

## **РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СОРТИРОВКИ ВАГОНПОТОКОВ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ОЧЕРЕДНОСТЬЮ РОСПУСКА СОСТАВОВ**

### ***Введение***

Расходы на расформирование и формирование поездов составляют значительную часть эксплуатационных расходов железных дорог. Эти расходы во многом зависят от условий работы сортировочных станций, которые определяются множеством внешних факторов, среди которых следует обратить особое внимание на структуру поездопотоков с переработкой. Одним из перспективных направлений сокращения расходов на расформирование-формирование поездов является использование технологий предварительной сортировки вагонопотоков. Предварительная сортировка вагонопотоков предусматривает проведение комплекса организационных мероприятий, направленных на постепенное укрупнение отцепов и групп вагонов на пути их продвижения к конечным станциям назначения.

На современном этапе развития железных дорог Украины технологии предварительной сортировки вагонопотоков практически не используются. В то же время за рубежом такие технологии получили широкое распространение.

На железных дорогах США предварительная сортировка вагонопотоков [1, 2] предусматривает предварительную тщательную подборку групп вагонов на начальных станциях формирования поездов. Железные дороги заключают между собой долгосрочные соглашения на подбор вагонов в группы, включаемые в поезда. В результате поезда, как правило, состоят из двух-трех групп и следуют на всем маршруте без сортировки вагонов.

На железных дорогах Германии [3] используется технология накопления составов сразу на нескольких сортировочных путях. Это позволяет постепенно увеличивать длину отцепов и уменьшать объемы маневровой работы на следующих станциях. В работе [4] также предлагается выделение в сортировочном парке для мощных назначений двух путей накопления. Поскольку выделение для одного назначения нескольких сортировочных путей сопряжено с дополнительными расходами, рациональность использования такой технологии должна подтверждаться технико-экономическими расчетами.

В современных условиях повышения стоимости капитального строительства и содержания постоянных устройств целесообразно использовать организационные средства предварительной сортировки вагонопотоков, которые не требуют никаких дополнительных затрат. К таким средствам можно отнести выбор очередности роспуска составов на сортировочных станциях.

### ***Цель научной разработки***

Задача выбора очередности роспуска составов с точки зрения целей предварительной сортировки вагонопотоков предусматривает выбор такой очередности роспуска, которая создает структуру поездопотоков, наиболее благоприятную для последующих операций по формированию и расформированию поездов.

Целью данной научной разработки является усовершенствование критерия оценки структуры поездов своего формирования при выборе варианта очередности роспуска составов с сортировочной горки.

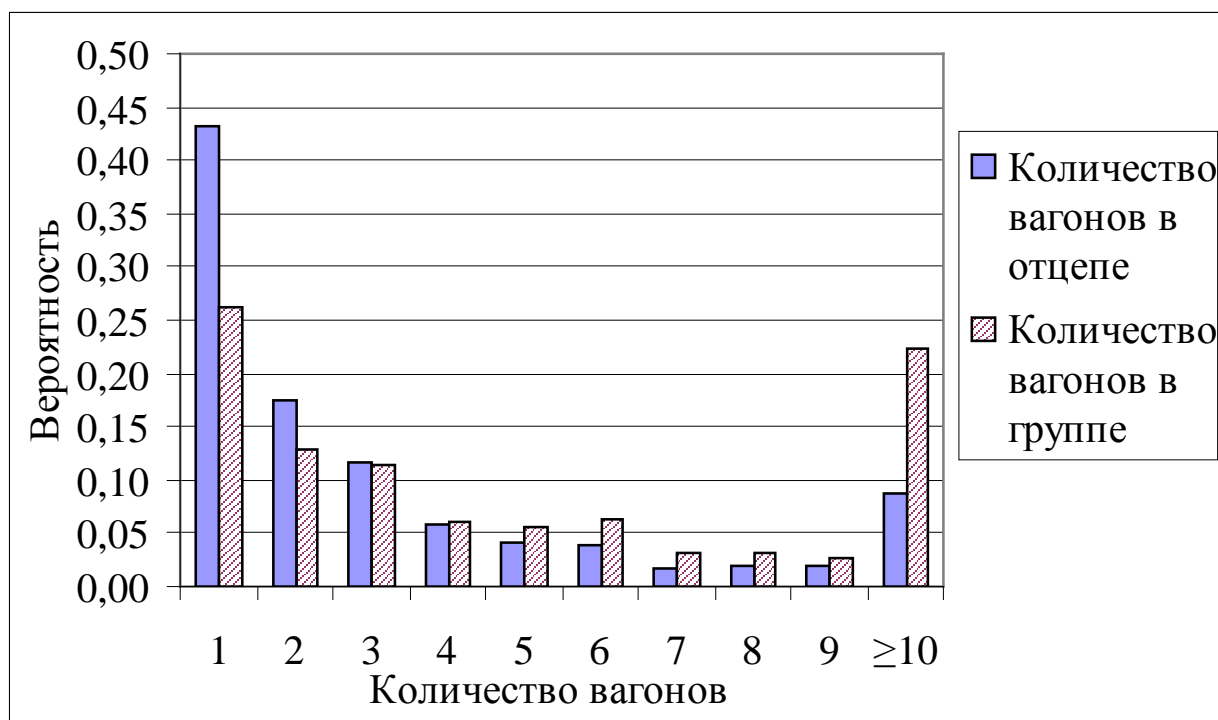
### ***Основная часть***

Такие параметры, как количество и длина отцепов, а также количество групп вагонов в поезде, являются важными технологическими показателями, от которых в значительной степени зависят условия функционирования сортировочных станций как на этапе расформирования поездов, так и на этапе их формирования. Уменьшение длины отцепов негативно влияет на скорость роспуска составов, расходы, связанные с осаживанием вагонов в сортировочном парке, приводит к ухудшению условий разделения отцепов и к увеличению количества ошибок при сортировке.

Допустимой скоростью столкновения отцепов, которая не создает опасности повреждения вагонов и грузов, является скорость 5 км/ч. Согласно исследованиям [5], корреляционное

отношение между количеством вагонов в отцепе и частотой столкновений отцепов на путях сортировочного парка со скоростью более 5 км/ч составляет 0,46. Корреляционное отношение между количеством вагонов в отцепе и средним количеством операций осаживания, приходящимся на один переработанный вагон, составляет 0,45.

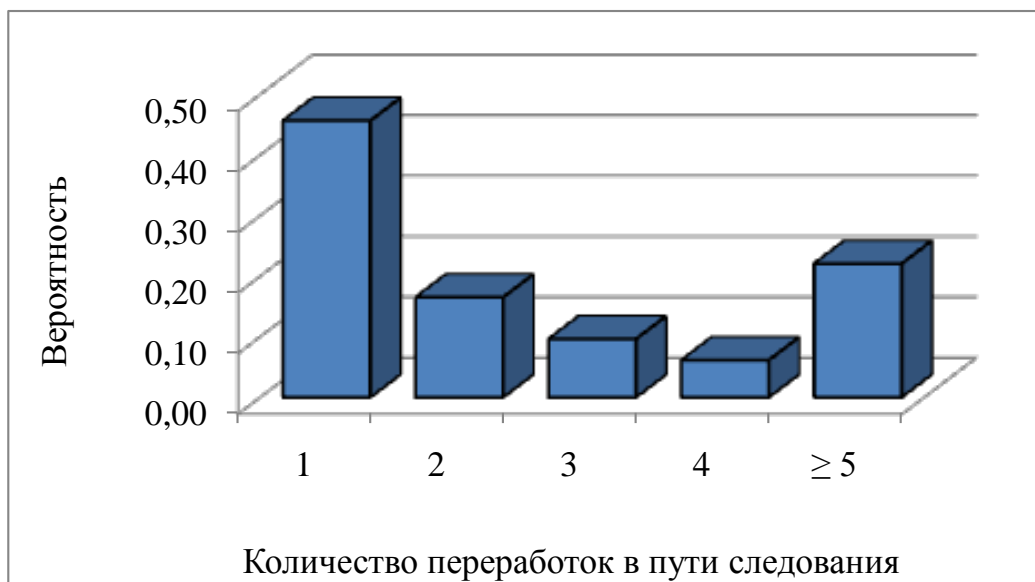
На основе статистических данных, собранных на станции Нижнеднепровск-Узел, было получено распределение количества вагонов в отцепках и группах поездов, расформировываемых на станции Нижнеднепровск-Узел. Из гистограммы (рис. 1) видно, что почти половина отцепов состоит из одного вагона. При этом среднее количество вагонов в отцепе составляет  $\bar{n} = 3,77$  вагонов, а среднее количество вагонов в группе поезда –  $\bar{k} = 6,58$  вагонов, что почти в два раза больше. Под группой поезда понимается множество вагонов с одинаковым назначением плана формирования поездов при расформировании на станции Нижнеднепровск-Узел.



**Рис. 1. Распределение количества вагонов в отцепе на станции Нижнеднепровск-Узел**

Оптимальной с точки зрения переработки вагонопотоков является ситуация, когда все вагоны одного назначения находятся в одном отцепе, т.е. когда выполняется условие  $\bar{n} = \bar{k}$ . Анализируя данные, приведенные на рис. 1, можно сделать вывод, что вагоны в составах поездов расположены крайне нерационально и требуют дополнительной сортировки.

Вагоны по пути следования от станции погрузки до станции выгрузки очень часто проходят несколько переработок на сортировочных или участковых станциях. На рис. 2 показано распределение количества переработок транзитных вагонов, отправляемых со станции Нижнеднепровск-Узел. Больше половины вагонов после отправления со станции Нижнеднепровск-Узел проходят несколько этапов переработки. Благодаря этому можно, во-первых, увеличивать длину отцепов постепенно при каждой новой сортировке вагонов, а во-вторых, появляется возможность подбирать вагоны не только с учетом конечных станций назначения, но и с учетом промежуточных стадий переработки.



**Рис. 2. Распределение количества переработок в пути следования транзитных вагонов, отправляемых со станции Нижнеднепровск-Узел**

Кроме длины отцепа в некоторых случаях важным является также взаимное расположение отцепов в составе поезда. Так, при формировании сборных поездов выполняется подбор вагонов по промежуточным станциям участка, что требует выполнения значительных объемов маневровой работы. Однако этого можно избежать, если отцепы в формирующемся сборном поезде будут размещены должным образом еще на этапе роспуска вагонов с горки. Исследования показывают, что, что 16 % вагонов и 22 % отцепов, сортируемых на станции Нижнеднепровск-Узел, на конечном этапе транспортировки поступают на станции назначения в составах сборных поездов. За счет предварительной сортировки этих вагонов можно сократить объемы маневровой работы при формировании составов сборных поездов.

Таким образом, критерий оценки структуры поездов своего формирования при выборе варианта очередности роспуска составов должен учитывать многоэтапность процесса переработки вагонопотоков на сети железнодорожных станций.

В этом случае критерием выбора очередности расформирования составов является минимальное количество отцепов в составе поезда своего формирования

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S g_{ij} \longrightarrow \min_{X^{(t)} \in X}, \quad (1)$$

где  $g_{ij}$  – количество отцепов входящих в  $i$ -й сформированный состав при переработке на  $j$ -м уровне (этапе переработки);

$N$  – количество сформированных составов за оцениваемый период;

$S$  – количество этапов переработки, которые проходят вагоны, входящие в состав накапливаемых поездов, до прибытия на конечные станции назначения;

$X^{(t)}$  – очередность роспуска составов.

Задача выбора очередности роспуска решается путем полного перебора вариантов из множества вариантов очередности роспуска

$$X = \{X^{(t)}\},$$

где  $t = 1..n!$  – порядковый номер очередности роспуска;

$n$  – количество составов, включенных в граф вариантов очередности роспуска.

Рассмотрим произвольное назначение плана формирования поездов (ПФП), которое формируется на определенной начальной станции и имеет определенную станцию назначения. В составах поездов этого назначения могут находиться как вагоны назначением на станцию расформирования поезда, так и вагоны назначением на другие станции. В последнем случае после

переработки на станции назначения поезда из вагонов будет сформирован новый состав с новой станцией назначения согласно ПФП станции переработки.

Перечень станций назначения вагонов, которые включаются в рассматриваемое назначение ПФП, определяется планом формирования поездов. Маршруты продвижения вагонов от начальных станций до станций назначения вагонов определяются в соответствии с Тарифным руководством железных дорог Украины по кратчайшему расстоянию, а станции, на которых происходит переформирование вагонов в новые поезда, – в соответствии с планом формирования поездов.

Если за точку отсчета взять начальную станцию рассматриваемого назначения, то схему продвижения вагонов ко всем возможным конечным станциям назначения можно представить в виде связного ациклического графа – дерева (см. пример на рис. 3)

$$G := (V, E),$$

где  $V = \{v_i\}, i = 1..n$  – множество вершин графа  $G$ ; вершинами графа являются технические станции, на которых вагоны поезда подлежат переработке;

$E = \{e_{ij}\}$  – множество ребер графа  $G$ , где  $e_{ij}$  – ребро, связывающее вершины  $v_i$  и  $v_j$ ; ребрами (дугами) графа являются назначения плана формирования поездов; основание ребра – станция формирования определенного назначения, конечная вершина ребра – станция назначения согласно плану формирования поездов; каждое ребро строго ориентировано по направлению движения – от станции формирования до станции расформирования.

На рис. 3 показан пример графа продвижения вагонопотоков назначения 1 – 2 для восьми станций.

Корнем дерева является станция формирования рассматриваемого назначения ПФП (вершина 1). Из корня выходит одно единственное ребро, связывающее начальную станцию формирования и конечную станцию рассматриваемого назначения (вершина 2). Ребро 1–2 – рассматриваемое назначение ПФП. Далее на конечной станции происходит переработка вагонопотока с сортировкой по очередным назначениям плана формирования поездов (назначения 2–3 и 2–4).

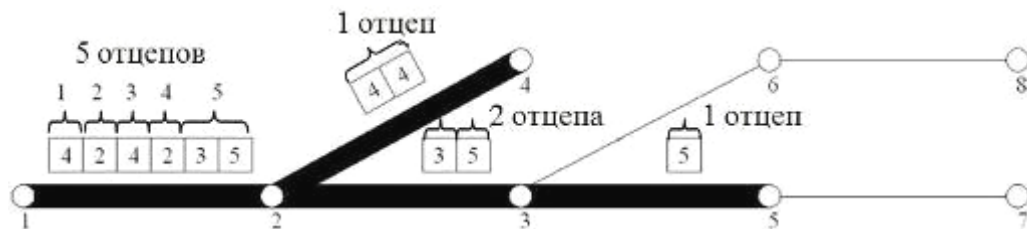


Рис. 3. Граф продвижения вагонопотоков назначения 1 – 2

Степень вершины  $v_i$  (число исходящих дуг) определяется количеством назначений плана формирования поездов, которые формируются станцией, представляющей вершину  $v_i$ . Уровень (высота) вершины  $v_i$  определяется количеством переработок, которые проходит вагон на пути к вершине  $v_i$ . Все вершины одного уровня образуют подмножество  $V_y = \{v_i\} \subseteq V$ .

Граф  $G$  представим в формализованном виде с помощью матрицы смежности

$$A = (a_{ij})_{n \times n},$$

$$\text{где } \begin{cases} a_{ij} = 1 \Leftrightarrow e_{ij} \in E \\ a_{ij} = -1 \Leftrightarrow e_{ji} \in E \end{cases}$$

Другими словами,  $a_{ij}$  принимает значение 1, если вершины  $v_i$  и  $v_j$  связаны ребром и направление движения от вершины  $v_i$  к  $v_j$  совпадает с направлением ребра  $i - j$ ,  $a_{ij}$  принимает значение  $-1$ , если вершины  $v_i$  и  $v_j$  связаны ребром и направление движения от вершины  $v_i$  к  $v_j$  не совпадает с направлением ребра  $i - j$ ,  $a_{ij}$  принимает значение 0, если вершины  $v_i$  и  $v_j$  не связаны ребром.

Для примера на рис. 3 матрица смежности имеет вид

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

В матрице  $A$  строкам соответствуют станции формирования назначений, а столбцам – конечные станции назначений.

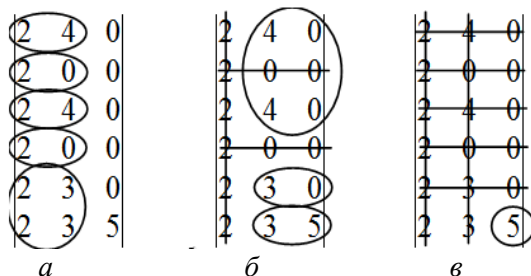
Рассмотрим отдельный поезд назначения 1–2 (см. рис. 3). Структура поезда описывается расположением групп вагонов  $M = \{m_i\}, i = 1..k$ , где  $m_i$  – номер станции назначения  $i$ -й группы вагонов. Под одной группой понимается множество последовательно размещенных вагонов назначением на одну и ту же конечную станцию. В составе рассматриваемого поезда есть 6 групп вагонов. Схема продвижения вагонов рассматриваемого поезда на общей схеме продвижения вагонов назначения 1–2 выделена жирными линиями.

Пользуясь матрицей смежности (2), для каждой группы определим станции, на которых эти группы будут переформировываться в новые поезда, и получим матрицу продвижения вагонов поезда к конечным станциям  $B = (b_{ij})_{k \times s}$ , где  $s$  – максимальное количество уровней переработки вагонов в составе поезда. При этом движение по графу осуществляется от конечной станции к начальной станции. Таким образом, получаем матрицу

$$B = \begin{pmatrix} 2 & 4 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 2 & 4 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 2 & 3 & 0 \\ 2 & 3 & 5 \end{pmatrix}.$$

В матрице  $B$  строкам соответствуют группы вагонов рассматриваемого поезда, а столбцам – уровни переработки составов (уровни вершин графа  $G$ ). Если группа вагонов завершает свой маршрут на очередном уровне переработки, то последующие значения строки заполняются нулями.

В выражении (1) необходимо определить общее количество отцепов в составе формируемого поезда с учетом поочередной сортировки на всех уровнях переработки. Для этого выполняем последовательный анализ маршрутов следования вагонов начиная с первого уровня переработки. Если уровень переработки представлен несколькими станциями, рассматриваем их по очереди. При этом новый отцеп будет образован, если две смежные группы имеют разные станции переработки на следующем уровне. В рассматриваемом примере на первом уровне переработки имеем 5 отцепов (см. рис. 4, *a*).



**Рис. 4. Расчет числа отцепов при многоэтапной переработке вагонов**

После рассмотрения очередного уровня переработки вычеркиваем соответствующий столбец матрицы  $B$ , а также все строки, которые соответствуют группам вагонов назначением на станции рассмотренного уровня переработки. Затем переходим на очередной уровень. В рассматриваемом примере второй уровень представлен станциями 3 и 4, при этом нулевые значения матрицы игнорируются. Рассматриваем станции по порядку и далее переходим на следующий уровень переработки. Всего мы имеем три отцепа на втором уровне переработки и

один отцеп на третьем уровне. Таким образом, при переработке вагонов рассматриваемого поезда будет образовано 9 отцепов.

### **Выводы**

В современных условиях на железных дорогах Украины целесообразно разрабатывать и внедрять организационные мероприятия, направленные на уменьшение эксплуатационных расходов на расформирование и формирование поездов. Одним из путей решения этой задачи является использование технологий предварительной сортировки вагонопотоков на сортировочных станциях. За счет этого возможно создать благоприятные условия роспуска составов с сортировочной горки и формирования составов сборных поездов.

В условиях железных дорог Украины увеличение длины отцепов возможно за счет управления очередностью роспуска составов. Использование в качестве критерия эффективности очередности роспуска составов показателя количества отцепов в формируемых поездах позволяет постепенно укрупнять отцепы по пути их следования к конечным станциям назначения. При этом следует учитывать многоэтапность процесса переработки вагонопотоков на технических станциях.

Вопросы эффективности многоэтапного укрупнения отцепов следует дополнительно исследовать с использованием имитационного моделирования работы полигона железнодорожных станций.

### **Библиографический список**

- 1 **Сотников, Е.А.** Эксплуатационная работа на железных дорогах мира / Е.А. Сотников, И.Н. Шапкин // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 1. – С. 72–77.
- 2 **Сотников, Е.А.** Эксплуатационная работа на железных дорогах мира / Е.А. Сотников, И.Н. Шапкин // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 2. – С. 72–77.
- 3 Сортировочные станции и эффективность перевозок // Железные дороги мира. – 1999. – № 2. – С. 8–12.
- 4 **Аветикян, М.А.** Эффективность интенсификации формирования сквозных поездов с использованием двух путей накопления на сортировочных станциях / М.А. Аветикян // Совершенствование технологии перевозок и увеличение пропускной способности железных дорог : межвуз. сб. науч. труд. Моск. ин-та инж. тр-та. – 1983. – Вып. 736. – С. 19–21.
- 5 **Журавель, В.В.** Точність гальмування, кількість вагонів у відцепі та показники роботи сортувальної гірки / В.В. Журавель // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту зал. тр-ту ім. ак. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 28. – С. 133–136.