

В. И. БОБРОВСКИЙ, А. В. КУДРЯШОВ, Ю. В. ЧИБИСОВ (ДИИТ)

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗДЕЛЕНИЙ ОТЦЕПОВ СОСТАВА НА СТРЕЛКАХ

Розроблено методику розрахунку ймовірностей розділення на стрілках несуміжних відцепів состава; виконані дослідження зв'язку цих ймовірностей з параметрами составів та з конструкцією гіркової горловини сортувального парку.

Разработана методика расчета вероятностей разделения на стрелках несмежных отцепов состава; выполнены исследования связи этих вероятностей с параметрами составов и с конструкцией горочной горловины сортировочного парка.

The method of calculation of probabilities of discontinuous cuts' divisions on the switch points is developed. The researches as for connection these probabilities with the parameters of the trains are executed. The researches also tackle the problem of the connection between the above mentioned probabilities and the construction of the hump neck.

Одной из основных проблем регулирования скорости скатывания отцепов с горки является обеспечение необходимых интервалов между ними на разделительных стрелках. При этом выбор режимов торможения определяется как параметрами скатывающихся отцепов состава, так и последовательностью номеров стрелок их разделения. Так, практически во всех системах автоматизации сортировочного процесса [1] выбор режимов роспуска составов и скатывания отцепов осуществляется с учетом координат стрелок разделения, которые, в свою очередь, определяются маршрутами скатывания смежных отцепов состава.

При решении задач оптимизации регулирования скорости отцепов с горки обычно рассматриваются интервалы на разделительных стрелках только между смежными отцепами состава (см., например, [2]).

Оценка технико-эксплуатационных параметров сортировочных горок теоретическими методами осуществляется на основе исследований процесса скатывания расчетной группы из трех отцепов; при этом рассматриваются разделения на стрелках только смежных отцепов группы.

Частота разделения отцепов расформируемых составов на отдельных стрелочных позициях горки зависит от специализации сортировочных путей. В [3] предложена методика поиска оптимальной специализации путей сортировочного парка, которая обеспечивает преимущественное разделение скатывающихся отцепов на головных и пучковых стрелках; при этом и в данной работе учитываются разделения только смежных отцепов.

Таким образом, как показывает анализ научных работ, в настоящее время при исследованиях сортировочного процесса рассматриваются условия разделения только смежных отцепов состава (расчетной группы). Между тем, как показали исследования, в процессах разделения на стрелках участвуют не только смежные отцепы состава, но также и отцепы, разделенные в составе одним или несколькими другими отцепами (несмежные отцепы). При этом установлено, что условия разделения несмежных отцепов оказывают не меньшее влияние на качество сортировочного процесса, чем обычно контролируемые условия разделения смежных отцепов состава. Вот почему возникла необходимость определения и анализа вероятностей разделения на стрелках несмежных отцепов состава. Знание указанных вероятностей необходимо для определения режимов работы тормозных позиций на горках, для расчета производительности последних, а также для выбора рациональной специализации путей в сортировочных парках. В этой связи в данной статье поставлены задачи разработки методики расчета вероятностей разделения несмежных отцепов состава на стрелках сортировочной горки, а также исследования их связи с параметрами составов и конструкцией горочной горловины.

Для доказательства необходимости учета вторичных разделений отцепов на стрелках были выполнены исследования процесса роспуска составов на имитационной модели. В результате исследований было установлено, что при определенных режимах торможения интервалы на разделительных стрелках между отдельными несмежными

отцепами могут оказаться меньше допустимых.

Для иллюстрации рассмотрим группу из 3-х отцепов, в которой имеет место указанное разделение. В данной группе кроме двух разделений на стрелках смежных отцепов (отцепов 1 и 2 на стрелке δ_{12} , а также отцепов 2 и 3 на стрелке δ_{23}) происходит также разделение первого и третьего отцепов на некоторой стрелке δ_{13} . Это разделение будет иметь место, если первая и вторая пары отцепов группы разделяются на одной и той же стрелке ($\delta_{12} = \delta_{23} = \delta$); при этом указанная стрелка δ не должна быть последней на пути скатывания, а первый и третий отцепы должны следовать на разные пути.

Очевидно, что начальный интервал на вершине горки между первым и третьим отцепами существенно больше, чем интервалы в парах 1-2 и 2-3, что улучшает условия разделения указанных отцепов. Тем не менее, при определении режимов торможения отцепов группы необходимо учитывать и контролировать условия разделения несмежных отцепов 1 и 3. В подтверждение справедливости данного требования на рис. 1, а, б приведены результаты моделирования скатывания группы из трех отцепов ОХ-ОХ-ОП, следующих, соответственно, на пути 1, 9 и 2 сортировочного парка (стрелки разделения $\delta_{12} = 2$, $\delta_{23} = 2$, $\delta_{13} = 5$) при определенных режимах торможения.

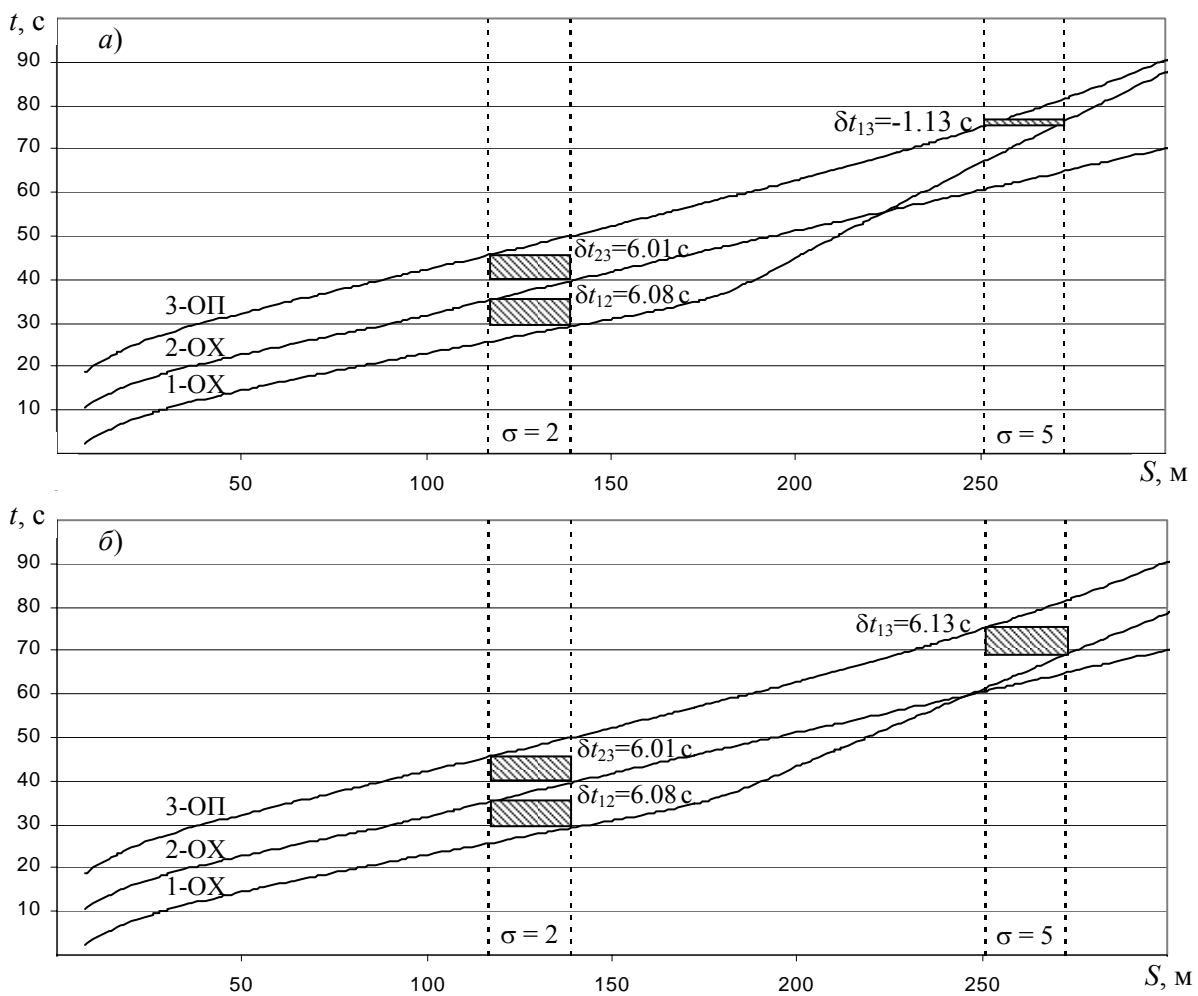


Рис. 1. Графики времени скатывания отцепов расчетной группы при различных режимах торможения первого отцепа: а – без учета разделения несмежных отцепов 1 и 3; б – с учетом разделения отцепов 1 и 3

Как видно из рис. 1, а, и первая и вторая пары отцепов группы успешно разделяются на 2-й стрелке ($\delta t_{12} = 6,08$ с, $\delta t_{23} = 6,01$ с); в то же время третий отцеп нагоняет первый на 5-й стрелке ($\delta t_{13} = -1,13$ с), на которой они должны были разделиться. Данная ситуация возникла из-

за неудачного выбора режимов торможения отцепов группы, который был сделан без учета разделения несмежных отцепов. Если же изменить режим скатывания первого отцепа группы, уменьшив торможение на средней тормозной позиции горки, то можно обеспечить его разде-

ление с третьим отцепом на стрелке 5 (см. рис. 1, б). Очевидно, что за счет ускорения скатывания первого отцепа группы и некоторого ухудшения условий его разделения с предыдущим отцепом удалось обеспечить достаточный интервал ($\delta t_{13} = 6,13$ с) на 5-й стрелке при разделении с несмежным третьим отцепом.

Таким образом, данный пример свидетельствует о необходимости учета вторичных разделений отцепов при определении режимов торможения отцепов состава.

Методику расчета вероятностей разделения несмежных отцепов состава на стрелках сортировочной горки рассмотрим вначале на элементарной группе из трех отцепов. Для определения вероятности разделения на некоторой стрелке σ_{13} первого и третьего отцепов группы рассмотрим следующие случайные события:

$A_{1л}, A_{1п}$ – первый отцеп на данной стрелке отклоняется, соответственно, влево и вправо;

$A_{3л}, A_{3п}$ – третий отцеп на данной стрелке отклоняется, соответственно, влево и вправо;

\bar{A}_2 – второй отцеп при скатывании не следует данную стрелку.

Тогда сложное событие, состоящее в том, что первый и третий отцепы группы разделяются на стрелке σ_{13} , можно записать как

$$C = A_{1л} \cdot \bar{A}_2 \cdot A_{3п} + A_{1п} \cdot \bar{A}_2 \cdot A_{3л} \quad (1)$$

Учитывая, что слагаемые в данном выражении представляют собой несовместные события, вероятность события C можно найти как сумму их вероятностей:

$$P(C) = P(A_{1л} \cdot \bar{A}_2 \cdot A_{3п}) + P(A_{1п} \cdot \bar{A}_2 \cdot A_{3л}) \quad (2)$$

События, входящие в данное выражение, также являются сложными; их можно представить в виде определенной суммы несовместных событий A_{ij} , состоящих в том, что i -й отцеп следует на j -й путь. Например, событие $A_{1л}$ является суммой несовместных событий, состоящих в том, что 1-й отцеп следует на один из путей $m_{л}$:

$$A_{1л} = \sum_{m_{л}} A_{1j}, \quad j = w, \dots, w + m_{л} - 1,$$

где $w, \dots, w + m_{л} - 1$ являются номерами путей, следуя на которые отцеп должен отклониться на данной стрелке влево.

Вероятности отклонения i -го отцепа на некоторой стрелке σ влево и вправо можно найти, используя теорему сложения вероятностей:

$$P(A_{iл}) = P\left(\sum_{m_{л}} A_{ij}\right) = \sum_{m_{л}} P(A_{ij}), j = w, \dots, w + m_{л} - 1$$

$$P(A_{iп}) = P\left(\sum_{m_{п}} A_{ij}\right) = \sum_{m_{п}} P(A_{ij}), j = w, \dots, w + m_{п} - 1$$

Вероятности элементарных событий $P(A_{ij})$ можно оценить по частоте поступления отцепов на соответствующие пути:

$$P^*(A_{ij}) = \frac{Z_j}{Z},$$

где Z_j – число отцепов в некоторой выборке, следующих на j -й путь сортировочного парка; Z – объем выборки.

Если принять, что распределение отцепов по M путям сортировочного парка равномерно, то выражения для указанных вероятностей упрощаются:

$$P(A_{iл}) = \frac{m_{л}(\sigma)}{M}, \quad P(A_{iп}) = \frac{m_{п}(\sigma)}{M},$$

где $m_{л}(\sigma), m_{п}(\sigma)$ – число путей сортировочного парка, на которые i -й отцеп может проследовать, отклоняясь на стрелке σ , соответственно, влево и вправо (рис. 2).

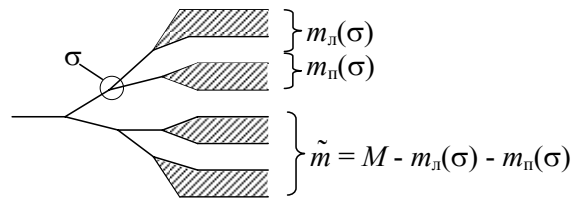


Рис. 2. Схема определения вероятности вторичного разделения крайних отцепов группы на стрелке σ

Как было показано в [4], события, входящие в (1), не являются независимыми. Действительно, если i -й отцеп состава следует на j -й путь, то $(i+1)$ -й отцеп может следовать на любой путь, кроме j -го. Тогда вероятности произведений событий (2) можно найти как

$$P(A_{1л} \cdot \bar{A}_2 \cdot A_{3п}) = P(A_{1л}) \cdot P(\bar{A}_2 | A_{1л}) \cdot P(A_{3п} | A_{1л}, \bar{A}_2)$$

,

$$P(A_{1п} \cdot \bar{A}_2 \cdot A_{3л}) = P(A_{1п}) \cdot P(\bar{A}_2 | A_{1п}) \cdot P(A_{3л} | A_{1п}, \bar{A}_2)$$

.

Условные вероятности событий в данных выражениях вычисляются при условии, что все предыдущие события имели место:

$$P(\bar{A}_2 | A_{1л}) = P(\bar{A}_2 | A_{1п}) = \frac{M - m_n(\sigma) - m_l(\sigma)}{M - 1},$$

$$P(A_{3п} | A_{1л}, \bar{A}_2) = \frac{m_n(\sigma)}{M - 1},$$

$$P(A_{3л} | A_{1п}, \bar{A}_2) = \frac{m_n(\sigma)}{M - 1}.$$

Тогда в окончательном виде вероятность $P(\sigma)$ события C (1), состоящего в том, что в группе из 3-х отцепов будет иметь место разделение 1-го и 3-го отцепов на стрелке σ можно записать как:

$$P_{13}(\sigma) = \frac{2m_l(\sigma) \cdot m_n(\sigma) \cdot (M - m_l(\sigma) - m_n(\sigma))}{M(M - 1)^2}. \quad (3)$$

С помощью полученного выражения были определены вероятности деления на стрелках первого и третьего отцепов группы для сортировочных парков из 4, 8, 16 и 32 путей. В табл. 1 приведены указанные вероятности, определенные для всех стрелочных позиций сортировочного парка путем суммирования значений $P(\sigma)$, которые получены с помощью (3) для всех стрелок, принадлежащих данной позиции.

Таблица 1

Вероятности вторичных разделений на стрелках в группе из 3-х отцепов

Число путей M в парке	Номер стрелочной позиции				P	r_3
	2	3	4	5		
4	0,222	-	-	-	0,222	1,111
8	0,163	0,122	-	-	0,285	1,142
16	0,142	0,107	0,062	-	0,311	1,156
32	0,133	0,100	0,058	0,031	0,322	1,161

Как видно из приведенной таблицы, вторичные разделения в тройке отцепов встречаются достаточно часто (в каждой третьей выбранной случайным образом группе). При этом вероятность вторичных разделений экспоненциально возрастает по мере увеличения числа путей в сортировочном парке (рис. 3).

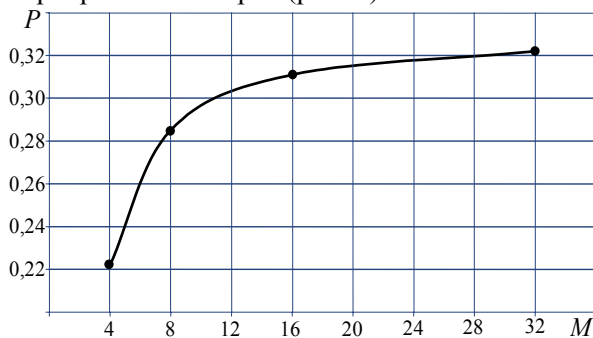


Рис. 3. Зависимость вероятности вторичных разделений в группе из трех отцепов от числа путей в сортировочном парке

Полученное выражение (3) может быть модифицировано для определения вероятности деления любой пары несмежных отцепов состава $(i, i+k)$, $k > 1$, на некоторой стрелке σ . Для того чтобы указанное деление состоялось, необходимо, чтобы i -й и $(i+k)$ -й отцепы проследовали стрелку σ в разных направлениях; при этом все отцепы с $(i+1)$ -го по $(i+k-1)$ -й не должны следовать через эту стрелку. Тогда указанную вероятность можно определить как

$$P_{i,i+k}(\sigma) = \frac{2m_l(\sigma) \cdot m_n(\sigma) \cdot (M - m_l(\sigma) - m_n(\sigma))^{k-1}}{M(M - 1)^k}. \quad (4)$$

Очевидно, что (3) является частным случаем данного выражения, которое позволяет найти вероятность деления на стрелке σ любой пары отцепов состава, в том числе смежных (при $k=1$).

Представляет интерес характер изменения вероятности $P_{i,i+k}(\sigma)$ при увеличении расстояния между отцепами (параметр k). Как показывает анализ выражения (4), указанная вероятность максимальна для смежных отцепов (при $k=1$) и убывает по мере удаления отцепов состава друг от друга и, соответственно, увеличения k (см. рис. 4). При этом скорость изменения вероятности $P_{i,i+k}(\sigma)$ существенно зависит от номера разделительной стрелки σ . Для головных стрелок $\delta=2$ величина $P(\delta)$ резко уменьшается с ростом k . По мере роста σ степень указанной зависимости уменьшается, так что для последних стрелок пучков ($\delta=5$) значение $P(\delta)$ практически не изменяется с увеличением k (см. рис. 4).

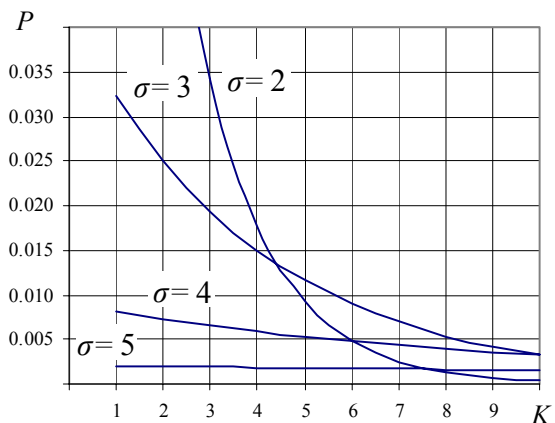


Рис. 4. Зависимости вероятности разделения пары

отцепов на стрелке σ от их размещения в составе

Для решения различных практических задач, например, для выбора рациональной специализации путей сортировочного парка, представляет интерес оценка общего числа разделений отцепов R_n в расформируемых составах из n отцепов. Для получения указанной оценки рассмотрим первоначально элементарную группу из 3-х отцепов ($n = 3$). Очевидно, что в данной группе имеют место 2 разделения смежных отцепов, а также с вероятностью P (см. табл. 1) может происходить разделение крайних отцепов 1 и 3. Следовательно, в группе может быть 2 разделения с вероятностью $1-P$ и 3 разделения с вероятностью P . Тогда очевидно, что математическое ожидание числа разделений в группе из 3-х отцепов при их равномерном распределении по путям сортировочного парка можно определить как

$$M[R_3] = 2(1 - P) + 3P = 2 + P.$$

Для удобства сравнения числа разделений в составах с разным числом отцепов целесообразно найти их среднее число r_n , приходящееся на одну пару смежных отцепов состава:

$$r_n = \frac{M[R_n]}{n-1}.$$

Очевидно, что для группы из трех отцепов указанная величина будет равна $r_3 = 1 + P/2$; значения r_3 для сортировочных парков с различным числом путей приведены в табл. 1.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о необходимости учета вторичных разделений отцепов состава при исследованиях сортировочного процесса на горках.

Анализ разделений отцепов на стрелках с использованием вероятностного подхода позволил получить аналитические выражения для

определения вероятности разделения на некоторой стрелке произвольной пары отцепов состава, а также для расчета среднего числа разделений в составе, приходящееся на одну пару смежных отцепов.

В результате анализа полученных выражений установлено, что с ростом числа отцепов увеличивается сложность аналитического расчета указанных параметров. В этой связи в дальнейшем необходимо разработать методику статистической оценки частоты разделений отцепов для произвольных составов и конструкций сортировочных горок. Данная методика необходима как для выбора рациональной специализации путей сортировочных парков, так и для определения режимов интервального регулирования скорости скатывания отцепов при роспуске составов на горках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Модин Н. К. Механизация и автоматизация станционных процессов. – М.: Транспорт, 1985. – 224 с.
2. Муха Ю. А. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях / Ю. А. Муха, И. В. Харланович, В. П. Шейкин и др. – М.: Транспорт, 1985. – 248 с.
3. Явна А. А. Методика специализации путей подгорочного парка / А. А. Явна, В. Н. Иванченко, Л. В. Пальчик, А. Г. Кулькин // Вестник ВНИИЖТа. – 1980. – №2. – с. 9 – 15.
4. Бобровский В. И. Определение вероятностей разделения отцепов на стрелках сортировочной горки // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях: Тр. ДИИТа. – Вып. 181/10. – Д. – 1976. – С. 56 – 63.

Надійшла до редколегії 20.07.2007.