

УДК 656.212.5:681.3

**ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА СХЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ  
МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ**

**И. Я. Сковрон**

**ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ СХЕМИ ФОРМУВАННЯ  
БАГАТОГРУПНИХ СОСТАВІВ**

**І. Я. Сковрон**

**OPTIMIZATION OF CHOOSING THE SCHEMES OF THE MAKING UP THE  
MULTI-GROUP TRAINS**

**I. Ya. Skovron**

*Предложена методика оптимизации выбора схемы формирования, которая позволяет повысить эффективность применения методов формирования многогруппных составов.*

*Ключевые слова: многогруппные составы, формирование, оптимизация, схемы формирования, методы формирования.*

*Запропонована методика оптимізації вибору схеми формування, яка дозволяє підвищити ефективність використання методів формування багатогрупних составів.*

*Ключові слова: багатогрупні состави, формування, оптимізація, схеми формування, методи формування.*

*The procedure of optimization of choosing the schemes of the making up was suggested, which will improve the efficiency of using methods of the making up the multi-group trains.*

*Key words: multi-group trains, making-up process, optimization, schemes of making up, methods of making up.*

**1. Введение**

Экономическая целесообразность деятельности любого вида транспорта, в том числе и железнодорожного, в значительной мере определяется качеством предоставляемых им услуг. Одним из немаловажных факторов при этом является продолжительность доставки грузов от отправителя к получателю, существенной составляющей, которой является продолжительность операций по формированию составов.

Ввиду того, что процесс формирования многогруппных составов, особенно в условиях недостаточного числа путей, является одним из наиболее трудоемких, поиск возможностей его совершенствования является актуальной задачей, что подтверждается значительным числом научных работ, посвященных этой теме (см., например, [1-4]).

## **2. Анализ текущего состояния вопроса формирования многогруппных составов**

В существующих публикациях, касающихся формирования многогруппных составов, приводятся разработанные авторами методы формирования многогруппных составов, которые дают возможность построить план маневровой работы, обеспечивающий повышение эффективности технологического процесса. В тоже время в рассмотренных работах значительно меньше внимания уделяется сравнительной характеристике существующих методов, их оптимизации, а также разработке рекомендаций по выбору рационального метода в конкретных условиях, хотя указанное направление исследований позволит без дополнительных капиталовложений повысить эффективность формирования многогруппных составов на станциях.

Одним из путей совершенствования процесса формирования с использованием существующих методов является выбор рационального плана маневровой работы для каждого конкретного состава с учетом существующих технических средств на станции. Следует заметить, что в рассмотренных работах при формализации того или иного метода предполагается, что нумерация групп вагонов состава однозначно определена, и в этой связи формирование конкретного состава этим методом выполняется единственным и строго определенным образом. В то же время, как показано в [5], для каждого метода в большинстве случаев можно получить достаточно большое число различных вариантов формирования рассматриваемого состава, отличающихся порядком распределения вагонов по путям на каждом этапе формирования. При этом сравнительный анализ возможных вариантов позволяет выбрать для реализации вариант с минимальной продолжительностью формирования состава.

## **3. Постановка задачи исследования схем формирования многогруппных составов**

Множество вариантов, названных в [5] схемами формирования, образуется за счет определенного варьирования логических номеров групп (ЛНГ), присваиваемых вагонам состава. При этом переход от действительных номеров групп к логическим осуществляется на основе анализа расположения вагонов в исходном составе. Он позволяет учесть начальную упорядоченность состава и за счет этого сократить число ЛНГ и, соответственно, продолжительность маневровой работы по формированию состава.

Число возможных схем формирования состава, среди которых осуществляется поиск рациональной схемы, зависит от принятого способа выбора ЛНГ для нумерации вагонов состава. Так, в работе [5] возможное число используемых ЛНГ  $\theta$  в составе ограничивалось ближайшим максимальным значением числа групп  $\theta \leq G_N^{(m)}$  (критическое значение), при котором данный состав может быть сформирован на  $m$  путях за  $N$  этапов. Такой подход позволяет минимизировать число этапов формирования рассматриваемого состава выбранным методом при использовании  $m$  путей сортировочного парка.

Указанное ограничение числа используемых ЛНГ, наряду с минимизацией числа этапов формирования, приводит и к сокращению числа возможных схем формирования состава, среди которых осуществляется поиск схемы с минимальным временем. Особенно часто указанный недостаток ограничения  $\theta \leq G_N^{(m)}$  имеет место, когда величина  $\theta$  приближается к  $G_N^{(m)}$ , в результате чего число возможных схем формирования  $Z$  резко сокращается, а при  $\theta = G_N^{(m)}$   $Z = 1$ . При этом, как показал анализ, увеличение числа этапов формирования  $N$  и, соответственно, снятие указанного ограничения позволяет существенно расширить число рассматриваемых схем и в результате найти схему с меньшим временем формирования, чем при начальном значении  $N$ .

В этой связи в данной статье были выполнены исследования указанной проблемы с целью совершенствования существующей методики оптимизации выбора схемы формирования многогруппных составов и выработки обоснованных рекомендаций для ее практической реализации.

Целью исследований является решение двух основных задач: определение совокупности номеров ЛНГ, с использованием которых осуществляется построение множества схем формирования и выбор методики поиска лучшей схемы формирования в полученном множестве.

В этой связи был выполнен анализ двух наиболее распространенных методов формирования, на базе которых определялось распределение вагонов по путям сортировочного парка на каждом этапе формирования.

#### 4. Оптимизация выбора схемы формирования из множества

Как было отмечено выше, в результате варьирования выбора ЛНГ вагонов состава образуется некоторое множество схем формирования  $\Sigma = \sigma_i | i = 1..Z$ , объем которого  $Z$  может быть определен как

$$Z = \frac{G_N^{(m)}!}{\theta! (G_N^{(m)} - \theta)!} \quad (1)$$

Поиск рациональной схемы в данном множестве может осуществляться как путем полного перебора (когда число схем  $Z$  множества невелико), так и с помощью статистического подхода (поиск лучшей схемы в случайной выборке  $\bar{n}_0 = 299$  схем) [5-6]. Таким образом, объем  $\bar{n}_0$  выборки схем, в которой производится поиск рациональной схемы, составляет:

$$\bar{n}_0 = \begin{cases} Z, & \text{при } Z \leq 299, \\ 299, & \text{при } Z > 299. \end{cases} \quad (2)$$

Необходимость использования статистического подхода для поиска рациональной схемы диктуется существенным временем  $\tau$  расчетов для полного перебора схем при значительном объеме множества  $Z$ .

Пример множества схем  $\Sigma$  формирования многогруппного состава из трех групп ( $\theta = 3$ ) на трех путях ( $m = 3$ ) комбинаторным методом приведен в табл. 1.

В данном случае состав может быть сформирован за три этапа ( $N = 3$ ); при этом критическое число групп  $G_3^{(3)} = 4$  и в соответствии с (1) число возможных схем формирования  $Z = 4$ .

Таблица 1 – Множество  $\Sigma$  схем формирования состава из 3-х групп

Множество схем	ЛНГ вагонов, используемые в схемах			
	0	1	2	3
1 схема	0	1	2	<del>3</del>
2 схема	0	1	<del>2</del>	3
3 схема	0	<del>1</del>	2	3
4 схема	<del>0</del>	1	2	3

Как видно из табл. 1, множество схем формирования образуется за счет пропуска одного номера группы (зачеркнуто), поскольку  $G_3^{(3)} - \theta = 4 - 3 = 1$ . Возможный выбор схемы приводит к различному распределению вагонов на трех путях в процессе их сортировки. При этом в процессе формирования многогруппного состава в возрастающем порядке номеров, вагоны старших групп по прежнему будут находиться за вагонами младших групп что позволит по окончании подборки получить корректно сформированный состав с необходимым расположением групп вагонов.

Следует отметить, что для большинства методов формирования при заданном числе путей  $m$  существует множество критических значений  $G_i^{(m)} \mid i - 1 = N, i \in \mathbb{N}$ ; каждое последующее из этих значений требует увеличения числа этапов формирования  $N$  на единицу. При этом, в случае совпадения числа ЛНГ  $\theta$  с одним из критических значений  $G_i^{(m)}$  возможна лишь единственная схема формирования, обеспечивающая формирование состава за соответствующее число этапов  $N$ . В то же время, когда  $\theta < G_i^{(m)}$ , число схем формирования  $Z(1)$  может оказаться весьма значительным; в этом случае появляется возможность выбора схемы формирования многогруппного состава с минимальным временем [5, 6]. Как показал анализ, эффективность поиска оптимальной схемы формирования многогруппных составов для разных методов составляет от 10 до 40 %.

Дальнейшие исследования комбинаторного (КМ) и распределительного (РМ) методов позволили обнаружить возможность улучшения результатов оптимизации, связанную с расширением множества  $\Sigma$  схем формирования. Как оказалось, в большинстве случаев, особенно, когда  $Z \rightarrow 1 \mid G_i \approx \theta$  целесообразно вести поиск рациональной схемы формирования не в начальном множестве схем  $\Sigma = \sigma_i \mid i = 1..Z$ , а в расширенном  $\Sigma^{+1} = \sigma_i \mid i = 1..Z^{+1}$ , число схем которого  $Z^{+1} > Z$ . Данное множество образуется, когда вместо числа  $G_i^{(m)}$  используется следующее критическое число групп  $G_{i+1}^{(m)}$ , при котором число этапов формирования состава увеличивается на единицу.

Для иллюстрации эффекта от выбора рациональной схемы из множества

$Z^{+1}$  на рис. 1 построена зависимость минимального времени формирования  $T_\phi$  от числа групп состава  $\theta$  на трех путях с помощью методов КМ и РМ.

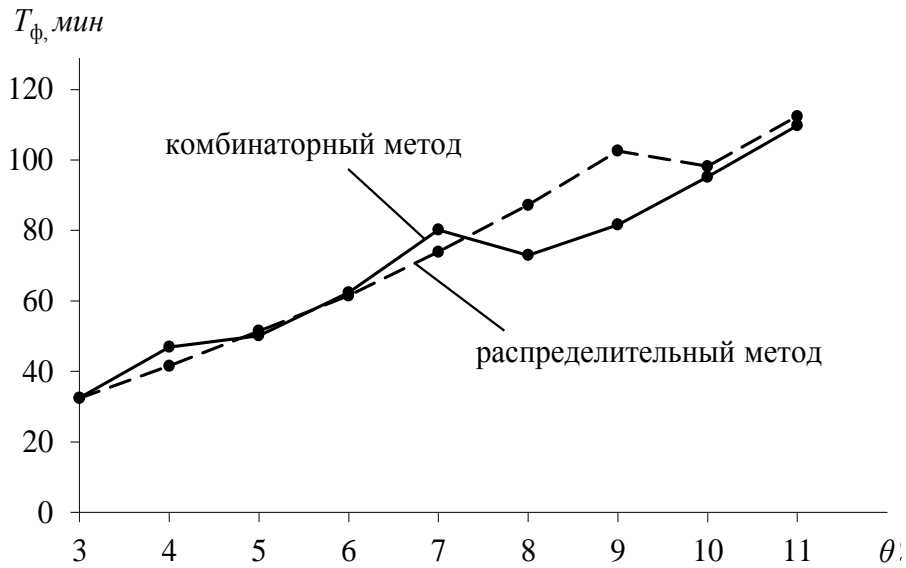


Рис. 1. Зависимость  $T_\phi = f(\theta)$  для методов КМ и РМ

Как видно из рис. 1, в случае, когда число ЛНГ в составе  $\theta = G_i^{(m)}$  (при  $m = 3$  для КМ  $G_i^{(3)} = 7$ , а для РМ  $G_i = 9$ ) время формирования  $T_\phi$  больше, чем у состава из  $\theta + 1$  групп, несмотря на меньшее на единицу число этапов  $N$  формирования. Это объясняется наличием большего числа схем в расширенном множестве  $\Sigma^{+1}$ , среди которых существует схема  $\mathcal{C}(\Sigma^{+1})$  с более рациональным порядком распределения вагонов по путям.

Для иллюстрации эффективности поиска рациональной схемы формирования в расширенном множестве рассмотрим пример формирования состава, действительные номера назначений (ДНН) вагонов которого имеют следующее начальное расположение:

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

В табл. 2 для вагонов каждого ДНН приведены ЛНГ  $\gamma_i$  состава и соответствующие ему  $F$ -коды сортировки вагонов методом КМ, по которым определяется путь назначения каждого вагона состава на каждом этапе формирования. При этом для сравнения приведены данные для единственной схемы формирования начального множества  $\Sigma$  и лучшей схемы расширенного множества  $\Sigma^{+1}$ .

Таблица 2 –  $F$ -коды ЛНГ множеств  $\Sigma$  и  $\Sigma^{+1}$

Единственная схема множества $\Sigma$			Лучшая схема множества $\Sigma^{+1}$		
ДНН	ЛНГ	$F$ -коды	ДНН	ЛНГ	$F$ -коды
0	0	011	0	0	0110

1, 2	1	010	-	1	0101
3, 4, 5	2	001	-	2	0100
5, 6	3	000	1, 2	3	0011
-	-	-	3, 4, 5	4	0010
-	-	-	-	5	0001
-	-	-	5, 6	6	0000

Для наглядности на рис. 2 приведен пример формирования рассматриваемого состава с использованием единственной схемы  $\mathfrak{C}(\Sigma) = \sigma_1(\Sigma) | Z = 1$  начального множества (рис. 2, а) и лучшей схемы  $\mathfrak{C}(\Sigma^{+1}) | Z^{+1} = 7$  расширенного множества  $\Sigma^{+1}$  (рис. 2, б). Принято, что перед началом формирования многогруппный состав находится на первом сортировочном пути. Вагоны, поступающие на пути на каждом этапе, выделены жирным шрифтом. Стрелками показаны пути, с которых вытягиваются вагоны на вытяжной путь для дальнейшей сортировки на каждом этапе формирования.

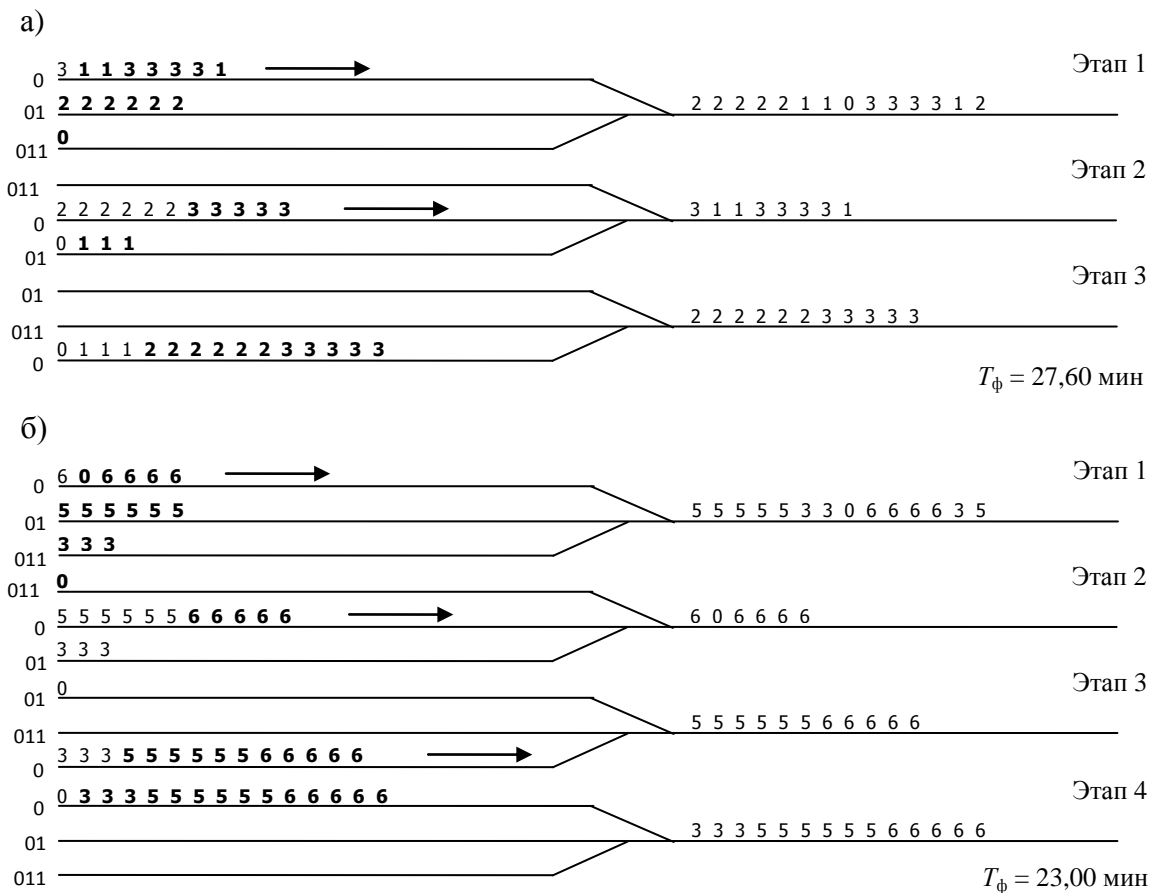


Рис. 2. Пример формирования многогруппного состава комбинаторным методом: а) по единственной схеме множества  $\Sigma$ ; б) по лучшей схеме множества  $\Sigma^{+1}$

Как показал анализ, переход от  $G_i^{(3)}$  к следующему критическому значению  $G_{i+1}^{(3)}$  позволил получить вместо одной схемы формирования (рис. 2, а) при которой время  $T_\phi = 27,60$  мин, множество из 1287 схем, среди которых имеется наиболее рациональная схема (рис. 2, б) с  $T_\phi = 23,00$  мин. Таким образом, не-

смотря на увеличение числа этапов формирования  $N$ , эффект от расширения множества схем в данном примере составил порядка 17 %, что объясняется уменьшением числа рейсов формирования  $R$  и суммарного числа перемещаемых вагонов.

В приведенном примере после перехода к  $G_{i+1}^{(3)}$  число этапов  $N$  формирования увеличилось на единицу. Однако, существуют случаи, когда, несмотря на увеличение теоретического числа этапов  $N$  на единицу, их фактическое число  $N^*$  не возрастает вовсе, или же растет не существенно. Так, на рис. 3 показан пример формирования многогруппного состава методом КМ при поиске оптимальной схемы на множестве  $\Sigma^{+3}$ ; при этом неэффективный 5-й этап формирования может быть исключен, так как при этом не производятся целесообразные перемещения (все вагоны, стоящие на одном пути, перемещаются на другой путь), хотя данный этап включается в схему формирования данным методом.

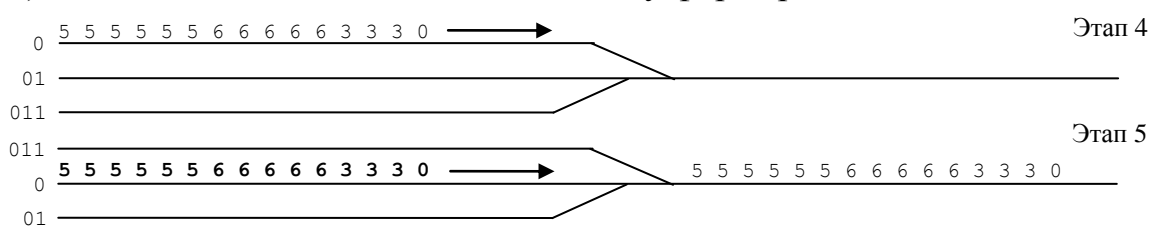


Рис. 3. Пример нецелесообразных перемещений многогруппного состава

Кроме того, довольно часто встречаются случаи, когда при формировании многогруппного состава по схемам расширенных множеств некоторые, из имеющихся для формирования сортировочных путей, не используются в отдельных схемах; за счет этого уменьшается общее число рейсов перемещения вагонов, что в результате сокращает время формирования  $T_{\phi}$  многогруппного состава.

Для оценки эффективности расширения множества  $\Sigma$  схем формирования многогруппных составов с помощью разработанной имитационной модели [6] были выполнены необходимые вычислительные эксперименты. Для моделирования были подготовлены данные о потоках из 200 составов, различающихся числом ЛНГ  $\theta$  ( $\theta = 3..10$ ); при этом число вагонов в составах потока равно 35. Формирование составов осуществлялось методами КМ и РМ на трех путях ( $m = 3$ ).

С помощью указанной модели были выполнены исследования и оценка эффективности выбора рациональной схемы из начального  $\Sigma$  и расширенного  $\Sigma^{+1}$  множеств для каждого состава из рассматриваемого потока. Оценить указанный эффект для каждого состава можно относительной величиной сокращения времени формирования  $\Delta T_{\phi}$  по лучшим схемам формирования  $\mathcal{C}(\Sigma)$  и  $\mathcal{C}(\Sigma^{+1})$  обоих множеств:

$$\mathcal{E} = \frac{T_{\phi}(\Sigma) - T_{\phi}(\Sigma^{+1})}{T_{\phi}(\Sigma)} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $T_{\phi}(\Sigma), T_{\phi}(\Sigma^{+1})$  – средняя продолжительность формирования составов по

лучшим схемам, соответственно, начальных  $\Sigma$  и расширенных  $\Sigma^{+1}$  множеств.

Результаты исследований эффективности выбора рациональных схем из начального  $\Sigma$  и расширенного  $\Sigma^{+1}$  множеств при формировании составов на трех путях методами КМ и РМ приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты оптимизации выбора схемы формирования состава на базе расширенных множеств  $\Sigma^{+1}$

$\theta$	Параметры начального множества $\Sigma$			Параметры расширенного множества $\Sigma^{+1}$			
	$G_i^{(3)} / N$	$Z$	$T_{\phi}^{\text{mn}}$	$G_{i+1}^{(3)} / N$	$Z^{+1}$	$T_{\phi}^{\text{mn}}$	$T_{\phi}^{\text{ct}}$
а. Комбинаторный метод							
3	4/4	4	32,46	7/5	35	30,12	-
4		1	46,95		35	41,03	-
5	7/5	21	50,16	13/6	1287	47,32	49
6		7	62,38		1716	56,52	58,94
7		1	80,19		1716	63,72	66,6
8	13/6	1287	72,96	24/7	735471	67,47	79,37
9		715	80,22		1307504	72,57	85,73
10		286	95,23		1961256	79,22	95,63
б. Распределительный метод							
3	3/2	1	32,42	9/3	84	31,2	-
4	9/3	126	41,57	27/4	17550	40,63	42,43
5		126	51,48		80730	48,8	54,16
6		84	63,23		296010	57,45	66,87
7		36	73,95		888030	64,77	77,04
8		9	87,23		2220075	73,63	87,05
9		1	120,57		4686825	80,64	93,93
10	27/4	8436285	86,2	81/5	$1,9 \cdot 10^{12}$	-	116,78

В данной таблице приведены для каждого рассмотренного значения числа групп в составе  $\theta$  ( $\theta=3..10$ ) соответствующие критические значения числа групп для начальных  $G_i^{(3)}$  и расширенных  $G_{i+1}^{(3)}$  множеств схем; при этом в знаменателе показаны соответствующие значения числа этапов формирования ( $N$  для начальных и  $N+1$  – для расширенных множеств). Кроме того, для каждого  $\theta$  приведены соответствующие значения числа схем  $Z$  и  $Z^{+1}$  (1) множеств  $\Sigma$  и  $\Sigma^{+1}$ , а также соответствующие минимальные значения времени формирования, полученные методами полного перебора  $T_{\phi}^{\text{mn}}$  и статистическим  $T_{\phi}^{\text{ct}}$ . При этом значение  $T_{\phi}^{\text{ct}}$  в табл. 3 приводится только в случае, когда число схем расширенного множества превышает выборку  $\tilde{n}_0 = 299$ , то есть когда  $Z^{+1} > \tilde{n}_0$ ; кроме того, в случае, когда время  $T_{\phi}^{\text{mn}}$  в расширенном множестве не может быть полу-



чено из-за чрезмерного времени поиска ( $\theta=10$ ), в соответствующей строке табл. 3 проставлен символ «-».

Эффект (3) от расширения множества схем  $\Sigma$  для рассматриваемых методов, определенный по данным табл. 3, представлен зависимостями  $\mathcal{E}_{\text{пп}} = f(\theta)$  и  $\mathcal{E}_{\text{ст}} = f(\theta)$  (см. рис. 4); при этом для определения  $\mathcal{E}_{\text{ст}}$  использовались значения времени  $T_{\phi}^{\text{пп}}(\Sigma)$  начального и  $T_{\phi}^{\text{ст}}(\Sigma^{+1})$  расширенного множеств, а для расчета  $\mathcal{E}_{\text{пп}}$  – значения  $T_{\phi}^{\text{пп}}$  этих множеств.

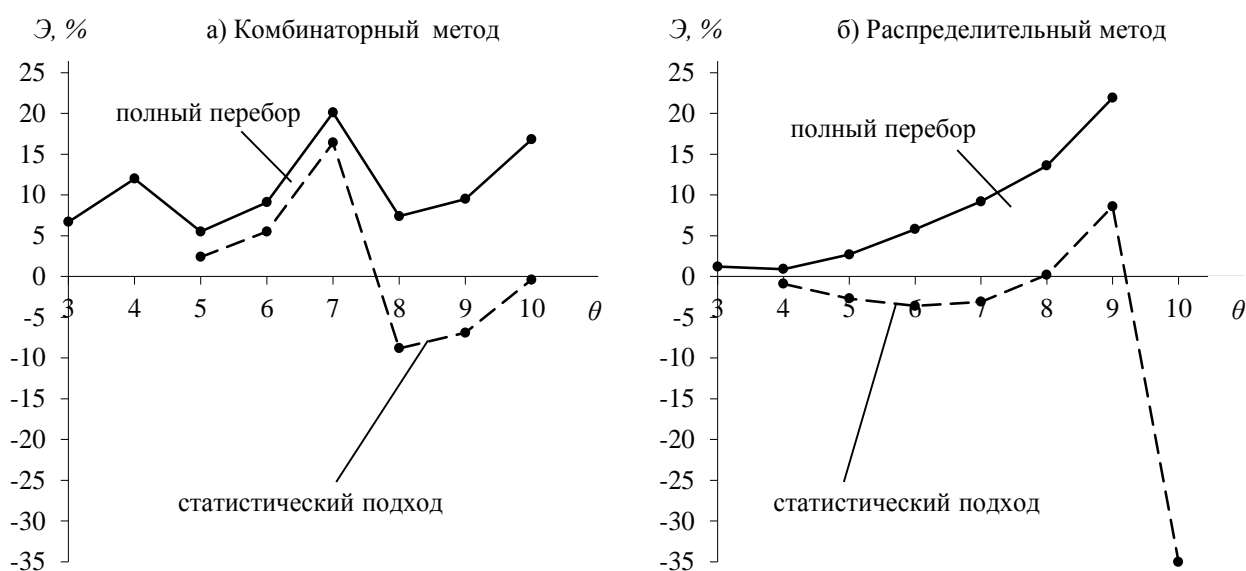


Рис. 4. Эффект от расширения множества схем:  
а) комбинаторный метод; б) распределительный метод

Как видно из рис. 4, эффект от расширения числа схем в отдельных случаях достигает 20 %, что свидетельствует о целесообразности его использования.

Анализ зависимостей на рис. 4 показывает, что величина эффект  $\mathcal{E}$  от расширения начального множества схем  $\Sigma$  зависит от соотношения значений  $Z$  и  $Z^{+1}$ ; при этом в случаях, когда  $\theta = G_i^{(m)}$  и  $Z = 1$  наблюдается локальный максимум эффекта  $\mathcal{E}$ . При значительном числе  $Z$  множества (при  $\theta < G_i^{(m)}$ ) – эффект  $\mathcal{E}$  уменьшается.

В то же время следует заметить, что переход к следующему критическому значению  $G_{i+1}^{(m)}$  и связанное с этим расширение начального множества  $\Sigma$  до  $\Sigma^{+1}$  может оказаться весьма значительным, в связи с чем поиск рациональной схемы полным перебором может оказаться практически невозможным из-за значительного времени расчетов. В таком случае выбор квазиоптимальной схемы возможен только с помощью статистического подхода на основе анализа выборки из  $\tilde{n}_0 = 299$  схем. При этом, как видно из рис. 4, применение статистического подхода не всегда позволяет получить значительный эффект от расширения начального множества  $\Sigma$  схем, а при использовании распределительного метода этот эффект вообще может оказаться отрицательным (рис. 4, б). Таким образом, расширение множества схем для примера, приведенного на рис. 4, ко-

гда поиск рациональной схемы производится с помощью статистического подхода, целесообразно, если в начальном множестве  $\Sigma$  была лишь одна схема; в прочих случаях выбор квазиоптимальной схемы выполняется из начального множества  $\Sigma$ .

Дальнейшие исследования показали наличие эффекта не только от первого расширения  $\Sigma^{+1}$  начального множества схем, но и от последующих расширений  $\Sigma^{+p}$  множества; величина  $\rho = 0,1, \dots$  была названа *степенью расширения*.

Эффект от расширения начального множества схем на величину  $\rho$  определяется следующим образом:

$$\mathcal{E}_\rho = \frac{T_\phi(\Sigma) - T_\phi(\Sigma^{+p})}{T_\phi(\Sigma)} \cdot 100\%, \quad (4)$$

С помощью имитационной модели были выполнены исследования потоков составов с различным числом групп  $\theta$  и числом вагонов  $n$ ; при этом также варьировалось число путей  $m$ , используемых для формирования ( $m = 2..5$ ).

Для иллюстрации эффекта от поиска рациональной схемы формирования на множествах  $\Sigma^{+p} | \rho = 0..7$ , в табл. 4 приведены их основные характеристики для состава из 15 вагонов, имеющего число ЛНГ  $\theta = 4$ , который формируется методом КМ на трех сортировочных путях ( $m = 3$ ).

С целью определения эффективности применения статистического подхода для поиска рациональной схемы множеств  $\Sigma^{+p} | \rho = 0..7$  в табл. 4 приведены указанные выше характеристики, полученные как при полном переборе всех  $Z^{+p}$  схем, так и при поиске лучшей схемы в случайной выборке  $\tilde{n}_0 = 299$  схем.

Таблица 4 – Результаты оптимизации выбора схемы формирования состава на базе расширенных множеств  $\Sigma^{+p}$

$\rho$	0	1	2	3	4	5	6	7
	полный перебор							
$Z$	1	35	715	10626	135751	$1,7 \cdot 10^6$	$19,7 \cdot 10^6$	$229,7 \cdot 10^6$
$\tau, c$	0,1	0,4	0,9	2,2	33	528	4094	57436
$T_{\phi_{\min}}$	21,88	18,83	16,85	15,75	15,75	14,86	14,86	14,86
$N / N^*$	3/3	4/4	5/4	6/4	7/4	8/4	9/4	10/4
$R$	11	10	10	9	9	8	8	8
$\mathcal{E}_\rho^{\text{пн}}, \%$	0	13,9	23	28	28	32,1	32,1	32,1
	выборка 299 схем							
$Z$	1	35	299	299	299	299	299	299
$\tau, c$	0,1	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
$T_{\phi_{\min}}$	21,88	18,83	16,85	17,85	18,83	19,75	20,35	20,63
$N / N^*$	3/3	4/4	5/4	6/4	7/4	8/4	9/5	10/4
$R$	11	10	10	9	10	10	10	11
$\mathcal{E}_\rho^{\text{ст}}, \%$	0	13,9	23	18,4	13,9	9,7	7,0	5,7

Для наглядности на основе данных табл. 4 построены зависимости времени  $T_{\phi}(\Sigma^{+\rho}) = f(\rho)$  (рис. 5, а) и эффекта  $\mathcal{E}_{\rho} = f(\rho)$  (рис. 5, б).

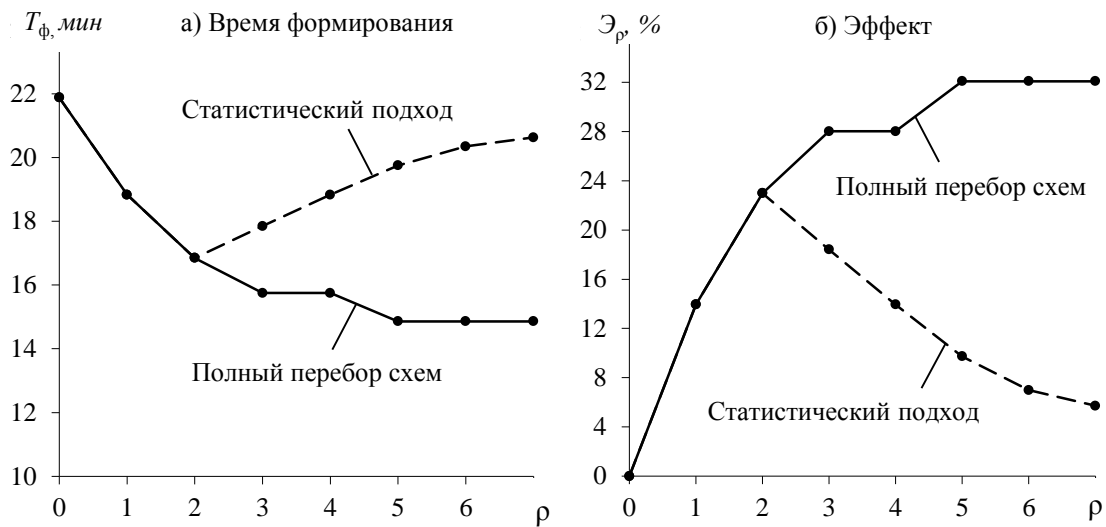


Рис. 5. Эффективность увеличения степени расширения  $\rho$  множества  $\Sigma$  для метода КМ: а) время формирования  $T_{\phi}(\Sigma^{+\rho}) = f(\rho)$ ; б) эффект  $\mathcal{E}_{\rho} = f(\rho)$

Как видно из рис. 5, при поиске рациональной схемы полным перебором, эффект  $\mathcal{E}_{\rho}^{\text{мн}}$  от расширения множества схем  $\Sigma^{+\rho}$  увеличивается по мере роста величины  $\rho$  ( $\rho = 1..7$ ). При этом следует отметить интенсивный рост эффекта на начальном этапе расширения (увеличение  $\rho$  от 0 до 3); в дальнейшем ( $\rho > 3$ ) приращение эффекта уменьшается, либо вообще прекращается. В то же время при использовании статистического подхода максимальный эффект  $\mathcal{E}_{\rho}^{\text{ст}}$  достигается при  $\rho=2$ , после чего его величина существенно уменьшается.

Для детальной оценки эффективности увеличения степени расширения  $\rho$  начального множества  $\Sigma$  выполнены исследования процесса формирования для потоков составов с различным числом групп  $\theta$  ( $\theta = 3..8$ ) и числом вагонов  $n$  ( $n = 15..45 | \Delta n = 5$ ) с использованием имитационной модели. Формирование указанных составов осуществлялось методами КМ и РМ на разном числе сортировочных путей  $m$  ( $m = 2..5$ ).

Анализ полученных результатов при полном переборе схем множеств  $\Sigma^{+\rho}$  позволил установить следующие закономерности:

- с ростом степени расширения  $\rho$  множества  $\Sigma$  схем время формирования  $T_{\phi}$  по оптимальной схеме  $\mathcal{E}_{\rho}$  вначале интенсивно уменьшается, а потом остается прежним. При этом теоретическое число этапов  $N$  растет, а число фактических этапов формирования  $N^*$  практически не изменяется; при этом число рейсов  $R$  формирования экспоненциально приближается к своему минимуму;
- эффект  $\mathcal{E}_{\rho}$  от роста степени расширения  $\rho$  интенсивно растет при увеличении  $\rho$  от 0 до 3; дальнейшее увеличение  $\rho$  позволяет лишь незначительно

уменьшить время  $T_{\phi}$ , а соответственно, и полученный прирост эффекта будет довольно мал;

- с ростом степени расширения  $\rho$  наблюдается значительный рост числа схем  $Z$  полученного множества, среди которых осуществляется поиск оптимальной схемы  $\mathcal{C}_{\rho}$ . При этом увеличивается время  $\tau$  поиска оптимальной схемы  $\mathcal{C}_{\rho}$  множества  $\Sigma^{+\rho}$ .

Статистический метод для поиска квазиоптимальной схемы используется при степени расширения множества  $\rho=2$  (при  $Z > 299$ ); при этом можно отметить следующее:

- с ростом степени расширения  $\rho$  с 2 до 7 время  $T_{\phi}$  увеличивается;
- эффект  $\mathcal{E}_{\rho}$  от расширения множества схем уменьшается с ростом значения  $\rho$ ;
- рост степени расширения не влияет на величину множества схем  $\Sigma^{+\rho} | \rho > 2$ , на котором осуществляется поиск лучшей схемы;
- время расчета  $\tau$  параметров формирования состава незначительно и не увеличивается с ростом  $\rho$ .

Таким образом, увеличение степени расширения множества схем целесообразно в случае, когда их число допускает поиск рациональной схемы методом полного перебора. При этом максимальная степень расширения ограничивается задаваемыми параметрами: максимальной величиной времени поиска и минимальной величиной прироста эффекта от очередного расширения. При достижении одного из указанных параметров дальнейший поиск рациональной схемы прекращается ввиду его практической невозможности либо низкой эффективности, а в качестве оптимальной принимается схема с наилучшими параметрами, удовлетворяющая заданным критериям.

Если же при очередном расширения множества  $\Sigma^{+\rho}$  число схем увеличивается настолько, что использовать полный перебор невозможно, то в данном случае целесообразно применять статистический метод, если он обеспечивает увеличение эффекта; при этом обычно степень расширения  $\rho \leq 2$ .

## 5. Выводы

В результате выполненных исследований установлено, что расширение множества схем, на базе которого осуществляется поиск оптимальной схемы, позволяет сократить время формирования на 10-20 % для подавляющего большинства составов (от 85 % до 97 %). Полученные данные свидетельствуют о достаточно высокой эффективности предложенной методики оптимизации выбора схемы формирования многогруппных составов. Ее реализация в АРМ оперативно-диспетчерского персонала позволит ускорить трудоемкий процесс переработки местного вагонопотока станций и сократить их эксплуатационные расходы.

## Литература

1. Архангельский, Е. В. Одновременное формирование многогруппных поездов на сортировочных станциях / Е. В. Архангельский // Железнодорожный транспорт — 1979. — № 7. — С.72—75.
2. Тишкин, Е. М. Метод комбинаторной сортировки вагонов – основа интенсивной технологии местной работы / 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 / Ю. Н. Гусев // Интенсификация перевозок грузов на железнодорожном транспорте — М., 1989. — С. 71—77.
5. Бобровский, В. И. Оптимизация формирования многогруппных составов / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте — 2000. — № 6. — С. 10—14.
6. Бобровский, В. И. Совершенствование технологии формирования многогруппных составов / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Вестник Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. ак. В. Лазаряна. — Вып. 19 — Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та железнодорож. трансп. им. ак. В. Лазаряна, 2007. — С. 88—93.

***СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:***

Сковрон Игорь Ярославович

Ассистент

Кафедра «Станции и узлы»

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. ак. В. Лазаряна

ул. Ак. Лазаряна 2, г. Днепропетровск, Украина, 49010

Круг научных интересов: Совершенствование конструкции и технологии работы сортировочных станций, Оптимизация формирования многогруппных составов.

Контактный тел.: (056) 373-15-20, 093-916-26-58, 095-230-50-34

e-mail: [norvoks@rambler.ru](mailto:norvoks@rambler.ru)

***ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА:***

Сковрон Ігор Ярославович

Асистент

Кафедра «Станції та вузли»

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак.  
В. Лазаряна

вул. Ак. Лазаряна 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010

Коло наукових інтересів: Удосконалення конструкції та технології роботи сортувальних станцій, Оптимізація формування багатогрупних составів.

Контактний тел.: (056) 373-15-20, 093-916-26-58, 095-230-50-34

e-mail: [norvoks@rambler.ru](mailto:norvoks@rambler.ru)

***INFORMATION ABOUT THE AUTHOR***

Skovron Igor Ya.

Assistant professor

Department "Stations and junctions"

Dnipropetrovsk national university of railway transport named after ac. V. Lazaryan  
Lazaryan str., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010

Research interests: Improving the design and technology of the shunting yards operation, Optimization of the making up the multi-group trains.

Contact tel.: (056) 373-15-20, 093-916-26-58, 095-230-50-34

e-mail: [norvoks@rambler.ru](mailto:norvoks@rambler.ru)