



# Виртуальная сортировка: совершенствование организации пропуска и переработки порожних вагонопотоков



**Андрей ШАТОХИН**

*Шатохин Андрей Андреевич – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, Москва, Россия\*.*

В условиях роста грузоперевозок железнодорожным транспортом и поиска путей повышения их эффективности возникает необходимость совершенствования нормативно-правовой базы взаимодействия всех участников перевозочного процесса на железнодорожном транспорте и технологии организации пропуска и переработки вагонопотоков на путях общего пользования, снижения существующих издержек. Это обуславливает актуальность проработки вопросов уменьшения объёмов маневровой работы путём перехода к гибкой привязке вагонов к станциям назначения.

Целью исследования стала разработка системы виртуальной сортировки порожнего вагонопотока. В работе использовались методы системного анализа и аналитические инструменты управления движением на железных дорогах.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, управление порожними вагонами, балансировочный метод, распределение порожних вагонов, заявка на погрузку, станции назначения, виртуальная сортировка, сокращение расходов, ускорение пропуска и переработки вагонов.

В результате предложена технология «виртуальной сортировки порожних вагонов».

Технология базируется на замене физической перестановки порожних вагонов при выполнении маневровой работы изменением в сопровождающих вагон документах станции назначения и получателя.

Она позволяет сократить горизонт планирования работы порожних вагонов за счёт уточнения их назначений в процессе доставки и, как следствие, получить существенный экономический эффект за счёт сокращения расходов на переработку транзитных вагонопотоков, снижения рисков необеспечения погрузки порожними вагонами, привлечение дополнительных объёмов погрузки, ускорения оборота вагонов и других эффектов. В конечном счёте, её внедрение может повысить конкурентоспособность железнодорожного транспорта.

\*Информация об авторе:

**Шатохин Андрей Андреевич** – начальник отделения «Взаимодействие транспортных систем» АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», Москва, Россия, [aassrv@gmail.com](mailto:aassrv@gmail.com).

Статья поступила в редакцию 11.02.2019, принята к публикации 17.06.2019.

**For the English text of the article please see p. 85.**

**Н**а железных дорогах Российской Федерации при переходе от балансового метода управления порожними вагонопотоками к рыночному основные изменения коснулись порядка направления порожних вагонов на станции погрузки. Если раньше передача порожняка осуществлялась в порядке регулировочных заданий с использованием балансового метода, а станции погрузки определялись диспетчерским персоналом на стадии сменно-суточного планирования, то в настоящее время заадресовка порожнего вагона оформляется по полным перевозочным документам с указанием станции назначения и получателя вагона [1, 2].

В таких условиях распределение порожних вагонов на станции погрузки стало выполняться не на стадии сменно-суточного планирования, а гораздо раньше (до семи суток и более) в зависимости от времени порожнего рейса, что существенно снизило точность планирования их работы [3–6].

Из-за наличия станций назначения у всех порожних вагонов увеличился объём сортировочной и маневровой работы на технических и грузовых станциях. Порожние вагоны одного типа и одного собственника приходится перерабатывать в соответствии с назначением независимо от их расположения на станционных путях и в составе поезда. При этом для получателя важен своевременный подвод вагонов определённого типа и конструктивных особенностей без какой-либо привязки к номеру.

На многих зарубежных железных дорогах порожние вагоны имеют жёсткую привязку к станциям назначения и отправителям, так как это оправдано существенно меньшим расстоянием порожнего рейса вагона, высокой специализацией подвижного состава и маршрутизацией перевозок, а также наличием развитой инфраструктуры и относительно невысокой интенсивностью её использования [7, 8]. Тем не менее описанная выше ситуация, по мнению автора, может складываться и на железных дорогах других стран, что делает проблему и цель исследования достаточно универсальными.

Основной *гипотезой* для исследования является то, что объём маневровой работы может быть снижен при переходе от жёсткой привязки вагонов к станциям назначения к гибкой, когда допускается изменение

назначений порожних вагонов одного типа и конструктивных особенностей.

*Целью* исследования является совершенствование системы управления вагонопотоками в порожнем состоянии в условиях принадлежности всего парка вагонов операторским компаниям. Используются общенаучные, инженерные и математические *методы*, системный анализ, существующая технология организации вагонопотоков на железных дорогах.

## **ВИРТУАЛЬНАЯ СОРТИРОВКА: ЗАДАЧИ И РЕШЕНИЯ**

При виртуальном перераспределении порожних вагонов по станциям назначения необходимо учитывать не только тип подвижного состава, но и конструктивные особенности вагонов по грузоподъёмности, объёму кузова и другие. Для этого необходимо предварительно выполнить декомпозицию:

- парка вагонов по всем параметрам, которые учитываются при распределении порожних вагонов под погрузку;
- заявок на погрузку по допустимым параметрам вагонов.

Это позволит для таких вагонов заменить их физическую перестановку путём выполнения маневровой работы изменением в сопровождающих вагон документах станции назначения и получателя.

Такая виртуальная сортировка порожних вагонов позволит:

- сократить объём маневровой работы на станциях выполнения грузовых операций за счёт частичной виртуальной подборки групп вагонов для прицепки и подачи;
- сократить объём и ускорить выполнение сортировочной работы на технических станциях за счёт сокращения количества отцепов в составах поездов;
- сократить время накопления составов за счёт виртуального формирования замыкающих групп и/или виртуального сгущения подвода вагонов для накапливаемого назначения;
- повысить дальность следования технических маршрутов за счёт формирования поездов более дальних назначений при виртуальном сгущении подхода порожних вагонопотоков определённого назначения.

Переход на данную технологию будет выгоден и крупным операторам вагонов, так как появится возможность заменять неакту-



**Рис. 1. Сокращение количества отцепов на примере конкретного поезда.**



альные станции назначения порожних вагонов актуальными, оперативно восполнять потери погрузочных ресурсов в рамках ограничений, задаваемых планом формирования поездов и другими нормативными документами, определяющими условия организации местной работы и работы станций.

Это также позволит сократить риски, связанные с неравномерностью пропуска порожних вагонопотоков и возможных изменений планов погрузки при многосуточном планировании подвода порожних вагонов под погрузку [9]. Учитывая тенденцию укрупнения операторских компаний, эффективность использования данной технологии будет увеличиваться, т.к. будет возрастать доля вагонов отдельных операторов в общем вагонопотоке.

Анализ размеченных натуральных листов грузовых поездов, содержащих порожние полувагоны ОАО «ПГК», показал целесообразность выполнения виртуальной сортировки назначений для них даже в рамках одного поезда. Так, в отдельных случаях (рис. 1), возможно сокращение количества отцепов в составе поезда на 6–7, что позволит ускорить скорость роспуска состава на сортировочной станции. Также технология виртуальной сортировки позволит сократить объёмы маневровой работы на станции, когда подбор групп порожних вагонов для подачи на грузовой фронт, прицепки к поезду и других операций будет производиться путём виртуальной перестановки назначений вагонов в электронных документах, а не самих вагонов.

### ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ

Целевая функция эффективной виртуальной сортировки порожних вагонов долж-

на обеспечивать минимизацию количества групп вагонов одного назначения в составах поездов и на станционных путях:

$$\sum (k_{отц}^{сорт} n_{отц}^{сорт} + k_{приц}^{местн} n_{приц}^{местн} + k_{отц}^{местн} n_{отц}^{местн} + k_{под}^{ср} n_{под}^{ср}) \rightarrow \min,$$

где  $k_{отц}^{сорт}$ ,  $n_{отц}^{сорт}$  – соответственно весовой коэффициент и количество отцепов в составе поезда или на станционных путях (под накоплением);

$$k_{приц}^{местн}, n_{приц}^{местн} \text{ – соответственно весовой}$$

коэффициент и количество групп вагонов на станционных путях к прицепке в соответствии с планом формирования;

$$k_{отц}^{местн}, n_{отц}^{местн} \text{ – соответственно весовой}$$

коэффициент и количество групп вагонов в составе поезда или под накоплением к отцепке на станции назначения или базовой станции;

$$k_{под}^{ср}, n_{под}^{ср} \text{ – соответственно весовой коэф-}$$

фициент и количество групп вагонов в составе поезда или на станционных путях к подаче на грузовой фронт.

При ограничениях:

- обеспечение своевременного подвода порожних вагонов на станции назначения:

$$t_{приб}^{на} \geq t_{расч} + t_{рейс}^{пор};$$

- новая станция назначения вагона должна удовлетворять требованиям плана формирования грузовых поездов и других нормативных документов, определяющих условия организации местной работы и работы станций:

$$e_j \in E_{ij};$$

- подвода требуемого количества вагонов в соответствии с заявками отправителей по периодам планирования  $t$ :

$$\sum_{j=1}^n x(t)_{ij} = q_j(t);$$

- непревышение наличной пропускной и перерабатывающей способности используемых объектов инфраструктуры и путей необщего пользования по периодам планирования  $t$ :

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x(t)_{ij} \leq N_k(t);$$

- соответствие конструктивных особенностей вагона (тип, модель, характеристики модели) дополнительным требованиям заявки на погрузку:

$$h_j \in H_j;$$

- достаточности остаточного пробега вагона до планового ремонта для выполнения планируемой перевозки:

$$l_{ост}^{ваг} \geq (l_{пор}^{ост} + l_{сп}^{на}),$$

где  $t_{проб}^{на}$  — предполагаемая дата погрузки или плановое время прибытия вагона под погрузку, час;

$t_{расч}$  — время расчёта, час;

$t_{реис}^{пор}$  — планируемое время доставки вагона от текущего состояния до станции назначения, час;

$e_j$  — код станции назначения  $j$  порожнего вагона после операции «виртуальная сортировка»;

$E_{ij}$  — допустимые диапазоны кодов станций назначения вагона, зависящие от текущей дислокации  $i$ , технологического состояния, плана формирования грузовых поездов, технологии организации местной работы;

$x(t)_{ij}$  — количество вагонов, следующих со станции  $i$  на станцию  $j$  после выполнения виртуальной сортировки по периодам планирования  $t$ ;

$q_j(t)$  — функция спроса на порожние вагоны по станции  $j$  по периодам планирования  $t$ ;

$N_k(t)$  — возможности по пропуску или переработке порожних вагонопотоков объектов инфраструктуры по периодам планирования  $t$ ;

$h_j$  — параметры вагона, направленного на станцию  $j$  после виртуальной сортировки;

$H_j$  — множество допустимых параметров вагона для заявки на погрузку по станции  $j$ ;

$l_{ост}^{ваг}$  — остаточный пробег вагона до планового ремонта, км;

$l_{пор}^{ост}$  — расстояние от текущей дислокации вагона до станции погрузки, км;

$l_{сп}^{на}$  — расстояние планируемого гружёного рейса вагона в соответствии с заявкой на погрузку, км.

Перестановка назначений должна производиться в массиве порожних вагонов одного оператора (или консолидированного парка нескольких операторов), принятых к перевозке и не поданных на пути необщего пользования. По сути, это уточнение распределения вагонов по станциям погрузки с учётом их текущего состояния с целью сокращения расходов ответственной за это компании (в нашем случае — ОАО «РЖД») на выполнение перевозки при сортировочной и маневровой работе и сокращения непроизводительных операций с порожними вагонами, возникающими из-за корректировки плана грузовой работы и неравномерностью продвижения вагонопотоков.

Расчёт стоимости порожнего рейса при реализации технологии виртуальной сортировки должен выполняться по фактическому расстоянию, которое прошёл порожний вагон.

## ЭТАПЫ ВНЕДРЕНИЯ

Учитывая сложность технологии виртуальной сортировки порожних вагонов целесообразно организовать её внедрение в несколько этапов.

**1-й этап:** выполнение виртуальной сортировки в ручном режиме и в составе одного поезда. На данном этапе отрабатывается:

- взаимодействие АСУ оператора вагонов с информационно-управляющими системами ОАО «РЖД» в части формирования ограничений на замену назначений порожних вагонов (см. рис. 1), с учётом типа и конструктивных особенностей вагонов;

- информационное обеспечение технологии операции виртуальной сортировки в АСУ ОАО «РЖД».

**2-й этап:** реализация виртуальной сортировки внутри массива поездов, следующих в расформирование на одну сортировочную станцию. На данном этапе будет отрабатываться замена назначений между порожними вагонами, следующими в разных поездах.

**3-й этап:** реализация виртуальной сортировки для порожних вагонов, следующих в местном сообщении. На данном этапе будет отрабатываться виртуальная сорти-





ровка вагонов в местной работе с частичной подборкой групп вагонов к отцепке/прицепке, подаче на грузовые фронты.

*4-й этап:* реализация виртуальной сортировки для порожних вагонов на сетевом уровне с перераспределением порожних вагонов в масштабах сети в соответствии с заданными ограничениями. На данном этапе обрабатывается взаимодействие с операторами подвижного состава по замене части неактуальных назначений порожних вагонов актуальными, подвод порожних вагонов к срочным заявкам и восполнение «потери погрузочного ресурса» за счёт перераспределения их назначений в пути следования, ускоренного формирования составов за счёт виртуального сгущения подвода вагонов заданных назначений к сортировочной станции.

*5-й этап:* реализация виртуальной сортировки для порожних вагонов разных собственников. Перераспределение назначений порожних вагонов разных собственников с целью достижения минимума целевой функции.

## ВЫВОДЫ

Основной вывод, который следует из проведённого исследования, — это возможность получения позитивного эффекта, в первую очередь, экономического, при внедрении технологии виртуальной сортировки для всех участников перевозочного процесса.

Экономический эффект для ответственной за процесс сортировки порожних вагонов компании (в нашем случае — ОАО «РЖД») при реализации технологии виртуальной сортировки порожних вагонов достигается за счёт следующих составляющих:

- сокращение расходов на переработку транзитных вагонопотоков;
- снижение рисков необеспечения погрузки порожними вагонами и привлечение дополнительных объёмов погрузки;
- ускорение оборота вагонов, что позволит повысить конкурентоспособность железнодорожного транспорта;
- сокращение расходов и времени на расформирование составов при сокращении в них количества отцепов;
- ускорение накопления составов за счёт виртуального формирования замыкающих групп вагонов для накапливаемых составов

поездов и виртуального сгущения подвода вагонов в отдельные периоды;

- сокращение маневровой работы на станциях грузовых операций при подборе групп вагонов для подачи на грузовой фронт, прицепке/отцепке вагонов от составов поездов и других операций.

Экономический эффект для операторских компаний достигается по следующим составляющим:

- сокращение повторных порожних рейсов вагонов, простоев в ожидании погрузки, случаев позднего прибытия вагонов на станцию спроса;
- замена неактуальных назначений порожних вагонов актуальными и восполнения потери погрузочного ресурса в процессе доставки;
- перераспределение назначений порожних вагонов с учётом неравномерности пропуска порожнего вагонопотока;
- тарификация порожнего рейса вагонов по фактически пройденному расстоянию от станции выгрузки до станции погрузки без учёта изменения назначений вагонов при операции виртуальной сортировки порожних вагонов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шаров В. А. Технология эксплуатационной деятельности производственного блока ОАО «РЖД», связанного с управлением перевозками // Транспорт Российской Федерации. — 2010. — № 5. — С. 58–62.
2. Кужель А. Л., Шапкин И. Н., Вловин А. Н. Новый подход к управлению вагонопотоками // Железнодорожный транспорт. — 2010. — № 10. — С. 19–24.
3. Сотников Е. А., Шенфельд К. П. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и её влияние на потребную пропускную способность участков // Вестник ВНИИЖТ. — 2011. — № 5. — С. 3–9.
4. Хусаинов Ф. И. Экономические реформы на железнодорожном транспорте: Монография. — М.: Издательский Дом «Наука», 2012. — 192 с.
5. Шенфельд К. П., Сотников Е. А., Ивницкий В. А. Задача распределения порожних вагонов под погрузку в современных условиях // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2012. — № 3. — С. 3–7.
6. Александров А. Э., Якушев Н. В. Стохастическая постановка динамической транспортной задачи сдержками с учётом случайного разброса времени доставки и времени потребления // Управление большими системами. — Выпуск 12–13. — М.: ИПУ РАН, 2006. — С. 5–14.
7. Хусаинов Ф. И. Приватизация железных дорог в Великобритании: уроки для России // Экономика железных дорог. — 2011. — № 9. — С. 83–90.
8. Railroad facts (2012 г.). Отчёт по работе американских железных дорог за 2011 г., с исправлениями и дополнениями. — М.: ЦНТИБ. — 87 с.
9. Операторы ждут профицита вагонов // «Гудок». — Вып. № 222 (26595). — 10.12.2018. ●