

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ НА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ГОРКАХ

В статті представлено дослідження, що пов'язані з оптимізацією режимів гальмування в умовах невідомості інформації про відчепи, які скочуються та неточній реалізації гальмівними позиціями управляючих впливів. Запропоновано імовірнісний критерій для оцінки умов розділення відцепів.

В статье представлены исследования, связанные с оптимизацией режимов торможения в условиях неопределенности информации о скатывающихся отцепах и неточной реализации тормозными позициями управляющих воздействий. Предложен вероятностный критерий для оценки условий разделения отцепов.

Research of braking mode optimization under uncertainty of information about rolling down cuts and inaccurate realization of control actions by retarder positions is presented in the paper. The probability criterion for evaluation of conditions of sorting cuts is proposed.

Основным средством, обеспечивающим повышение безопасности роспуска, улучшение условий труда и уменьшение эксплуатационных расходов на переработку вагонопотоков на сортировочных станциях, является автоматизация процесса расформирования составов на сортировочных горках. Качество работы автоматизированных систем управления роспуском составов определяют три составляющие: полнота и точность учета факторов, влияющих на процесс скатывания, технические средства реализации управляющих воздействий и технологические принципы вычисления управляющих воздействий. Решение последней задачи является наиболее важным условием, т.к. позволяет сократить стоимость систем управления роспуском. В данной статье представлены исследования, связанные с оптимизацией режимов торможения в условиях неопределенности информации о скатывающихся отцепах и неточной реализации управляющих воздействий тормозными позициями.

Оптимизации режимов торможения отцепов посвящено достаточно большое количество научных трудов [1 – 8]. При этом в качестве элементарной группы при решении задачи оптимизации режимов торможения обычно рассматривается расчетная группа из трех отцепов. Наилучшим с позиций интервального регулирования в [4] предложено считать такой режим торможения среднего отцепа, при котором интервалы на ограничивающих разделительных элементах со смежными отцепами одинаковы ($\delta t_1 = \delta t_2$), а их значение максимально. Формализованное представление целевой функции в

задачах оптимизации режимов торможения по условиям интервального регулирования для расчетной группы отцепов предложено в [7]:

$$\min \{ \delta t_1, \delta t_2 \} \rightarrow \max .$$

Результаты оптимизации режимов торможения отцепов по данному критерию приведены на рис. 1, а. В представленном вычислительном эксперименте моделировалось разделение группы из трех одновагонных отцепов на 5-й стрелке в первой паре и на 4-й – во второй. Параметры среднего (управляемого) отцепа соответствуют математическому ожиданию массы и удельного сопротивления движению вагонов тяжелой весовой категории, а параметры крайних отцепов – параметрам плохого бегуна. Оптимизация режимов торможения среднего отцепа показала, что максимальные интервалы на разделительных стрелках в 4,6 с достигаются при скатывании среднего отцепа без торможения на головной тормозной позиции и торможении его до скорости выхода $v_{ТП} = 3,9$ м/с на пучковой.

Недостатком этого подхода является то, что в нем не учитывается случайный характер факторов, влияющих на разделительные интервалы. Для иллюстрации указанной проблемы на рис. 1, б приведены результаты моделирования скатывания 100 отцепов тяжелой весовой категории при реализации заданной скорости выхода отцепов из тормозной позиции с математическим ожиданием $v_{ТП} = 3,9$ м/с и средним квадратическим отклонением $\sigma[v_{ТП}] = 0,3$ м/с. Анализ результатов моделирования показал,

что влияние случайных факторов привело к тому, что в 56 % опытов значения разделительных интервалов в первой паре и 45 % во второй паре оказались меньшими величинами 4,6 с. При этом, в одном из опытов во второй паре отцепов интервал составлял 0,94 с, что соответствует их неразделению на стрелках. Функции плотности распределения интервалов в первой и второй парах отцепов представлены на рис. 2, а.

Как показал анализ результатов статистической обработки, случайные величины интервалов δt_1 и δt_2 имеют близкое математическое ожидание 4,4 и 4,8 с. В то же время, средние квадратические отклонения указанных величин существенно отличаются и составляют $\sigma[\delta t_1] = 1,38$ с, $\sigma[\delta t_2] = 0,88$ с. При увеличении расстояния между стрелками разница в условиях разделения возрастает еще больше.

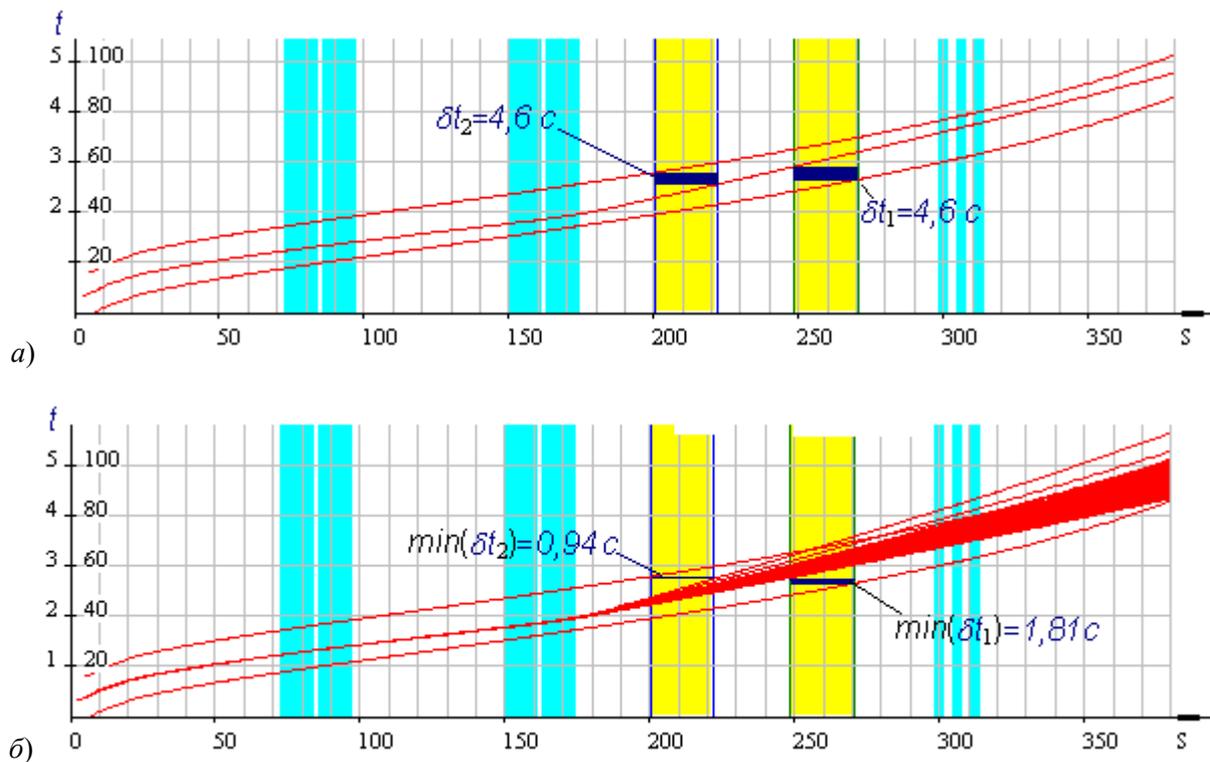


Рис. 1. Графики времени скатывания отцепов расчетной группы: а – при известных параметрах среднего отцепа и точной реализации заданной скорости выхода из тормозной позиции; б – при случайных параметрах среднего отцепа и неточной реализации заданной скорости выхода из тормозной позиции

Для сравнения на рис. 2, б представлены функции плотности распределения интервалов между отцепами при их делении на 5 и 3 стрелках.

Математическое ожидание интервалов в первой и второй парах отцепов в этих экспериментах составляет 5,9 и 6,2 с, а среднее квадратическое отклонение 1,58 и 0,49 с соответственно. Таким образом, условия разделения отцепов, при равном значении математического ожидания величины интервалов, могут существенно отличаться. В этой связи, необходимо совершенствование критерия для оптимизации режимов торможения отцепов.

Для решения задачи оптимизации интервалов между отцепами в стохастической постановке необходимо установить параметры распределения случайной величины интервалов в первой и второй парах отцепов. В общем слу-

чае величины интервалов на разделительных элементах в расчетной группе из трех отцепов могут быть определены по формуле

$$\delta t_1(\mathbf{v}) = t_{1,2} + t_2(\mathbf{v}, s_1) - \tau_1(s_1);$$

$$\delta t_2(\mathbf{v}) = t_{2,3} + t_3(s_2) - \tau_2(\mathbf{v}, s_2),$$

где $t_{1,2}, t_{2,3}$ – начальные интервалы на вершине горки, соответственно, в первой и второй паре элементарной группы;

$t(s)$ – время скатывания отцепа от момента отрыва до момента занятия изолированного участка (ИЗУ) разделительной стрелки s ;

$\tau(s)$ – то же, до момента освобождения ИЗУ разделительной стрелки s ;

\mathbf{v} – вектор скоростей выхода отцепов из тормозных позиций.

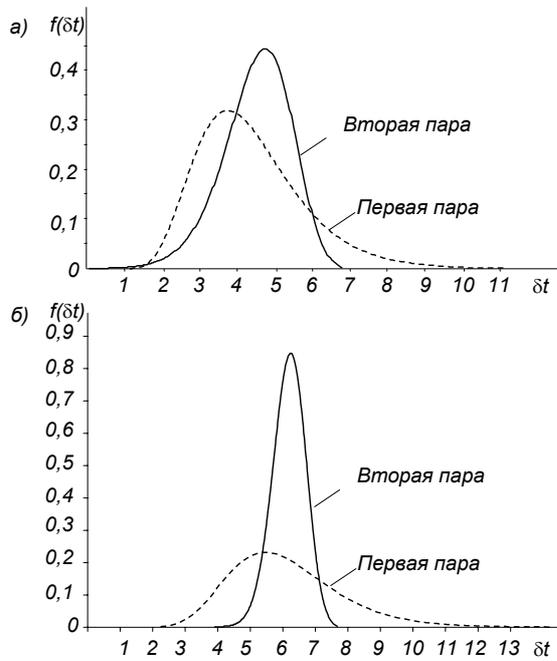


Рис. 2. Функции плотности распределения случайных величин интервалов между отцепами: *а* – разделительные стрелки $s_1 = 5, s_2 = 4, v_{ТП} = 3,95$ м/с; *б* – разделительные стрелки $s_1 = 5, s_2 = 3, v_{ТП} = 3,65$ м/с

Примем, что значение времени освобождения и занятия разделительных элементов крайними отцепами элементарной группы $\tau_1(s_1)$ и $t_3(s_2)$ известны. Значения начальных интервалов на вершине горки $t_{1,2}, t_{2,3}$ в общем случае являются случайными величинами, которые зависят от параметров отцепов, однако, ввиду малости среднего квадратического отклонения их можно представить математическими ожиданиями. Таким образом, случайная величина интервалов на разделительных элементах может быть представлена с помощью выражений

$$\begin{aligned} \delta t_1(\mathbf{v}) &= t_2(\mathbf{v}, s_1) - T_{1,2}, \\ \delta t_2(\mathbf{v}) &= T_{2,3} - \tau_2(\mathbf{v}, s_2), \end{aligned}$$

где $T_{1-2} = \tau_1(s_1) - t_{1,2}, T_{2-3} = t_{2,3} + t_3(s_2)$ – постоянные величины;

$t_2(\mathbf{v}, s_1), \tau_2(\mathbf{v}, s_2)$ – случайные величины, зависящие от режимов торможения отцепов и расположения разделительных элементов на маршруте скатывания.

Пример гистограммы распределения случайной величины продолжительности скатывания отцепа до некоторой точки на спускной части горки представлен на рис. 3.

Статистическая обработка результатов имитационного моделирования показала, что нет

оснований отвергать гипотезу о логнормальном распределении величин $t_2(\mathbf{v}, s_1)$ и $\tau_2(\mathbf{v}, s_2)$, функция плотности распределения которого имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где μ, σ – параметры распределения.

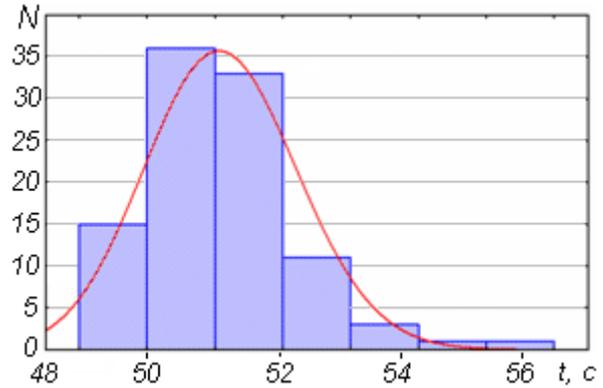


Рис. 3. Гистограмма и функция плотности распределения случайной величины времени скатывания отцепа на расстояние 250 м от вершины горки при $v_{ТП} = 4,0$ м/с

Случаи неразделения отцепов наступают тогда, когда интервалы на разделительных стрелках в первой или во второй парах принимают значение меньше 1 с, т.е. при выполнении условий

$$t_2(\mathbf{v}, s_1) < 1 + T_{1,2} \text{ или } \tau_2(\mathbf{v}, s_2) > T_{2,3} - 1.$$

Вероятности наступления этих событий могут быть установлены из выражений

$$\begin{aligned} p(\delta t_1 < 1) &= p(t_2 < 1 + T_{1,2}) = \\ &= \int_{-\infty}^{1+T_{1,2}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu_{до})^2}{2\sigma_{до}^2}} dx; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p(\delta t_2 < 1) &= p(\tau_2 > T_{2,3} - 1) = \\ &= 1 - \int_{-\infty}^{T_{2,3}-1} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu_{за})^2}{2\sigma_{за}^2}} dx, \end{aligned}$$

где $\mu_{до}, \sigma_{до}, \mu_{за}, \sigma_{за}$ – параметры распределения случайных величин времени следования отцепа до момента занятия и освобождения ИЗУ разделительной стрелки.

Таким образом, для стохастических условий скатывания в качестве параметра, характеризующего условия разделения отцепов, целесо-

образно принять вероятность неразделения отцепов, которая должна быть минимальной

$$p_3 = p(\delta t_1 < 1) + p(\delta t_2 < 1) \rightarrow \min .$$

Исследование влияния режимов торможения отцепов на вероятность их неразделения выполнено с помощью имитационного моделирования, на основании результатов которого построены зависимости $p_3 = f(v_{ТП})$.

Пример такой зависимости приведен на рис. 4. Оптимальная скорость выхода отцепа из пучковой тормозной позиции может быть определена методами прямого поиска. В данном примере минимальное значение величины p_3 достигается при $v_{ТП} = 4,05$ м/с и составляет $p_3 = 0,00014$. Учитывая, что вероятность неразделения отцепов при $v_{ТП} = 3,9$ м/с составляет 0,00073, то изменение режима торможения по-

зволяет уменьшить вероятность неразделения отцепов более чем в 5 раз. Для проверки эффективности разработанной методики выполнено имитационное моделирование скатывания 1000 расчетных групп отцепов. Во всех экспериментах было обеспечено разделение отцепов на стрелках. При этом наблюдаемая величина минимального интервала в первой паре составила 1,11 с, а во второй – 1,09 с.

Представленная на рис. 4 зависимость позволяет также установить зону допустимых скоростей выхода отцепа из тормозной позиции, при которых, с заданной вероятностью, обеспечивается разделение отцепов. Так, при допустимой вероятности неразделения $p_3 = 0,005$ [4] допустимыми являются скорости в пределах $3,74$ м/с $< v_{ТП} < 4,25$ м/с.

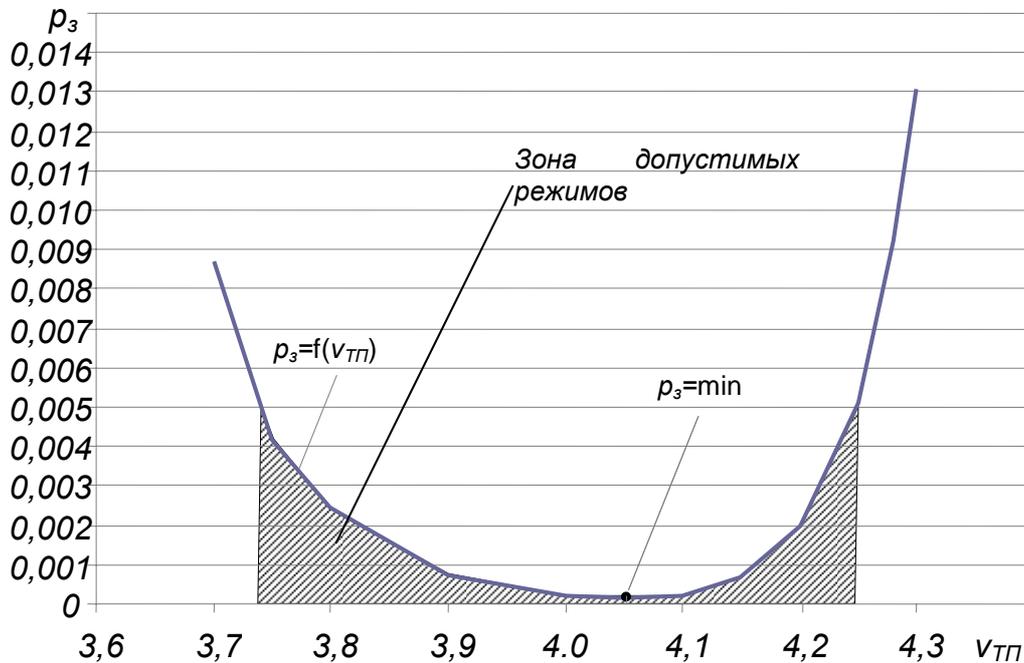


Рис. 4. Поиск оптимального режима торможения среднего отцепа в расчетной группе

Выводы

Влияние случайных факторов оказывает значительное влияние на условия разделения отцепов на стрелочных переводах. Величина этого воздействия зависит от положения разделительных элементов на маршруте скатывания и различается для первой и второй пары расчетной группы отцепов. В этой связи, оптимизацию режимов интервального торможения отцепов предложено выполнять по критерию минимума вероятности неразделения отцепов на стрелках. Представлены методы оценки веро-

ятности неразделения отцепов и поиска оптимального режима торможения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шафит, Е. М. Расчет времени расформирования составов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / Е. М. Шафит // Вопросы эксплуатации железных дорог: Труды ДИИТа. – Вып. 61. – М.: Транспорт, 1966. – С. 31-50.
2. Кирлан, А. И. Цифровая модель горки для исследования алгоритмов управления горочными процессами [Текст] / А. И. Кирлан // Автоматизация управления и совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: Сб. науч.

- тр. – Вып. 13. – Свердловск: УО ЦНИИ МПС, 1969. – С. 112-114.
3. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях [Текст] / Ю. А. Муха [и др.] – М.: Транспорт, 1985. – 248 с.
 4. Божко, Н. П. Методика определения режимов торможения отцепов при анализе конструкций сортировочных горок [Текст] / Н. П. Божко // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 229/15. – Д.: ДИИТ, 1983. – С. 30-36.
 5. Ульянычев, Ю. В. АРС ГТСС. Автоматическое регулирование скорости вагонов на сортировочной горке [Текст] / Ю. В. Ульянычев // Автоматика, телемеханика и связь. – 1972. – № 7. – С. 10-14.
 6. Разработка адаптивной автоматической системы управления работой сортировочной горки [Текст] / Е. Н. Лебединская [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. – 1999. – № 3. – С. 32-34.
 7. Бобровский, В. И. Поиск оптимальных режимов торможения на проектируемых сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1999. – № 5. – С. 50-54.
 8. Бобровский, В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский // Транспорт: 36. науч. пр. – Д.: Арт-Пресс, 2000. – С. 43-47.

Поступила в редколлегию 18.05.2010.

Принята к печати 27.05.2010.