

УДК 656.212.5:681.3

*Д-р техн. наук В.И. Бобровский,
асп. И.Я. Сковрон (ДНУЖТ)*

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ВЫБОРА
РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ
МНОГОГРУППНОГО СОСТАВА**

Для повышения экономической эффективности функционирования железнодорожного транспорта необходима целенаправленная разработка и реализация мероприятий, обеспечивающих снижение расходов на транспортировку грузов. Уменьшение транспортной составляющей в стоимости конечного продукта позволит также заинтересовать новых клиентов железнодорожного транспорта и поэтому является весьма важной задачей.

Детальное изучение процесса доставки грузов железнодорожным транспортом позволяет выделить его

наиболее затратные элементы, интенсификация которых позволит обеспечить достижение поставленной цели. Одним из перспективных для исследования является процесс формирования на станциях многогруппных составов. Указанному вопросу посвящено достаточно большое число публикаций [1-6], что свидетельствует о его актуальности.

Для эффективного решения проблемы ускорения маневровой работы с многогруппными составами были разработаны различные методы, применение которых позволяет

существенно снизить расходы времени и ресурсов на формирование указанных составов. Наибольшее распространение на железных дорогах получил комбинаторный метод (КМ) [2], который дает возможность на ограниченном числе путей эффективно формировать составы с произвольным числом групп. В [5] был предложен распределительный метод (РМ), который позволяет сформировать состав за меньшее число этапов, однако он требует осуществлять сборку вагонов со всех путей после каждой их сортировки. Целый ряд оригинальных методов формирования многогруппных составов предложен в [3].

Как показали исследования [6], не существует абсолютно эффективного метода, который мог бы быть рекомендован для всего множества составов и используемых технических средств. В этой связи в оперативных условиях необходимо для каждого конкретного состава осуществлять поиск оптимального метода с учетом наличного числа сортировочных путей и их вместимости.

Дальнейшие исследования методов формирования позволили обнаружить возможность получения множества различных вариантов реализации каждого метода, которые были названы схемами формирования. В этой связи возникла задача выбора среди множества возможных схем рациональной схемы формирования с наилучшим значением критерия эффективности.

В случае, когда число возможных схем невелико, поиск осуществляется полным перебором всех схем множества, в результате чего отбирается схема с лучшим значением показателя эффективности (например, продолжительности формирования T_{ϕ}). При этом оценка T_{ϕ} для каждой схемы осуществляется на основе имитационного моделирования процесса формирования рассматриваемого состава с учетом используемых технических средств и путевого развития станции. В то же время при больших

размерах выборки такой подход требует значительной продолжительности расчетов, а в некоторых случаях его выполнение за приемлемое время практически невозможно.

При этом следует заметить, что даже в тех случаях, когда начальное число схем невелико, как показали исследования [7], зачастую возникает необходимость искусственного расширения рассматриваемого множества схем, поскольку в их исходной группе могут отсутствовать схемы с достаточно малым временем T_{ϕ} . Поэтому указанная задача может быть отнесена к экстремальным комбинаторным задачам большой размерности, для решения которой был предложен статистический подход [5]. В данной работе в результате исследований было установлено, что при достаточно большом числе возможных схем формирования Z продолжительность формирования состава T_{ϕ} можно рассматривать как случайную величину. Тогда квазиоптимальным решением можно считать непараметрический односторонний толерантный предел, в качестве которого принимается минимальное значение $T_{\phi min}$ в выборке объемом \tilde{n}_0 . Величина \tilde{n}_0 представляет собой тот минимальный объем выборки, при котором со статистической надежностью β можно утверждать, что, по крайней мере, доля α генеральной совокупности превышает наименьшее значение в выборке $T_{\phi min}$.

При этом нерешенной осталась задача выбора рациональных значений параметров α , β , от величины которых зависит объем выборки \tilde{n}_0 и, соответственно, выбор схемы формирования состава и его продолжительность T_{ϕ} .

Как следует из выполненного анализа рассматриваемой задачи, для повышения эффективности предложенного статистического метода необходимо установить рациональную величину объема

выборки \tilde{n}_0 , при которой можно за приемлемое время найти схему, обеспечивающую близкое к минимальному время формирования состава. Поэтому в данной работе были выполнены исследования взаимосвязи между объемом выборки \tilde{n}_0 , продолжительностью анализа ее схем с использованием имитационного моделирования процесса формирования состава и полученным в результате временем формирования $T_{\text{ф}}$; при этом для оценки эффективности результата текущие значения $T_{\text{ф}}$ сравнивались с минимальным временем $T_{\text{фmin}}$, полученным для всего множества возможных схем методом полного перебора. Результаты указанных исследований позволяют установить рациональный объем выборки \tilde{n}_0 , на основе анализа которой за допустимое время расчета может быть выбрана схема, обеспечивающая время формирования состава $T_{\text{ф}}$, близкое к минимальному.

Другим возможным направлением совершенствования рассматриваемого метода является предварительный анализ совокупности кодов, присваиваемых вагонам состава для построения множества схем формирования. Указанный анализ должен производиться для отбора таких комбинаций кодов и, соответственно, схем формирования, которые априори требуют меньшего объема перемещений вагонов и, следовательно, времени формирования состава $T_{\text{ф}}$. В этой связи в данной статье выполнен анализ кодов логических номеров групп в фибоначчиевой записи с целью установления их связи с числом перемещений вагона состава, которому присвоен данный код, в процессе формирования состава. Результаты указанного анализа позволят осуществлять предварительный отбор кодов для их присвоения вагонам состава, что в конечном итоге даст возможность сократить множество рассматриваемых

схем формирования и за счет этого усовершенствовать методику поиска рациональной технологии формирования многогруппных составов.

Для оценки эффективности статистического метода была выполнена серия экспериментов с имитационной моделью процесса формирования многогруппных составов. Для обеспечения объективности результатов были подготовлены данные о 200 составах с различным числом вагонов (от 15 до 35) и числом групп (от 3 до 10). Формирование указанных групп составов выполнялось при числе путей (от 2 до 5) разными методами с использованием различных сортировочных устройств (вытяжной путь, горка малой мощности).

По результатам имитационного моделирования процесса формирования составов были определены значения времени формирования по лучшим схемам, найденным как полным перебором всех Z схем множества $\Sigma (\dot{O}_{\text{опп}}^{\hat{\sigma}})$, так и с помощью статистического метода $(\dot{O}_{\text{опп}}^{\hat{\sigma}})$. На основании этих данных определялось значение величины уменьшения эффекта $e_{\text{пп}}$ при использовании статистического метода по сравнению с полным перебором:

$$e_{\text{пп}} = \frac{T_{\text{фсм}} - T_{\text{фпп}}}{T_{\text{фсм}}} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Для иллюстрации зависимости степени уменьшения эффекта $e_{\text{пп}}$ от числа логических групп в составе θ в табл. 1 представлены результаты исследования формирования на 3-х сортировочных путях составов из 35 вагонов с числом групп от 3 до 10; формирование производилось с использованием вытяжного пути комбинаторным и распределительным методами.

Результаты моделирования процесса формирования составов

θ	3	4	5	6	7	8	9	10
Комбинаторный метод								
Z	286	715	42504	134596	346104	$177 \cdot 10^6$	$71 \cdot 10^6$	$2.5 \cdot 10^9$
$T_{\text{фпп}}$	29.77	39.43	46.26	54.55	60.59	64.11	68.43	72.93
$T_{\text{фсм}}$	29.77	40.28	51.2	61.76	70.63	84.64	92.71	101.64
$e_{\text{пп}}$	0	2.1	9.6	11.7	14.2	24.3	26.2	28.2
Распределительный метод								
Z	2925	$1.7 \cdot 10^6$	$26 \cdot 10^6$	$0.3 \cdot 10^9$	$3.5 \cdot 10^9$	$32 \cdot 10^9$	$261 \cdot 10^9$	$164 \cdot 10^{15}$
$T_{\text{фпп}}$	31.05	40.53	48.15	56.78	63.91	71.03	76.12	-
$T_{\text{фсм}}$	32.21	44.65	58.89	74.16	86.5	98.7	109.33	136.79
$e_{\text{пп}}$	3.6	9.2	18.2	25.2	26.6	28.2	30.4	-

Для наглядности данные табл. 1 представлены на рис. 1 в графическом виде.

Как видно из приведенных данных, снижение эффекта при использовании статистического метода возрастает с увеличением числа ЛНГ от 2.1 % до 28.2 % для комбинаторного метода и от 3.6 % до 30.4 % – для распределительного. При этом для составов из 10 логических групп оценка

эффекта не была получена, так как полный перебор всех схем в данном случае не осуществим из-за их значительного числа. Таким образом, значительное снижение эффекта статистического метода наблюдается в тех случаях, когда число схем множества достаточно велико (10^6 и более).

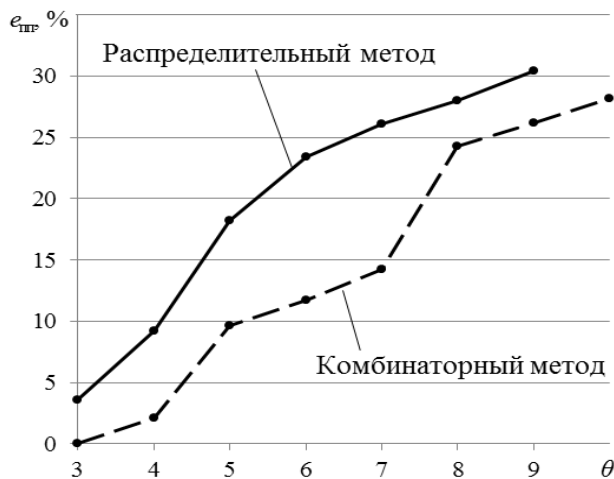
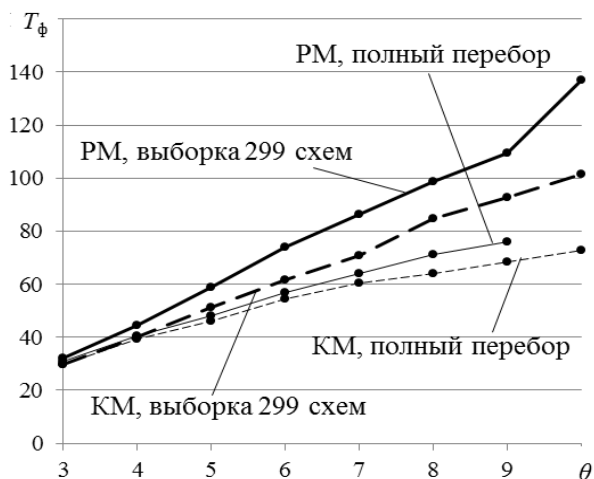


Рис. 1. Влияние числа ЛНГ θ на показатели процесса формирования: a – время формирования $T_{\text{ф}} = f(\theta)$; b – снижение эффекта от использования статистического метода $e_{\text{пп}} = f(\theta)$

С другой стороны, полный перебор всех Z схем множества, позволяющий

установить наименьшее значение времени формирования состава $\dot{O}_{\text{дп}}^{\hat{\sigma}}$, применим не

во всех случаях в связи с существенным ростом числа схем Z , особенно при использовании распределительного метода. Это связано со значительным увеличением времени τ расчета схем для отдельного состава, и, соответственно, для всего потока составов.

Таким образом, для получения максимально возможного эффекта необходимо выработать определенные рекомендации относительно величины множества схем, при которой целесообразно применять статистический метод, а также выработать механизм повышения его эффективности. С этой

целью рассмотрим показатели применяемого в [5] статистического метода. Так, при использовании одностороннего непараметрического толерантного предела, для выборки $\tilde{n}_0=299$ схем в 95% случаев теряется не более 1% лучших схем по сравнению с полным их перебором.

Для проверки было выполнено сравнение распределений времени формирования для отдельных схем при их полном переборе ($Z=1961256$ схем) (рис. 2, а) и для выборки 299 схем (рис. 2, б).

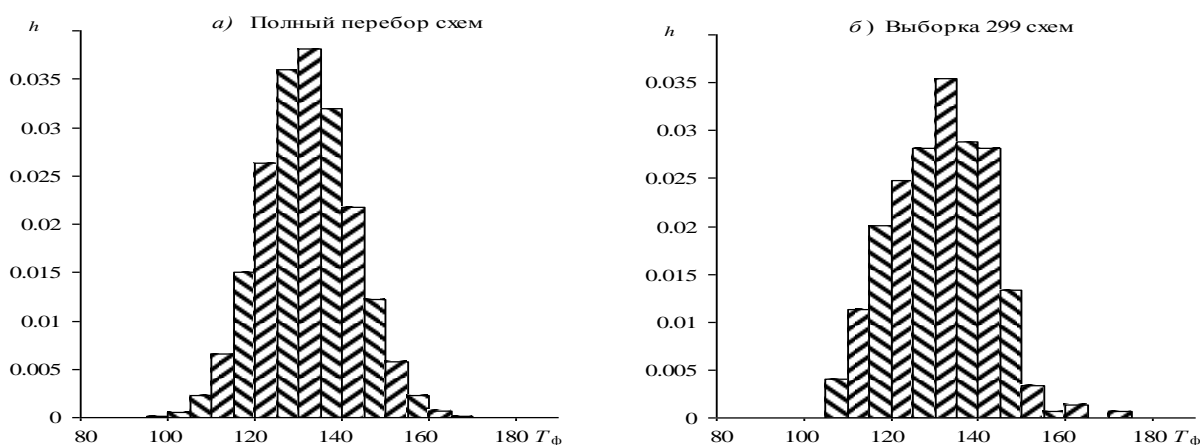


Рис. 2. Распределение случайной величины времени T_ϕ :
а – при полном переборе схем; б – при использовании статистического метода

диапазон значений времени $T_{\text{фпп}}$ состава при полном переборе схем составляет от 80 до 190 мин, в то время как для выборки 299 схем время $T_{\text{фсм}}$ изменяется лишь в пределах от 105 до 175 мин. Доля схем со временем $T_{\text{фпп}}$, меньшим времени $\hat{O}_{\text{опт}}^{\hat{\sigma}}$, составляет лишь 0,67% от объема их множества, но при этом время $T_{\text{фпп}}$ некоторых схем может оказаться значительно меньшим времени

$\hat{O}_{\text{опт}}^{\hat{\sigma}}$. Однако, при этом следует учесть, что поиск оптимальной схемы $\hat{\sigma}$ формирования состава полным перебором может потребовать значительного времени расчета τ_c , тогда как при использовании статистического метода это время не превышает нескольких секунд.

В этой связи для комбинаторного метода были выполнены исследования влияния числа схем в выборке \tilde{n}_0 на время формирования состава $T_{\text{фсм}}$ и

Організація перевезень і управління на транспорті

продолжительность расчетов τ_c (см. табл. 2). Поиск квазиоптимальной схемы выполнялся на множествах схем со

степенью расширения $\rho = 4$ [7] с целью увеличения возможностей выбора лучших схем.

Таблица 2

Параметры лучших схем при различных объемах выборок \tilde{n}_0

θ , групп	Число схем, Z	Параметры	\tilde{n}_0							
			1	10	100	299	1000	5000	10000	20000
4	135751	$T_{\text{фсм}}, \text{мин}$	62.99	50.43	43.44	41.59	40.22	38.94	38.69	38.52
		$\tau_c, \text{с}$	0.003	0.005	0.01	0.03	0.08	1.08	1.22	3.34
6	$324.5 \cdot 10^6$	$T_{\text{фсм}}, \text{мин}$	96.18	80.96	72.32	69.17	66.07	62.15	61.05	59.83
		$\tau_c, \text{с}$	0.003	0.005	0.035	0.11	0.36	1.75	3.65	7.21
8	$4.98 \cdot 10^{12}$	$T_{\text{фсм}}, \text{мин}$	129.59	112.86	101.77	97.88	93.9	88.94	87.27	85.72
		$\tau_c, \text{с}$	0.003	0.005	0.03	0.095	0.66	3.625	7.55	15.02

Как видно из табл. 2, увеличение числа схем в выборке приводит к уменьшению времени $T_{\text{фсм}}$, однако при этом растет и время поиска лучшей схемы. Установлено, что время определения лучшей схемы выборки τ_c зависит не только от ее размера \tilde{n}_0 , но и от числа групп состава θ : при увеличении их числа

в составах потока среднее время расчета одной схемы увеличивается.

По данным табл. 2 были получены зависимости времени формирования от объема выборки $T_{\text{фсм}} = f(\tilde{n}_0)$ (рис. 3, а), а также от времени выбора лучшей схемы для одного состава $T_{\text{фсм}} = f(\tau_c)$ (рис. 3, б).

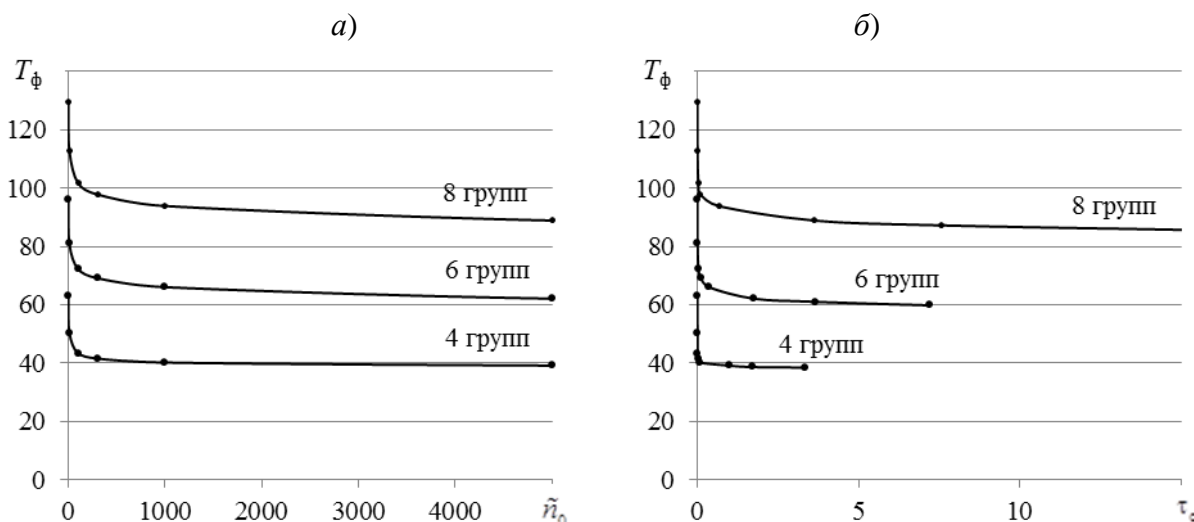


Рис. 3. Зависимости времени формирования $T_{\text{фсм}}$:

а – от объема выборки $T_{\text{фсм}} = f(\tilde{n}_0)$; б – времени расчета $T_{\text{фсм}} = f(\tau_c)$

Как видно из приведенных данных, при увеличении размеров выборки \tilde{n}_0 от 1 до 100 время формирования уменьшается весьма быстро; в дальнейшем эффект значительно сокращается. Таким образом, объем выборки $\tilde{n}_0 = 5000$ схем позволяет дополнительно на 6–11% сократить время формирования по сравнению с выборкой $\tilde{n}_0 = 299$ схем; дальнейшее увеличение размера выборки \tilde{n}_0 нецелесообразно.

Кроме того, при реализации разработанной модели в АРМ оперативно-диспетчерского персонала станции можно предусмотреть возможность принятия решения о пороговом значении времени расчета диспетчерским персоналу. Такой подход позволит, за счет дополнительного времени расчета, еще более повысить эффективность технологии формирования многогруппных составов на станции.

Еще одной возможностью сокращения времени формирования составов является предварительный анализ и отбор совокупности ЛНГ, присваиваемых вагонам состава при выборе схем формирования. Установлено, что такой анализ может производиться при использовании комбинаторного метода.

Для формализации схемы формирования состава на m путях

комбинаторным методом в [5] предложена методика представления ЛНГ γ в фибоначчевой системе счисления:

$$\Phi_m(\gamma) = \varphi_{N-1}, \varphi_{N-2}, \dots, \varphi_1. \quad (2)$$

Составляющие $\Phi_m(\gamma)$ фибоначчевы цифры φ_i ; числа γ принимают значения 0 или 1:

$$\gamma = F_{m+N-1}^{(m)}\varphi_N + F_{m+N-2}^{(m)}\varphi_{N-1} + \dots + F_m^{(m)}\varphi_1, \quad (3)$$

где $F_m^{(m)}, \dots, F_{m+N-1}^{(m)}$ – последовательность обобщенных чисел Фибоначчи порядка m .

Число $\Phi_m(\gamma)$ представляется в двоичной системе счисления и позволяет на каждом этапе формирования определить логический номер пути назначения вагона, имеющего ЛНГ γ .

Как показал анализ, суммарное число перестановок k каждого вагона на всех N этапах формирования соответствует числу нулей $c(\gamma)$ в его коде $\Phi_m(\gamma)$, которое может быть определено как

$$c(\gamma) = N - 1 - \varphi_{N-1} + \varphi_{N-2} + \dots + \varphi_1 = N - 1 - \sum_{i=1}^{N-1} \varphi_i. \quad (4)$$

Следовательно, при выборе схемы с ЛНГ γ , F -коды которых имеют меньшее число нулей, может быть получено множество схем $Z^* < Z$ с меньшим числом перестановок вагонов и, соответственно, меньшим временем формирования состава T_Φ .

Для иллюстрации предварительного анализа множества схем рассмотрим пример формирования на 3 путях комбинаторным методом состава из 8

групп, в каждой из которых имеется один вагон (рис. 4):

7	6	5	4	3	2	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

На рис. 4 жирным шрифтом выделены вагоны, которые были направлены на пути на каждом этапе формирования; стрелочкой обозначены пути, с которых вытягиваются вагоны на каждом из этапов.

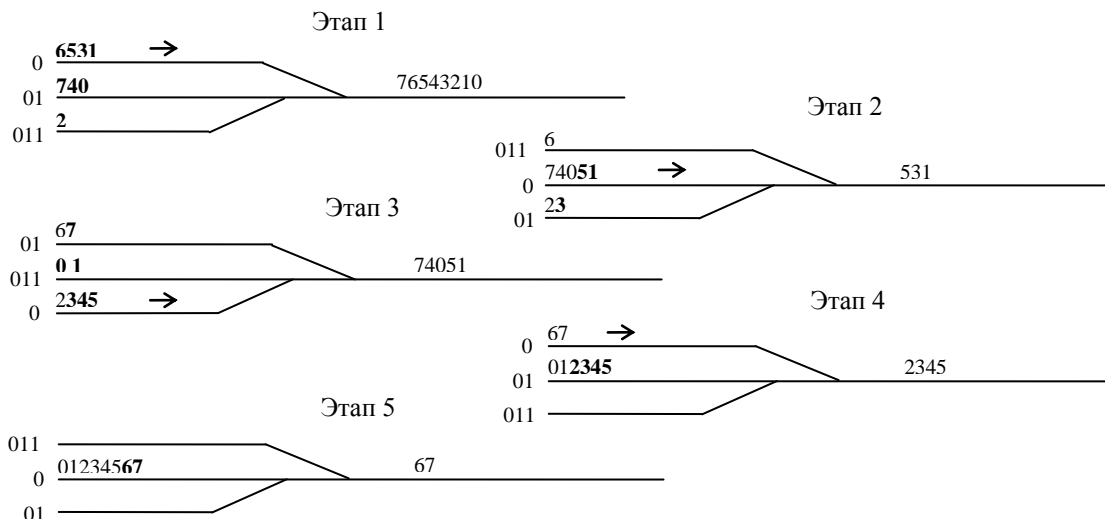


Рис. 4. Пример формирования состава из 8 групп

В табл. 3 указано число перемещений каждой группы вагонов рассматриваемого состава из 8 групп. При этом критическое число схем для метода КМ при трех путях равно $G_i^3=12$.

Жирным шрифтом в табл. 3 выделены номера ЛНГ γ , используемые для получения первой схемы множества Σ , формирование на основе которой приведено на рис. 4. Как видно, число нулей $c(\gamma)$ в кодах ЛНГ γ полностью соответствует числу перестановок k каждой группы, которое определяется с помощью (4).

Анализ данных табл. 3 позволяет получить следующие правила для предва-

рительного анализа и выбора множества схем для поиска лучшей из них:

- минимизировать суммарное число нулей $C = \sum_{i=0}^{\theta} c(\gamma_i)$ во всех F -кодах состава;
- обеспечить выбор кодов с минимумом нулей $c(\gamma)$ для длинных отцепов состава, что позволит минимизировать их перемещения.

Для иллюстрации в табл. 4 приведены показатели двух схем формирования комбинаторным методом на 3 путях приведенного выше состава из 8 вагонов с числом ЛНГ $\theta=8$, соответственно, с минимальным и максимальным числом нулей C ; при этом объем множества схем Σ составляет 1287 схем.

Таблица 3

Число перемещений групп вагонов многогруппного состава

Номер группы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
К-во перестановок	1	2	1	2	2	3	2	2	3	2	3	3	4
F -коды	1101	1100	1011	1010	1001	1000	0110	0101	0100	0011	0010	0001	0000
Число нулей, $c(\gamma)$	1	2	1	2	2	3	2	2	3	2	3	3	4

Параметры экстремальных схем для многогруппного состава с одновагонными группами

C	Группы вагонов, их ЛНГ и коды								R	T _ф , мин
	0	1	2	3	4	5	6	7		
14	0	1	2	3	4	6	7	9	20	30,16
	1101	1100	1011	1010	1001	0110	0101	0011		
22	3	4	5	7	8	10	11	12	25	41,50
	1010	1001	1000	0101	0100	0010	0001	0000		

Найденная схема с минимальным $C_{\min}=14$ числом нулей в F -кодах обеспечивает сокращение времени формирования T_{ϕ} на 27,2 %, по сравнению со схемой с максимальным $C_{\max}=22$ числом нулей. При этом, как показали исследования, наличие минимального числа нулей C_{\min} в схеме не гарантирует минимального времени T_{ϕ} формирования с ее использованием, так как на него оказывают влияние ряд других факторов. Установлено, что более эффективным в качестве критерия может оказаться число рейсов R (см. табл. 4), которое потребовалось выполнить для формирования состава, однако определение R на начальном этапе значительно сложнее.

Далее было выполнено исследование эффективности поиска схем с минимальным значением суммарного числа нулей C для состава, в котором имеется длинный отцеп. Как показал анализ результатов, количество перемещений в данном случае не изменилось. При этом эффект от минимизации перемещений длинного отцепа оказался еще больше; он

позволил сократить время формирования T_{ϕ} состава на 33,0 %.

Установленные зависимости между параметрами F -кодов ЛНГ составов и временем T_{ϕ} позволяют осуществлять предварительный отбор схем выборки \tilde{n}_0 для повышения вероятности определения схемы с минимальным временем $T_{\phi\min}$ формирования.

Таким образом, выполненные исследования подтвердили возможность повышения эффективности применения статистического метода на 7-15 % за счет выполнения предварительного анализа множества возможных схем формирования для последующего выбора квазиоптимальной схемы на основе имитационного моделирования. При этом обеспечивается сокращение продолжительности выбора схемы для отдельного состава, что позволяет реализовать предложенную методику в АРМ оперативно-диспетчерского персонала станций для принятия решений при управлении технологическим процессом.

Список литературы

1. Архангельский, Е. В. Одновременное формирование многогруппных поездов на сортировочных станциях [Текст] / Е.В. Архангельский // Железнодорожный транспорт. – 1979. – № 7. – С.72-75.
2. Тишкин, Е.М. Метод комбинаторной сортировки вагонов – основа интенсивной технологии местной работы [Текст] / Е. М. Тишкин // Вестник ВНИИЖТ. – 1987. – № 2. – С. 16-19.

3. Флодр, Ф. Технология работы станций формирования поездов. / Ф. Флодр, В. Мойжиш, К. Волески. – М.: Транспорт, 1989. – С. 105-106.

4. Гусев, Ю.Н. Определение оптимальных схем формирования МНГ составов на сортировочной горке [Текст] / Ю. Н. Гусев // Интенсификация перевозок грузов на железнодорожном транспорте. – М., 1989. – С. 71-77.

5. Бобровский, В.И. Автоматизация составления сортировочного листа при использовании комбинаторного метода сортировки вагонов [Текст] / В.И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на железнодорожных станциях: межвуз. сб. научн. тр. – Днепропетровск: ДИИТ, 1990. – С. 60-69.

6. Бобровский, В. И. Оптимизация формирования многогруппных составов [Текст] / В.И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. — 2000. – № 6. – С. 10-14.

7. Бобровский, В.И. Совершенствование технологии формирования многогруппных составов [Текст] / В.И. Бобровский, И.Я. Сковрон // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007. Вип. 19. – С. 88-93.

8. Сковрон, И.Я. Оптимизация выбора схемы формирования многогруппных составов [Текст] / И.Я. Сковрон // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Вып. 1/3. — Харьков: Технологический центр, 2012. – С. 20-26.

Ключевые слова: маневровая работа, методы формирования, имитационное моделирование, схемы составов, квазиоптимальный.

Аннотации

Проаналізовані нові методи формування багатогрупних поїздів за допомогою імітаційного моделювання.

Проанализированы новые методы формирования многогруппных поездов с помощью имитационного моделирования.

The article tells about the new methods formation of trains from many groups using simulation.