

В. И. БОБРОВСКИЙ, А. И. КОЛЕСНИК (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна)

## ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РОСПУСКА СОСТАВОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОГО КОМПЛЕКСА

В данной работе наведены результаты досліджень, які дозволяють встановити ступінь впливу швидкості розпуску составів на якість сортувального процесу. Використовуючи методи імітаційного моделювання, знайдено взаємозв'язок між швидкістю розпуску та кількістю, величиною вікон між відчепами на коліях сортувального парку, швидкістю співударяння відцепів, числом включень уповільнювачів гальмівних позицій.

*Ключові слова:* відцеп, інтервал, швидкість співударяння.

В настоящей работе приведены результаты исследований, которые позволяют установить степень влияния скорости распуска составов на качество сортировочного процесса. Используя методы имитационного моделирования, найдена взаимосвязь между скоростью распуска и количеством, величиной окон между отцепами на путях сортировочного парка, скоростью соударения отцепов, числом включений замедлителей тормозных позиций.

*Ключевые слова:* отцеп, интервал, скорость соударения.

This article describes the results of the research, devoted to the operation of the sorting hump. The mentioned results allow to determine the influence rate of breaking-up of stocks to sorting process quality. Using simulation method the interconnection between the rate of breaking-up and quantity, size of windows between cuts on sorting tracks, collide rate of cuts, turning up number of retarders founded.

*Key words:* cut, interval, impact speed.

Одним из важнейших элементов в системе организации перевозочного процесса на железных дорогах являются сортировочные станции, от эффективности работы которых зависят показатели отрасли в целом. Первоочередной задачей сортировочных станций является переработка поступающего в расформирование потока поездов. При этом концентрация всех технологических операций, связанных с обслуживанием составов поездов и их расформированием, приходится на сортировочные комплексы, которые включают в себя парк приема, сортировочную горку и сортировочный парк. В связи с этим, в современных условиях, которые характеризуются нестабильностью объемов перевозок, необходимостью снижения себестоимости переработки вагонов и эксплуатационных расходов железных дорог, возникает необходимость повышения эффективности работы сортировочных комплексов на станциях.

В качестве основных направлений улучшения работы сортировочных комплексов можно выделить совершенствование конструктивных параметров сортировочных горок и определение рациональных режимов их функционирования.

Одним из факторов, который оказывает существенное влияние на эффективность процесса расформирования, является скорость распуска составов. Очевидно, что от ее величины зависят наиболее важные показатели работы комплекса. Действительно, увеличение скорости распуска позволяет сократить горочный технологический интервал, что приводит к снижению времени простоя составов в парке приема, которое особенно необходимо в периоды интенсивного подхода поездов на станцию.

В работах [1, 2] выполнены исследования возможных режимов регулирования скорости распуска составов на горках, установлены ее допустимые значения, а также причины существующих технических и технологических ограничений скорости. В результате исследований указаны возможные пути повышения средней скорости распуска составов на горках за счет выбора рациональных режимов распуска для каждого расформируемого состава.

Следует отметить, что скорость распуска составов на горке оказывает существенное влияние на качество сортировочного процесса. Так, при повышении скорости распуска уменьшается величина интервалов на разделительных стрелках, что увеличивает риск нераз-

деления отцепов. Кроме того, скорость роспуска существенно влияет на качество прицельного регулирования скорости отцепов и заполнения путей сортировочного парка. При этом, как показывает анализ научных работ, то эта проблема количественной оценки влияния режимов и скорости роспуска на показатели сортировочного процесса окончательно не решена и требует дальнейших исследований.

Решение данной задачи позволит обоснованно изменять режим роспуска в зависимости от текущей ситуации в сортировочном комплексе и за счет этого повысить эффективность его функционирования. Учитывая тот факт, что изменение скорости роспуска не требует дополнительных капитальных затрат, ее выбор является важным инструментом, позволяющим оперативно управлять процессом расформирования составов. В этой связи в данной статье выполнены исследования влияния скорости роспуска составов на показатели работы сортировочного комплекса.

Для решения поставленной задачи была разработана имитационная модель сортировочного комплекса, которая позволяет получать количественные оценки показателей качества функционирования сортировочной горки. Указанная модель детально имитирует процесс скатывания с горки отцепов расформируемого состава, а также реализацию основных функций управления роспуском (управление маршрутами движения отцепов, управление замедлителями тормозных позиций спускной части горки для обеспечения разделения отцепов на разделительных элементах, а также управление парковыми тормозными позициями, регулирующими заполнение вагонами сортировочных путей). При этом сортировочная горка рассматривается как сложная динамическая система с непрерывным временем. Состояние элементов системы (расформируемого состава, скатывающихся отцепов, устройств контроля и управления роспуском) описывается дифференциальными уравнениями, являющимися непрерывными функциями времени, а также алгебраическими выражениями.

Модель системы управления и модель сортировочного процесса представляют собой отдельные модули, между которыми существует информационная связь. Модель сортировочного процесса на каждом шаге  $\Delta t$  передает сообщение о состоянии управляемых объектов (расформируемого состава и всех скатывающихся отцепов) в модуль системы управления. Указанный модуль на основе анализа получен-

ной информации вырабатывает управляющие команды и возвращает их в модуль сортировочного процесса, где они поступают на регуляторы (тормозные позиции), непосредственно воздействующие на процесс скатывания отцепов.

При входе отцепа на предстрелочный участок контролируется занятость рельсовой цепи стрелки и в зависимости от ее состояния отцеп следует либо по заданному маршруту, либо по путь назначения предыдущего отцепа; в последнем случае фиксируется факт неразделения отцепов.

На каждом шаге  $\Delta t$  контролируются также возможные нагоны отцепов; при нагоне формируется модель объединенного отцепа и вычисляется его скорость после соударения, с которой он продолжает движение. Указанная скорость определяется в соответствии с законом сохранения импульса. В частном случае первый из двух соударяющихся отцепов может стоять ( $V_1=0$ ); в этом случае после соударения объединенный отцеп может начать движение со скоростью  $V$ , которая рассчитывается тем же методом. Во всех случаях, когда происходит соударение отцепов, фиксируется скорость соударения  $V_c=V_2-V_1$ , которая является одним из показателей качества управления роспуском.

В случае, если объединение отцепа с предыдущим на данном шаге не происходит, то выполняется контроль остановки отцепа. Если скорость отцепа в конце шага  $\Delta t$   $V_{j+1} = 0$ , то отцеп исключается из числа скатывающихся, и с ним не будут выполняться процедуры моделирования перемещения на последующих шагах. При этом отцеп не исключается полностью из рассмотрения, так как в результате проталкивания он может снова начать движение в составе объединенного отцепа.

При моделировании стоящие отцепы ( $V_i=0$ ) классифицируются на те, которые остановились на данном шаге, и остальные стоящие отцепы. Указанное разделение необходимо для того, чтобы определить первичные окна между отцепами, образующиеся на сортировочных путях, и оценить степень их сокращения в результате проталкивания.

И, наконец, если в результате контроля скорости отцепов будет обнаружено, что все они остановлены, то в этом случае вырабатывается специальный сигнал завершения моделирования роспуска данного состава.

В процессе моделирования расформирования составов фиксируются показатели функционирования сортировочной горки (интервалы

между отцепами на разделительных элементах, скорости соударения отцепов с вагонами на сортировочных путях, а также окна между ними), которые позволяют оценить качество сортировочного процесса при различной скорости роспуска составов. Для исследований в работе было выполнено моделирование роспуска 20 составов, состоящих из 57 вагонов (35 отцепов).

Одним из основных факторов, влияющих на качество сортировочного процесса, является режим торможения отцепов  $U = (u', u'', u''')$ , представляемый скоростями выхода  $u'$  из верхней (ВТП),  $u''$  – средней (СТП) и  $u'''$  – парковой (ПТП) тормозных позиций. Выбор рациональных скоростей выхода из ВТП и СТП, обеспечивающих требования интервального регулирования, является достаточно сложной задачей. Для надежного разделения всех  $n$  отцепов состава необходимо определить такие режимы их торможения  $U_i, i = 1, \dots, n$ , при которых интервалы на разделительных стрелках достигают максимально возможного значения. Для решения данной задачи используется итерационный метод [3], который позволяет найти в каждом составе группы последовательных отцепов, близких по условиям разделения, и установить для них такие режимы торможения, при которых интервалы на разделительных стрелках для всех пар отцепов группы одинаковы.

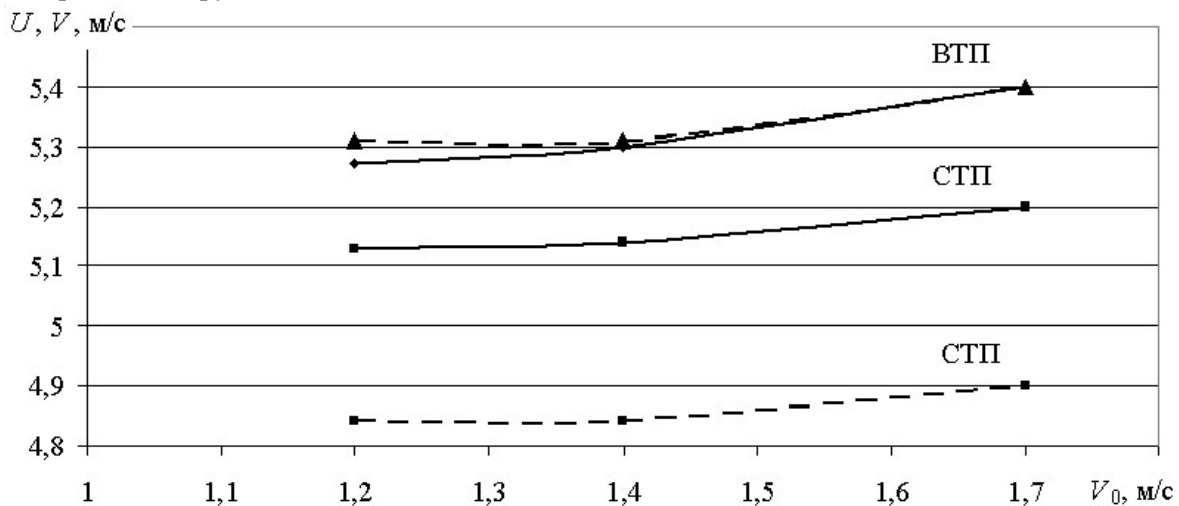


Рис. 1. Графики зависимостей заданных и фактических скоростей выхода отцепов из ВТП и СТП от скорости роспуска составов

На данном рисунке сплошными линиями показаны зависимости средних значений заданных скоростей выхода  $\bar{U}(V_0)$ , пунктирными – реализованных величин  $\bar{V}(V_0)$ . Как видно из рисунка, на ВТП заданные и реализованные скорости выхода практически одинаковы, в то время как на СТП наблюдается излишнее тор-

Полученные таким образом значения скоростей выхода из ВТП и СТП ( $u', u''$ ),  $i = 1, \dots, n$ , для всех отцепов состава представляются как один из компонентов его входной модели. Необходимые скорости выхода отцепов из ПТП  $u'''$  определяются непосредственно в процессе моделирования роспуска состава с учетом текущего расположения вагонов на путях сортировочного парка.

В процессе реализации рассчитанных значений скоростей  $U_i$  имеют место погрешности, которые могут оказать существенное негативное влияние на качество работы горки. Указанные погрешности являются следствием влияния на процесс торможения множества случайных факторов (основного сопротивления вагонов  $w_0$ , сопротивления среды и ветра  $w_{св}$  силы тормозного нажатия замедлителей и др.). Для анализа случайных погрешностей реализации заданных скоростей при моделировании роспуска фиксировались отклонения реализованных скоростей выхода из ВТП и СТП от заданных.

Известно, что скорость роспуска составов  $V_0$  оказывает существенное влияние на выбор режимов торможения отцепов на ВТП и СТП. На рис. 1 показаны зависимости средних значений скоростей выхода отцепов из ВТП и СТП от скорости роспуска составов.

можение отцепов, вследствие чего средние скорости выхода ниже заданных на 0,25-0,3 м/с. Указанное обстоятельство приводит к тому, что в некоторых случаях интервалы  $\delta t$  на разделительных стрелках принимают значения меньше минимально допустимых, что является причиной неразделения отцепов.

Кроме того, скорость роспуска составов  $V_0$  непосредственно влияет на величину интервалов  $\delta t$  между отцепами на разделительных стрелках. Как показали исследования, с увеличением скорости  $V_0$  наблюдается значительное уменьшение среднего интервала на стрелках разделения. В табл. 1 приведены параметры распределений случайной величины интервалов  $\delta t$  при различных значениях скорости роспуска  $V_0$ .

Таблица 1

**Параметры распределений интервалов  $\delta t$  на стрелках разделения**

$V_0$ , м/с	$M[\delta t]$ , с	$D[\delta t]$ , с <sup>2</sup>	$\sigma[\delta t]$ , с
1,2	11,45	16,49	4,06
1,4	8,87	11,49	3,39
1,7	6,21	7,77	2,79

Как показывает анализ распределений интервалов  $\delta t$ , с увеличением скорости роспуска

существенно возрастает число малых интервалов на разделительных стрелках.

Так, например, если при  $V_0 = 1,2$  м/с наблюдалось всего 3 интервала длительностью менее 3 с, то при  $V_0 = 1,7$  м/с их число увеличилось в 20 раз.

На рис. 2 показана зависимость математического ожидания интервала  $\delta t$  от скорости роспуска  $V_0$ . Как видно из графика, при увеличении скорости  $V_0$  от 1,2 до 1,7 м/с средняя величина интервала на разделительных стрелках уменьшилась на 5,3 с или на 46 %. Это обстоятельство приводит к росту количества неразделений отцепов. Так, если при  $V_0 = 1,2$  м/с наблюдалось 4 неразделения, то с увеличением  $V_0$  до 1,7 м/с их число достигает 9; т.о. вероятность неразделения увеличивается от 0,006 до 0,013. С увеличением  $V_0$  значительно уменьшается и среднее квадратическое отклонение величины  $\delta t$  (см. табл. 1), характеризующее возможный разброс значений интервала.

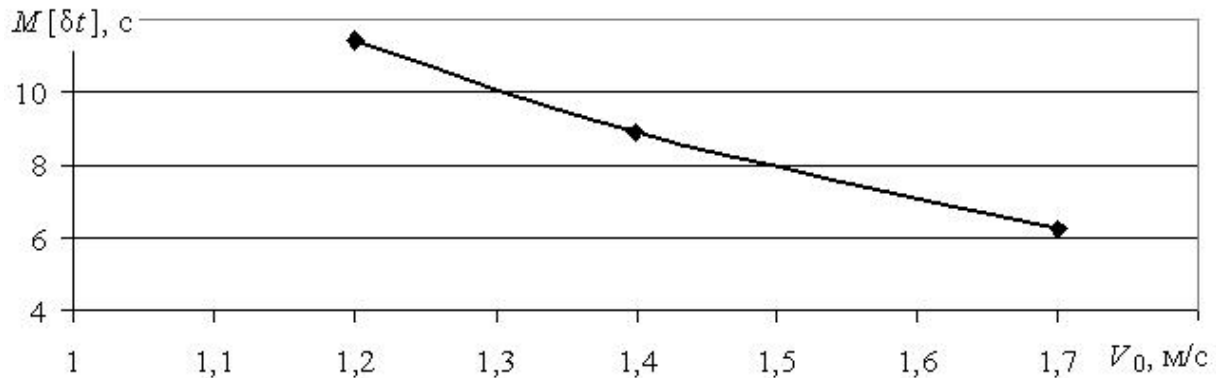


Рис. 2. График зависимости  $M[\delta t]$  от скорости роспуска  $V_0$

Одной из важных характеристик качества сортировочного процесса является скорость соударения отцепов  $V_c$  на сортировочных путях. В соответствии с [4] величина  $V_c$  не должна превышать 5 км/ч, однако в реальных условиях функционирования сортировочных горок скорость соударения в большинстве случаев превышает допустимую [5]. Величина скорости  $V_c$  зависит от множества факторов: скорости роспуска составов, принятых режимов торможения, погодных условий и др. Как показал анализ результатов моделирования, случайная величина скорости соударения при различных скоростях роспуска составов имеет логарифмически-нормальный закон распределения; параметры распределения случайной величины  $V_c$  при различных скоростях роспуска составов приведены в табл. 2.

Как видно из данной таблицы, с увеличением скорости роспуска  $V_0$  происходит незначительное увеличение математического ожидания

и среднего квадратического отклонения скорости соударения отцепов  $M[V_c]$  на сортировочных путях.

Таблица 2

**Параметры распределения случайной величины скорости соударения отцепов  $V_c$**

$V_0$ , м/с	$M[V_c]$ , м/с	$D[V_c]$ , (м/с) <sup>2</sup>	$\sigma[V_c]$ , м/с
1,2	1,46	0,56	0,75
1,4	1,50	0,57	0,76
1,7	1,52	0,59	0,77

Данное обстоятельство приводит к некоторому увеличению числа отцепов, имеющих скорости соударения свыше 1,5 м/с. Как видно из рис. 3, при увеличении скорости роспуска  $V_0$  от 1,2 до 1,7 м/с доля отцепов с недопустимыми скоростями  $V_c$  увеличивается всего на 6 – 7 %.

Одним из показателей, которые характеризует качество сортировочного процесса, является величина окон между отцепами на сорти-

ровочных путях. Установлено, что случайная длина образующихся окон  $L_{ок}$  имеет гамма-распределение; для примера на рис. 4 приведено распределение величины  $L_{ок}$ , полученное при скорости роспуска 1,7 м/с.

Большинство окон, образующихся между отцепами, имеют незначительную величину; как видно из рис. 4, число окон длиной менее 70 м составляет 52 % от общего их числа  $n_{ок} = 136$ .

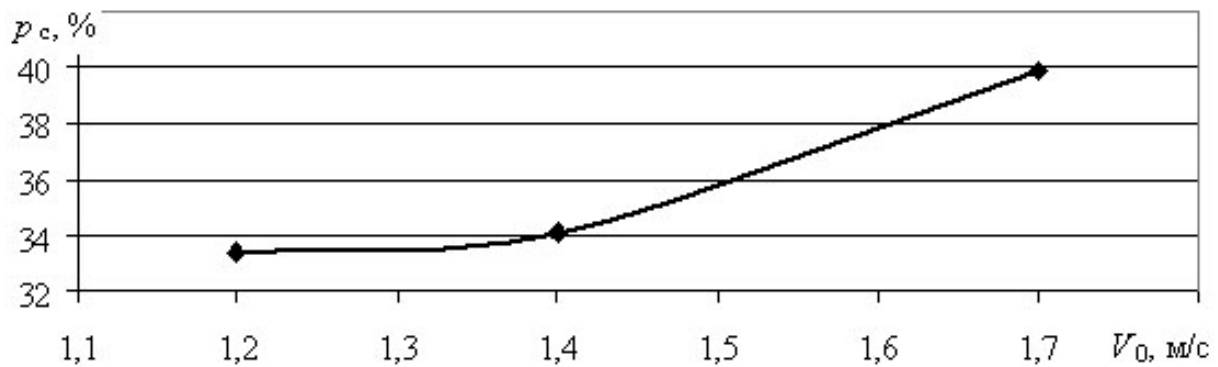


Рис. 3. Зависимость числа отцепов, имеющих скорость соударения выше допустимой, от  $V_0$

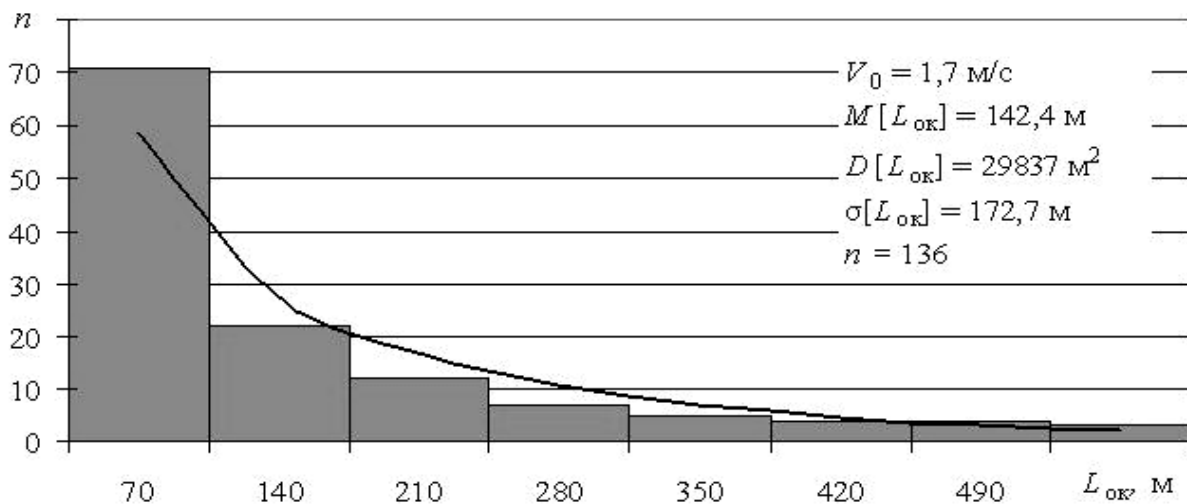


Рис. 4. Гистограмма и функция плотности распределения случайной длины образующихся окон при скорости роспуска 1,7 м/с

Параметры распределения случайной длины окна  $L_{ок}$  при различных скоростях роспуска составов приведены в табл. 3.

Как видно, с увеличением скорости роспуска количество окон уменьшается. Так, если при  $V_0 = 1,2$  м/с их число составляло 152, то при  $V_0 = 1,7$  м/с число окон снизилось до 136. Кроме того, наблюдается сокращение математического ожидания длины окна соответственно со 151,5 до 142,4 м.

В результате анализа образующихся окон были определены такие показатели, как средняя величина окна  $l_{ок}$ , приходящаяся на один отцеп и на один переработанный вагон. На рис. 5 показаны графики зависимости сред-

ней величины окна, приходящегося на один отцеп (график 1) и на один вагон (график 2).

Таблица 3

**Параметры распределения случайной величины окон  $L_{ок}$  на путях сортировочного парка**

$V_0$ , м/с	$M[L_{ок}]$ , м	$D[L_{ок}]$ , м <sup>2</sup>	$\sigma[L_{ок}]$ , м	$n_{ок}$
1,2	151,5	32233	179,5	152
1,4	143,6	28979	170,2	156
1,7	142,4	29837	172,7	136

Как видно из рисунка, с увеличением  $V_0$  с 1,2 до 1,7 м/с величина  $l_{ок}$ , приходящаяся на один отцеп, уменьшилась на 6,1 м/отцеп или на 18 %. При этом, соответственно, длина окна, приходящаяся на один вагон, снизилась на 3,7 м/вагон.

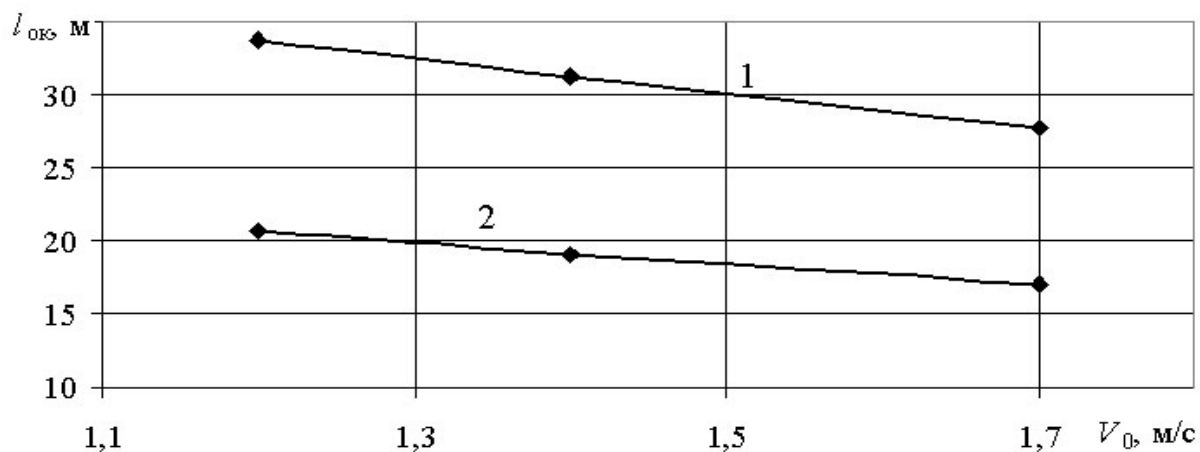


Рис. 5. Графики зависимости удельной величины окна от скорости роспуска  $V_0$

Как известно, часть окон, образующихся на сортировочных путях, ликвидируется в процессе роспуска составов вследствие проталкивания остановившихся отцепов. В этой связи при обработке результатов моделирования были выделены окна, которые не ликвидировались в процессе роспуска составов (вторичные окна); их количество и величина определялись перед каждым осаживанием вагонов на путях. Распределение вторичных окон при различных скоростях роспуска составов приведено в табл.4.

Таблица 4

**Параметры распределения случайной величины окон  $L_{\text{он}}$  на путях сортировочного парка с учетом проталкивания отцепов**

$V_0, \text{ м/с}$	$M[L_{\text{он}}], \text{ м}$	$D[L_{\text{он}}], \text{ м}^2$	$\sigma[L_{\text{он}}], \text{ м}$	$n_{\text{он}}$
1,2	154,6	31480	177,4	111
1,4	146,6	27844	166,9	110
1,7	136,0	25355	159,2	97

Как показывает сравнение табл. 3 и 4, в результате проталкивания число окон на сортировочных путях существенно сокращается, причем практически одинаково при любой скорости роспуска; степень сокращения составляет 27-29 %. В то же время, средняя длина окна при  $V_0 = 1,7 \text{ м/с}$  сокращается весьма незначительно (на 4 %), а при более низких скоростях она даже увеличивается на 2 %. Это объясняется тем, что в результате проталкиваний ликвидируются, как правило, только короткие окна. В этой связи для оценки объема маневровой работы по ликвидации окон на путях сортировочного парка целесообразно использовать в качестве показателя среднюю длину вторичного окна  $l_{\text{ок}}$ , приходящуюся на один вагон, либо на отцеп, переработанные на горке [6].

Степень влияния скорости роспуска на указанные показатели позволяют оценить графики зависимости, приведенные на рис. 6. Как видно из данного рисунка, с увеличением скорости роспуска, сокращается средняя длина вторичного окна  $l_{\text{ок}}$ , приходящаяся на один отцеп (график 1) и на один физический вагон (график 2). При этом, с увеличением скорости роспуска с 1,2 до 1,7 м/с величина  $l_{\text{ок}}$ , приходящаяся на 1 отцеп и 1 вагон уменьшилась, соответственно, на 5,7 м/отцеп и 3,5 м/вагон, т.е. на 23 %. Таким образом, как показали исследования, с увеличением скорости роспуска составов длина окон и, соответственно, расходы на осаживание вагонов в сортировочном парке существенно уменьшаются.

Для оценки влияния скорости роспуска на расходы, связанные с торможением вагонов при скатывании их с сортировочной горки, в табл. 5 показано количество включений замедлителей на каждой тормозной позиции, которое было зафиксировано при моделировании расформирования всей совокупности составов.

Как видно из приведенной таблицы, при принятых режимах торможения отцепов с увеличением скорости  $V_0$  суммарное число включений замедлителей на ВТП и СТП незначительно сокращается, а на ПТП оно практически не изменяется. В целом, среднее количество включений замедлителей, отнесенное на 1 отцеп, практически не зависит от принятой скорости роспуска и составляет около 3-х включений на отцеп. Поэтому при увеличении скорости роспуска с 1,2 до 1,7 м/с дополнительного расхода энергии на торможение отцепов не требуется.

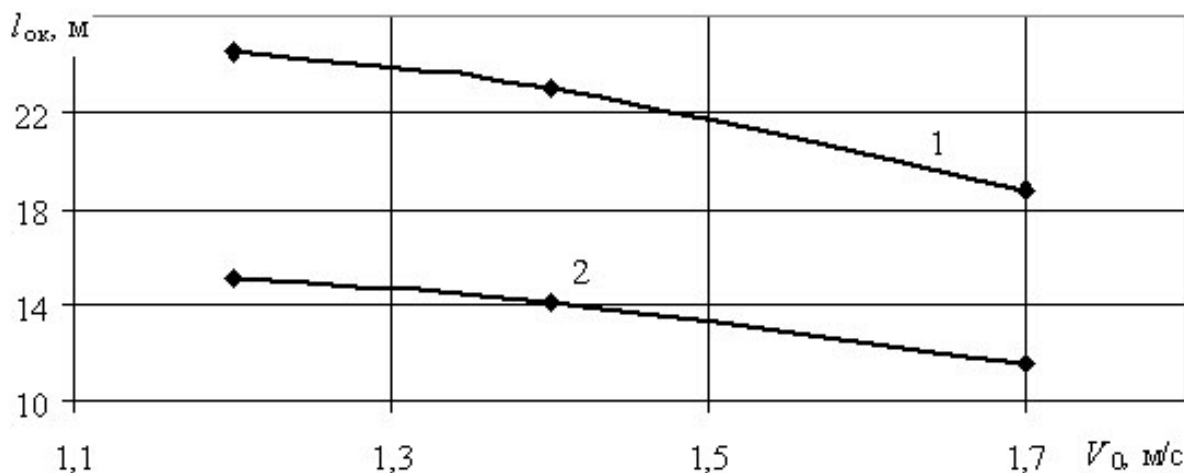


Рис. 6. Графики зависимости удельной величины вторичного окна от скорости роспуска  $V_0$

Таблица 5

**Количество включений замедлителей**

$V_0, \text{ м/с}$	Тормозные позиции			Всего
	ВТП	СТП	ПТП	
1,2	1229	507	448	2184
1,4	1251	486	443	2180
1,7	1273	440	452	2165

Выполненные исследования показали, что повышение скорости роспуска составов для повышения производительности горок в периоды увеличения интенсивности входящего потока составов является достаточно эффективным. Это позволит сократить простои вагонов в сортировочном комплексе; одновременно при этом уменьшается образование окон между вагонами на сортировочных путях и не требуется увеличивать затраты энергии на торможение отцепов на замедлителях. К недостаткам такого режима следует отнести некоторое повышение вероятности неразделения отцепов на стрелках, а также скорости соударения части отцепов в сортировочном парке. Таким образом, полученные результаты могут быть использованы для выбора рациональной скорости роспуска составов в зависимости от текущей ситуации в сортировочном комплексе.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Муха, Ю. А. Исследование технологических режимов регулирования скорости роспуска составов

на сортировочной горке [Текст] // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа. – Днепропетровск. – 1975. – Вып. 168/9. – С. 29-39.

2. Автоматизация и механизация переработки вагонов на станциях [Текст] / Ю. А. Муха, И. В. Харланович, В. П. Шейкин и др. - М.: Транспорт. – 1985. - 248 с.

3. Оптимизация режимов торможения отцепов [Текст]: Монография // В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. П. Божко, Н. В. Рогов, Н. И. Березовый, А. В. Кудряшов – Дн-вск: Изд-во Маковецкий. –2010. – 260 с.

4. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. [Текст]: ВСН 207-89. - М.: Транспорт, 1992. - 104 с.

5. Козаченко, Д. М. Модель колійного розв'язку для імітаційного моделювання гіркових процесів [Текст] / Д. М. Козаченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 29. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 53-57.

6. Муха, Ю. А., Скорости соударения отцепов и окна, образующиеся на путях сортировочного парка [Текст] / Ю. А. Муха, В.З. Яневич, В. И. Бобровский, А. М. Бледный // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на железнодорожных станциях: Труды ДИИТа. – Вып. 160/8. – Днепропетровск, 1975. – с. 98 – 102.

Поступила в редколлегию 18.11.2011.

Принята к печати 19.11.2011.