

В. И. БОБРОВСКИЙ, А. В. КУДРЯШОВ, Л. О. ЕФИМОВА (ДИИТ)

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЧИСЛА РАЗДЕЛЕНИЙ ОТЦЕПОВ НА СТРЕЛКАХ ПРИ РАСФОРМИРОВАНИИ СОСТАВОВ

Розроблена методика визначення матриці розділень відцепів складу, виконано статистичний аналіз числа розділень та його зв'язку з числом відцепів у складі.

Разработана методика определения матрицы разделений отцепов состава, выполнен статистический анализ числа разделений и его связи с числом отцепов в составе.

The procedure of determination of disintegration matrix of the uncoupled parts of a train has been developed. The statistical analysis of a number of disintegrations and its connection with a number of the uncoupled train parts has been also performed.

Эффективность функционирования сортировочных горок в значительной мере определяется условиями разделения отцепов расформируемых составов на разделительных элементах. В этой связи задача обеспечения надежного разделения отцепов на стрелках является одной из основных как при проектировании сортировочных горок, так и при совершенствовании их технических средств и технологии, а также при автоматизации управления роспуском состава.

Как показал анализ научных работ перечисленных направлений, которые касаются проблемы интервального регулирования скорости отцепов на горках [1-3], в них рассматриваются процессы разделения на стрелках только смежных отцепов. В то же время, как следует из [4], в процессах разделения на стрелках могут участвовать, кроме смежных, также и отцепы, разделенные некоторой группой других отцепов состава (несмежные отцепы). При этом в данной работе показано, что при определенных режимах торможения интервалы между отдельными несмежными отцепами могут оказаться меньше допустимых. В этой связи в [4] был выполнен анализ вероятностей вторичных разделений отцепов состава на стрелках сортировочной горки и получено выражение для их определения. Кроме того, на основе указанных вероятностей была получена оценка удельного числа разделений  $r_n$ , приходящихся на одну пару отцепов состава, которая может служить характеристикой сложности сортировочного процесса на горке.

В то же время необходимо указать, что разработанная в [4] методика определения величины  $r_n$  эффективна лишь для составов с неболь-

шим числом отцепов  $n$ . С ростом же  $n$  определение указанным способом величины  $r_n$  становится весьма затруднительным из-за существенного возрастания числа разделений на стрелках несмежных отцепов. Поэтому для определения величины  $r_n$  при расформировании на горках реальных составов целесообразно использование статистического метода, основанного на анализе вероятностных характеристик разделений в выборках из достаточно большого числа составов со случайными назначениями отцепов.

Следует также заметить, что выражения, приведенные в [4], получены для равновероятного распределения отцепов по сортировочным путям. Поэтому для реальных горок, на которых вероятности следования отцепов на отдельные пути сортировочного парка различны, статистический метод определения  $r_n$  вообще является практически единственно возможным. В этой связи в данной статье разработана методика оценки среднего значения  $r_n$ , которая основана на определении фактического числа разделений отцепов в необходимом множестве составов со случайными назначениями отцепов и последующей статистической обработке полученных результатов.

Число  $Q$  возможных вариантов состава из  $n$  отцепов, отличающихся их назначениями, при расформировании на горке с  $M$  сортировочными путями определяется как

$$Q = M \cdot (M - 1)^{n-1}. \quad (1)$$

Очевидно, что составы из указанного множества  $Q$  будут отличаться распределением от-

дельных отцепов по маршрутам скатывания с горки и, соответственно, совокупностью номеров разделительных стрелок.

Для удобства анализа разделений маршрутов конкретного состава их целесообразно представить верхней треугольной матрицей (см. рис. 1), строкам и столбцам которой поставлены в соответствие номера путей назначения последовательности его отцепов.

	$W_1$	$W_2$	$W_3$	...	$W_{n-1}$	$W_n$
$W_1$	0	$\sigma_{12}$	$\sigma_{13}$	...	$\sigma_{1,n-1}$	$\sigma_{1,n}$
$W_2$		0	$\sigma_{23}$	...	$\sigma_{2,n-1}$	$\sigma_{2,n}$
$W_3$			0	...	$\sigma_{3,n-1}$	$\sigma_{3,n}$
...				...	...	...
$W_{n-1}$					0	$\sigma_{n-1,n}$
$W_n$						0

Рис. 1. Верхняя треугольная матрица номеров разделительных стрелок отцепов состава

Элементами матрицы  $\sigma_{ij}$ ,  $i < j$  являются номера стрелочных позиций, на которых разделяются маршруты  $i$ -го и  $j$ -го отцепов, следующих, соответственно, на пути  $W_i, W_j$ ; элементы  $\sigma_{ij} = 0$  для всех  $i = j$ . Тогда очевидно, что общее число возможных разделений маршрутов  $n$  отцепов состава (элементов матрицы  $\sigma_{ij} \neq 0$ ) равно:

$$\hat{R}_n = \frac{n(n-1)}{2}. \quad (2)$$

Число  $\hat{R}_n$  является верхним пределом числа возможных делений на стрелках  $n$  отцепов состава. При этом, как показал анализ, фактическое число делений отцепов  $R_n$  меньше указанного значения  $\hat{R}_n$  для всех составов, в которых  $n > 3$  (при  $n = 3$  значение  $\hat{R}_3 = 3$  и, как показано в [4], существуют составы, для которых выполняется равенство  $R_3 = \hat{R}_3$ ).

Действительно, разделение отцепов на стрелке  $\sigma_{ij}$  имеет место, если при роспуске состава с момента освобождения этой стрелки  $i$ -м отцепом до момента занятия её  $j$ -м отцепом по ней не проследует никакой другой отцеп с номером  $k$ ,  $i < k < j$ . Из этого следует, что у  $i$ -го отцепа на каждой стрелочной позиции  $\sigma$  по маршруту скатывания ( $\sigma = 1, 2, \dots, N$ ,  $N$  – число стрелочных позиций) может быть не более одного разделения с одним из последующих

отцепов состава с номерами  $k_1, k_2, \dots, k_N$ . При этом  $i < k_1 < k_2 < \dots < k_N$  и  $\sigma_{i,k_1} < \sigma_{i,k_2} < \dots < \sigma_{i,N}$ . Поэтому, если в строках матрицы  $\|\sigma\|$  элемент  $\sigma_{i,k} \leq \sigma_{i,j}$ ,  $k > j$ , то принимается  $\sigma_{i,k} = 0$ . Это означает, что  $k$ -й отцеп не может разделяться с  $i$ -м на стрелке  $\sigma_{i,k}$ , так как между ними данную стрелку проследует один или несколько других отцепов с номерами из интервала  $[i+1, k-1]$ .

Если несмежные  $i$ -й и  $j$ -й отцепы ( $i < j-1$ ) следуют на один и тот же путь ( $W_i = W_j$ ), то у них не может быть разделения на стрелках и поэтому в данном случае также  $\sigma_{ij} = 0$ . Кроме того, при этом  $j$ -й отцеп блокирует все возможные последующие разделения  $i$ -го отцепа с отцепами, имеющими номера больше  $j$ ; в этом случае  $\sigma_{ik} = 0$  для всех  $k > j$ .

Таким образом, в каждой строке и в каждом столбце матрицы  $\|\sigma\|$  может быть не более  $N$  ненулевых элементов  $\sigma_{ij} \neq 0$ . С учетом данного вывода для достаточно больших составов ( $n \geq N$ ) число возможных разделений отцепов можно ограничить величиной

$$R_{N,n}^* = \frac{(2n - N - 1) \cdot N}{2}.$$

Следует заметить, однако, что фактическое число разделений отцепов состава  $R_n$  не может достигнуть и величины  $R_n^*$  при всех  $n > 3$ . Для доказательства данного утверждения рассмотрим группу из 3-х отцепов, в которой имеет место 3 разделения, и добавим к ней 4-й отцеп. Для примера на рис. 2, а...г приведены 4 треугольные матрицы номеров разделительных стрелок в группах из 4-х отцепов, отличающихся номером пути назначения 4-го отцепа; при этом принято, что сортировочный парк имеет  $M = 16$  путей и, соответственно,  $N = 4$  стрелочные позиции.

Как было показано выше, для того, чтобы в группе из 3-х отцепов было 3 разделения, нужно чтобы обе ее пары отцепов (1-2 и 2-3) разделялись на одной и той же стрелке ( $\sigma_{12} = \sigma_{23} = \sigma$ ); при этом номер стрелки разделения первого и третьего отцепов  $\sigma_{13} > \sigma$  (на рис. 2  $\sigma_{12} = \sigma_{23} = 2$ ,  $\sigma_{13} = 3 > 2$ ). Тогда, если

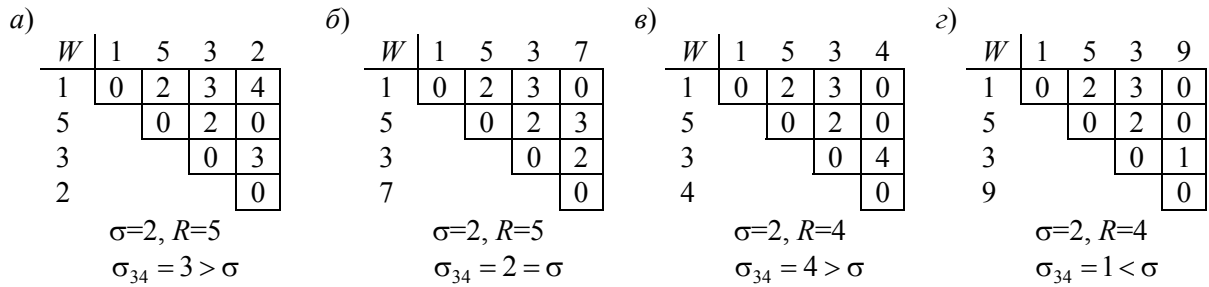


Рис. 2. Треугольные матрицы номеров разделительных стрелок в группе из 4-х отцепов при различном пути назначения 4-го отцепа

4-й отцеп проследует стрелку  $\sigma$ , то он может иметь вторичное разделение только с одним из отцепов (с 1-м или со 2-м). Выбор зависит от направления проследования стрелки  $\sigma$ . Так, на рис. 2,а 4-й отцеп, имеющий назначение на 2-й путь, проследует стрелку 2 в направлении за 1-м отцепом, который движется на 1-й путь; при этом отцепы 1 и 4 имеют разделение на стрелке 4.

На рис. 2,б 4-й отцеп имеет назначение на 7-й путь и проследует стрелку 2 в направлении за 2-м отцепом, который следует на 5-й путь; при этом отцепы 2 и 4 имеют разделение на стрелке 3.

Указанного вторичного разделения отцепа 4 с отцепами 1 или 2 может и не быть. Ему может препятствовать предыдущий 3-й отцеп, который сам имеет вторичное разделение с отцепом 1 (см. рис. 2,в). Также дополнительного разделения в группе не будет, если 4-й отцеп не проследует стрелку  $\sigma$  (см. рис. 2,г).

Случай блокирования возможного разделения несмежных отцепов показан на рис. 3. На данном рисунке приведена матрица номеров разделительных стрелок в группе из 4-х отцепов, которая отличается от приведенной на рис. 2,а назначением 3-го отцепа, следующего на тот же 1-й путь, что и 1-й отцеп.

W	1	5	1	2
1	0	2	0	0
5		0	2	0
1			0	4
2				0

$\sigma=2, R=3$   
 $W_1 = W_3 = 1$

Рис. 3. Матрица номеров разделительных стрелок в группе из 4-х отцепов при совпадении путей назначения 1-го и 3-го отцепов

В данной группе, во-первых, отсутствует разделение 1-го и 3-го отцепов, поскольку они следуют на один и тот же путь. Во-вторых, в данном случае нет и разделения отцепов 1 и 4

(ср. с рис. 2,а), поскольку за 1-м отцепом по тому же маршруту следует отцеп 3, который его блокирует, а вместо этого сам разделяется с 4-м отцепом на стрелке 4. Поэтому очевидно, что в данной группе происходит только 3 разделения смежных отцепов.

Таким образом, максимальное число разделений в группе из 4-х отцепов  $R_4 = 5 < R_{4,4}^*$ , где  $R_{4,4}^* = 6$ . Это подтверждает сделанный вывод для  $n = 4$ ; при любых  $n > 4$  утверждение, что  $R_n < R_{N,n}^*$ , может быть доказано методом полной индукции.

Дальнейшие исследования позволили получить выражение для определения максимального числа разделений в составе из  $n$  отцепов:

$$R_{N,n}^{\max} = \sum_{k=1}^N (n - 2^{k-1}), \quad \forall k(2^{k-1} < n). \quad (3)$$

С помощью данного выражения были определены величины максимального числа разделений  $R_{N,n}^{\max}$  и соответствующих удельных значений  $r_{N,n}^{\max} = R_{N,n}^{\max} / (n - 1)$  в составах из  $n$  отцепов при их расформировании на горках с различным числом путей в сортировочных парках (см. табл. 1).

Значения минимального числа разделений  $R_n^{\min}$  и их удельных значений  $r_n^{\min}$  в составах из  $n$  отцепов очевидны и определяются как

$$R_n^{\min} = n - 1, \quad r_n^{\min} = 1, \quad (4)$$

и не зависят от числа путей в сортировочных парках.

Как показывает анализ данных табл. 1, максимальное число разделений отцепов в составах значительно превышает соответствующие минимальные значения, которые включают только разделения смежных отцепов. При этом разница между максимальными и минимальными значениями существенно возрастает с увеличением числа отцепов в составах и числа сорти-

ровочных путей. Данное обстоятельство свидетельствует о необходимости учета разделений несмежных отцепов в процессе расформирования составов при решении широкого круга задач, касающихся функционирования сортировочных горок.

Таблица 1

**Максимальное число разделений в составах из  $n$  отцепов**

$n$	8 путей		16 путей		32 пути	
	$R_{3,n}^{\max}$	$r_{3,n}^{\max}$	$R_{4,n}^{\max}$	$r_{4,n}^{\max}$	$R_{5,n}^{\max}$	$r_{5,n}^{\max}$
3	3	1.50	3	1.50	3	1.50
4	5	1.67	5	1.67	5	1.67
5	8	2.00	8	2.00	8	2.00
10	23	2.56	25	2.78	25	2.78
15	38	2.71	45	3.21	45	3.21
20	53	2.79	65	3.42	69	3.63
25	68	2.83	85	3.54	94	3.92
30	83	2.86	105	3.62	119	4.10
40	113	2.90	145	3.72	169	4.33
50	143	2.92	185	3.78	219	4.47

Полученные выражения (3), (4) позволяют установить возможные пределы изменения числа разделений отцепов в составах. Однако, для решения практических задач более важно установить средние значения величин  $\bar{R}_n$  и  $\bar{r}_n$  для потока составов, расформируемых на горке. Для оценки указанных параметров  $\bar{R}_n$  и  $\bar{r}_n$  вначале был выполнен анализ разделений в группе из 4-х отцепов; результаты анализа возможного числа вторичных разделений  $R_{4вт}$  в группе, расформируемой в сортировочном парке с 8 путями, приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Распределение вторичных разделений в группах из 4-х отцепов на стрелках горки с 8 путями**

Число вторичных разделений $R_{4вт}$	Пары отцепов	Число групп $g_R$	Всего групп
0	—	1176	1176
1	1-3	416	1136
	1-4	304	
	2-4	416	
2	1-3 и 2-4	304	432
	1-3 и 1-4	64	
	1-4 и 2-4	64	
Итого		2744	2744

В соответствии с (1) общее число групп из 4-х отцепов, имеющих различные назначения на 8 сортировочных путей, составляет 2744. В табл. 2 указанные группы были классифицированы по парам отцепов, имеющим разделение

на стрелках, и определено количество групп с различным числом вторичных разделений. Как было показано выше, их число в группе принимает три возможных значения  $R_{4вт} = 0, 1, 2$ ; при этом общее число разделений  $R_4$  составляет, соответственно, 3, 4 или 5.

Подобный анализ был выполнен также для горок, имеющих 16 и 32 пути в сортировочном парке, для которых число различных групп из 4-х отцепов, соответственно, равно 54000 и 953312 (см. табл. 3). На основе полученных данных были определены вероятности  $P_R$  отдельных значений числа разделений в группе ( $R_4 = 3, 4, 5$ ), а также их математические ожидания  $M[R_4]$  и  $M[r_4]$ . Полученные результаты согласуются с данными о максимальных значениях соответствующих параметров, приведенных в табл. 1 ( $3 < M[R_4] < 5, 1 < M[r_4] < 1.67$ ).

Как видно из приведенных данных, вторичные разделения в среднем почти на 30% увеличивают их общее число даже в коротких группах из 4-х отцепов; при этом с ростом числа путей в сортировочном парке указанный эффект возрастает.

Таблица 3

**Параметры, характеризующие число разделений на стрелках в группах из 4-х отцепов**

$R_4$	Число путей в сортировочном парке					
	8		16		32	
	$g_R$	$P_R$	$g_R$	$P_R$	$g_R$	$P_R$
3	1176	0.429	20400	0.378	338272	0.355
4	1136	0.414	22880	0.424	406720	0.427
5	432	0.157	10720	0.199	208320	0.219
Итого	2744	1.000	54000	1.000	953312	1.000
$M[R_4]$	3.729		3.821		3.864	
$M[r_4]$	1.243		1.274		1.288	

Следует заметить, что проведение подобных исследований для составов с большим числом отцепов  $n$  весьма затруднительно. Дополнительные сложности возникают при анализе горок, имеющих несимметричную конструкцию пучков сортировочных путей, а также различные вероятности поступления отцепов на пути парка. В этих условиях для оценки параметров  $\bar{R}_n$  и  $\bar{r}_n$  предложено использовать методы статистического анализа числа разделений отцепов на стрелках для заданной горки и потока составов со случайными назначениями. С этой целью была разработана методика определения фактического числа разделений отцепов в конкретных составах. Методика предусматривает

определение всех элементов матрицы номеров стрелок  $\|\sigma\|$  для конкретной горки и состава с помощью булевых функций:

$$\sigma_{ij} = \varphi(\zeta_i, \zeta_j),$$

где  $\zeta_i, \zeta_j$  – коды путей назначения  $i$ -го и  $j$ -го отцепов.

Код каждого сортировочного пути  $\zeta$  формируется таким образом, чтобы по нему можно было определить положение стрелок в маршруте на данный путь. Указанный код в двоичной форме состоит из  $N$  разрядов по числу стрелочных позиций на горке. Каждый разряд кода принимает два значения:  $\psi_k = 0$ , если  $k$ -я стрелка в маршруте установлена влево,  $\psi_k = 1$  – то же, вправо. Требуемое положение в маршруте головной стрелки  $\sigma_1$  записывается в старшем разряде кода. Десятичное значение кода пути  $\zeta$  можно определить с помощью выражения:

$$\zeta = \sum_{k=1}^N \psi_k 2^{N-k}$$

Такое кодирование номеров путей назначения отцепов позволяет определить номер стрелки разделения для любой пары маршрутов как:

$$\sigma_{ij} = N - s, \quad s = 0, 1, \dots, N - 1.$$

При этом принимается такое  $s$ , при котором выполняется условие

$$2^s \leq \zeta_i \oplus \zeta_j < 2^{s+1}.$$

Здесь  $(A_1 \oplus A_2)$  обозначает операцию дизъюнкции с исключением.

Предложенная методика позволяет определять элементы треугольной матрицы  $\|\sigma\|$  для каждого конкретного состава, расформируемого на горке с любой конструкцией стрелочной горловины. Анализ матрицы позволяет установить общее число разделений отцепов состава, а также их распределение по отдельным стрелочным позициям.

Разработанная методика была использована для исследования вероятностей разделения отцепов в составах с их числом от 3 до 50 при их расформировании на горках с 8, 16 и 32 сортировочными путями. С этой целью было выполнено статистическое моделирование множества составов ( $10^6$ ) с указанными параметрами и случайным назначением отдельных отцепов и в

каждом из них определены все имеющиеся разделения.

В результате исследований установлено, что при достаточно большом числе отцепов в составе (10 и более) число разделений  $R$  имеет нормальное распределение. Для примера в табл. 4 приведены результаты статистического анализа распределения случайного числа разделений в 10000 составов из 10 отцепов, расформируемых на горке с 32 сортировочными путями; указанные составы получены путем статистического моделирования случайных назначений отдельных отцепов.

Для проверки гипотезы о нормальном распределении величины  $R$  использовался критерий согласия  $\chi^2$ , значение которого вычислено по данным о статистическом  $m$  и теоретическом  $np$  числе появлений отдельных значений  $R$  в выборке (см. табл. 4). При расчете  $\chi^2$  были объединены два крайних значения ряда (22, 23) из-за малости соответствующих значений  $m$ . Тогда при уровне значимости  $\alpha = 0.05$  и числе степеней свободы  $\nu = 11$  квантиль  $\chi^2_{11;0.95} = 19.68$ ; поскольку по опытным данным  $\chi^2 = 17.04 < 19.68$ , гипотеза о нормальном распределении величины  $R$  может быть принята.

Таблица 4

**Распределение числа разделений в составах из 10 отцепов, расформируемых на горке с 32 путями**

$R$	$m$	$p$	$np$	Параметры
9	9	0.00186	18.550	$M[R]=15.48$
10	57	0.00598	59.818	$D[R]=4.24$
11	178	0.01890	189.011	$\sigma[R]=2.06$
12	462	0.04739	473.933	$\chi^2 = 17.04$
13	984	0.09431	943.121	
14	1532	0.14896	1489.592	
15	1838	0.18674	1867.406	
16	1839	0.18582	1858.198	
17	1454	0.14677	1467.664	
18	917	0.09201	920.094	
19	501	0.04578	457.811	
20	168	0.01808	180.783	
21	47	0.00567	56.651	
22	13	0.00141	14.086	
23	1	0.00033	3.282	
	10000	1.0000	10000.00	

В подтверждение гипотезы о нормальном распределении величины  $R$  на рис. 4 совмещены гистограмма распределения числа разделений в составах из 10 отцепов и теоретическая кривая плотности  $f(R)$ , построенные по данным табл. 4.

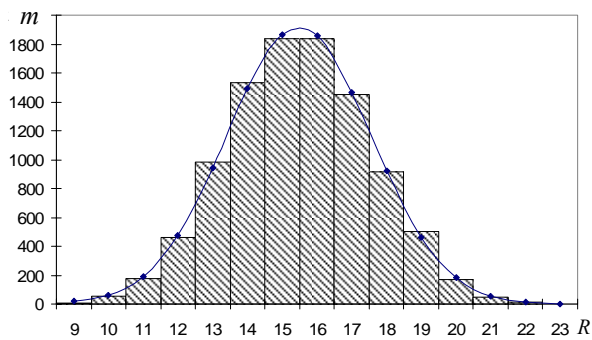


Рис. 4. Гистограмма распределения числа разделений  $R$  в составах из 10 отцепов

С использованием разработанной методики был выполнен анализ влияния числа отцепов в составах  $n$  на число их разделений на стрелках. С этой целью рассматривались составы с различным числом отцепов  $n = 3 \dots 50$ ; значения  $n$  соответствуют приведенным в табл. 1. Для каждого из  $n$  было выполнено моделирование  $10^6$  составов со случайными назначениями отцепов и установлено среднее значение удельного числа разделений  $\bar{r}_n$ . Кроме того, в каждой такой выборке были установлены составы с минимальным  $R_n^{\min}$  и максимальным  $R_n^{\max}$  числом разделений и по этим значениям определены, соответственно, минимальное  $r_n^{\min}$  и максимальное  $r_n^{\max}$  удельное число разделений как  $r = R/(n-1)$ .

Указанные исследования были выполнены для горок с симметричной конструкцией пучков при  $M = 8, 16, 32$  пути и, соответственно,  $N = 3, 4, 5$  стрелочных позиций и равновероятным распределением отцепов по сортировочным путям.

Результаты исследований для горки с 32 путями приведены на рис. 5; здесь показаны значения  $\bar{r}_n$ ,  $r_n^{\min}$ ,  $r_n^{\max}$  для отдельных  $n$ , а также соответствующие зависимости  $r = f(n)$ , полученные с использованием регрессионного анализа ( $\bar{r} = f_1(n)$  – линия 1,  $r^{\min} = f_2(n)$  – линия 2,  $r^{\max} = f_3(n)$  – линия 3). Для сравнения на этом же рисунке показаны теоретические зависимости минимальных  $r_t^{\min} = f_4(n)$  – линия 4, и максимальных  $r_t^{\max} = f_5(n)$  – линия 5, значений удельного числа разделений, построенные по данным табл. 1.

Как видно из приведенного рисунка, величина  $\bar{r}_n$  нелинейно возрастает по мере увеличения числа отцепов в составе  $n$ . Вначале ско-

рость роста  $\bar{r}_n$  значительна, так что уже при  $n = 17$  величина достигает 2, т.е. число вторичных разделений сравнивается с числом разделений смежных отцепов. При дальнейшем увеличении  $n$  интенсивность роста  $\bar{r}_n$  существенно уменьшается, так что при  $n=50$  величины  $\bar{r}_{50} = 2.32$ . При этом следует помнить, что абсолютное число разделений в составе  $R_n$  непрерывно возрастает пропорционально числу отцепов  $n$ .

Как было показано выше, минимальное значение  $r_n^{\min} = 1$  при любом  $n$  (рис. 5, линия 4). Это означает, что в составе отсутствуют разделения несмежных отцепов. Такое значение  $r_n^{\min}$  может быть получено, например, для состава, в котором каждый следующий отцеп следует на путь с большим (или меньшим) номером, чем предыдущий. Однако вероятность случайного появления таких составов достаточно мала и уменьшается с ростом  $n$ . Поэтому, как видно из рис. 5, уже при  $n > 15$  в группе из  $10^6$  составов не встречается ни одного, для которого  $r = 1$ . При этом величина  $r_n^{\min}$  при  $n > 15$  практически линейно возрастает (рис. 5, линия 2) и при  $n = 50$  достигает 1.69, из чего можно сделать вывод, что для составов с большим  $n$  даже в самом лучшем случае число вторичных разделений почти достигает числа разделений смежных отцепов.

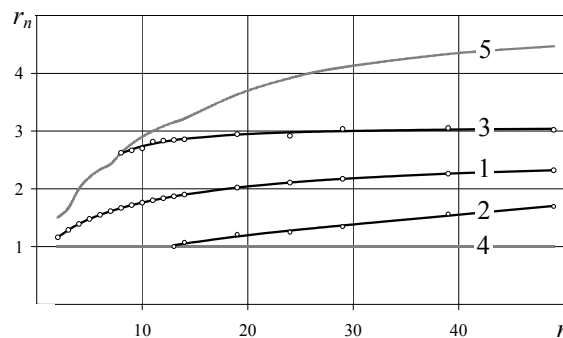


Рис. 5. Зависимости удельного числа разделений  $r$  от количества отцепов в составах на горке с 32 путями

Максимальное удельное число разделений  $r_n^{\max}$  в коротких составах ( $n < 10$ ) совпадает с соответствующими теоретическими значениями (рис. 5, линии 3 и 5). В дальнейшем степень влияния  $n$  на  $r_n^{\max}$  существенно уменьшается, а при  $n > 20$  указанная величина остается практически неизменной, хотя ее теоретические значения продолжают возрастать. Так, при

$n = 50$  теоретически могут появляться составы, у которых  $r_n = 4.47$ , хотя вероятность этого ничтожно мала.

Таким образом, исследования показали, что фактический диапазон изменения величины  $r_n$  существенно меньше, чем теоретически возможный, причем степень его сокращения возрастает с увеличением  $n$  (например, при  $n = 50$  теоретически  $r = 1 \dots 4.47$ , тогда как для реальных составов  $r = 1.69 \dots 3.02$ ).

Для анализа влияния числа путей в сортировочном парке на частоту разделений отцепов на рис. 6 приведены зависимости среднего удельного числа разделений  $\bar{r}_n = f(n, M)$  для различного числа путей  $M$  в парке ( $M = 8, 16, 32$ ).

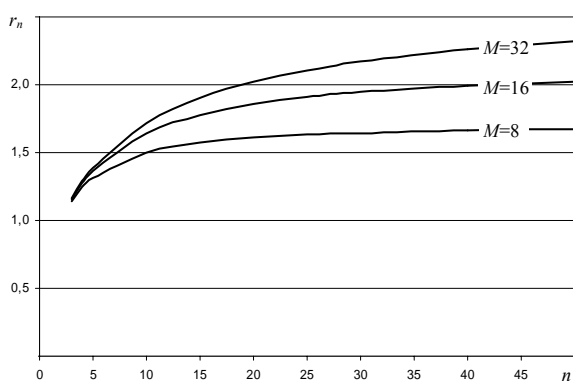


Рис. 6. Зависимости среднего удельного числа разделений от количества отцепов в составах

Как видно из данного рисунка, удельное число разделений  $\bar{r}_n$  заметно возрастает с увеличением числа путей  $M$  в парке, и, следовательно, на крупных станциях необходимость учета вторичных разделений возрастает.

### Выводы

Выполненные исследования разделений отцепов состава на стрелках показали, что их число представляет собой случайную величину с нормальным законом распределения. Среднее значение удельного числа разделений, приходящихся на одну пару отцепов, нелинейно возрастает по мере увеличения числа отцепов в составе, так что в составах из 20 и более отцепов среднее число вторичных разделений превышает их число.

Установлены теоретические значения граничных значений удельного числа разделений и их связь с числом отцепов в составе. Показано, что в реальных составах предельные значения

числа разделений не достигают соответствующих теоретических значений.

В заключение необходимо отметить, что число вторичных разделений при расформировании достаточно длинных составов превышает число разделений смежных отцепов и поэтому их необходимо учитывать при решении широкого круга практических задач, направленных на повышение эффективности сортировочного процесса на горках.

Разработанная методика анализа назначений отцепов состава позволяет определять все их разделения на стрелках сортировочных горок с любой конструкцией горочной горловины. С ее помощью может быть выполнен анализ вариантов и выбор рациональной специализации сортировочных путей, при которой число разделений отцепов на стрелках минимально. Данная методика может быть также использована для определения кортежей разделяющихся отцепов состава, взаимосвязи которых необходимо учитывать при интервальном регулировании скорости в автоматизированных системах управления роспуском составов на горках.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Божко Н. П. Методика определения режимов торможения отцепов при анализе конструкций сортировочных горок // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. тр., Вып. 229/15. – Д.: ДИИТ, 1983. – С. 30-36.
2. Явна А. А. Выбор специализации путей подгорочного парка / А. А. Явна, Б. С. Пасерба, Л. В. Пальчик, А. Г. Кулькин // Железнодорожный транспорт, 1979, №9. – С. 28 – 30.
3. Скиба Е.П. Об одном алгоритме управления интервальными тормозными позициями на автоматизированной горке / Е. П. Скиба, А. Б. Устенко // Автоматизированные системы управления технологическими процессами на сортировочных станциях магистрального и промышленного транспорта: Межвуз. сб. науч. тр., Вып. 244/14. – Д.: ДИИТ, 1985. – С. 27-32.
4. Бобровский В. И. Вероятностные характеристики разделений отцепов состава на стрелках / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов, Ю. В. Чибисов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна, Вип. 18. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна, 2007. – С. 146-150.

Поступила в редколлегию 23.01.2008.