

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ С СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК

Виконано дослідження та розроблено методику вибору раціональних параметрів режиму гальмування керованого відцепу в групі з трьох відцепів із заданими номерами розділових стрілок. Методика призначена для рішення задачі оптимізації режимів гальмування відцепів складу.

Выполнены исследования и разработана методика выбора рациональных параметров режима торможения управляемого отцепа в группе из трех отцепов с заданными номерами разделительных стрелок. Методика предназначена для решения задачи оптимизации режимов торможения отцепов состава.

Researches are executed and the method of choice of rational parameters of the mode of braking of guided cut in a group of three cuts with the set numbers of dividing switches is developed. The method is aimed at the solution of optimization task of modes of braking the rolling stock cuts.

Одной из основных целей автоматизации сортировочных горок является повышение качества сортировочного процесса за счет минимизации неразделений отцепов на стрелках, повреждений вагонов и грузов, а также за счет увеличения степени заполнения сортировочных путей. Для решения перечисленных задач необходимо обеспечить выполнение требований интервального и прицельного регулирования скорости скатывающихся отцепов при расформировании составов на сортировочных горках.

Качество интервального регулирования характеризуется величиной интервалов между отцепами на разделительных стрелках, которые в значительной мере зависят от режимов торможения (РТ) отцепов [1 – 3].

Для обоснованного выбора оптимального режима торможения отцепа необходимо исследовать условия его разделения на разделительных элементах с другими отцепами расформируемого состава. Задачей оптимизации управления скатыванием отцепов состава при этом является определение таких РТ, при которых обеспечивается максимальная надежность разделения на стрелках скатывающихся отцепов. Для решения данной задачи разработан итерационный метод, при котором расформируемый состав рассматривается как система взаимосвязанных отцепов [4, 5]. Метод позволяет наилучшим образом распределить интервалы между отцепами состава; при этом максимизируется величина интервалов в неблагоприятных группах за счет некоторого их уменьшения в соседних более благоприятных. При использовании данного метода на каждой итерации осуществляется локальная оптимизация режима торможения среднего (управляемого) отцепа

критической группы из трех смежных отцепов (в дальнейшем – группа). В качестве критической выбирается группа, в которой разность интервалов на стрелках разделения смежных пар отцепов максимальна.

Необходимо отметить, что при оптимизации РТ отцепов в [4, 5] используется модель скатывания отцепов с равномерным торможением по всей зоне действия замедлителей [6]. В то же время в реальных условиях и зона торможения отцепа, и его интенсивность варьируются в достаточно широких пределах. При моделировании скатывания отцепа указанные изменения могут быть причиной существенной разницы во времени его движения, что особенно важно при решении задачи интервального регулирования скорости отцепов.

Исследования выполненные в [7] показали, что параметры РТ при регулируемой зоне торможения оказывают существенное влияние на продолжительность скатывания отцепов, а, следовательно, и на величину интервалов между ними. Параметрами, определяющими режим скатывания, являются вектор $U = (U', U'')$ скоростей выхода отцепа из верхней (ВТП) и средней (СТП) тормозных позиций и вектор $x = (x', x'')$ условных координат точек начала торможения ($x' \in [0, 1]$, $x'' \in [0, 1]$). При моделировании торможения на отцеп действует сила, удельная величина которой пропорциональна номинальной мощности замедлителя при выбранной ступени торможения.

Допустимые значения скоростей U' и U'' для каждого отцепа расформируемого состава образуют область допустимых скоростей (ОДС) его выхода из тормозных позиций (ТП) сорти-

ровочной горки. Указанная область определяет совокупность ограничений, которые необходимо учитывать при решении задачи оптимизации РТ $\mathbf{R}_T = (U, x)$ скатывающихся отцепов.

В данной статье предложена методика определения оптимального режима торможения \mathbf{R}_T управляемого отцепа в группе. Методика предназначена для корректирования режима торможения управляемого отцепа на очередной итерации при оптимизации режима расформирования состава.

Для комплексного решения задачи оптимизации режима торможения управляемого отцепа группы необходимо установить значения четырех управляемых параметров $\mathbf{R}_T = (U', U'', x', x'')$. Условием оптимальности является равенство интервалов δt_{12} в первой и δt_{23} во второй паре отцепов $\delta t_{12}(\mathbf{R}_T) = \delta t_{23}(\mathbf{R}_T) = \overline{\delta t}(\mathbf{R}_T) \rightarrow \max$. Выполнение указанного условия возможно, если диапазоны изменения указанных интервалов имеют общую область D ($\delta t_{12}(\mathbf{R}) \in D, \delta t_{23}(\mathbf{R}) \in D$). Учитывая, что целевая функция $\overline{\delta t}(\mathbf{R}_T)$ является нелинейной и негладкой, для решения задачи целесообразно использование методов прямого поиска, для реализации которых требуются только значения целевой функции.

В результате исследований была разработана следующая стратегия поиска оптимального режима торможения управляемого отцепа группы. Первоначально для некоторого значения скорости U_j'' выхода отцепа из СТП определяется множество значений $(U', x', x'')_j$ и соответствующие им величины $\overline{\delta t}_j, j=1, \dots, N$; здесь N – число узлов решетки значений (x', x'') , варьируемых в квадратной области Ω_x с постоянным шагом Δx в интервале $[0, 1]$. При этом для каждой точки решетки $(x', x'')_j$ определяется значение U'_j , при котором обеспечивается равенство $\delta t_{12} = \delta t_{23} = \overline{\delta t}_j$. Поиск U'_j осуществляется в интервале $[U'_{\min}, U'_{\max}]$, границы которого определяются по данным ОДС управляемого отцепа с использованием метода дихотомии. Дальнейший анализ полученных значений $\overline{\delta t}_j$ позволяет установить максимальное значение $\overline{\delta t}_i = \max \{ \overline{\delta t}_j \}$, которое может быть получено при данной скорости U_i'' , а также рациональные параметры режима торможения $(U', x', x'')_i$, обеспечивающие достижение указанного интервала.

Как показал анализ результатов оптимизации, полученных с использованием предложенной методики, максимальное значение величины $\overline{\delta t}$ всегда оказывается в одной из вершин (угловых точек) области Ω_x ($x' = (0, 1), x'' = (0, 1)$). При этом конкретные значения (x', x'') могут быть однозначно определены на основе анализа взаимного расположения участка разделения отцепов группы $[S_1, S_2]$ и координат точек начала и окончания торможения управляемого отцепа на ВТП ($S'_{\text{нт}}, S'_{\text{кт}}$) и СТП ($S''_{\text{нт}}, S''_{\text{кт}}$).

Участок разделения отцепов группы ограничивается точками входа управляемого отцепа на изолированный участок (ИЗУ) стрелки σ_1 разделения с первым $s_{\text{вх}}(\sigma_1)$ и выхода этого отцепа из ИЗУ стрелки σ_2 разделения с третьим отцепом $s_{\text{вых}}(\sigma_2)$. При этом возможны два варианта взаимного расположения координат точек входа $s_{\text{вх}}(\sigma_1)$ и выхода $s_{\text{вых}}(\sigma_2)$, которые определяют длину участка разделения: $S_1 = s_{\text{вх}}(\sigma_1), S_2 = s_{\text{вых}}(\sigma_2)$ в случае $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$; $S_1 = s_{\text{вых}}(\sigma_2), S_2 = s_{\text{вх}}(\sigma_1)$ в случае $s_{\text{вых}}(\sigma_2) < s_{\text{вх}}(\sigma_1)$.

Анализ результатов оптимизации режимов торможения показал, что все случаи возможного расположения координат участка разделения $s_{\text{вх}}(\sigma_1)$ и $s_{\text{вых}}(\sigma_2)$ относительно координат точек начала и окончания торможения отцепа на ТП спусковой части горки можно классифицировать по четырем вариантам. Данные варианты характеризуются различным выбором оптимального значения x^* для достижения максимума величины δt .

Первый вариант – весь участок разделения расположен до координаты точки начала торможения управляемого отцепа на ВТП:

$$s_{\text{вых}}(\sigma_2) \leq S'_{\text{нт}}, \text{ если } s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2),$$

или $s_{\text{вх}}(\sigma_1) \leq S'_{\text{нт}}, \text{ если } s_{\text{вых}}(\sigma_2) < s_{\text{вх}}(\sigma_1).$

В данном варианте величины интервалов δt_{12} и δt_{23} не зависят от режима торможения и определяются конструкцией горки, параметрами отцепов и условиями скатывания. Допустимое значение интервалов на разделительных элементах, расположенных до точки начала торможения отцепа на ВТП, должен обеспечивать профиль спусковой части сортировочной горки.

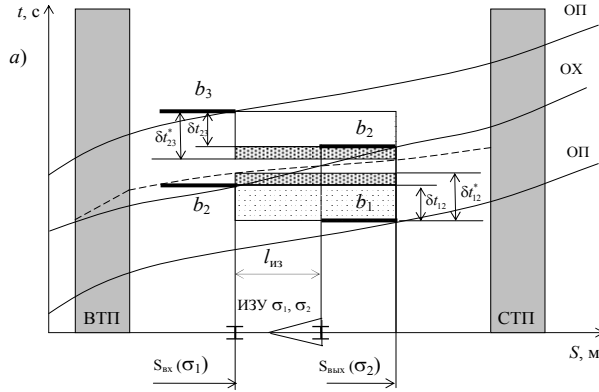
Второй вариант – координата конца участка разделения расположена между координатами точек начала торможения управляемого отцепа на ВТП $S'_{\text{нт}}$ и начала торможения на СТП $S''_{\text{нт}}$:

$$S'_{\text{нт}} < s_{\text{вых}}(\sigma_2) < S''_{\text{нт}}, \text{ если } s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2),$$

или $S'_{\text{нт}} < s_{\text{вх}}(\sigma_1) < S''_{\text{нт}}, \text{ если } s_{\text{вых}}(\sigma_2) < s_{\text{вх}}(\sigma_1).$

Для данного варианта схема максимизации интервалов δt_{12} , δt_{23} представлена на рис 1.

При этом, в случае, если $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$ (см. рис. 1,а), для увеличения интервалов δt_{12} и δt_{23} при сохранении их равенства, необходимо увеличить время скатывания отцепа $t_2(\sigma_1)$ до точки $s_{\text{вх}}(\sigma_1)$, и при этом одновременно увеличить среднюю скорость отцепа на участке $[s_{\text{вх}}(\sigma_1), s_{\text{вых}}(\sigma_2)]$, уменьшив за счет этого время



занятия этого участка $t_2(\sigma_2) - t_2(\sigma_1)$; график времени скатывания отцепа при указанном режиме показан на рис. 1,а пунктиром. Следовательно, в данном случае максимальное значение $\overline{\delta t}$ достигается при торможении отцепа на ВТП при $x' = 0$, тогда время $t_2(\sigma_1)$ максимально; скорость выхода из ВТП устанавливается из условия равенства $\delta t_{12} = \delta t_{23}$.

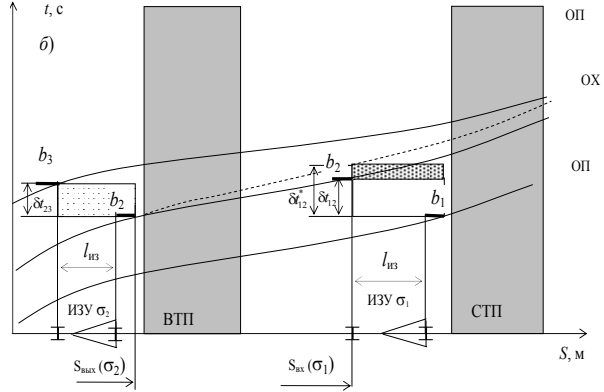


Рис. 1. Схема максимизации интервалов на разделительных стрелках, расположенных до СТП:

а) $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$; б) $s_{\text{вх}}(\sigma_1) > s_{\text{вых}}(\sigma_2)$

В случае $s_{\text{вх}}(\sigma_1) > s_{\text{вых}}(\sigma_2)$ выбор $x' = 0$ и уменьшение средней скорости отцепа на участке $[s_{\text{вых}}(\sigma_2), s_{\text{вх}}(\sigma_1)]$ позволяет увеличить значение интервала δt_{12} ; график времени отцепа при указанном режиме показан на рис. 1,б пунктиром. Величина интервала δt_{23} зависит от параметров отцепов, условий скатывания и конструкции горки. Для длинных отцепов ($s_{\text{вых}}(\sigma_2) > S'_{\text{нт}}$, за счет большого начального интервала между отцепами во второй паре, значение δt_{23} значительно превышает величину интервала δt_{12} , и поэтому добиться равенства интервалов δt_{12} и δt_{23} невозможно. Однако увеличение продолжительности скатывания отцепа до точки $s_{\text{вых}}(\sigma_2)$ ($x' = 0$) и уменьшение средней скорости отцепа на участке $[s_{\text{вых}}(\sigma_2), s_{\text{вх}}(\sigma_1)]$ позволяет, за счет незначительного уменьшения величины δt_{23} , добиться большего увеличения величины интервала δt_{12} .

В данном варианте значение x'' на величину интервалов δt_{12} и δt_{23} не влияет, и, следовательно, выбор режима торможения может осуществляться по другим критериям (условиям разделения с другими отцепами состава, расходу энергии, износу тормозных балок замедлителей и др.).

В подтверждение данных выводов для случая $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$ на рис. 2 приведено поле значений $\overline{\delta t}$, полученное при величине $U''' = 4$ м/с для стрелок разделения $\sigma_1 = \sigma_2 = 2$.

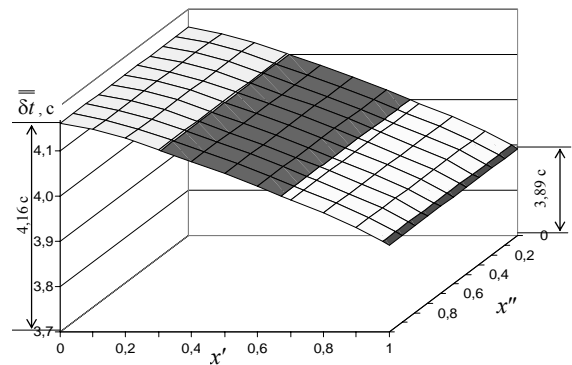


Рис. 2. Поле равных интервалов $\overline{\delta t} = f(x)$ при расположении участка разделения до СТП

Как видно из рис. 2, максимум величины $\overline{\delta t}$ ($\overline{\delta t}_{\text{max}} = 4,16$ с) достигается при $x' = 0$.

Третий вариант – координата начала участка разделения расположена до координаты точки окончания торможения отцепа на СТП $S''_{\text{кт}}$; при этом координата конца участка разделения должна быть расположена после координаты точки начала торможения отцепа на СТП $S''_{\text{нт}}$: $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < S''_{\text{кт}}$ & $s_{\text{вых}}(\sigma_2) > S''_{\text{нт}}$, если $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$, $s_{\text{вых}}(\sigma_2) < S''_{\text{кт}}$ & $s_{\text{вх}}(\sigma_1) > S''_{\text{нт}}$, если $s_{\text{вых}}(\sigma_2) < s_{\text{вх}}(\sigma_1)$.

Схема максимизации интервалов δt_{12} , δt_{23} для различных вариантов взаимного размещения координат точек $s_{\text{вх}}(\sigma_1)$ и $s_{\text{вых}}(\sigma_2)$ представлена на рис. 3.

При этом, в случае, если $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$ (см. рис. 3,а), для увеличения интервалов δt_{12} и δt_{23} при сохранении их равенства необходимо увеличить продолжительность скатывания отцепа до точки $s_{\text{вх}}(\sigma_1)$, чтобы увеличить время $t_2(\sigma_1)$, а также увеличить среднюю скорость отцепа на участке $[s_{\text{вх}}(\sigma_1), s_{\text{вых}}(\sigma_2)]$ и за счет этого уменьшить величину $\tau_2(\sigma_2)$; график времени отцепа при указанном режиме показан на

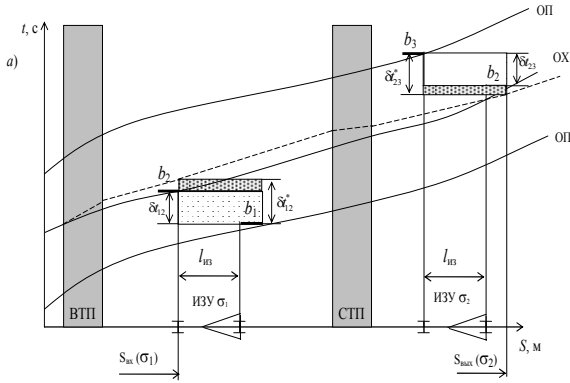


рис. 3,а пунктиром. При этом выбор значения x' должен обеспечивать максимальное значение времени в точке с координатой $S'_{\text{КТ}}$ для максимального увеличения величины $t_2(\sigma_1)$. Соответственно, значение x'' должно выбираться таким образом, чтобы величина времени в точке с координатой $S''_{\text{КТ}}$ было минимальным; это позволит максимально уменьшить значение $\tau_2(\sigma_2)$.

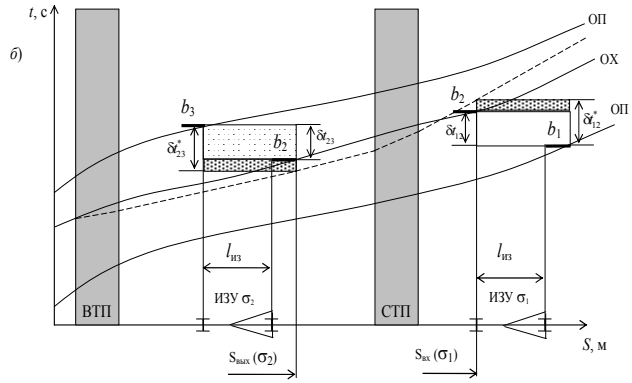


Рис. 3. Схема увеличения интервалов на разделительных стрелках при их комбинированном расположении относительно ТП: а) $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$; б) $s_{\text{вых}}(\sigma_2) < s_{\text{вх}}(\sigma_1)$

При $s_{\text{вых}}(\sigma_2) < s_{\text{вх}}(\sigma_1)$ для увеличения интервалов δt_{12} и δt_{23} необходимо, наоборот, уменьшить время движения отцепа на начальном участке для уменьшения $\tau_2(\sigma_2)$ и одновременно уменьшить среднюю скорость отцепа на участке $[s_{\text{вых}}(\sigma_2), s_{\text{вх}}(\sigma_1)]$ для увеличения $t_2(\sigma_1)$; график времени отцепа при указанном режиме показан на рис. 3,б пунктиром. В этом случае выбор значений x' и x'' противоположен варианту $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$. Выбор x' должен обеспечивать

максимальное уменьшение значения $\tau_2(\sigma_2)$, а значение x'' – максимальное увеличение величины $t_2(\sigma_1)$.

Для примера на рис. 4,а для случая $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$ ($\sigma_1 = 2, \sigma_2 = 5$) приведено поле значений $\overline{\delta t}$, полученное при величине $U''=5,0$ м/с; аналогично для случая $s_{\text{вых}}(\sigma_2) < s_{\text{вх}}(\sigma_1)$ ($\sigma_1 = 5, \sigma_2 = 2$) на рис. 4,б приведено поле значений $\overline{\delta t}$, полученное при величине $U''=4,0$ м/с.

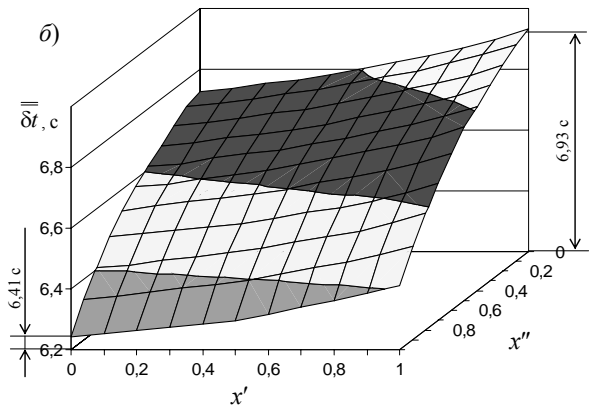
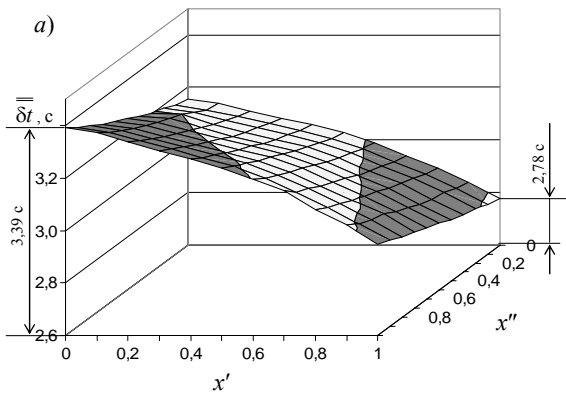


Рис. 4. Поле равных интервалов $\overline{\delta t} = f(x)$ при комбинированном расположении разделительных стрелок относительно ТП: а) $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$; б) $s_{\text{вых}}(\sigma_2) < s_{\text{вх}}(\sigma_1)$

Как видно из рис. 4,а для случая $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$ максимум величины $\overline{\delta t}$ ($\delta t_{\text{max}} = 3,39$ с) достигается при $x' = 0$ и $x'' = 1$; для

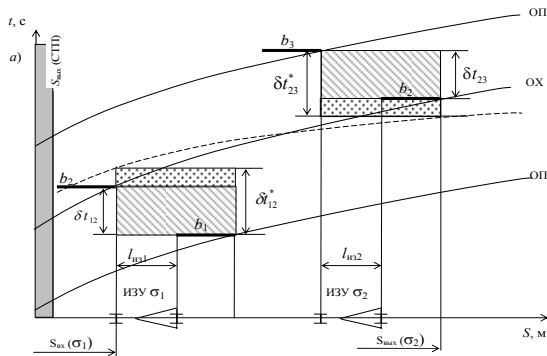
$s_{\text{вых}}(\sigma_2) < s_{\text{вх}}(\sigma_1)$ выбор параметров вектора x , обеспечивающих максимум $\overline{\delta t}$ ($\delta t_{\text{max}} = 6,93$ с), противоположен $x' = 1$ и $x'' = 0$ (см. рис. 4,б).

Четвертый вариант – координата начала участка разделения расположена после координаты окончания торможения отцепа на СТП $S''_{КТ}$:

$$s_{ВХ}(\sigma_1) \geq S''_{КТ}, \text{ если } s_{ВХ}(\sigma_1) < s_{ВЫХ}(\sigma_2),$$

или

$$s_{ВЫХ}(\sigma_2) \geq S''_{КТ}, \text{ если } s_{ВЫХ}(\sigma_2) < s_{ВХ}(\sigma_1).$$



На рис. 5 представлена схема максимизации интервалов δt_{12} , δt_{23} на разделительных стрелках при $s_{ВХ}(\sigma_1) < s_{ВЫХ}(\sigma_2)$ (рис. 5,а) и $s_{ВЫХ}(\sigma_2) < s_{ВХ}(\sigma_1)$ (рис. 5,б).

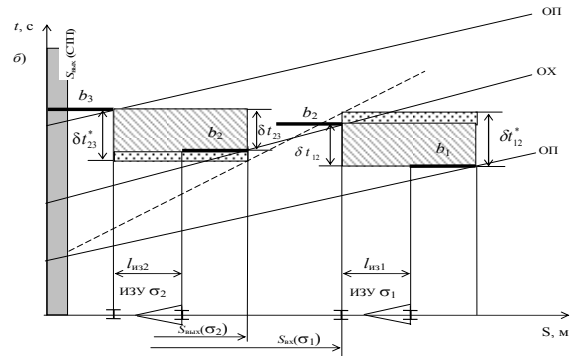


Рис. 5. Схема максимизации интервалов на разделительных стрелках, расположенных за СТП:

а) $s_{ВХ}(\sigma_1) < s_{ВЫХ}(\sigma_2)$; б) $s_{ВХ}(\sigma_1) > s_{ВЫХ}(\sigma_2)$

Так как варьирование x и определение U' в данном варианте производится при некотором значении скорости U'' , то графики скорости и времени скатывания отцепа после его выхода из СТП остаются неизменными. Поэтому добиться изменения средней скорости движения отцепа на участке разделения невозможно. Таким образом, независимо от взаимного расположения координат точек $s_{ВХ}(\sigma_1)$ и $s_{ВЫХ}(\sigma_2)$ существуют единственные значения $t_2(\sigma_1)$ и $t_2(\sigma_2)$, которые обеспечивают равенство интервалов δt_{12} и δt_{23} .

Для примера на рис. 6 приведено поле значений δt , полученное при величине $U'' = 4,0$ м/с для стрелок разделения $\sigma_1 = 4$, $\sigma_2 = 3$.

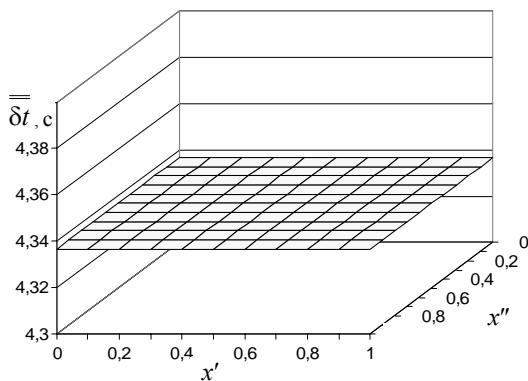


Рис. 6. Поле равных интервалов $\delta t = f(x)$ при расположении участка разделения за СТП

Как видно из рис. 6, несмотря на варьирование значений x' и x'' , величина δt остается неизменной ($\delta t = 4,337$ с); при этом равенство

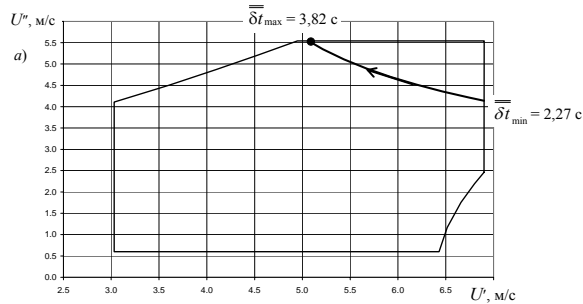
интервалов δt_{12} и δt_{23} достигается за счет соответствующего выбора значения U' . Следовательно для общности правил выбора вектора x значения x' и x'' можно выбирать в одной из угловых точек области Ω_x .

Таким образом, выполненные исследования показывают, что выбор вектора x , обеспечивающего максимальное значение величины δt , во втором и третьем варианте, однозначен и зависит от взаимного расположения координат участка разделения $s_{ВХ}(\sigma_1)$ и $s_{ВЫХ}(\sigma_2)$ относительно координат точек начала $S_{НТ}$ и окончания $S_{КТ}$ торможения отцепа на ТП спускной части горки.

Выбор значений (x', x'') в первом и четвертом вариантах, а также x'' во втором не влияет на интервальное регулирование в группе отцепов. Поэтому выбор вектора x в указанных вариантах может осуществляться по другим критериям. В частности, управляемый отцеп данной группы может разделяться с другими (несмежными) отцепами состава, где условия разделения могут относиться к другому варианту. Если же такие разделения у данного отцепа отсутствуют, то в этом случае параметры вектора x могут выбираться по другим критериям, например, по условиям обеспечения максимальной точности реализации заданных скоростей (U', U'') .

Полученный вывод позволяет сократить число управляемых переменных с четырех (U', U'', x', x'') до двух (U', U'') и существенно упростить методику оптимизации режима торможения управляемого отцепа группы.

Для окончательного выбора оптимальных значений скоростей (U' , U'') для управляемого отцепя группы варьируют скорость U'' в интервале $[U''_{\min}, U''_{\max}]$ и для каждого значения U'' находят U' . Таким образом находят результирующую зависимость $U' = f(U'')$ в ОДС управляемого отцепя. Последующий анализ характера изменения величины $\overline{\delta t}$ вдоль линии $U' = f(U'')$ позволяет найти оптимальный режим



торможения $\mathbf{R}_T^* = (U, x)$, при котором выполняется условие $\overline{\delta t}(\mathbf{R}^*) = \overline{\delta t}_{\max}$.

Для примера, на рис. 7,а в ОДС управляемого отцепя группы для стрелок $\sigma_1 = 2$ и $\sigma_2 = 5$ (случай $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$) показана линия $U' = f(U'')$, полученная при $x = (0, 1)$. На рис. 7,б приведена та же зависимость $U' = f(U'')$ для стрелок $\sigma_1 = 5$, $\sigma_2 = 2$ (случай $s_{\text{вых}}(\sigma_2) < s_{\text{вх}}(\sigma_1)$) при $x = (1, 0)$.

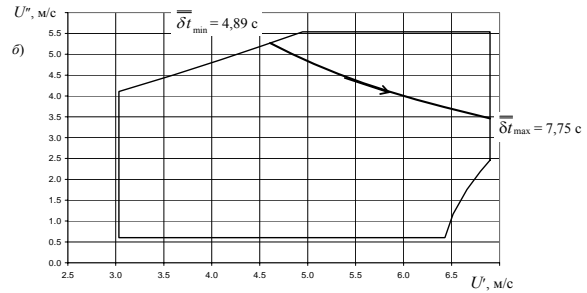


Рис. 7. Положение линии $U' = f(U'')$ оптимальных режимов при комбинированном расположении разделительных стрелок относительно ТП: а) $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$; б) $s_{\text{вых}}(\sigma_2) < s_{\text{вх}}(\sigma_1)$

Как видно из рис. 7, максимум величины $\overline{\delta t}$ достигается на одном из участков границы ОДС. В случае $s_{\text{вх}}(\sigma_1) < s_{\text{вых}}(\sigma_2)$ рост величины $\overline{\delta t}$ вдоль линии $U' = f(U'')$ происходит в направлении верхнего участка границы ОДС ($\overline{\delta t}_{\max} = 3,82$ с); если же $s_{\text{вых}}(\sigma_2) < s_{\text{вх}}(\sigma_1)$, то увеличение значения $\overline{\delta t}$ происходит в направлении нижнего участка границы ($\overline{\delta t}_{\max} = 7,75$ с).

Результаты выполненных исследований могут быть использованы при разработке методики оптимизации режима расформирования состава. Решение данной задачи необходимо для создания автоматизированных систем управления процессом роспуска составов на сортировочных горках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобровский, В. И. Анализ эффективности режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 11. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – С. 103-111.
2. Козаченко, Д. М. Дослідження впливу параметрів відчепів та умов їх скочування на величину інтервалів на розділових стрічках [Текст] / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, Р. Г. Коробйова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз.

3. Рогов, Н. В. Исследование условий разделения отцепов на стрелках [Текст] / Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 15. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 114-119.
4. Бобровский, В. И. Итерационный метод оптимизации режимов торможения отцепов состава [Текст] / В. И. Бобровский, Н. В. Рогов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 5. – С. 4-5.
5. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов регулирования скорости отцепов при роспуске составов на горках [Текст] / В. И. Бобровский, Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2004. – Вип. 4. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2004. – С. 174-182.
6. Бобровский, В. И. Математическая модель для оптимизации интервального регулирования скорости отцепов на горках [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 3. – С. 3-8.
7. Бобровский, В. І. Вплив режимів гальмування на тривалість скочування відчепів з гірки [Текст] / В. І. Бобровский, А. В. Кудряшов, Л. О. Єльнікова // Зб. наук. пр. – Х.: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 102. – С. 147-156.

Поступила в редколлегию 30.06.2009.
Принята к печати 09.07.2009.