

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.212.5

В. И. БОБРОВСКИЙ¹, А. С. ДОРОШ^{2*}

¹ Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (066) 444 63 95, эл. почта bvi1973@yandex.ua

^{2*} Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (066) 927 84 62, эл. почта dorosh_as@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ТОРМОЖЕНИЯ ОТЦЕПОВ РАСЧЕТНОЙ ГРУППЫ СОСТАВА

Цель. Совершенствование метода определения режима торможения управляемого отцепов расчетной группы с целью повышения качества интервального регулирования скорости отцепов состава на автоматизированной сортировочной горке. **Методика.** Для проведения исследований процесса расформирования составов на сортировочной горке использовался метод имитационного моделирования. **Результаты.** Выполнены исследования условий разделения отцепов расчетной группы и их связи с режимами торможения управляемого отцепов на основе системного подхода. При этом рассматривались интервалы между отцепами расчетной группы одновременно и на стрелках, и на замедлителях спускной части горки. Отмечены особенности интервального регулирования на сортировочных горках с различным взаимным расположением головной стрелки и верхней тормозной позиции. **Научная новизна.** Установлено, что при оптимизации режимов торможения группы отцепов необходимо обеспечить наилучшие условия разделения отцепов на стрелочных переводах и на замедлителях тормозных позиций спускной части горки. **Практическая значимость.** Формально оптимизирована задача выбора режима торможения управляемого отцепов в группе, при котором наименьший из интервалов обращается в максимум. Это способствует повышению эффективности сортировочного процесса при автоматизации расформирования составов на горке.

Ключевые слова: сортировочная горка; отцеп; режим торможения; интервал; тормозная позиция

Введение

Одной из основных задач автоматизации управления роспуском составов на сортировочных горках является обеспечение требований безопасности роспуска и необходимого качества интервального регулирования скорости скатывающихся отцепов.

Цель

С этой целью необходимо установить рациональный режим торможения (РТ) для каждого отцепов расформируемого состава, при котором обеспечиваются наилучшие условия их разделения на стрелках.

Для решения данной задачи в работах [8, 9] предложена интеллектуальная модель управления на базе нечеткой логики, которая позволяет определить скорости выхода отцепов из тормозных позиций в условиях адаптации к текущей ситуации на спускной части горки.

Методы

В работе [1] решение задачи оптимизации РТ отцепов состава выполнено с использованием итерационного метода. Предложенный метод позволяет установить до роспуска состава такие РТ отцепов, при которых расчетные интервалы на стрелках во всех парах разделяющихся отцепов, в том числе и несмежных, при-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

нимают максимально возможные значения [2]. Однако недостатком данного метода является решение задачи оптимизации РТ отцепов в детерминированной постановке. Так, выполненные в [4] исследования показали, что влияние случайных факторов существенно усложняет определение режимов торможения отцепов при расформировании составов. В связи с этим в [5, 6] оптимизацию режимов интервального регулирования скорости отцепов предложено выполнять по критерию минимума вероятности неразделения отцепов на стрелочных переводах. Такой подход позволяет решать задачу поиска РТ отцепов при стохастических условиях скатывания, что позволяет более полно учесть влияние случайных факторов в процессе расформирования составов на горке. Задача выбора РТ отцепов по предложенному критерию решена в [3]; при этом установленные режимы обеспечивают минимальную величину окон на сортировочных путях и минимальный риск неразделения отцепов на стрелках при заданном уровне безопасности сортировочного процесса.

Выполненный анализ научных работ показывает, что оптимизация РТ отцепов выполняется по условию обеспечения их разделения только на стрелочных переводах; при этом разделение отцепов на замедлителях спускной части горки не учитывается, либо рассматривается как ограничение [7], что не позволяет максимально повысить качество интервального регулирования на всех разделительных элементах спускной части горки.

Исследования, выполненные на основе имитационного моделирования роспуска составов на автоматизированных горках, показали, что в некоторых случаях при достаточно больших интервалах между отцепами на стрелках имеют место неразделения отцепов на входных замедлителях средних тормозных позиций (СТП). Как показал анализ, в подобных случаях установленные с помощью метода [1] расчетные РТ отцепов обеспечивают максимальные интервалы на стрелках, тогда как интервалы на замедлителях имеют недостаточную величину. Известно, что интервал между отцепами на входных замедлителях ТП $\delta t^{\text{ТП}}$ должен быть не меньше времени $t_{\text{нб}}$, необходимого для перевода балок замедлителя из одного положения в

другое до входа на него очередного отцепа. Для обеспечения данного требования в задачу оптимизации режимов торможения отцепов состава введены специальные ограничения. С этой целью в [7] разработана методика, с помощью которой в области допустимых режимов (ОДР) управляемого отцепа устанавливаются режимы торможения, обеспечивающие выполнение условия $\delta t_i \geq t_{\text{нб}}$. В дальнейшем в процессе оптимизации режимов торможения отцепов в установленной таким образом ОДР находят режимы, при которых интервалы на стрелках максимальны; при этом интервалы на замедлителях $\delta t^{\text{ТП}}$ могут лишь незначительно превышать установленные значения $t_{\text{нб}}$. В таких случаях даже незначительные погрешности в реализации расчетных режимов торможения могут приводить к неразделениям отцепов на ТП.

Кроме того, приведенная в [7] методика поиска указанных ограничений является достаточно сложной, требующей для её реализации использования имитационного моделирования и регрессионного анализа. Это затрудняет реализацию данной методики в системах автоматизированного управления роспуском составов на горках. В этой связи для повышения эффективности итерационного метода в данной работе были выполнены исследования условий разделения отцепов и их связи с РТ на основе системного подхода. При этом рассматривались интервалы между отцепами расчетной группы отцепов ОП-ОХ-ОП одновременно и на стрелках, и на замедлителях спускной части горки.

Известно, что в группе из 3-х отцепов существует два интервала между ними на разделительных стрелках (δt_{12} , δt_{23}), а также может быть до 4-х интервалов на замедлителях верхней (ВТП) и средней (СТП) тормозных позиций ($\delta t_{12}^{\text{ВТП}}$, $\delta t_{12}^{\text{СТП}}$, $\delta t_{23}^{\text{ВТП}}$, $\delta t_{23}^{\text{СТП}}$). При этом с позиций интервального регулирования наилучшим для среднего отцепа является такой режим торможения \mathbf{H}^* , при котором наименьший из интервалов в группе обращается в максимум:

$$\min\{\delta t_{12}(\mathbf{H}^*), \delta t_{23}(\mathbf{H}^*), \delta t_{12}^{\text{ВТП}}(\mathbf{H}^*), \delta t_{12}^{\text{СТП}}(\mathbf{H}^*), \delta t_{23}^{\text{ВТП}}(\mathbf{H}^*), \delta t_{23}^{\text{СТП}}(\mathbf{H}^*)\} \rightarrow \max \quad (1)$$

Конкретное число входящих в (1) интервалов зависит как от взаимного расположения стрелок и тормозных позиций на сортировоч-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ной горке, так и от маршрутов следования отцепов группы. Как показал анализ, на горках, имеющих 4 пучка сортировочных путей, существует 9 комбинаций разделительных стрелок группы из 3-х отцепов, которые отличаются числом и расположением разделительных элементов на тормозных позициях спускной части горки и, соответственно, числом интервалов в целевой функции (1). Для анализа особенностей разделения отцепов такой группы в табл. 1 приведены 9 указанных комбинаций разделительных стрелок, в которых каждая пара отцепов разделяется либо на головной стрелке ($\sigma=1$), либо на стрелке, определяющей выбор пучка ($\sigma=2$), либо на одной из стрелок пучка ($\sigma=3-5$). Следует заметить, что данная таблица построена для горки, на которой ВТП расположена за головной стрелкой.

Как видно из табл. 1, условия разделения отцепов группы в 9 указанных комбинациях

существенно различаются как числом интервалов на разделительных элементах, так и условиями их регулирования. Так, число интервалов в группе может изменяться от 2 (комб. 1, $\sigma_1=1, \sigma_2=1$) до 6 (комб. 9, $\sigma_1=3-5, \sigma_2=3-5$). Указанные различия вызваны тем, что при отдельных комбинациях назначений группы отсутствуют разделения отцепов на ВТП и/или СТП. Одновременно при этом могут отличаться и условия регулирования интервалов между отцепами – интервал может быть нерегулируемым (помечены в табл. 1 знаком '*'), может зависеть от торможения ОХ только на ВТП ($\delta t_{i,i+1}^{\sigma}(h_2')$), либо на обеих позициях – ВТП и СТП ($\delta t_{i,i+1}^{\sigma}(h_2', h_2'')$). Перечисленные особенности существенно усложняют выбор оптимального РТ управляемого отцепа группы.

Таблица 1

Условия разделения группы из 3-х отцепов на горке, на которой ВТП расположена за головной стрелкой

Комбинация	Разделительные стрелки		Интервалы на разделительных элементах в парах отцепов группы						Число разделений на ТП		
			1-я пара			2-я пара			1-я пара	2-я пара	Всего
	σ_1	σ_2	Стрелка	ВТП	СТП	Стрелка	ВТП	СТП			
1	1	1	$\delta t_{12}^1 *$	–	–	$\delta t_{23}^1 *$	–	–	0	0	0
2	1	2	$\delta t_{12}^1 *$	–	–	$\delta t_{23}^2(h_2')$	$\delta t_{23}^{\hat{A}\hat{O}\hat{I}}(h_2')$	–	0	1	1
3	1	3-5	$\delta t_{12}^1 *$	–	–	$\delta t_{23}^{3-5}(h_2', h_2'')$	$\delta t_{23}^{\hat{A}\hat{O}\hat{I}}(h_2')$	$\delta t_{23}^{\hat{N}\hat{O}\hat{I}}(h_2', h_2'')$	0	2	2
4	2	1	$\delta t_{12}^2(h_2')$	$\delta t_{12}^{\hat{A}\hat{O}\hat{I}} *$	–	$\delta t_{23}^1 *$	–	–	1	0	1
5	2	2	$\delta t_{12}^2(h_2')$	$\delta t_{12}^{\hat{A}\hat{O}\hat{I}} *$	–	$\delta t_{23}^2(h_2')$	$\delta t_{23}^{\hat{A}\hat{O}\hat{I}}(h_2')$	–	1	1	2
6	2	3-5	$\delta t_{12}^2(h_2')$	$\delta t_{12}^{\hat{A}\hat{O}\hat{I}} *$	–	$\delta t_{23}^{3-5}(h_2', h_2'')$	$\delta t_{23}^{\hat{A}\hat{O}\hat{I}}(h_2')$	$\delta t_{23}^{\hat{N}\hat{O}\hat{I}}(h_2', h_2'')$	1	2	3
7	3-5	1	$\delta t_{12}^{3-5}(h_2', h_2'')$	$\delta t_{12}^{\hat{A}\hat{O}\hat{I}} *$	$\delta t_{12}^{\hat{N}\hat{O}\hat{I}}(h_2')$	$\delta t_{23}^1 *$	–	–	2	0	2
8	3-5	2	$\delta t_{12}^{3-5}(h_2', h_2'')$	$\delta t_{12}^{\hat{A}\hat{O}\hat{I}} *$	$\delta t_{12}^{\hat{N}\hat{O}\hat{I}}(h_2')$	$\delta t_{23}^2(h_2')$	$\delta t_{23}^{\hat{A}\hat{O}\hat{I}}(h_2')$	–	2	1	3
9	3-5	3-5	$\delta t_{12}^{3-5}(h_2', h_2'')$	$\delta t_{12}^{\hat{A}\hat{O}\hat{I}} *$	$\delta t_{12}^{\hat{N}\hat{O}\hat{I}}(h_2')$	$\delta t_{23}^{3-5}(h_2', h_2'')$	$\delta t_{23}^{\hat{A}\hat{O}\hat{I}}(h_2')$	$\delta t_{23}^{\hat{N}\hat{O}\hat{I}}(h_2', h_2'')$	2	2	4

Примечания:

«–» – Интервал в паре отцепов на данном разделительном элементе отсутствует;

«*» – Интервал в паре отцепов на данном разделительном элементе нерегулируемый.

Следует заметить, что условия разделения отцепов группы на 1-й стрелке и на ВТП, а также особенности регулирования интервалов на этих элементах существенно зависят от взаимного расположения головной стрелки горки и ВТП. В

этой связи в табл. 2 приведены 9 комбинаций разделительных стрелок для группы из 3-х отцепов, рассмотренных выше, для горки, на которой ВТП расположена до головной стрелки.

На данной горке интервалы на 1-й стрелке за-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

висят от торможения ОХ на ВТП ($\delta t_{i,i+1}^1(h'_2)$), тогда как ранее (см. табл. 1) они были нерегулируемые. Кроме того, в данном случае, интервалы на ВТП имеют место во всех 9 комбинациях; при этом в 1-й паре отцепов они нерегулируемые, а во 2-й паре они зависят от торможения ОХ на ВТП ($\delta t_{23}^{\text{ВТП}}(h'_2)$). Таким образом, очевидно, что выбор режимов торможения на данной горке несколько сложнее, чем на горке, на которой ВТП расположена за головной стрелкой.

Для анализа влияния режимов торможения на условия разделения были выполнены исследования 9 групп отцепов ОП-ОХ-ОП, стрелки разделения в которых соответствуют комбинациям, приведенным в табл. 1-2. С этой целью было выполнено имитационное моделирование управляемого скатывания группы отцепов ОП-ОХ-ОП на горках с двумя рассматриваемыми вариантами взаимного расположения ВТП и головной стрелки при различных режимах торможения.

Таблица 2

Условия разделения группы из 3-х отцепов на горке, на которой ВТП расположена до головной стрелки

Комбинация	Разделительные стрелки		Интервалы на разделительных элементах в парах отцепов группы						Число разделений на ТП		
			1-я пара			2-я пара			1-я пара	2-я пара	Всего
	σ_1	σ_2	Стрелка	ВТП	СТП	Стрелка	ВТП	СТП			
1	1	1	$\delta t_{12}^1(h'_2)$	$\delta t_{12}^{\text{АОИ}} *$	–	$\delta t_{23}^1(h'_2)$	$\delta t_{23}^{\text{АОИ}}(h'_2)$	–	1	1	2
2	1	2	$\delta t_{12}^1(h'_2)$	$\delta t_{12}^{\text{АОИ}} *$	–	$\delta t_{23}^2(h'_2)$	$\delta t_{23}^{\text{АОИ}}(h'_2)$	–	1	1	2
3	1	3-5	$\delta t_{12}^1(h'_2)$	$\delta t_{12}^{\text{АОИ}} *$	–	$\delta t_{23}^{3-5}(h'_2, h''_2)$	$\delta t_{23}^{\text{АОИ}}(h'_2)$	$\delta t_{23}^{\text{НОИ}}(h'_2, h''_2)$	1	2	3
4	2	1	$\delta t_{12}^2(h'_2)$	$\delta t_{12}^{\text{АОИ}} *$	–	$\delta t_{23}^1(h'_2)$	$\delta t_{23}^{\text{АОИ}}(h'_2)$	–	1	1	2
5	2	2	$\delta t_{12}^2(h'_2)$	$\delta t_{12}^{\text{АОИ}} *$	–	$\delta t_{23}^2(h'_2)$	$\delta t_{23}^{\text{АОИ}}(h'_2)$	–	1	1	2
6	2	3-5	$\delta t_{12}^2(h'_2)$	$\delta t_{12}^{\text{АОИ}} *$	–	$\delta t_{23}^{3-5}(h'_2, h''_2)$	$\delta t_{23}^{\text{АОИ}}(h'_2)$	$\delta t_{23}^{\text{НОИ}}(h'_2, h''_2)$	1	2	3
7	3-5	1	$\delta t_{12}^{3-5}(h'_2, h''_2)$	$\delta t_{12}^{\text{АОИ}} *$	$\delta t_{12}^{\text{НОИ}}(h'_2)$	$\delta t_{23}^1(h'_2)$	$\delta t_{23}^{\text{АОИ}}(h'_2)$	–	2	1	3
8	3-5	2	$\delta t_{12}^{3-5}(h'_2, h''_2)$	$\delta t_{12}^{\text{АОИ}} *$	$\delta t_{12}^{\text{НОИ}}(h'_2)$	$\delta t_{23}^2(h'_2)$	$\delta t_{23}^{\text{АОИ}}(h'_2)$	–	2	1	3
9	3-5	3-5	$\delta t_{12}^{3-5}(h'_2, h''_2)$	$\delta t_{12}^{\text{АОИ}} *$	$\delta t_{12}^{\text{НОИ}}(h'_2)$	$\delta t_{23}^{3-5}(h'_2, h''_2)$	$\delta t_{23}^{\text{АОИ}}(h'_2)$	$\delta t_{23}^{\text{НОИ}}(h'_2, h''_2)$	2	2	4

Примечания:

«–» – Интервал в паре отцепов на данном разделительном элементе отсутствует;

«*» – Интервал в паре отцепов на данном разделительном элементе нерегулируемый.

В результате моделирования были получены значения интервалов между отцепами группы на стрелках σ_1 - σ_2 , а также на замедлителях ВТП и СТП в обеих парах при заданных режимах торможения. Для исследования интервалов между отцепами в группе для отцепа ОХ была определена область допустимых режимов торможения (ОДР) - рис. 1.

Оптимизация режимов торможения в группе из 3-х отцепов осуществлялась двумя методами. В первом методе, предложенном в [7], максимизация интервалов осуществляется только на разделительных стрелках; при этом интервалы на замедлителях рассматриваются как ограничения

($\delta t_{i,i+1}^{\text{ТП}} \geq \delta t_{\min}$). При использовании данного метода оптимальный РТ среднего отцепа \mathbf{H}^* всегда располагается на одном из участков границы ОДР; при выборе участка учитывается соотношение координат точек занятия $s_{\text{вх}}(\sigma_1)$ и освобождения $s_{\text{вых}}(\sigma_2)$ средним отцепом ИЗУ стрелок разделения σ_1 и σ_2 , соответственно, с предыдущим и с последующим отцепами.

Во втором методе, предложенном в данной статье, оптимальным для среднего отцепа является такой режим \mathbf{H}^* , при котором наименьший из всех интервалов на разделительных стрелках, а также на замедлителях ВТП и СТП

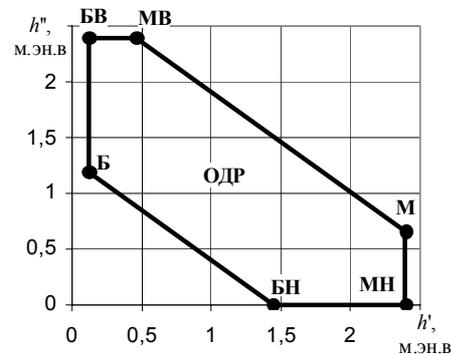
ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

в групі (до 6 інтервалів) обирається в максимум (1). В даному методі правила вибору оптимального режиму \mathbf{H}^* різні для різних комбінацій роздільних стрілок і, крім того, вони залежать від конструкції плану головної частини горки.

Результати оптимізації режиму гальмування управляемого отцепу в групі на горці, на якій ВТП розташована за головною стрілкою, отримані з використанням двох вказаних методів для всіх 9 можливих комбінацій роздільних стрілок, приведені в табл. 3.

Аналіз отриманих результатів дозволяє встановити особливості вибору оптимального режиму гальмування управляемого отцепу в групі. Очевидно, що в 1-й парі отцепів групи інтервали δt на всіх роздільних елементах зростають при збільшенні гальмування середнього отцепу $\mathbf{H} = (h', h'')$, а в 2-й парі вони, навпаки, зменшуються. При цьому величина кожного інтервалу та інтенсивність їх зміни при варіюванні \mathbf{H} суттєво

різняються, що сказується на виборі оптимального режиму гальмування.



Режим	h' , м.э.в.	h'' , м.э.в.
Б	0,121	1,194
БН	1,444	0,000
МН	2,400	0,000
М	2,400	0,658
МВ	0,460	2,400
БВ	0,121	2,400

Рис. 1 Область допустимих режимів гальмування отцепу ОХ на горці, на якій ВТП розташована за головною стрілкою

Таблиця 3

Результати оптимізації режиму гальмування управляемого отцепу в групі на горці, на якій ВТП розташована за головною стрілкою

Комб	σ_1	σ_2	Метод	h' , м.э.в.	h'' , м.э.в.	δt_{12} , с	$\delta t_{12}^{\Delta OI}$, с	$\delta t_{12}^{\Sigma OI}$, с	δt_{23} , с	$\delta t_{23}^{\Delta OI}$, с	$\delta t_{23}^{\Sigma OI}$, с
1	1	1	1	~	~	2,465	–	–	4,577	–	–
			2	~	~	2,465	–	–	4,577	–	–
2	1	2	1	1,887	0	2,465	–	–	2,464	6,056	–
			2	0,121	1,194–2,40	2,465	–	–	8,054	6,574	–
3	1	5	1	1,612	0	2,465	–	–	2,465	6,163	2,910
			2	0,121	1,194	2,465	–	–	9,207	6,574	8,819
4	2	1	1	1,915	1,093	4,577	2,275	–	4,577	–	–
			2	2,400	0–0,658	9,160	2,275	–	4,577	–	–
5	2	2	1	1,688	0	3,747	2,275	–	3,747	6,135	–
			2	1,688	0	3,747	2,275	–	3,747	6,135	–
6	2	5	1	1,538	0	3,333	2,275	–	3,333	6,190	3,449
			2	1,538	0	3,333	2,275	–	3,331	6,189	3,448
7	5	1	1	0,650	1,582	4,582	2,275	1,015	4,577	–	–
			2	2,400	0,658	63,389	2,275	16,063	4,577	–	–
8	5	2	1	0,650	1,786	7,142	2,275	1,015	7,141	6,452	–
			2	1,566	1,407	46,639	2,275	4,364	4,362	6,180	–
9	5	5	1	1,500	0	3,748	2,275	4,010	3,749	6,203	3,706
			2	1,494	0,015	3,742	2,275	3,977	3,742	6,205	3,741

Примечания:

« ~ » - режим гальмування произвольний

В випадку, коли обидві пари отцепів групи розділяються на 1-й стрілці (комб. 1), режим гальмування отцепу ОХ може бути произволь-

ним, а величина кожного інтервалу при цьому залежить від конструкції горки.

При 2-4-й, а також 7-й комбінаціях стрілок найкращий режим гальмування ОХ може бути

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

определен без выполнения процедур оптимизации, поскольку в них интервалы δt , зависящие от режима торможения, сосредоточены только в одной из пар отцепов (в 4-й и 7-й комбинациях – в 1-й паре отцепов, во 2-й и 3-й комбинациях – во 2-й паре – см. табл. 1). В этой связи в 4-й и 7-й комбинациях наибольшие интервалы на разделительных элементах обеспечиваются при максимальном торможении отцепа ОХ (медленный режим (М) в ОДР - см. рис. 1), а во 2-й и 3-й комбинациях – при минимальном торможении ОХ (быстрый режим Б). При этом во 2-й и 4-й комбинациях интервалы δt зависят только от торможения ОХ на ВТП и поэтому торможение на СТП может изменяться в допустимых пределах (линии Б-БВ для 2-й комбинации и МН-М для 4-й, см. рис. 1). Для сравнения

необходимо отметить, что при 1-м методе оптимизации во всех указанных случаях режим торможения определяется путем выравнивания интервалов на стрелках, что приводит к существенному уменьшению некоторых из них (см. табл. 3, комб. 7).

При всех остальных комбинациях стрелок (5, 6, 8, 9) определение режима торможения ОХ осуществляется с использованием двух указанных методов. При этом для комбинаций 5, 6 результаты одинаковы, а для 9-й они весьма близкие (см. табл. 3). В то же время при комбинации 8 первый метод устанавливает в 1-й паре отцепов минимальный интервал $\delta t_{12}^{СТП} = 1,015$ с, тогда как предложенный метод позволяет увеличить этот интервал до 4,364 с.

Таблица 4

Результаты оптимизации режима торможения управляемого отцепа в группе на горке, на которой ВТП расположена до головной стрелки

Комб	σ_1	σ_2	Метод	h' , м.ЭН.В	h'' , м.ЭН.В	δt_{12} , с	δt_{12}^{AOI} , с	δt_{12}^{NOI} , с	δt_{23} , с	δt_{23}^{AOI} , с	δt_{23}^{NOI} , с
1	1	1	1	1,295	0	3,098	2,252	–	3,098	4,439	–
			2	1,295	0-1,246	3,098	2,252	–	3,098	4,439	–
2	1	2	1	1,041	0	2,852	2,252	–	2,851	4,600	–
			2	1,041	0-1,453	2,852	2,252	–	2,851	4,600	–
3	1	5	1	1,213	0	3,012	2,252	–	3,012	4,494	0,752
			2	1,054	0	2,863	2,252	–	5,784	4,592	2,863
4	2	1	1	1,021	1,470	4,233	2,252	–	4,232	4,612	–
			2	1,021	0-1,470	4,233	2,252	–	4,232	4,612	–
5	2	2	1	0,948	0,018	3,696	2,252	–	3,698	4,653	–
			2	0,948	0,018	3,696	2,252	–	3,698	4,653	–
6	2	5	1	1,106	0	4,936	2,252	–	4,935	4,561	2,220
			2	0,969	0	3,849	2,252	–	7,073	4,641	3,833
7	5	1	1	0,720	1,298	5,089	2,252	1,028	5,083	4,772	–
			2	1,065	1,433	44,833	2,252	4,076	4,076	4,585	–
8	5	2	1	0,720	1,316	5,423	2,252	1,028	5,425	4,772	–
			2	0,991	1,454	29,042	2,252	3,315	3,319	4,629	–
9	5	5	1	1,180	0,109	2,973	2,252	5,404	2,977	4,515	1,168
			2	1,040	0,500	2,690	2,252	3,808	2,689	4,600	2,768

Таким образом, при комбинациях стрелок 2, 4, 5 интервалы на разделительных элементах не зависят от степени торможения управляемого отцепа на СТП, а при 1-й комбинации режим торможения вообще неопределенный. Это объясняется тем, что при этих комбинациях обе стрелки разделения группы расположены до СТП. Следует заметить, однако, что в этих случаях управляемый отцеп, как правило, входит в кортеж, включающий более 3-х отцепов, в кото-

ром имеют место вторичные разделения на стрелках пучков ($\sigma > 2$). В таких случаях указанные разделения и будут определять РТ данного отцепа. Если же в кортеже управляемого отцепа вторичные разделения отсутствуют, то его РТ может быть выбран с использованием дополнительных условий (например, по минимуму расхода энергии замедлителями).

На горках, на которых ВТП расположена до головной стрелки, число разделений на замед-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

лителях возрастает более чем на 30 % (см. табл. 2), что усложняет процедуру выбора оптимального режима торможения управляемого отцепа в группе. Результаты оптимизации режимов торможения на данной горке приведены в табл. 4.

Как показывает анализ полученных результатов, на данной горке решение задачи оптимизации режима торможения управляемого отцепа в группе должно осуществляться при всех 9 комбинациях разделительных стрелок. При этом сложность решения возрастает с увеличением числа участвующих интервалов δt , особенно при разделении отцепов на пучковых стрелках, когда величина интервалов зависит от двух переменных h' , h'' .

Сравнение особенностей определения режима торможения на данной горке при двух рассматриваемых методах оптимизации было выполнено для комбинации 3, при которой $\sigma_1 = 1$, $\sigma_2 = 5$ (см. табл. 2, 4)

При такой комбинации разделительных стрелок 2-й отцеп проходит СТП уже после разделения с 1-м отцепом и поэтому наилучшим по условиям разделения 2-й пары отцепов является режим, при котором $h'' = 0$ (отсутствие торможения на СТП). Тогда задача определения режима торможения 2-го отцепа ОХ заключается в выборе такого значения h' , при котором обеспечиваются максимальные интерва-

лы между отцепами группы. Как видно из табл. 2, в данном случае в группе 5 интервалов; при этом интервал на ВТП в 1-й паре может не учитываться, т.к. он не зависит от режима торможения ОХ. Остальные 4 интервала, как было указано выше, изменяются определенным образом: интервал в 1-й паре на стрелке 1 возрастает с увеличением h' ; остальные 3 интервала во 2-й паре (на ВТП, на СТП и на стрелке 5), соответственно, уменьшаются (см. рис. 2). Тогда, если использовать первый метод, в котором учитываются интервалы только на стрелках, то оптимальное значение $h' = 1,213$ м.э.в., а $\delta t_{12}^1 = \delta t_{23}^5 = 3,01$ с (см. рис. 2); при этом интервал на СТП составляет всего $\delta t_{23}^{\text{СТП}} = 0,75$ с, что может стать причиной нагона отцепов даже при незначительной погрешности реализации установленного режима.

В то же время, при использовании предложенного метода, когда при оптимизации учитываются все 4 интервала, рациональное значение $h' = 1,055$ м.э.в. определяется из условия выравнивания интервалов δt_{12}^1 и $\delta t_{23}^{\text{СТП}}$ (см. рис. 2). При этом $\delta t_{12}^1 = 2,86$ с, что не намного меньше, чем в первом случае, но за счет этого $\delta t_{23}^{\text{СТП}}$ увеличивается до такого же значения, а δt_{23}^5 возрастает до 5,78 с.

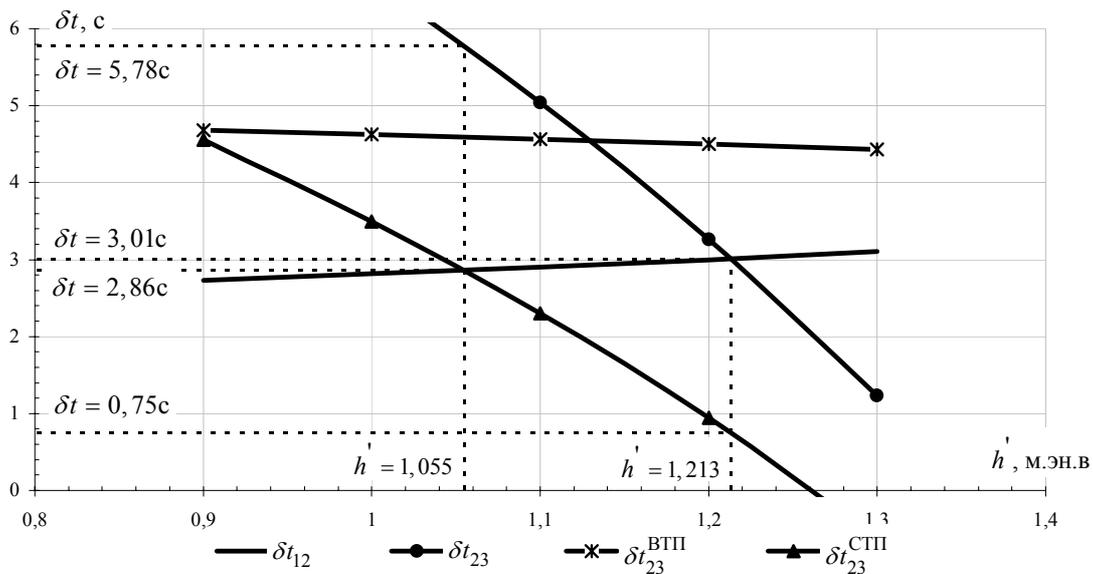


Рис. 2. Определение режима торможения отцепа в группе для комбинации 3

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Следует заметить, что интервал на ВТП во второй паре не участвует в оптимизации, т.к. он не ограничивает РТ. Таким образом, данный пример подтверждает эффективность предложенного метода оптимизации режима торможения отцепов в группе.

Результаты

На основе выполненных исследований была формализована постановка рассматриваемой задачи оптимизации режима торможения управляемого отцепа в группе их трех отцепов. В данной постановке целевая функция Φ (1) представляет собой недифференцируемую функцию, составленную из гладких функций вида $\delta t_i = f(h', h'')$; при этом производные от Φ имеют разрывы в точках, в которых $\delta t_i = \delta t_j = \Phi, i \neq j$. Эта негладкая задача может быть преобразована в гладкую путем введения дополнительной переменной Z , имеющей смысл нижней границы для всех значений $\delta t_i, i = 1, \dots, n$, которые при этом переходят в ограничения ($\delta t_i \geq Z$). Тогда для определения оптимального режима торможения управляемого отцепа необходимо решить следующую задачу:

найти $\max Z$ при ограничениях

$$\delta t_i^\sigma(h_2', h_2'') \geq Z, i = 1, \dots, n,$$

где n – общее число управляемых интервалов между отцепами группы, величина которых зависит от режима торможения среднего оцепы $\mathbf{H}_2 = (h_2', h_2'')$.

Выводы

Таким образом, выполненные исследования показали, что при оптимизации режимов торможения группы отцепов необходимо обеспечить наилучшие условия разделения отцепов как на стрелочных переводах, так и на замедлителях тормозных позиций спускной части горки. Для обеспечения данного требования в статье формализована оптимизационная задача выбора режима торможения управляемого отцепа в группе, при котором наименьший из управляемых интервалов обращается в максимум.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках / В. И. Бобровский, Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЖТ, 2004. – Вип. 4. – С. 174–182.
2. Бобровский, В. И. Совершенствование методики оптимизации режимов расформирования составов на горках / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2011. – Вип. 1. – С. 17–21.
3. Козаченко, Д. М. Эффективні режими гальмування відцепів на сортувальних гірках / Д. М. Козаченко // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2011. – Вип. 2. – С. 55–59.
4. Козаченко, Д. М. Моделювання роботи сортувальної гірки в умовах невизначеності параметрів відцепів та характеристик навколишнього середовища / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, О. І. Таранець // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2007. – Вип. 16. – С. 73–76.
5. Козаченко, Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках / Д. Н. Козаченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д. : ДНУЗТ, 2010. – Вип. 34. – С. 46–50.
6. Козаченко, Д. Н. Критерий оптимизации режимов торможения отцепов расчетной группы в условиях действия случайных факторов / Д. Н. Козаченко // Зб. наук. праць Донецького ін-ту залізн. трансп. укр. державної акад. залізн. трансп. – Дн. : Вид-во ДонІЗТ, 2010. – Вип. 23. – С. 14–21.
7. 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. – Д. : Изд-во Маковецкий, 2010. – 260 с.
8. Jing ming, YAO. Study on Neural Network Based Space-interval Speed-control Model / YAO Jing ming, LI Xue ren, LIU Hu xing // China Railway Science. – 2001. – № 02. – P. 127–133.
9. Wan-an, XU. Calculating Exit Speed of Rolling Cuts Based on Fuzzy Neural Networks / XU Wan-an, SHI Xuan, LIN Tong-yuan // China Railway Science. – 2001. – №. 03 – P. 161–165.

V. I. BOBROVSKIY¹, A. S. DOROSH^{2*}

¹ Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(066) 444 63 95, ел. пошта bvi1973@yandex.ua;

^{2*} Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(066) 927 84 62, ел. пошта dorosh_as@mail.ru

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ГАЛЬМУВАННЯ ВІДЧЕПІВ РОЗРАХУНКОВОЇ ГРУПИ СОСТАВА

Мета. Удосконалення методу визначення режиму гальмування керованого відчепа розрахункової групи з метою підвищення якості інтервального регулювання швидкості відчепів состава на автоматизованій сортувальній гірці. **Методика.** Для проведення досліджень процесу розформування составів на сортувальній гірці було використано метод імітаційного моделювання. **Результати.** Виконано дослідження умов розділення відчепів розрахункової групи і їх зв'язку з режимами гальмування керованого відчепа на основі системного підходу. При цьому розглядалися інтервали між відчепами розрахункової групи одночасно і на стрілках, і на уповільнювачах спускної частини гірки. Відмічено особливості інтервального регулювання на сортувальних гірках з різним взаємним розташуванням головної стрілки і верхньої гальмівної позиції. **Наукова новизна.** Встановлено, що при оптимізації режимів гальмування групи відчепів необхідно забезпечити найкращі умови поділу відчепів на стрілочних переводах і на сповільнювачах гальмівних позицій спускної частини гірки. **Практична значимість.** Формально оптимізоване завдання вибору режиму гальмування керованого відчепа в групі, при якому найменший з інтервалів звертається в максимум.

Ключові слова: сортувальна гірка; відчеп; режим гальмування; інтервал; гальмівна позиція

V. I. BOBROVSKIY¹, A. S. DOROSH^{2*}

¹ Department of Stations and Junctions, The Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (066) 444 63 95, e-mail bvi1973@yandex.ua;

^{2*} Department of Stations and Junctions, The Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (066) 927 84 62, e-mail dorosh_as@mail.ru

THE OPTIMIZATION OF RETARDING REGIMES WITHIN THE PARTICULAR GROUP OF CUTS

Purpose. The purpose is the improvement of the method of choosing the retarding regimes of cut rolling within the particular group in order to increase the quality of interval speed control of cuts at the automated hump. **Methodology.** Simulation method was used for research the trains' breaking up process at the hump. **Findings.** The separation conditions of cuts within the particular group and their relation between the retarding regimes of cut control based on a system approach were studied. Interval between cuts within the particular group at the switches and retarders were considered simultaneously. The features of interval controlling at the classification humps with different mutual alignment of the first switch and master retarder were stressed. **Originality.** The researches found out that during optimization of the retarding regimes of cuts within the particular group one should provide the best conditions of cuts separation at the switches and retarders. **Practical value.** The problem of choosing the retarding regimes of cuts within the particular group is optimized formally. This retarding regime allows maximizing the minimum value of interval between cuts within the group.

Keywords: hump; cut; retarding regime; interval; retarder

REFERENCES

1. Bobrovskiy V.I., Rogov N.V. Optimizatsiya rezhimov regulirovaniya skorosti ottsepov pri rospuske sostavov na gorkakh [Optimization of speed control modes of cuts during the train breaking-up on the hump]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2004, no. 4, pp. 174-182.
2. Bobrovskiy V.I., Kudryashov A.V. Sovershenstvovaniye metodiki optimizatsii rezhimov rasformirovaniya sostavov na gorkakh [The improvement of optimization method of trains breaking-up modes on the hump]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana «Transportni systemy ta tekhnologii perevezen»* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, no. 1, pp. 17-21.
3. Kozachenko D.M. Efektyvni rezhymy halmuvannia vidchepiv na sortovalnykh hirkakh [The efficient braking modes of cuts on the hump]. *Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana «Transportni systemy ta tekhnologii perevezen»* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, no. 2, pp. 55-59.
4. Kozachenko D. M., Berezovyi M. I., Taranets O. I. Modeliuvannia roboty sortovalnoi hirkyy v umovakh nevyznachenosti parametriv vidchepiv ta kharakterystyk navkolynshnoho seredovyscha [The hump functioning simulation under undefined cut parameters and environmental conditions]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, no. 16, pp. 73-76.
5. Kozachenko D.N. Issledovaniye usloviy intervalnogo regulirovaniya skorosti skatyvaniya ottsepov na avtomatizirovannykh gorkakh [The researching of conditions of interval speed controlling of cut rolling down process on the automated humps]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, no. 34, pp. 46-50
6. Kozachenko D. N. Kriteriy optimizatsii rezhimov tormozheniya ottsepov raschetnoy gruppy v usloviyakh deystviya sluchaynykh faktorov [The optimization criteria of braking modes of cuts of design group under conditions of random factors effecting]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Donetsk Railway Transport Institute of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2010, no. 23, pp. 14-21
7. Bobrovskiy V.I., Kozachenko D.N., Bozhko N.P., Rogov N.V., Berezovyy N.I., Kudryashov A.V. Optimizatsiya rezhimov tormozheniya ottsepov na sortirovochnykh gorkakh [The optimization of cuts' braking modes on the humps]. Dnepropetrovsk, Makovetskiy Publ., 2010. 260 p.
8. Jing ming YAO, Xue ren LI, Hu xing LIU. Study on Neural Network Based Space-interval Speed-control Model. *China Railway Science*, 2001, no. 02, pp. 127-133.
9. Wan-an XU, Xuan SHI, Tong-yuan LIN. Calculating Exit Speed of Rolling Cuts Based on Fuzzy Neural Networks. *China Railway Science*, 2001, no. 03, pp. 161-165.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., доц. Д. Н. Козаченко (Украина); д.т.н. Т. В. Бутько (Украина)

Поступила в редколлегию 12.12.2012

Принята к печати 22.02.2013