

ТРАНСПОРТ

УДК 656.212

С.В. Карасёв, Д.А. Сивицкий

Вероятностный метод определения необходимой вместимости группировочных путей с учетом структуры вагонопотока и эксплуатационной надежности

Повышение экономической эффективности работы железнодорожного транспорта в современных условиях требует поиска новых технических и технологических решений. Одним из них является улучшение качества переработки вагонопотоков: ускорение сортировочной работы, снижение эксплуатационных расходов и себестоимости переработки. Для местных вагонопотоков большое значение имеет также увеличение детальности (глубины) подборки вагонов, вплоть до отдельных грузовых фронтов и клиентов, за счет многогруппной сортировки, которое обеспечит улучшение качества обслуживания клиентов.

В статье с использованием имитационной модели процесса многогруппной сортировки при различной структуре сортируемого вагонопотока выполнен расчет необходимой вместимости путей, а также произведена вероятностная оценка надежности размещения необходимого количества вагонов на группировочных путях для различных схем и способов многогруппной сортировки. Для нескольких вариантов структуры перерабатываемого состава, задаваемых в виде функции распределения групп, выполнена количественная оценка необходимой и достаточной вместимости группировочных путей, обеспечивающей заданный уровень надежности в процессе многогруппной сортировки.

Ключевые слова: многогруппная сортировка, вспомогательные сортировочные устройства, эксплуатационная надежность, имитационное моделирование, способы сортировки, подборка вагонов.

Многогруппная сортировка вагонов является специфической технологией, требующей применения специализированных сортировочных устройств и интенсивного использования путевого развития. Одним из основных технических параметров таких устройств является количество и вместимость (полезная длина) путей для группировки вагонов. При использовании способов интенсивной сортировки [1, 2] вагонов на большое количество групп в условиях ограниченного числа путей важнейшим фактором, определяющим их необходимую вместимость, является структура перерабатываемого вагонопотока (количество групп в составе, их длина и др.). Определение необходимой и достаточной вместимости группировочных путей связано со значительной неопределенностью рассматриваемого процесса и может быть выполнено с использованием подходов теории надежности. Для разработки методов определения необходимой и достаточной вместимости группировочных путей при многогруппной сортировке вагонов требуется установление количественных зависимостей вместимости от параметров структуры перерабатываемого вагонопотока.

Каждому из способов интенсивной сортировки (комбинаторный, степенной, последовательного выделения групп и т.д.) вагонов соответствуют специальные схемы сортировки, для реализации которых требуется определенное путевое развитие. Выбор способа интенсивной сортировки является многокритериальной задачей, тесно связанной со структурой и интенсивностью вагонопотока. Результатом решения подобной задачи будет являться рациональный конструктивно-технологический вариант, представляющий собой определенную технологию подборки вагонов и путевое развитие (число и длина путей), требуемое для ее реализации. Решение задачи осуществляется с помощью имитационного моделирования [3–5].

Различные схемы сортировки будут отличаться не только по времени, затрачиваемому на сортировку [5], но и по полезной длине группировочных путей, требующейся для реализации той или иной схемы сортировки. Это связано с тем, что число вагонов одной группы в составе зависит от множества внешних факторов и является случайной величиной. В свою очередь, число вагонов, попадающих на пути после каж-

дой сортировки, является комбинацией различных групп, т.е. случайных величин. Следовательно, число вагонов, оказавшихся на пути после той или иной сортировки, также является случайной величиной, значение которой будет зависеть от количества путей и схемы сортировки, числа групп, функции распределения вероятностей появления групп в составе.

Отсутствие методов достоверного обоснования необходимой и достаточной вместимости группировочных путей с учетом случайного характера структуры перерабатываемого вагонопотока может приводить к эксплуатационным потерям, связанным с нарушением технологии работы устройства, т.е. к ситуации, когда вагоны не вмещаются на нужный путь. Необходимость получения данных о процессе с участием случайных факторов определяет целесообразность использования метода имитационного моделирования. Изложенные ниже результаты основываются на исследованиях, выполненных с использованием ранее разработанной модели [3–5].

Суммарная полезная длина группировочных путей

Правила и нормы проектирования [6] предлагают для всех случаев принимать суммарную полезную длину (СПД) путей группировочного парка в диапазоне от $2,2l_{\text{сост}}$ (при четырех путях) до $2,5l_{\text{сост}}$ (при семи путях), где $l_{\text{сост}}$ – длина сортируемого состава. Несмотря на то что суммарная полезная длина парка может быть достаточно устойчива (т.е. соответствовать в большинстве случаев суммарному количеству вагонов в сортируемом составе), распределение этой полезной длины между путями группировочного парка может быть различным для той или иной структуры вагонопотока. Помимо этого, в нормах предполагается использование только одного метода многогруппной сортировки вагонов – последовательного выделения групп, технология которого качественно отличается, например, от комбинаторного метода. Их схемы сортировки принципиально разнятся, отличие в технологии может влиять на необходимую полезную длину группировочных путей. С целью уточнения степени этого влияния необходимо учесть следующие факторы, определяющие распределение вагонов по путям:

- 1) число сортируемых групп;
- 2) метод сортировки;
- 3) распределение вероятностей появления различных групп в сортируемом составе (которое можно задать в виде функции распределения) и средняя длина отцепов.

С точки зрения эксплуатационной надежности сортировочной работы [6], т.е. возможности выполнять сортировочную работу без технологических сбоев, наиболее значимым критерием, который может быть подвержен влиянию перечисленных выше факторов, является максимальная полезная длина группировочных путей. В связи с этим необходимо определить степень влияния факторов на полезную длину путей с помощью серии модельных экспериментов, рассматривая ее, как говорилось ранее, в качестве случайной величины.

Задача 1. Влияние метода сортировки и числа сортируемых групп на СПД группировочных путей

Вариант структуры вагонопотока для моделирования: средняя длина отцепа $l_{\text{ср}} = 3$ ваг., длина состава $l_{\text{сост}} = 71$ ваг., вероятности появления групп распределены по равномерному закону.

Эксперименты проведены для следующих условий:

1. Комбинаторный метод сортировки [7]. Рассмотрены две схемы сортировки: от 8 до 13 групп на трех путях (табл. 1) – сортировка 9 и 13 групп, от 14 до 24 групп на трех путях – сортировка 15 и 24 групп.

2. Степенной метод сортировки. Рассмотрена схема сортировки от 10 до 16 групп на четырех путях (табл. 2) – сортировка 10, 13, 16 групп.

Для рассматриваемых условий выполнено моделирование процесса многогруппной сортировки, в результате которого получен ряд статистических показателей, в частности, средние максимальные значения суммарной полезной длины группировочных путей (рис. 1). Максимальные значения необходимой полезной длины соответствуют вместимости путей, необходимой для надежного (гарантированного с вероятностью 100 %) размещения вагонов на путях в процессе сортировки одного состава. Средние значения сформированы после модели-

Таблица 1

Схема сортировки многогруппного состава с числом групп от 8 до 13 на трех путях комбинаторным методом

Номер сортировки	Путь, с которого сортируют вагоны	Номера путей, на которые направляются вагоны	Размещение вагонов после каждой сортировки
1	Путь накопления	1	[1, 3, 5, 7, 9, 11, 13]
		2	[2, 6, 8, 12]
		3	[4, 10]
2	1	1	(1)
		2	[2, 6, 8, 12] + [3, 7, 9, 13]
		3	[4, 10] + [5, 11]
3	2	1	(1) + (3) + (4)
		2	(8) + (9)
		3	[4, 10] + [5, 11] + [6, 12] + [7, 13]
4	3	1	(1, 2, 3) + (4) + (5) + (6) + (7)
		2	(8, 9) + (10) + (11) + (12) + (13)
		3	Свободен
5	2 (сборка)	1	(1–7) + (8–13)
		2	Свободен
		3	Свободен

Таблица 2

Схема сортировки многогруппного состава с числом групп от 10 до 16 на четырех путях степенным методом

Номер сортировки	Путь, с которого сортируют вагоны	Номера путей, на которые направляются вагоны	Размещение вагонов после каждой сортировки
1	Путь накопления	1	[1, 5, 9, 13]
		2	[2, 6, 10, 14]
		3	[3, 7, 11, 15]
		4	[4, 8, 12, 16]
2	1 (сборка)	1	(1, 2, 3, 4)
		2	(5, 6, 7, 8)
		3	(9, 10, 11, 12)
		4	(13, 14, 15, 16)
3	1 (сборка)	1	Свободен
		2	Свободен
		3	Свободен
		4	(1–16)

рования сортировки множества составов, различающихся структурой, которая в программе генерируется с использованием функции распределения групп в конкретном составе.

Как видно из диаграммы, среднее значение максимальной СПД существенным образом зависит от числа групп для подборки вагонов и от используемого метода сортировки.

При использовании комбинаторного метода сортировки СПД изменяется незначительно как в пределах одной схемы сортировки, так и при различном числе групп. На основании дополнительных серий моделирования определено, что СПД при использовании комбинаторного метода находится в ин-

тервале от $2,6l_{\text{сост}}$ до $2,75l_{\text{сост}}$ при различном числе групп.

Степенной метод оказался сильнее подвержен влиянию фактора числа групп. Так, суммарная полезная длина путей находится в интервале от $2,3l_{\text{сост}}$ до $2,65l_{\text{сост}}$ (для схемы табл. 2), при этом большое влияние на нее оказывает заполняемость схемы сортировки.

Задача 2. Влияние функции распределения вероятности появления групп на СПД

При исследовании влияния числа групп на СПД номера групп были распределены по равномерному закону, однако такая ситуация складывается не всегда: появление тех или иных групп может быть более вероятно, чем

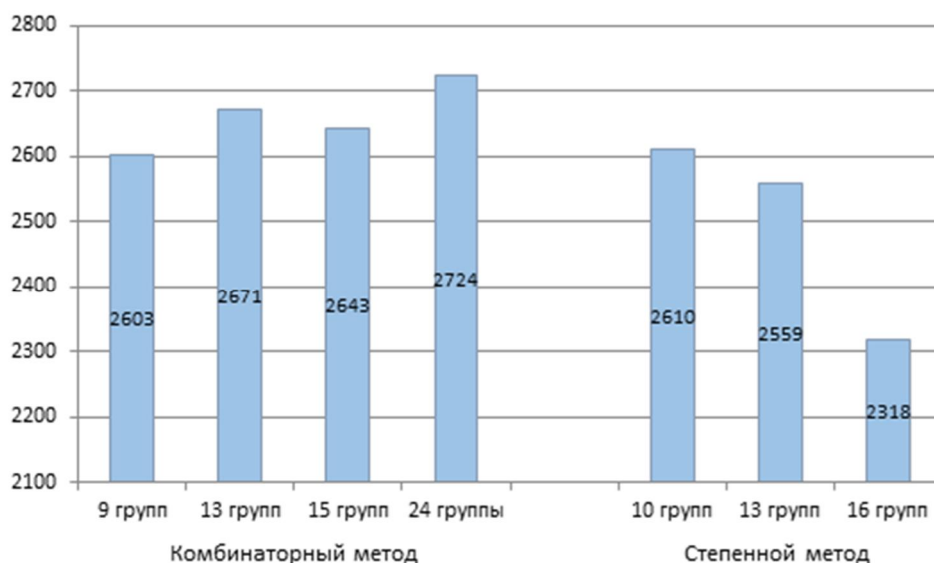


Рис. 1. Максимальные значения суммарной полезной длины группировочных путей, для различных условий сортировки

появление других. В связи с этим в модели [5] реализована возможность задавать произвольный закон распределения, что позволяет исследовать влияние функции распределения на полезную длину группировочных путей.

Вариант структуры вагонопотока для моделирования: $l_{\text{ср}} = 3$ ваг., $l_{\text{сост}} = 71$ ваг., схема сортировки – комбинаторный метод сортировки от 8 до 13 групп на трех путях.

Для количественной оценки влияния функции распределения на необходимую полезную длину группировочных путей рассмотрим несколько вариантов, при которых одни группы появляются более часто, чем другие.

1. Сортировка девяти групп (см. табл. 1). Вероятность появления группы 1–0,3; вероятности появления остальных групп распределены равномерно. Результаты моделирования представлены в табл. 3.

Сравним полученные результаты (см. табл. 3) с полученными ранее для равномерного распределения групп: средняя СПД

оказалась значительно меньше – на 7% (184 м). Причина: группа 1 в соответствии с выбранной схемой сортировки не перемещается на другие пути. В связи с тем что она имеет большую долю в составе, другие, менее вероятные группы, перемещаясь между сортировочными путями, влияют на их полезную длину не так сильно по сравнению с равномерным распределением, когда они более вероятны (а значит и более велики).

2. Сортировка девяти групп. Вероятность появления группы 2 – 0,3; вероятности появления остальных групп распределены равномерно. Группа 2, в отличие от группы 1, меняет свое местоположение в процессе сортировки. Она попадает как на путь № 1, так и на путь № 2. В связи с этим СПД увеличилась, однако, по сравнению с равномерным распределением всех групп в составе, она все еще остается меньше. Результаты моделирования представлены в табл. 4.

3. Сортировка тринадцати групп (см. табл. 1). Вероятность появления группы

Таблица 3

Максимальная полезная длина путей по сериям экспериментов (1-й вариант)

Номер серии имитационных экспериментов	Полезная длина пути № 1, м	Полезная длина пути № 2, м	Полезная длина пути № 3, м	Суммарная полезная длина путей, м
1	896	840	714	2 450
2	924	868	672	2 464
3	938	840	616	2 394
4	896	826	644	2 366
5	896	826	700	2 422
Средняя суммарная полезная длина путей, м				2 419

Таблица 4

Максимальная полезная длина путей по сериям экспериментов (2-й вариант)

Номер серии имитационных экспериментов	Полезная длина пути № 1, м	Полезная длина пути № 2, м	Полезная длина пути № 3, м	Суммарная полезная длина путей, м
1	910	966	714	2 590
2	910	952	672	2 534
3	812	938	784	2 534
4	770	994	588	2 352
5	840	910	630	2 380
Средняя суммарная полезная длина путей, м				2 478

11 – 0,3, группы 13 – 0,3, вероятности появления остальных групп распределены равномерно. В процессе сортировки группы 11 и 13 попадают на каждый из трех путей. Результаты моделирования представлены в табл. 5.

Как видно из полученных результатов, СПД практически достигает величины трех полных длин состава. Достаточно крупные группы 11 и 13 попадают на каждый из путей, тем самым значительно увеличивая необходимую вместимость каждого из них (в то время как небольшие группы уже не оказывают существенного влияния на полезную длину), но

при этом дополняя ее практически до полной длины состава вместе с группами 11 и 13.

На рис. 2 представлены зависимости полезной длины группировочных путей от вариантов функций распределения групп в составе. Функция распределения вероятности появления групп вагонов в составе оказывает заметное влияние на СПД. Это связано с тем, что большая вероятность появления группы в составе означает большую долю вагонов этой группы, а значит и большую необходимую полезную длину для их гарантированного размещения. В зависимости от того, насколько часто крупная группа меняет свое местоположе-

Таблица 5

Максимальная полезная длина путей по сериям экспериментов (3-й вариант)

Номер серии имитационных экспериментов	Полезная длина пути № 1, м	Полезная длина пути № 2, м	Полезная длина пути № 3, м	Суммарная полезная длина путей, м
1	966	966	994	2 926
2	952	952	994	2 898
3	980	966	980	2 926
4	980	952	994	2 926
5	980	994	966	2 940
Средняя суммарная полезная длина путей, м				2 923

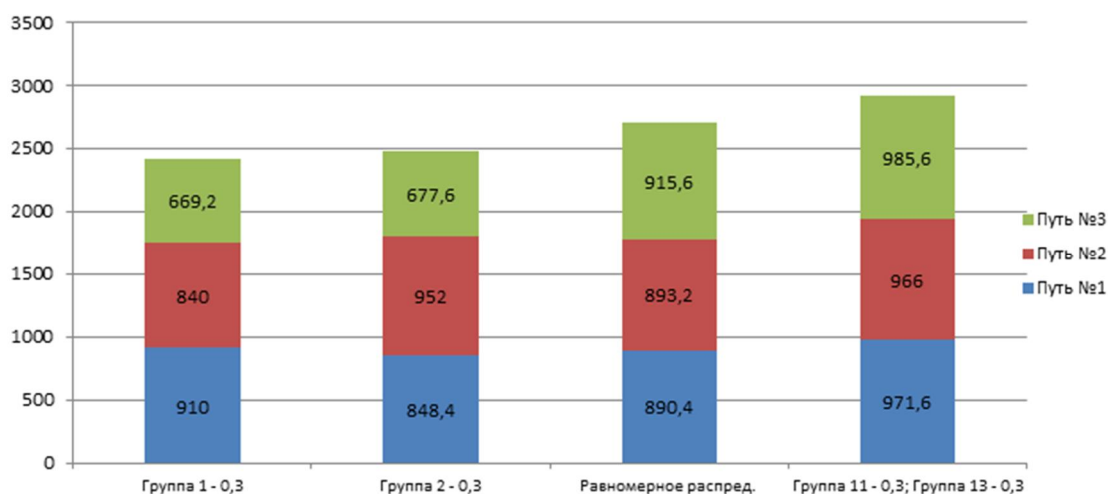


Рис. 2. Необходимая полезная длина группировочных путей, м, в зависимости от функции распределения

ние в процессе сортировки, СПД будет увеличиваться или уменьшаться по сравнению с вариантом, при котором вероятности появления групп распределены равномерно.

Надежность группировочных путей

Достаточно высокая неопределенность процесса распределения вагонов различных групп по группировочным путям в значительной степени зависит от структуры перерабатываемого вагонотока. Для определения необходимой и достаточной вместимости путей предлагается использовать подходы теории надежности применительно к эксплуатационной надежности транспортных систем [8, 9].

Максимальные значения полезной длины, рассмотренные ранее, демонстрируют их зависимость от количества групп, схемы сортировки и функции распределения вероятностей появления групп в составе. Однако использование этих значений может быть недостаточно обоснованным, поскольку частота появления таких условий может оказаться незначительной, а значит, проектирование таких «максимальных» длин путей приведет к излишним капитальным затратам, в большинстве случаев неоправданным.

Рассмотрим максимальную полезную длину группировочного пути для сортировки состава в качестве случайной величины $l_{пз}$. С целью получения достоверной информации о функции распределения такой случайной величины зададимся следующим условием: выборочное среднее не должно отличаться от математического ожидания генеральной совокупности более чем на один вагон, т.е. $M(l_{пз}) - d \leq \bar{l}_{пз} \leq M(l_{пз}) + d$. Иными словами, половина длины доверительного интервала $d = 1$ ваг. Тогда количество экспериментов n в соответствии с [10] можно определить по формуле

$$n = \frac{(\sigma(l_{пз})Z_{\alpha/2})^2}{d^2}, \quad (1)$$

где $\sigma(l_{пз})$ – среднее квадратическое отклонение рассматриваемой случайной величины; $Z_{\alpha/2}$ – верхняя критическая точка для стандартной нормально распределенной случайной величины.

Однако, в связи с тем что распределение $l_{пз}$ может оказаться несимметричным, более предпочтительно использовать критерий $t_{\alpha/2}$ (критическая точка для t -распределения, при большом количестве измерений сходящегося к нормальному), обладающий большей площадью покрытия, более близкой к желательному

уровню доверия $(1 - \alpha)$. В связи с тем что в формуле (1) присутствует $\sigma(l_{пз})$, необходимо получить его ориентировочное значение, проведя пробную серию экспериментов.

Рассмотрим в качестве случайной величины полезную длину первого группировочного пути $l_{пз}^1$ при сортировке девяти групп с вероятностью появления группы 1 – 0,3. Сортировка производится комбинаторным методом на трех путях (8–13 групп). Для 100 значений $\sigma(l_{пз}) = 8,2$ ваг. При уровне доверия 0,95 $Z_{\alpha/2} = 1,96$ [11]. Отсюда определим необходимое число экспериментов n :

$$n = \frac{(8,2 \cdot 1,96)^2}{1^2} = 259.$$

Таким образом, можно считать, что 259 измерений будет достаточно для того, чтобы функция распределения приняла достаточно стабильную форму и полно отражала свойства случайной величины.

Рассмотрим функции распределения полезной длины (рис. 3) первого сортировочно-группировочного пути для следующих вариантов распределения вероятностей появления групп в составе:

1) сортировка девяти групп: вероятность появления группы 1 – 0,3; вероятности появления остальных групп распределены равномерно;

2) сортировка девяти групп: вероятность появления группы 2 – 0,3; вероятности появления остальных групп распределены равномерно;

3) сортировка тринадцати групп: вероятность появления группы 11 – 0,3, группы 13 – 0,3; вероятности появления остальных групп распределены равномерно.

4) сортировка тринадцати групп: вероятности появления групп распределены равномерно.

Функции распределения (см. рис. 3) отличаются скоростью возрастания и точками, в которых начинается и заканчивается интенсивное возрастание. Следовательно, меняются и значения функции распределения, что, в свою очередь, влияет на надежную длину пути. Под надежной длиной пути следует понимать такую длину, при которой вагоны будут размещены на пути с определенной надежностью. В данном случае надежность [8] – вероятность того, что вагоны в процессе сортировочной работы вместятся на путь.

Функция распределения показывает вероятность того, что случайная величина $l_{пз}$ окажется меньше определенного значения. Это

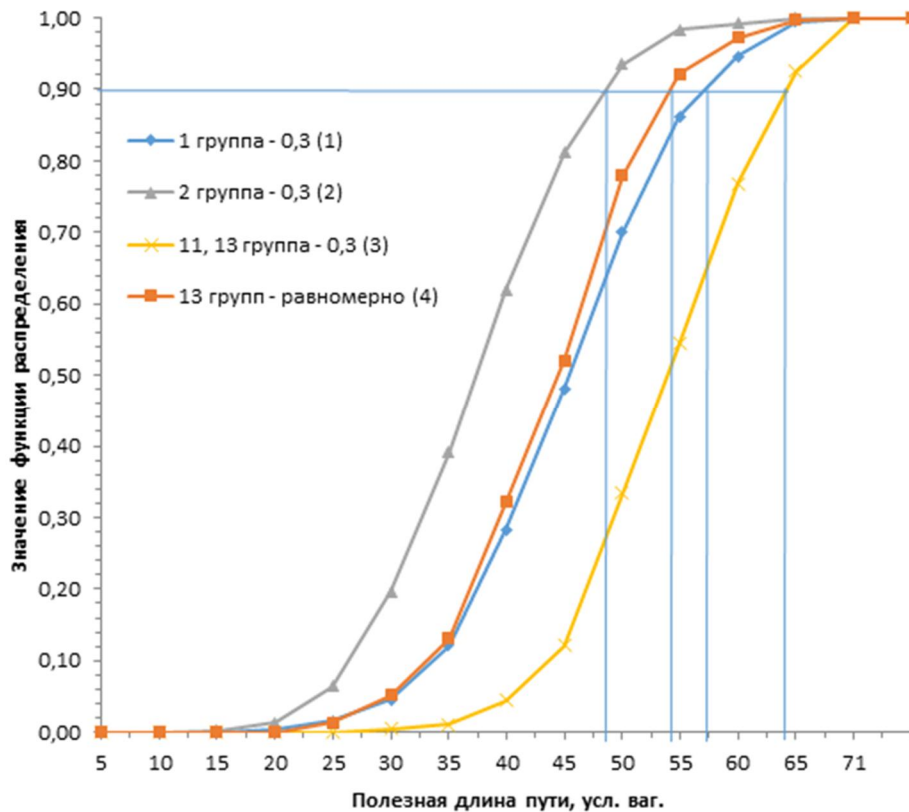


Рис. 3. Функции распределения полезной длины пути для различной структуры вагонопотока

значение можно интерпретировать как надежную длину, а соответствующую ему вероятность – как надежность. Таким образом, при одинаковом уровне надежности, в связи с различным видом функций распределения (см. рис. 3), надежная длина может значительно отличаться.

Рассмотрим функцию распределения при ее значении (уровне надежности), равном 0,9. Значения переменных, соответствующих заданному значению функции, – 57, 48, 64, 54 усл. ваг. соответственно порядковому номеру функции. Наибольшая полезная длина соответствует варианту с большими значениями вероятности появления в составе 11-й и 13-й группы. Это связано с тем, что обе крупные группы попадают в процессе сортировки на первый путь вместе с небольшими группами (1, 3, 5, 7, 9), тем самым смещая функцию распределения в сторону больших значений длины.

Приведенные результаты показывают, что надежная длина группировочных путей может отличаться при различном вагонопотоке и позволяет дать более полное представление о работе устройства.

В модели реализована возможность статистического определения надежности уже существующего устройства:

$$P_{\text{над}} = \frac{n_{\text{сорт}}}{N_{\text{сорт}}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{сорт}}$ – количество сортировок, при которых длина группы, попадающей на группировочный путь, оказалась меньше длины пути; $N_{\text{сорт}}$ – общее количество сортировок.

Данная вероятность позволяет оценить, какой надежностью будут обладать сортировочно-группировочные пути. Малая надежность приведет к большому количеству отказов, т.е. невозможности разместить вагоны на пути, а значит и к увеличению продолжительности сортировки вагонов. Отказы будут нести тем большее негативное влияние на работу сортировочного устройства, чем больше его загрузка. Это связано с тем, что внезапные увеличения продолжительности обслуживания при большой загрузке будут приводить к значительному увеличению очереди и усложнять процесс ее устранения [12]. В связи с этим условная «стоимость отказа» (нехватка вместимости группировочных путей) при большой загрузке будет значительно выше,

чем при низкой. Отсюда можно сделать вывод, что выбор длины путей должен производиться не только из соображений максимальной надежности, но и из соображений экономии капитальных вложений, если это позволяет режим работы сортировочного устройства. При низкой загрузке отказы не будут существенно влиять на работу устройства, позволяя уменьшить расчетную эксплуатационную надежность и существенно сократить необходимую вместимость группировочных путей.

Таким образом, в работе получены следующие результаты:

1. Установлено наличие зависимости между полезной длиной группировочных путей специализированного сортировочного устройства и структурой вагонопотока, методами сортировки и функцией распределения вероятностей появления групп в составе.

2. Суммарная необходимая полезная длина при комбинаторном методе находится в интервале от $2,6l_{\text{сост}}$ до $2,75l_{\text{сост}}$ при различном числе групп. Степенной метод сильнее подвержен влиянию фактора числа групп: сум-

марная полезная длина находится в интервале от $2,3l_{\text{сост}}$ до $2,65l_{\text{сост}}$.

3. Установлено влияние функции распределения вероятностей появления групп в составе на функцию распределения полезной длины группировочного пути, зависящее от схемы сортировки. При равномерном распределении вероятностей появления групп функция распределения полезной длины путей смещается в сторону больших значений.

4. Предложен метод оценки необходимой и достаточной вместимости путей, используемых для многогруппной сортировки, на основе подходов теории надежности. Введено понятие надежной длины группировочных путей с заданным уровнем надежности, соответствующим вероятности неперевышения вместимости путей в процессе многогруппной сортировки потока составов, позволяющее более корректно определять технические параметры специализированного сортировочного устройства. Результатом будет сокращение капитальных затрат на его сооружение и расходов, связанных с эксплуатацией.

Библиографический список

1. Сивицкий Д.А. Анализ отечественного и зарубежного опыта разработки и использования моделей технологии многогруппной сортировки вагонов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2016. № 1 (29). С. 106–116.
2. Карасёв С.В., Сивицкий Д.А. Разработка сортировочных комплексов, специализированных для многогруппной сортировки вагонов, на основе имитационного моделирования // Техника. Технологии. Инженерия: Междунар. науч. журнал. 2016. № 1 (01). С. 51–53.
3. Сивицкий Д.А. Разработка программного модуля распределения вагонов по сортировочным путям в процессе многогруппной сортировки // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2016. № 3. С. 13–18.
4. Сивицкий Д.А. Моделирование маневровых передвижений при определении затрат времени на перестановку вагонов при повторной сортировке // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 2 (50). С. 200–206.
5. Сивицкий Д.А. Моделирование работы специализированного сортировочного устройства и определение горочного технологического интервала // Транспорт Урала. 2016. № 3 (50). С. 100–105.
6. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю.А. Муха, Л.Б. Тишков, В.П. Шейкин и др. М.: Транспорт, 1994. 220 с.
7. Макаров В.М. Ускоренное формирование многогруппных составов на ограниченном числе сортировочных путей: Экспресс-информ. М., 1986. 37 с.
8. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций. М.: Транспорт, 1986. 247 с.
9. Тишков Л.Б. Теоретические и методологические основы корректировки алгоритмов расчета высоты, продольного профиля сортировочных горок и систем управления расформированием составов // Вестник ВНИИЖТа. 1996. № 6. С. 22–25.
10. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: МИР, 1978. 411 с.
11. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. СПб.: Питер; Киев: BNV, 2004. 847 с.
12. Сотников Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций. М.: Транспорт, 1979. 239 с.

S.V. Karasev, D.A. Sivitskiy

A Probabilistic Method for Determining the Grouping Tracks Required Capacity, Taking into Account the Structure of the Car Traffic Volume and Operational Reliability

Abstract. Increasing the economic efficiency of rail transport in modern conditions requires the search for new technical and technological solutions. One of them is the improvement of the processing car traffic volume quality: the acceleration of sorting work, the reduction of operating costs and the cost of processing. For local railways, it is also important to increase the detail (depth) of the car collection, up to individual freight fronts and customers, through multi-group sorting, which improves the customer service quality.

In the article, using the simulation model of the multi-group sorting process for different structure of the sorted car traffic volume, the required capacity of the tracks has been calculated, and a probabilistic estimate has been made of the reliability locating the required number of cars on grouping tracks for various schemes and methods for multi-group sorting.

For several variants of the processed composition structure, given as a function of group distribution, a quantitative assessment of the necessary and sufficient capacity of grouping tracks to ensure a given level of reliability of its non-extensibility in the process of multi-group sorting is performed.

Key words: *multi-group sorting; auxiliary sorting devices; operational reliability; simulation model; sorting methods; car selection.*

Карасёв Сергей Владимирович – заведующий кафедрой «Железнодорожные станции и узлы» СГУПС, канд. техн. наук, доцент. E-mail: gdsu@rambler.ru

Сивицкий Дмитрий Андреевич – аспирант, преподаватель кафедры «Железнодорожные станции и узлы» СГУПС. E-mail: sillvansmmm@gmail.com