограничений.

Для решения поставленной задачи оптимизации вначале был выполнен полный факторный эксперимент, который позволяет получить математическое описание исследуемого процесса в некоторой локальной области фактор-

ного пространства. В результате было получено уравнение, представляющее локальный участок поверхности отклика

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 \quad (2)$$

В данном исследовании в качестве функции отклика принят минимальный интервал ( $\delta t_{\min}$ ) между отцепами расчетной группы ОП-Х-ОП на разделительных элементах; при этом факторами являются уклоны первого ( $i_1$ ) и третьего ( $i_3$ ) элемента профиля. Для решения задачи оптимизации предварительно была установлена необходимая высота горки  $H_p^{\text{ГрПП}}$ , которая составила 1,216 м.

Для выполнения полного факторного эксперимента первоначально был разработан план эксперимента. Учитывая, что на функцию отклика влияют два фактора, каждый из которых варьируется на двух уровнях, число опытов равно  $2^2 = 4$ ; план эксперимента приведен в табл. 1.

Таблица 1

План эксперимента

Номер опыта	Факторы		Функция отклика $y$
	$X_1$	$X_2$	
1	+1	+1	$y_1$
2	+1	-1	$y_2$
3	-1	+1	$y_3$
4	-1	-1	$y_4$

В результате анализа данных выполненных исследований были приняты следующие значения основного уровня и шага варьирования для каждого фактора:

1 фактор  $-i_1$ : основной уровень  $x_{01} = 24$  ‰, шаг варьирования  $Dx_1 = 3$  ‰;

2 фактор  $-i_3$ : основной уровень  $x_{02} = 2$  ‰, шаг варьирования  $Dx_2 = 0,5$  ‰.

В соответствии с представленным планом эксперимента (табл. 1) были разработаны 4 варианта продольного профиля горки, обеспечивающих ее рассчитанную высоту  $H_p$  (табл. 2).

При этом, уклоны  $i_1$  и  $i_3$  варьировались в соответствии с (табл. 1), уклон  $i_4 = 0,6$  ‰, является нормативным, а уклон  $i_2$  определялся из условия обеспечения расчетной высоты горки.

Варианты продольного профиля

Элемент профиля	Уклон, ‰				Длина элемента, м
	Варианты профиля				
	1	2	3	4	
Скоростной участок	27	27	21	21	32,22
ТП1	6,155	9,721	15,372	18,937	20,975
Стрелочная зона	2,5	1,5	2,5	1,5	74,781
Сортировочные пути	0,6	0,6	0,6	0,6	50

С целью определения оптимальных значений уклонов элементов продольного профиля двусторонней горки предварительно были выполнены исследования влияния высоты ГММ и параметров ее продольного профиля на скорость роспуска и величину интервалов между отцепами на разделительных элементах. Для проведения указанных исследований была разработана имитационная модель процесса расформирования составов на ГММ, базовым элементом которой является модель управляемого скатывания отцепов с горки [11]. В указанной модели оптимизация режимов интервального регулирования скорости скатывания отцепов осуществляется с помощью итерационного метода. Данный метод построен на локальной оптимизации режима торможения среднего отцепа расчетной группы из трех смежных отцепов, которая определяется на каждом шаге итерации. Метод позволяет найти в расформируемом составе группы отцепов, близких по условиям разделения, и установить для них такие режимы торможения, при которых интервалы на разделительных стрелках для всех отцепов группы одинаковы. Это позволяет наилучшим образом распределить интервалы между отцепами состава и за счет этого обеспечить их надежное разделение на стрелках [11].

Как показано в [12], поиск режима торможения каждого отцепа целесообразно осуществлять на границе области допустимых режимов (ОДР) этого отцепа, что обеспечивает наилучшие условия разделения отцепов состава на разделительных стрелках. Однако приведенные в [12] рекомендации были получены для сортировочных горок с тремя тормозными позициями. Поэтому, в данной работе предварительно были выполнены исследования параметров ОДР на ГММ, оборудованной двумя тормозными позициями. Для разработанного ДВСУ множество допустимых режимов торможения скатывающегося отцепа может быть

представлено многоугольником на плоскости  $h'O'h''$  [13, 14]; данная ОДР приведена на рис. 3.

Следует заметить, что каждая точка ОДР  $h = \{h', h''\}$  определяет режим торможения, который обеспечивает движение отцепа с допустимой скоростью на спускной части горки, а также его докатывание до точки прицеливания с безопасной скоростью.

Ограничения ОДР определяются минимальной  $u'_{\min}$  и максимальной  $u'_{\max}$  скоростями выхода отцепа с ВТП, при которых выполняются условия прицельного регулирования. При этом минимальная скорость должна обеспечивать его докатывание до точки прицеливания со скоростью  $V_{\text{п}} = 0$  без торможения на парковой тормозной позиции (ПТП) –  $h'' = 0$ .

При максимальной скорости полностью используется мощность ПТП ( $h'' = H''$ ), а скорость отцепа в точке прицеливания равняется допустимой ( $V_{\text{п}} = V_{\text{пл}}$ ).

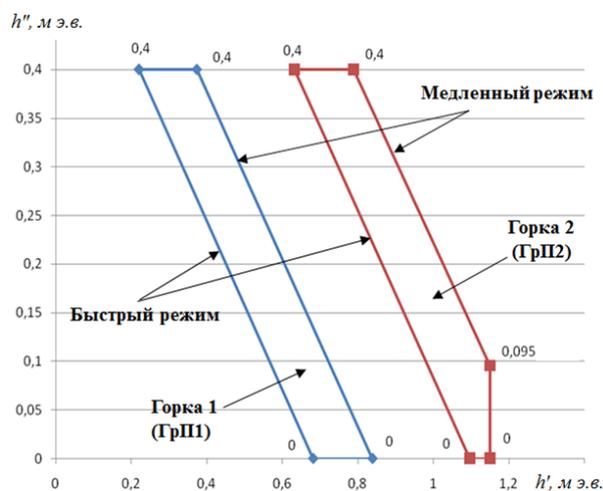


Рис. 3. ОДР вариантов торможения скатывающихся отцепов

Существенное влияние на качество сортировочного процесса на горке оказывает скорость роспуска составов. В разработанной модели скорость роспуска может быть задана

перед началом моделирования или определена в его процессе. В последнем случае должен быть задан минимальный допустимый интервал между отцепами на разделительных стрелках, а также необходимая точность расчета скорости роспуска. При этом в результате моделирования будет определена скорость роспуска состава, при которой минимальный интервал между отцепами на разделительных стрелках в неблагоприятных по условиям разделения группах отцепов не менее заданной величины.

В результате моделирования получают показатели качества интервального и прицельного регулирования (интервалы между отцепами на разделительных стрелках, а также скорости соударения вагонов и окна на сортировочных путях). Указанные показатели используют для оценки конструкции сортировочного устройства, а также режимов его работы.

Разработанная имитационная модель была использована для исследования и выбора рациональной конструкции предложенного ДВСУ и технологии его функционирования. При этом с ее помощью было выполнено моделирование скатывания отцепов расчетной группы ОП-Х-ОП при заданных вариантах продольного профиля ГММ (табл. 2).

Анализ результатов моделирования позволил для каждого опыта ПФЭ получить показатели процесса скатывания отцепов. При этом были определены минимальные интервалы  $\delta t_1, \delta t_2$  на разделительных элементах ГММ при заданных значениях уклонов элементов ее профиля  $i_1 - i_4$  (см. табл. 3).

Таблица 3

**Определение значений функции отклика**

Номер опыта	Факторы		Функция отклика $\delta t_{\min}$
	$i_1$	$i_3$	
1	27	2,5	2,67
2	27	1,5	2,99
3	21	2,5	2,12
4	21	1,5	2,44

В результате проведенного ПФЭ были получены значения коэффициентов  $b_0 = 2,554$ ,  $b_1 = 0,276$ ,  $b_2 = 0,161$ ,  $b_{12} = 0,00125$ , анализ которых позволил сделать вывод о незначимости коэффициента  $b_{12}$ . Таким образом, итоговая модель имеет вид

$$y = 2,554 + 0,276X_1 - 0,161X_2 \quad (3)$$

Полученные результаты ПФЭ были использованы для оптимизации профиля ГММ с помощью метода Бокса-Уилсона. Оптимизация состоит из двух этапов [15, 16]:

1-й этап – крутое восхождение с целью скорейшего достижения области оптимума с помощью линейного планирования. Полученное наилучшее значение факторов является либо оптимумом, либо началом следующей ступени крутого восхождения. Такое «ступенчатое» движение по поверхности отклика продолжают до тех пор, пока не будет найдено оптимальное значение критерия оптимальности;

2-й этап – описание области оптимума методами нелинейного планирования.

В данном случае целевая функция представлена в виде уравнения регрессии первого порядка (3), полученного по результатам полного факторного эксперимента. Уравнение регрессии адекватно описывает функцию отклика в области значений факторов  $X_1, X_2$  от  $-1$  до  $+1$ . Для нахождения экстремума уравнения (3) следует осуществлять движение по градиенту, так как оно обеспечивает наиболее короткий путь к экстремуму. Движение по градиенту осуществляют с некоторым шагом, который можно определить для каждого фактора, как  $h_1 = b_1 \Delta x_1$ . Так, для первого фактора шаг составит  $h_1 = b_1 \Delta x_1 = 0,276 \cdot 3 = 0,828$ , или, после округления,  $h_1 = 0,8$ . Для второго фактора  $h_2 = b_2 \Delta x_2 = -0,161 \cdot 0,5 = -0,081$ ; принято  $h_2 = -0,1$ . Шаг движения по градиенту для каждого фактора представлен в табл. 4.

Движение к оптимуму начинают из центра плана, который использовался для получения математического описания функции отклика, то есть при нулевом уровне факторов. Значения факторов на каждом шаге  $j+1$  находят путем прибавления  $h_i$  к соответствующим предыдущим значениям:

$$x_i^{j+1} = x_i^j + h_i$$

Далее, в соответствии с методом крутого восхождения, на каждом шаге производятся мысленные опыты, соответствующие наиболее крутому направлению движения в область оптимума. Расчет функции отклика производится с использованием кодированных значений факторов  $X_i$  с помощью выражения (3).

Таблица 4

## Параметры эксперимента

Параметры	Факторы		Критерий оптимизации для первой стадии
	$i_1$	$i_3$	
Уровни варьирования:			
+1	27	2,5	
0	24	2,0	
-1	21	1,5	
Шаг варьирования $Dx_i$	3,0	0,5	
Кодированные переменные	$x_1$	$x_2$	
Опыты (план $2^2$ )			
1	+	+	2,67
2	+	-	2,99
3	-	+	2,12
4	-	-	2,44
Коэффициенты регрессии $b_i$	+0,276	-0,161	
Произведение $b_i D x_i$	+0,828	-0,081	
Округленный шаг	+0,8	-0,1	
Мысленные опыты:			
5	24,0	2,0	2,554
6	24,8	1,9	2,660
7	25,6	1,8	2,766
8	26,4	1,7	2,871
9	27,5	1,6	2,977
10	28,0	1,5	3,083

Движение к оптимуму прекращают в следующих случаях:

1. Значения одного или нескольких факторов или функции отклика вышли на границы допустимых значений.

2. Достигнут экстремум функции отклика  $y$ .

В первом случае оптимизация заканчивается, а во втором – в области экстремума функции ищут ее новое математическое описание, используя ПФЭ. Если удастся получить адекватное описание этой функции в виде (2), то

продолжают оптимизацию методом крутого восхождения. При этом можно сделать вывод о том, что оптимум, найденный в результате первого крутого восхождения, был локальным.

Если же в области оптимума не удается получить адекватного уравнения регрессии вида (2), то переходят к планированию эксперимента для получения математического описания функции  $y$  в виде многочлена второй степени.

## Результаты

Результаты расчетов всех выполненных мысленных опытов приведены в табл. 4. Как видно из данной таблицы, при движении по градиенту значение второго фактора  $i_3$  достигает нижней границы допустимых значений ( $i_3 = 1,5\%$ ) и поэтому на данном шаге процесс оптимизации заканчивается. В результате были приняты следующие уклоны элементов профиля  $i_1 = 28,0\%$ ,  $i_3 = 1,5\%$ ,  $i_4 = 0,6\%$ ; при этом уклон  $i_2 = 8,18\%$  определен исходя из условия обеспечения требуемой высоты горки  $H_p^{\text{ГМП}} = 1,216 \text{ м}$ .

Далее были исследованы различные варианты продольного профиля путей группировочного парка ГрП1, расположенного между основной (ОСГ) и двусторонней вспомогательной сортировочными горками (ДВСГ) (рис. 4). Указанные варианты отличаются параметрами элементов профиля на участке между ПТП ГММ парка ГрП1 и ПТП ОСГ. С этой целью было выполнено имитационное моделирование роспуска с горки ГММ потока составов и получены качественные показатели (средняя длина окна  $L_{\text{окн}}$ , скорость соударения вагонов на путях  $V_{\text{пр}}$ , интервал между отцепами на разделительных стрелках  $\delta t$ ) для трех вариантов профиля путей группировочного парка ГрП1 (табл. 5).

Таблица 5

## Варианты продольного профиля группировочного парка ГрП1

Варианты профиля ГрП1	Параметры профиля ГрП1			$L_{\text{окн}}$	$V_{\text{пр}}$	$\delta t$	$h_r$
	Элемент профиля от ПТП ГММ ГрП1 до начала горизонтального участка путей $i_1/l_1$	Пути ГрП1 $i_2/l_2$	Элемент профиля от конца горизонтального участка путей до ПТП ОСГ $i_3/l_3$				
I	0,6	0	0,6	25,48	0,85	7,98	0,36
	50	247,5	50				
II	0,6	0	0,6	24,72	0,87	7,92	0,38
	100	147,5	100				
III	0,6	0	0,6	24,18	0,88	7,86	0,39
	150	47,5	150				

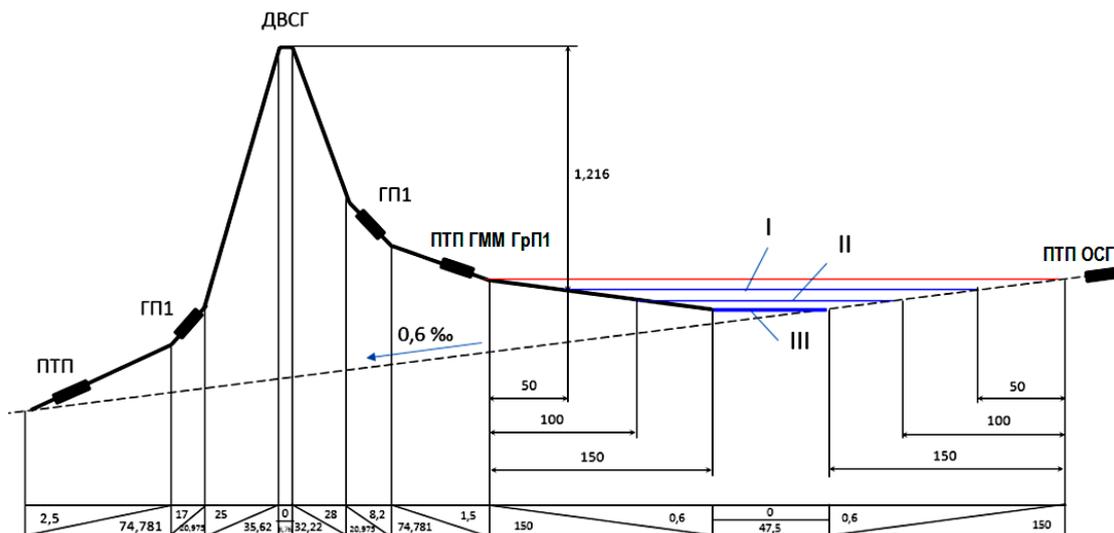


Рис. 4. Варианты профиля группировочного парка ГрП1

Анализ полученных результатов показал, что рациональной является конструкция группировочного парка с минимальной длиной горизонтального элемента профиля между ОСГ и ГММ ДВСУ (вариант III), так как в этом случае средняя длина окна между отцепами на сортировочных путях является минимальной. Кроме того, при этом обеспечивается допустимая величина средней скорости соударения отцепов на сортировочных путях, а также досточная величина интервалов между отцепами на разделительных стрелках при роспуске составов с сортировочной горки.

### Вывод

Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что предложенная методика определения оптимальных параметров продольного профиля ДВСУ позволяет обеспечить достаточно высокое качество процесса роспуска составов и при этом минимизировать эксплуатационные расходы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухопятькин, А. Н. Проектирование устройств для формирования многогруппных поездов на сортировочных станциях / А. Н. Сухопятькин // Сб. науч. тр. ВЗРШТа. – 1975. – Вып. 80. – С. 24-33.
2. Сухопятькин А. Н. Сортировочные устройства для переработки местных вагонопотоков / А. Н. Сухопятькин // Железнодорожный транспорт. – 1976. – № 1. – С. 36-37.
3. Сухопятькин А. Н. Развитие сортировочно-группировочных устройств на сортировочных станциях / А. Н. Сухопятькин // Труды ВЗИИТ. – 1978. – Вып. 98. – С. 80-88.
4. Бакумов, Э. В. Проектирование вспомогательных сортировочных устройств : Методические

указания по проектированию железнодорожных узлов и станций. – Киев, 1988. – № 113. – С. 4-13.

5. Берлин, Н. П. Расчеты и оптимизация параметров устройств сортировочных станций, занятых переработкой местных вагонов / Н. П. Берлин // Вопросы развития железнодорожных станций и узлов. – Гомель: БелИИЖТ, 1981. – С. 66-74.

6. Григорьев, В. В. К вопросу применения вспомогательных сортировочных устройств в железнодорожных узлах / В. В. Григорьев. – Свердловск, 1983. – С. 19-24.

7. Григорьев В. В. Методика оценки схем размещения вспомогательных сортировочных устройств на сортировочных станциях / В. В. Григорьев. – Свердловск, 1987. – 10 с.

8. Бобровский, В. И. Двустороннее сортировочное устройство для интенсификации процесса формирования многогруппных составов / В. И. Бобровский, И. Я. Скворон // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2013. – Вып. 2(23). – С. 7-12.

9. Патент України на корисну модель № 56315 Пристрій для формування багатогрупних составів / Бобровський В. І., Скворон І. Я., Дорош А. С. – Опубл. 10.01.2011, бюл. № 1/2011.

10. Патент України на корисну модель № 55826. Спосіб формування багатогрупних составів на основному та допоміжному сортувальних пристроях / Бобровський В. І., Скворон І. Я. – Опубл. 27.12.2010, бюл. № 24/2010.

11. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках : монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. П. Божко, Н. В. Рогов, Н. И. Березовый, А. В. Кудряшов. – Днепрпетровск : Изд-во Маковецкий, 2010. – 260 с.

12. Бобровский, В. И. Математическая модель для оптимизации интервального регулирования скорости отцепов на горках / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // Інформаційно-керуючу системи на залізничному транспорті – 2003. – № 3. – С. 3 – 8.

13. Козаченко, Д. М. Ефективні режими галь-

мування відцепів на сортувальних гірках / Д. Н. Козаченко // Транспортні системи та технології перевезень. – 2011. – Вип. 2. – С. 55–59.

14. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов расчетной группы состава / В. И. Бобровский, А. С. Дорош // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – Вип. 1(43). – С. 104–112.

15. Монтгомери, Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных : Пер. с англ. / Д. К. Монтгомери. – Ленинград : Судостроение, 1980. – 384 с.

16. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке : Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон и др. – Москва : Мир, 1981. – 520 с.

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

Поступила в редколлегию 04.11.2017.

Принята к печати 06.11.2017.

V. I. BOBROVSKYI, I. YA. SKOVRON

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОФІЛЮ ДВОСТОРОННЬОГО СОРТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ БАГАТОГРУПНИХ СОСТАВІВ

**Мета.** Основною метою вдосконалення конструкції і режимів функціонування сортувальних пристроїв є мінімізація витрат тимчасових і енергетичних ресурсів, особливо, при формуванні багатогрупних составів. У цьому зв'язку задача визначення оптимальних параметрів запропонованого двостороннього допоміжного сортувального пристрою є актуальною. Метою даної роботи є розробка методики оптимізації параметрів профілю двосторонньої гірки і групвального парку, що забезпечують надійний розподіл відцепів групи вагонів, що розформовується. **Методика.** Для досягнення поставленої мети використаний метод оптимізації Бокса-Уїлсона; необхідні дані отримані в результаті обчислювальних експериментів з використанням розробленої імітаційної моделі розпуску составів з гірки малої потужності (ГМП). **Результати.** Виконано оцінку якісних показників різних варіантів поздовжнього профілю запропонованого пристрою. Отримано оптимальні значення параметрів профілю сортувальної гірки малої потужності, при яких забезпечуються максимальні значення інтервалів між відчепами на розділових елементах гірки. **Наукова новизна.** Вперше вирішена задача пошуку оптимального режиму гальмування відцепів розрахункової групи на ГМП, при якому забезпечується надійний розподіл відцепів на розділових елементах гірки. Розроблено методика пошуку оптимальних параметрів поздовжнього профілю, що забезпечує максимальне значення мінімального інтервалу між відчепами розрахункової групи. **Практична значимість.** Розроблені методики оптимізації параметрів поздовжнього профілю та пошуку оптимальних режимів гальмування відцепів на гальмівних позиціях можуть бути використані для проектування спеціалізованих сортувальних пристроїв, а також при розробці автоматизованих систем керування процесом формування багатогрупних составів на гірках малої потужності.

*Ключові слова:* двосторонній допоміжний сортувальний пристрій; гірка малої потужності; поздовжній профіль; режим гальмування.

V. BOBROVSKY, I. SKOVRON

## OPTIMIZATION OF PROFILE PARAMETERS OF DOUBLE-SIDES SORTING DEVICE FOR MULTI-GROUP TRAINS MAKING-UP

**Purpose.** The main purpose of sorting devices construction and operation modes improvement is the minimization of the time and energy resources expenditure, especially for the making-up the multi-group trains. In this regard, the problem of determining the optimal parameters of the proposed accessory double-sides sorting device is urgent. The purpose of this work is the development of the methodology of profile parameters optimization of double-sides sorting device and grouping park, which provide the reliable cut separation of breaking-up car group. **Methodology.** To achieve the purpose Box-Wilson optimization method was used; the necessary data were obtained as a result of numerical experiments using the developed simulation model of train breaking-up at low power hump (LPH). **Results.** The evaluation of quality indicators of various longitudinal profile variants of the proposed device was done. The optimal profile parameters of low power hump were determined. These parameters provide the maximal interval value between cuts at the hump separating elements. **Originality.** The problem of finding the optimal cut braking mode of the design group at LPH was solved at the first time. This breaking mode provides a reliable cut separation at the separating element. The methodology of the longitudinal profile optimal parameters searching which provides the maximum value of the minimal interval between cuts of the design group was developed. **Practical value.** The developed methodologies of the longitudinal profile parameters optimization and optimal cut braking modes searching can be used for designing the specific sorting devices, as well as for the development of automated systems of multi-group train making-up process control at low power humps.

*Keywords:* double-sides auxiliary sorting device; low power hump; longitudinal profile; braking mode.