

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК

Оригинальная научная статья  
УДК 656.222.3  
EDN: <https://elibrary.ru/ictnyi>  
DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2026-85-1-49-62>  
Научная специальность: 2.9.4. Управление процессами перевозок



## Взаимосвязи режимов управления вагонопотоками

А. Ф. Бородин<sup>1, 2</sup>✉, В. В. Прозоров<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Институт экономики и развития транспорта (ИЭРТ),  
Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)),  
Москва, Российская Федерация

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Задачи организации вагонопотоков в условиях возможных изменений эксплуатационной обстановки имеют три режима решения (нормативный план формирования поездов, его периодические изменения и оперативные приказы), каждому из которых присущи своя структура целевых функций, настроечные характеристики управляемых переменных и ограничений, что является предметом данной статьи. Целью статьи является формализованная постановка задачи и поиск принципиальных методов ее решения в указанных режимах.

**Материалы и методы.** Используются методы и положения теории организации вагонопотоков, теории взаимодействия станционных процессов, теории множеств, теории графов, нелинейного математического программирования. Исходные данные для решения задач организации вагонопотоков представлены в виде структурированного набора взаимосвязанных сетевых моделей среднесуточных вагонопотоков и динамических данных о дислокации вагонов. Управляемыми переменными являются множества назначений грузовых поездов и путей следования, а также признаки прикрепления вагонопотоков к назначениям поездов и назначений к путям следования. На целевую функцию налагаются инфраструктурные, логистические и ресурсные ограничения, обладающие взаимозависимостью. Целевая функция расчета плана формирования, предусматривающая минимизацию среднесуточных затрат на продвижение вагонопотока, в парадигме жизненного цикла плана формирования дополнена компонентой, учитывающей затраты на переходы между периодами действия и режимами работы системы организации вагонопотоков.

**Результаты.** Необходимость корректировок плана формирования оценивается на основе сопоставления балансового и нормативного наличия вагонов рабочего парка на подразделении железнодорожной сети. В зависимости от этого соотношения, с учетом возможных структуры вагонопотока и ресурсного обеспечения, принципиально определен набор стратегий поиска решений по приведению системы организации вагонопотоков к нормативному состоянию.

**Обсуждение и заключение.** Представленные в работе положения являются основой для дальнейшей содержательной настройки используемой экономико-математической модели расчета плана формирования методом пошагового распределения вагонопотоков по сети допустимых назначений поездов для эффективного решения рассматриваемых задач.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вагонопоток, организация вагонопотоков, план формирования поездов, оперативное управление, рабочий парк вагонов

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Бородин А. Ф., Прозоров В. В. Взаимосвязи режимов управления вагонопотоками // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2026. Т. 85, № 1. С. 49–62. EDN: <https://elibrary.ru/ictnyi>.

Original article  
UDK 656.222.3  
EDN: <https://elibrary.ru/ictnyi>  
DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2026-85-1-49-62>  
Scientific specialty: 2.9.4. Transportation process management



## Interdependence of car traffic volumes operation modes

Andrey F. Borodin<sup>1, 2</sup>✉, Vladimir V. Prozorov<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Economics and Development of Transport,  
Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Russian University of Transport,  
Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The tasks of car traffic volumes operation in terms of possible changes of service conditions have three solution modes (normative train make-up plan, its periodic changes and operative orders), each of which has its own structure of objective functions, tuning characteristics of controlled variables and constraints, which is the subject of the article. The objective of the article is a formalised statement of the problem and the principal methods of its solution in these modes.

**Materials and methods.** The methods and provisions of the theory of car traffic volumes organisation, the theory of interaction of station processes, set theory, graph theory, and nonlinear mathematical programming are used. The initial data for solving the problems of the car traffic volumes organisation are presented in the form of a structured set of interdependent network models of average daily car traffic volumes and dynamic data on the location of cars. The controlled variables are the sets of goods train destinations and routes, as well as signs of attachment of car traffic volumes to train destinations and train destinations to routes. The objective function is subject to infrastructural, logistical and resource constraints that are interdependent. The objective function of the train make-up plan calculating provides for minimising the average daily cost of promoting car traffic. In the paradigm of the lifecycle of the car traffic volumes operation it is supplemented by a component that considers the cost of transitions between the periods of operation and operating modes of the car traffic volumes organisation system.

**Results.** The need for adjustments to the make-up plan is caused by a change in the flow structure or the availability of resources and is assessed based on a comparison of the working car fleet balance and normative on the railway network division. Depending on this ratio, the authors fundamentally define a set of strategies for finding solutions to normalisation the car traffic volumes organisation system.

**Discussion and conclusion.** The provisions presented in the article are the basis for further structural adjustment of the used economic and mathematical tools for calculating the train make-up plan by the method of step-by-step distribution of car traffic across a network of acceptable train assignments to effectively solve the defined tasks.

**KEYWORDS:** car traffic volume, car traffic volumes organisation, train make-up plan, operative management, working car fleet

**FOR CITATION:** Borodin A. F., Prozorov V. V. Interdependence of car traffic volumes operation modes. *Russian Railway Science Journal*. 2026;85(1):49–62. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2026-85-1-49-62>.

**Введение.** Технология организации вагонопотоков, определяющая порядок включения вагонов разных назначений в поезда и пропуска их по сети железных дорог, должна обеспечивать эффективную работу сети в условиях возможных отклонений фактических вагонопотоков от плановых и изменений эксплуатационной обстановки. В связи с этим, задачи организации вагонопотоков имеют три режима решения [1]:

- нормативный план формирования грузовых поездов, устанавливаемый ежегодно (далее — НПФ);
- периодические изменения (корректировки) плана формирования грузовых поездов (далее — ИПФ);
- оперативные приказы, устанавливаемые как на суточный план поездной работы, так и для определенных поездов в течение отчетных суток и работы диспетчерских смен (далее — ОПФ).

Основы используемых алгоритмических решений по организации сетевых вагонопотоков были сформулированы в [2]. Расчет плана формирования методом пошагового распределения вагонопотоков по сети допустимых назначений поездов позволяет одновременно производить как выбор назначений, так и путей их следования, обеспечивающих минимальные эксплуатационные расходы на продвижение вагонопотока. Для учета ряда ограничений в целевую функцию расчета вводятся повышающие или понижающие коэффициенты за превышение ресурсов и/или использование резервов, которые, гарантируя решаемость задачи, позволяют также определить перегруженные элементы сети или принудительно отклонить вагонопотоки отличным от оптимального по стоимости путем. Дальнейшие расчеты по корректировке плана формирования связаны с учетом других критериев эффективности (кроме минимума затрат на проследование и переработку), таких как допустимые сроки доставки грузов, улучшение использования станционных мощностей, повышение качества оперативного управления [3]. Учет этих условий предусматривает исключение мало мощных назначений с длительными периодами накопления составов, создающими высокие риски несвоевременной доставки грузов, и выделение из сочетания рассчитанных назначений более дальних (т.е. повышение транзитности вагонопотоков) для снижения заполнения перерабатывающих способностей станций. Временные затруднения в эксплуатационной работе компенсируются различными мерами оперативного регулирования, которые вырабатываются на основании анализа выполнения перевозок с учетом изменений и допущенных нарушений плана формирования. Такие мероприятия оформляются оперативными приказами [4].

Жизненный цикл плана формирования поездов, представленный на рис. 1, отражает последовательность действий по его разработке и утверждению<sup>1</sup>, которые соответствуют указанным режимам решения задач организации вагонопотоков. Ежегодная оптимизация НПФ, выполняемая с учетом полученных предложений по изменению технологии организации вагонопотоков (блок «Оптимизационные расчеты»), включает в себя согласование по сортировочным станциям и согласование с графиком движения поездов (блоки «Согласование <...>»), т.е. проверку соответствия ограничениям по перерабатывающей способности станций и пропускной способности участков железнодорожной сети, а также расчет показателей системы организации вагонопотоков. В ходе контроля технологии



Рис. 1. Порядок разработки, ввода в действие и выполнения (жизненный цикл) плана формирования грузовых поездов\*  
\* Источник: данные авторов

Fig. 1. Lifecycle of the train make-up plan\*  
\* Source: authors' data

<sup>1</sup> Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД»: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2018 г. № 2872/р. М., 2018. 329 с.

организации вагонопотоков при сравнении фактического выполнения показателей утвержденного плана формирования с расчетными значениями (блок «Контроль и анализ выполнения плана формирования поездов») намечаются предложения по дальнейшей оптимизации или, при необходимости, по перестройке технологии в режимы ИПФ или ОПФ, которые, при подробном рассмотрении, вводятся в действие тем же порядком (актуализация переменной информации — оптимизация и согласование плана формирования — расчет показателей). Однако каждому из трех режимов присуща своя структура целевых функций, свои настроечные характеристики управляемых переменных и ограничений [1].

Комплексная модель планирования и оперативного управления вагонопотоками была предложена А. В. Кутыркиным. В исследовании [5] отмечено, что изменения действующей системы организации вагонопотоков, вызванные снижением уровня какого-нибудь вида ресурса, требуют различных подходов в зависимости от величины дефицита: «пассивного» управления с изменением системы назначений и/или способов прикрепления к ним вагонопотоков или «активного» — с динамическим управлением структурой потоков. В работе [6] предложена математическая модель проведения оперативной корректировки, суть которой заключается в получении наибольшего эффекта при наименьшем количестве изменений плана формирования, что может быть достигнуто определением локального полигона перерасчета плана формирования. Недостаточное развитие информационно-аналитических возможностей и технологии планирования для полнофункциональной реализации идей [5–6] в дальнейшем было предложено преодолевать путем записи постановки с нечеткими интервалами исходных данных [7].

Комплекс исследований научной школы, созданной и возглавляемой А. Т. Осьминным, имеет ряд фундаментальных результатов, включающий концепцию интеллектуальных рабочих мест, интегрированных с процессами планирования и выполнения перевозок, с выделением обеспечивающего, планирующего, расчетного и реализующего уровней взаимодействующих автоматизированных систем [8–9]. Предложена методика адаптации плана формирования поездов к изменениям эксплуатационных условий на основе нечетких множеств и нейросетевых технологий [10].

Ряд результатов по организации вагонопотоков в изменяющихся условиях представлен в зарубежных

исследованиях и информационных материалах, в том числе для железных дорог колеи 1520 мм. На Белорусской железной дороге для обоснования выделения струи вагонопотока в самостоятельное назначение предложена дополнительная дифференциация оценки следования вагонов и локомотивов в грузовых поездах разных категорий [11]. На основе анализа качества системы организации вагонопотоков по оценке фактического выполнения плана формирования [12], исторических данных и предиктивной аналитики транспортных потоков [13] разработана процедура адаптивной оценки сквозных назначений поездов [14]. При выполнении расчетов по корректировке плана формирования поездов на железных дорогах Беларуси, Казахстана, Китая (КНР) особое внимание уделяется организации групповых поездов для освоения маломощных вагонопотоков и сокращения времени нахождения грузовых отправок в пути [15–16]. Цифровая трансформация управления грузовыми перевозками на железных дорогах Европейского союза [17] предусматривает согласование расписаний грузовых поездов при взаимодействии самостоятельных владельцев инфраструктур и перевозчиков. Ряд зарубежных железнодорожных систем используют программный комплекс MultiRail консалтинговой компании Oliver Wyman<sup>2</sup>, предоставляющий информационно-аналитические сервисы конструирования маршрутных сетей грузовых поездов; адаптированная версия MultiRail Enterprise Edition, имеющая функционал планирования и прогнозирования вагонопотоков и нормирования эксплуатационной работы, внедрена на железных дорогах Казахстана<sup>3</sup>.

Вместе с тем развитие рассматриваемой тематики требует разработки методических положений по формализованному описанию постановки взаимоувязанных задач планирования, нормирования и оперативного управления вагонопотоками, что является целью настоящей статьи.

**Материалы и методы.** Исходные данные для решения задач управления вагонопотоками в трех режимах структурированы набором взаимосвязанных сетевых потоковых моделей<sup>4</sup>.

Введем индексные обозначения:

$i, j$  — станции отправления и назначения вагона;

$\alpha, \beta$  — станции формирования и назначения поезда;

$x$  — плановый календарный период;

$(x - 1)$  — текущий календарный период;

$t_{x-1}, t_x$  — длительность соответственно текущего и планового календарных периодов, сут;

$d$  — текущая дата;

<sup>2</sup> MultiRail: An Oliver Wyman solution. URL: [www.oliverwyman.com/our-expertise/solutions/multirail.html](http://www.oliverwyman.com/our-expertise/solutions/multirail.html) (дата обращения: 30.12.2025).

<sup>3</sup> Эффект перехода на цифровой формат управления // Forbes Kazakhstan. URL: [forbes.kz/news/newsid\\_152610](http://forbes.kz/news/newsid_152610) (дата обращения: 30.12.2025).

<sup>4</sup> Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД».

$y$  — элемент (ребро графа) транспортной сети (станция, сортировочная система, расчетный участок);

$\{y^*\}$  — подмножество элементов транспортной сети, по которым установлен контроль отклонений исполненных параметров перевозочной работы от нормативных (плановых) значений;

$g$  — специализация ниток графика движения поездов;

$z$  — набор серий (секционности) поездных и маневровых локомотивов.

Для организации вагонопотоков в режиме НПФ исходными данными является массив среднесуточных вагонопотоков  $A$ , характеризуемых набором признаков, приведенных в формуле (1)<sup>5</sup>:

$$\{A | N_{ij}; POR_{ij}; RPS_{ij}; GRUZ_{ij}; \{DOP_{ij}\}\}, \quad (1)$$

где  $N_{ij}$  — корреспонденция вагонопотока от станции  $i$  до станции  $j$ ;

$POR_{ij}$  — признак порожнего или груженого вагонопотока;

$RPS_{ij}$  — род подвижного состава;

$GRUZ_{ij}$  — род перевозимого груза;

$\{DOP_{ij}\}$  — набор дополнительных признаков для прикрепления вагонопотоков к поездным назначениям (по грузополучателям, операторам вагонного парка, железнодорожным путям необщего пользования, категориям годности порожних вагонов под погрузку и др.).

Расчет режима ИПФ должен учитывать не только среднесуточные вагонопотоки планируемого периода, но и фактические отклонения наличия вагонных парков и исполненных вагонопотоков от нормативных значений. Следовательно, должны быть заданы следующие параметры:

- массив среднесуточных вагонопотоков  $A(x)$  планового (прогнозируемого) периода  $x$  с набором признаков:

$$\{A(x) | N_{ij}(x); POR_{ij}; RPS_{ij}; GRUZ_{ij}; \{DOP_{ij}\}\}, \quad (2)$$

- пострейное и поэлементное наличие вагонов на элементе (подразделении) сети  $y$ :  $P_{ijy(x-1)}^*$ ,  $P_{ijy(x-1)}^d$  — нормативное наличие вагонов корреспонденции  $(i, j)$  и их фактическое балансовое наличие на дату  $d$  текущего периода  $(x - 1)$ ;

- величины отклонений исполненных вагонопотоков от плановых заданий по контролируемым сечениям графа транспортной сети:

$$\Delta N_y = \frac{\sum_{t=1}^{d-1} \sum_i \sum_j (N_{ijy(x-1)}^* - N_{ijy(x-1)})}{d-1} \quad \forall y \in \{y^*\}, \quad (3)$$

где  $N_{ijy(x-1)}^*$ ,  $N_{ijy(x-1)}$  — плановые значения вагонопотока корреспонденции  $(i, j)$  и их исполненные значения по датам от 1 до  $(d - 1)$  текущего периода  $(x - 1)$ , ваг./сут.

Для расчетного обоснования оперативных приказов на отклонения от плана формирования требуются не статические среднесуточные, а динамические данные о:

- дислокации вагонов каждой корреспонденции массива  $B$ :

$$\{B | P_{ijy}; POR_{ij}; RPS_{ij}; GRUZ_{ij}; \{DOP_{ij}\}\}, \quad (4)$$

- прогнозируемом образовании вагонопотока каждой корреспонденции массива  $B$  (к отправлению, на сдачу и др.) с признаками:

$$\{B | \tilde{N}_{ijy}; POR_{ij}; RPS_{ij}; GRUZ_{ij}; \{DOP_{ij}\}\}, \quad (5)$$

где  $\tilde{N}_{ijy}$  — величина образования вагонопотока корреспонденции  $(i, j)$  на элементе транспортной сети  $y$ , ваг./сут;

- прогнозируемом образовании поездопотока  $\{\tilde{n}_{\alpha\beta y}\}$ ;
- величинах отклонений (3).

Соответствие множеств (4) и (5) устанавливается через коэффициенты подвижности вагонных парков или прямым имитационным моделированием.

К управляемым переменным относятся:

- перечни назначений грузовых поездов  $W$ , включая маршрутные и контейнерные, и наборы их характеристик, приведенные в формуле (6):

$$\left\{ W \left| \begin{array}{l} (STF; STN; STF_{GR}; STN_{GR}; STF_M; \\ STN_M; STF_{KP}; STN_{KP}; RP; \\ Q_{\min}; Q_{\max}; m_{\min}; m_{\max} \end{array} \right. \right\}; \quad (6)$$

- пути следования грузовых поездов  $S(W)$  и наборы их характеристик:

$$\{S(W) | \{S_{URLB}\}; \{ST_{PRLM}\}; \{USL}\}\}, \quad (7)$$

- признаки прикрепления вагонопотоков  $A$  к назначениям поездов и поездных групп  $W$ :

$$R_{AW} = \begin{cases} 0, \\ 1; \end{cases} \quad (8)$$

- признаки прикрепления поездных назначений  $W$  к путям следования  $S$ :

$$U_{WS} = \begin{cases} 0, \\ 1; \end{cases} \quad (9)$$

где  $STF$ ,  $STF_{GR}$ ,  $STF_M$ ,  $STF_{KP}$  — станции формирования поездов, поездных групп, маршрутов и контейнерных поездов;

$STN$ ,  $STN_{GR}$ ,  $STN_M$ ,  $STN_{KP}$  — станции их назначения;

<sup>5</sup> Формулы (1)–(35) разработаны авторами [Бородин А. Ф., Прозоров В. В.].

$RP$  — род поезда;

$Q_{\min(\max)}, m_{\min(\max)}$  — минимальные и максимальные значения массы и длины составов поездов;

$\{S_{URLB}\}$  — массив участков работы локомотивных бригад на пути следования поездного назначения;

$\{ST\_PRLM\}$  — массив станций перелома норм массы и длины;

$\{USL\}$  — набор условий отправления поездов назначения  $W$  по пути следования  $S(W)$  (календарная периодичность назначения, допустимое количество раз в сутки, прикрепление к специализированным ниткам графика движения поездов, допустимость отправления при заполнении установленных размеров грузового движения по основному пути следования).

Настроечными характеристиками управляемых переменных являются наборы обязательных (в формулах (10)–(12) обозначены верхним индексом «об»)

и запрещенных (обозначены верхним индексом «з») прикреплений вагонопотоков к поездным назначениям и назначений поездов к путям следования:

- в режиме НПФ:

$$\{R_{AW}^{об}\}; \{R_{AW}^з\}; \{U_{WS}^{об}\}; \{U_{WS}^з\}; \quad (10)$$

- в режиме ИПФ для календарного периода  $x$ :

$$\{R_{AW}^{об}(x)\}; \{R_{AW}^з(x)\}; \{U_{WS}^{об}(x)\}; \{U_{WS}^з(x)\}; \quad (11)$$

- в режиме ОПФ для текущей даты  $d$ :

$$\{R_{AW}^{об}(d)\}; \{R_{AW}^з(d)\}; \{U_{WS}^{об}(d)\}; \{U_{WS}^з(d)\}. \quad (12)$$

Ограничения на решения задач организации вагонопотоков подразделяются на инфраструктурные, логистические и ресурсные. Формульное представление ограничений этих классов и некоторые их свойства представлены в табл. 1.

Таблица 1

Ограничения на решения задач организации вагонопотоков\*

Table 1

Constraints on solving the tasks for car traffic volumes organisation\*

Классы ограничений	Расчетная формула	№ формулы	Степень жесткости соблюдения**				Возможность планирования***		
			1	2	3	4	1	2	3
<b>Логистические</b>									
Допустимое время нахождения отправок на элементах сети	$t_{\text{след}} = \sum t_{\text{ст}} + \sum t_{\text{уч}} \leq D_{\text{ю}}$	(13)	–	✓	–	–	–	–	✓
Регулярность продвижения транспортных потоков	$ I_{\text{приб}} - I_{\text{согл}}  \leq \varepsilon_{\text{инт}}$	(14)	–	–	–	✓	–	✓	–
Согласованность подвода	$ T_{\text{приб}} - T_{\text{согл}}  \leq \varepsilon_T$	(15)	–	–	–	✓	–	✓	–
Размеры грузовых партий	$\sum Q_{\text{н}} = Q_{\text{груз}}$	(16)	–	–	–	✓	–	✓	–
<b>Инфраструктурные</b>									
Допустимые размеры движения по участкам	$n_g \leq n_{\text{т.уч}g}$	(17)	–	✓	–	–	–	–	✓
Нормы массы и длины	$Q_{\text{бр}} \leq Q_{\text{бр}}^{\text{крит}}, m_{\text{усл}} \leq m_{\text{усл}}^{\text{max}}$	(18)	✓	–	–	–	✓	–	–
Допустимые размеры переработки	$N_{\text{пер}} \leq N_{\text{т}}(k)$	(19)	–	–	✓	✓	–	–	✓
Число формируемых назначений	$k \leq k_{\text{т}}(N_{\text{пер}})$	(20)	–	–	✓	✓	–	–	✓
Допустимые размеры движения по станциям	$n_{\text{тр}} \leq n_{\text{т.тр}}$	(21)	–	–	✓	✓	–	–	✓
Допустимые размеры переработки по станциям погрузки и выгрузки	$N_{\text{погр(выгр)}} \leq N_{\text{т.погр(выгр)}}$	(22)	–	–	✓	✓	–	–	✓
Допустимые размеры вагонного парка	$P_{\text{ст(ноп)}} \leq P_{\text{т.ст(ноп)}}$	(23)	–	–	✓	✓	–	–	✓
<b>Ресурсные</b>									
Наличие локомотивов грузового движения	$M_{\text{потр}}^z \leq M_{\text{тех}}^z$	(24)	✓	–	–	–	✓	–	–
Наличие маневровых локомотивов	$M_{\text{ман.потр}}^z \leq M_{\text{ман.тех}}^z$	(25)	✓	–	–	–	✓	–	–
Наличие вагонного парка	$P_{\text{потр}} \leq P_{\text{раб}}$	(26)	–	–	✓	–	–	–	✓

\* Источник: данные авторов

\* Source: authors' data

\*\* Степень жесткости соблюдения: 1 — превышение физически невозможно; 2 — превышение возможно при заданных условиях; 3 — превышение требует дополнительных ресурсов; 4 — превышение влечет финансовые потери

\*\*\* Возможность планирования: 1 — план; 2 — договор; 3 — расчет

Обозначения в формулах (13)–(26):

$t_{\text{след}}$  — время нахождения отправок на элементах сети, сут;

$\sum t_{\text{ст}}, \sum t_{\text{уч}}$  — время нахождения отправок в пути, проходящее на технические станции и участки, сут;

$D_{\text{ю}}$  — нормативный срок доставки отправок, сут;

$T_{\text{приб(согл)}}, T_{\text{приб(согл)}}$  — рассчитанные и согласованные (установленные) интервалы и времена подвода транспортных потоков, ч;

$\varepsilon_{\text{инт}}, \varepsilon_{\text{т}}$  — допустимые отклонения интервалов и времени подвода транспортных потоков от согласованного, ч;

$Q_{\text{н}}, Q_{\text{груз}}$  — рассчитанный и установленный размер грузовой партии, т нетто;

$n_g, n_{\text{т.уч}g}$  — рассчитанное и технически допустимое число поездов специализации  $g$  в графике движения на расчетном участке, поездов/сут;

$Q_{\text{бр}}, Q_{\text{бр}}^{\text{крит}}$  — рассчитанные и критические нормы массы поездов на расчетном участке, т брутто;

$m_{\text{усл}}, m_{\text{усл}}^{\text{max}}$  — рассчитанные и максимальные нормы длины поездов на расчетном участке, условные вагоны (у. в.);

$N_{\text{пер}}, N_{\text{т}}$  — рассчитанные и технически допустимые размеры перерабатываемого вагонопотока на станции (в сортировочной системе), ваг./сут;

$k, k_{\text{т}}$  — рассчитанное и технически допустимое количество назначений формируемых поездов на станции (в сортировочной системе);

$n_{\text{тр}}, n_{\text{т.тр}}$  — рассчитанные и технически допустимые размеры движения транзитных поездов без переработки на станции (в сортировочной системе), поездов/сут;

$N_{\text{погр(выгр)}}, N_{\text{т.погр(выгр)}}$  — рассчитанные и технически допустимые размеры погрузки и выгрузки на станции, железнодорожном пути необщего пользования, ваг./сут;

$P_{\text{ст(ноп)}}, P_{\text{т.ст(ноп)}}$  — наличный и технически допустимый рабочий парк грузовых вагонов на станции и железнодорожном пути необщего пользования;

$M_{\text{потр}}^z, M_{\text{ман.потр}}^z, M_{\text{тех}}^z, M_{\text{ман.тех}}^z$  — потребное и доступное количество локомотивов грузового и маневрового движения  $z$ -й серии и секционности;

$P_{\text{потр}}, P_{\text{раб}}$  — потребный и доступный рабочий парк грузовых вагонов.

В режиме НПФ ограничения в формулах (13)–(26) вычисляются согласно действующим нормативно-методическим документам, утвержденным владельцем инфраструктуры общего пользования, в режиме ИПФ — с учетом изменений для планового периода  $x$ . Кроме того, при возникновении барьерных мест в результате непрогнозируемого воздействия величины ограничений подлежат только апостериорной оценке.

В режиме ОПФ ограничения для расчета корректирующих воздействий на продвижение вагонопотоков должны предусматривать сопоставление:

- дислокации вагонов — с нормативным и допустимым постройным наличием;
- образования вагоно- и поездопотока — с нормами отправления (сдачи) или допустимыми размерами движения и переработки для планируемого периода.

Помимо указанных в таблице свойств, ограничения обладают взаимозависимостью, которая выражается в невозможности изменения одного из ограничений без обязательного изменения другого (рис. 2). Рост числа назначений поездов, формируемых на станции или в сортировочной системе, сокращает возможности размещения на сортировочных путях накопленных, но не «выставленных» (не отправленных) составов, что приводит к снижению технически допустимых размеров переработки вагонов (рис. 2, а). Увеличение размеров перерабатываемого вагонопотока приводит к росту числа составов, выставяемых на приемо-отправочные пути для подготовки к отправлению, из-за чего возрастает уровень загрузки этих путей, и при их вариантной специализации снижаются технически допустимые размеры движения транзитных поездов без переработки (рис. 2, б). Повышение коэффициента сдвоенных грузовых операций и уровня маршрутизации перевозок увеличивает технически допустимые размеры погрузки/выгрузки (рис. 2, в). Повышение массы и длины грузовых поездов приводит к росту станционных и межпоездных интервалов и снижению коэффициента пакетности графика движения, вследствие чего уменьшаются допустимые размеры движения поездов по участкам (рис. 2, г).

В общем случае:

$$N_{\text{т}} = f_1(k); \quad (27)$$

$$k_{\text{т}} = f_2(N_{\text{пер}}); \quad (28)$$

$$n_{\text{т.тр}} = f_3(N_{\text{т}}); \quad (29)$$

$$N_{\text{т.погр(выгр)}} = f_4(\alpha_{\text{м.пр}}, \alpha_{\text{м.от}}, k_{\text{сдв}}); \quad (30)$$

$$P_{\text{ст}} = f_5(N_{\text{т}}, n_{\text{т.тр}}, N_{\text{т.погр}}, N_{\text{т.выгр}}, k_{\text{сдв}}, t_{\text{пер}}, t_{\text{тр}}, t_{\text{м}}, E_{\text{рег}}); \quad (31)$$

$$n_{\text{т.уч}g} = f_6(Q_{\text{бр}}^{\text{крит}}, m_{\text{усл}}^{\text{max}}), \quad (32)$$

где  $\alpha_{\text{м.пр}}, \alpha_{\text{м.от}}$  — уровень маршрутизации перевозок по прибытию и по отправлению, %;

$k_{\text{сдв}}$  — коэффициент сдвоенных грузовых операций;

$t_{\text{пер}}, t_{\text{тр}}, t_{\text{м}}$  — время на обработку вагонов на станции соответственно с переработкой, без переработки, местных, ч;

$E_{\text{рег}}$  — регулирующие емкости путевого развития станции [18], ваг.

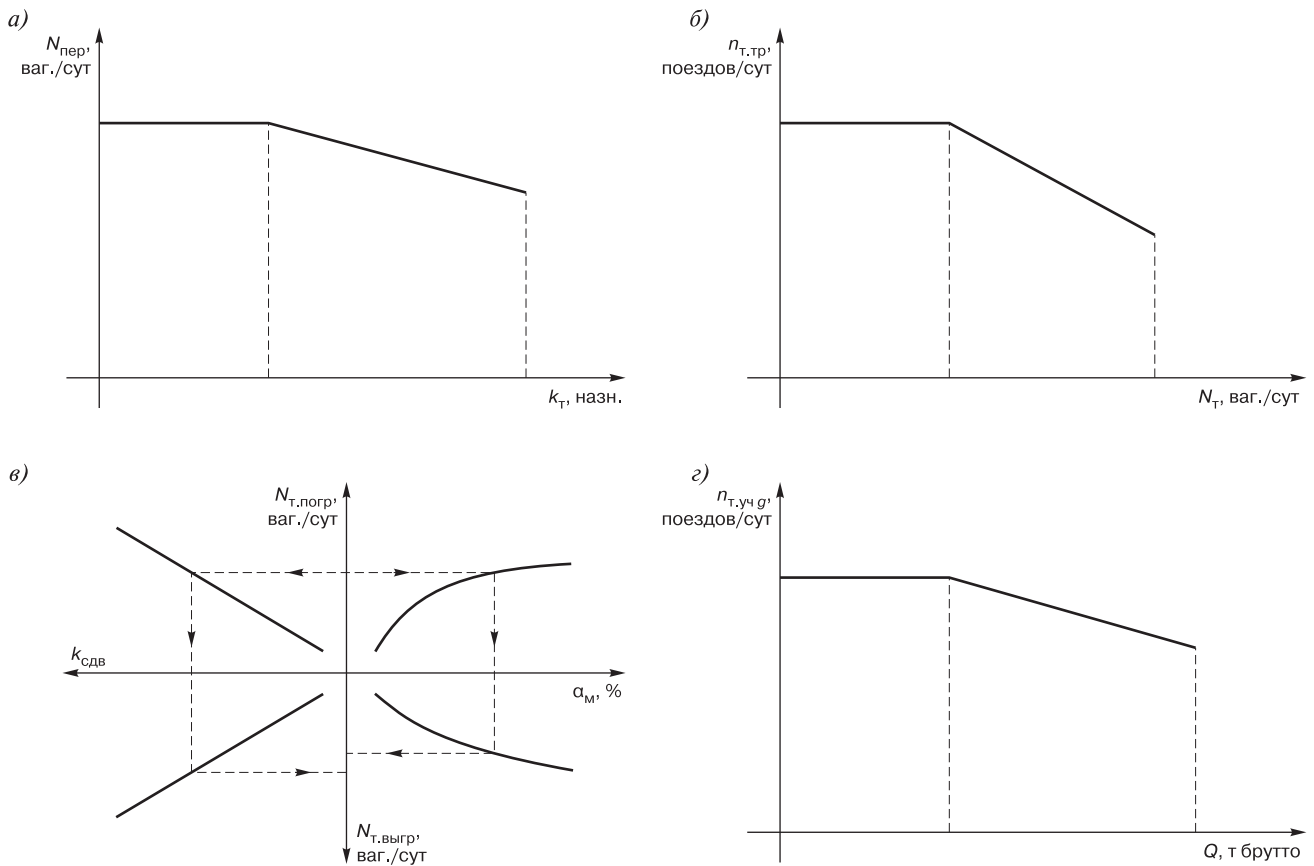


Рис. 2. Взаимозависимости ограничений\*:

*a* — технически допустимого числа назначений и размеров переработки; *б* — технически допустимых размеров движения транзитных поездов без переработки и размеров перерабатываемого вагонопотока при вариантной специализации приемоотправочных путей; *в* — технически допустимых размеров погрузки и выгрузки, уровня маршрутизации по отправлению и прибытию и коэффициента двояных грузовых операций; *з* — технически допустимых размеров движения поездов на расчетном участке и критической нормы массы поезда

\* Источник: данные авторов

Fig. 2. Constraints interdependency\*:

*a* — of technically permissible number of destinations and yard operation sizes; *б* — of technically permissible sizes of through trains without yard operation and sizes of car traffic rehandling with a variant specialisation of the receiving-and-departure tracks; *в* — of technically permissible sizes of loading and unloading, level of routing for departure and arrival and dual freight operation factor; *з* — of technically permissible sizes of train traffic on the designed track and critical train weight limit

\* Source: authors' data

Несоблюдение одного класса ограничений при возрастании потоковой нагрузки выше технически допустимой приводит к росту потребности в ресурсах для вписывания в другие ограничения. Так, из-за нарушения первичного инфраструктурного ограничения может возникнуть потребность в дополнительных ресурсах. Например, превышение технически допустимых объемов переработки на станции приведет к задержкам поездов по неприему, снижению участковой скорости грузовых поездов на прилегающих участках и потребует привлечения дополнительного парка локомотивов грузового движения:

$$N_{\text{пер}} > N_{\text{т}} \Rightarrow \begin{cases} n_g + \Delta n_g > n_{\text{т.уч.g}}, \\ M_{\text{потр}}^z + \Delta M_{\text{потр}}^z > M_{\text{тех}}^z. \end{cases} \quad (33)$$

В свою очередь, рост размеров движения на участках сверх технически допустимых приведет к задержкам вывоза поездов и увеличению рабочего парка грузовых вагонов сверх технически допустимой величины на станции, затем — на примыкающих железнодорожных путях необщего пользования:

$$n_g > n_{\text{т.уч.g}} \Rightarrow \begin{cases} n_{\text{тр}} + \Delta n_{\text{тр}} > n_{\text{т.тр}}, \\ N_{\text{пер}} + \Delta N_{\text{пер}} > N_{\text{т}}, \\ P_{\text{ст(ноп)}} + \Delta P_{\text{ст(ноп)}} > P_{\text{т.ст(ноп)}}. \end{cases} \quad (34)$$

В формулах (33) и (34) отражено увеличение потребных ресурсов из-за превышения первичного ограничения:  $\Delta n_g$  — размеров движения поездов специализации *g*, поездов/сут;  $\Delta M_{\text{потр}}^z$  — парка локомотивов

z-й серии и секционности;  $\Delta l_{\text{тр}}$  — размеров движения транзитных поездов без переработки на станции (в сортировочной системе), поездов/сут;  $\Delta N_{\text{пер}}$  — перерабатываемого вагонопотока, ваг./сут;  $\Delta P_{\text{ст(ноп)}}$  — рабочего парка грузовых вагонов на станции и железнодорожном пути необщего пользования.

При дальнейшем повышении потоковой нагрузки все доступные ресурсные возможности перестают отвечать условиям ограничений, и это приводит к ухудшению финансового результата работы сети железных дорог ОАО «РЖД».

**Особенности целевых функций.** Классической целевой функцией расчета плана формирования грузовых поездов является минимизация среднесуточных затрат на накопление составов, переработку вагонов и продвижение поездов<sup>6</sup>. В исследовании [3] представлены также дополнительные компоненты целевой функции, связанные с эффектами повышения транзитности вагонопотоков за счет улучшения регулирования продвижения, ускорения обработки вагонов на станциях назначения и путях необщего пользования, учета внутрисуточных режимов поездной и станционной работы и др.

Рассмотрение плана формирования в парадигме жизненного цикла, представленного на рис. 1, предполагает учет не только среднесуточных затрат  $E_x$  в течение каждого календарного периода действия плана  $x$ , но и затрат на переходы между периодами  $E_{\text{перех}(x-1, x)}$ . Значения  $E_{\text{перех}(x-1, x)}$  представляют собой стоимостные оценки перестройки технологии работы, включая повторную переработку вагонов, увеличение размеров углового потока на сортировочных станциях, другие дополнительные маневровые операции, передислокацию тяговых ресурсов, перемещение штата осмотрщиков-ремонтников вагонов и др. Для сходной задачи в исследовании П. А. Козлова<sup>7</sup> предложено определять такие оценки как средние по статистическому набору результатов имитационного моделирования.

Кроме того, целевая функция предусматривает минимизацию превышения рассчитанных затрат  $E$  на осуществление грузовых перевозок над плановыми затратами  $E_{\text{план}}$ , определенными бюджетным заданием:

$$\Delta E = \sum_{x=1}^X (E_x t_x + E_{\text{перех}(x-1, x)}) - E_{\text{план}} \rightarrow \min. \quad (35)$$

Условие (35) должно содержать интегрированную оценку решений, принимаемых в режимах НПФ, ИПФ и ОПФ. При этом составляющая  $E_{\text{перех}(x-1, x)}$  должна обеспечивать отсев вариантов, требующих больших

изменений действующего плана формирования при незначительном эффекте. Совместно с корректировкой характеристик (формулы (10)–(12)) и предложенным в [3] приемом включения в результирующий план изменений, обеспечивающих снижение зависящих расходов (не менее чем на 5% по включаемым корреспонденциям) при заданной дальности их следования (не менее 800 км), это позволяет избежать глобальных изменений, полностью перестраивающих технологию организации вагонопотоков и невозможных в регулярном режиме.

**Результаты.** Необходимость корректировок плана формирования может быть обусловлена двумя причинами:

- изменением потоковой структуры, которое оценивается сопоставлением балансового и нормативного наличия вагонов рабочего парка;
- изменением наличия ресурсов, под которыми понимаются пропускные и перерабатывающие способности элементов инфраструктуры и емкости путевого развития с учетом допустимых уровней их заполнения, а также парка локомотивов и контингент локомотивных бригад в грузовом и маневровом движении.

Динамика наличия вагонов на полигоне железнодорожной сети оценивается на основе сопоставления балансового  $P_{\text{бал}}$  и нормативного  $P_{\text{норм}}$  наличия вагонов рабочего парка (рис. 3).

На рис. 3 пороговые значения  $\varepsilon_P^+$  и  $\varepsilon_P^-$  — допустимое увеличение и уменьшение вагонного парка, в пределах которых управляющих воздействий не требуется,  $\varepsilon_N^+$  и  $\varepsilon_N^-$  — допустимое увеличение и уменьшение вагонопотока, в пределах которых управляющих воздействий не требуется,  $\varepsilon_R^-$  — допустимое уменьшение ресурса, при котором управляющих воздействий не требуется,  $\Delta N^+$  и  $\Delta N^-$  — увеличение и уменьшение вагонопотока, ваг./сут,  $\Delta R^-$  — уменьшение доступного ресурса.

В зависимости от представленных соотношений возможны шесть стратегий управления вагонопотоками для приведения системы к нормативному состоянию:

1 — избыток наличия вагонного парка при росте поступающего вагонопотока и одновременном снижении ресурса требует уменьшения поступления вагонов с перераспределением вагонопотоков на менее загруженный ресурс;

2 — избыток наличия вагонного парка при росте поступающего вагонопотока и сохранении величины ресурса требует уменьшения поступления вагонов и форсирования использования ресурса;

<sup>6</sup> Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД».

<sup>7</sup> Козлов П. А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии: дисс. д-ра техн. наук: 05.22.12. Липецк: ЛПИ, 1986. С. 186–212.

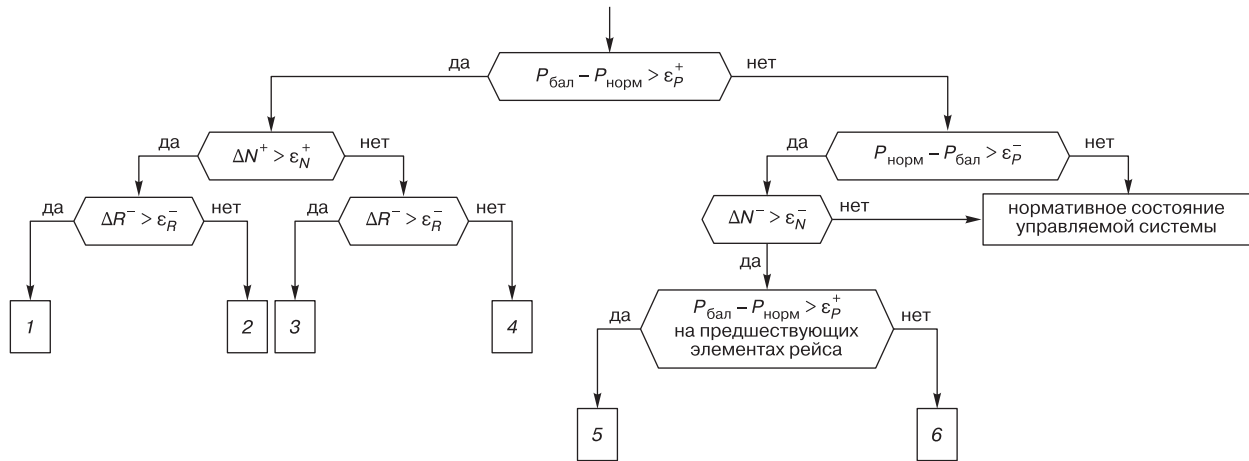


Рис. 3. Стратегии управления для приведения системы организации вагонопотоков к нормативному состоянию\*  
\* Источник: данные авторов

Fig. 3. Operation strategies for normalisation the car traffic streams organisation system\*  
\* Source: authors' data

3 — избыток наличия вагонного парка при поступлении вагонопотока в допустимых пределах и снижении ресурса требует интенсификации отправления (сдачи) вагонов с перераспределением вагонопотоков на менее загруженный ресурс;

4 — избыток наличия вагонного парка при поступлении вагонопотока в допустимых пределах и сохранении величины ресурса требует интенсификации отправления (сдачи) вагонов и форсирования использования ресурса;

5 — недостаток наличия вагонного парка при снижении поступления вагонопотока в условиях избытка наличия вагонов на предыдущих элементах рейса требует интенсификации приема вагонов с соседнего подразделения;

6 — недостаток наличия вагонного парка при снижении поступления вагонопотока при отсутствии избытка наличия вагонов на предыдущих элементах рейса требует снижения простоя вагонов под накоплением и в ожидании отправления с целью обеспечения темпов подвода груженых и порожних вагонов к пунктам назначения.

Учитывая многофакторность функциональных взаимосвязей (27)–(34), определение пороговых значений величин, в пределах которых управляющие воздействия не требуются, представляет собой самостоятельную задачу, решаемую на основе постановки и проведения серий вычислительных экспериментов.

Рассмотрим пример организации вагонопотоков в режиме ИПФ на условном полигоне А–Д, используя вышеизложенный выбор стратегии.

Мощности вагонопотоков на полигоне представлены в табл. 2. Ограничения на размеры перерабатываемого вагонопотока  $N_T$  и количество формируемых

назначений  $k_T$  на технических станциях представлены в табл. 3; ограничения на количество вагонов по участкам, определяемые через допустимые размеры движения  $n_{т.уч.g}$  грузовых поездов и число вагонов  $m$  в их составе, указаны на рис. 4.

Таблица 2  
Расчетные среднесуточные вагонопотоки, ваг./сут\*  
Table 2  
Estimated average daily car traffic streams, cars/day\*

Направление со станции	Направление на станцию				
	А	Б	В	Г	Д
А	—	140	100	300	240
Б	100	—	220	40	620
В	80	170	—	400	160
Г	230	180	130	—	170
Д	100	240	180	160	—

\* Источник: данные авторов  
\* Source: authors' data

Таблица 3  
Расчетные нормативы по станциям\*  
Table 3  
Estimated regulations for stations\*

Показатель	Станция				
	А	Б	В	Г	Д
$N_T$ , ваг./сут	1300	1250	900	1400	1600
$k_T$ , назначений	5	6	7	7	6

\* Источник: данные авторов  
\* Source: authors' data

Участок В–Г, где в связи с образованием барьерного места полностью прекращается движение поездов, объявляется лимитирующим, и ограничения на нем обращаются в ноль. Варианты плана формирования поездов на полигоне представлены на рис. 4 и в табл. 4.

Нормативный план формирования (рис. 4, а), рассчитанный методом пошагового распределения вагонопотоков по сети допустимых назначений поездов [2],

обеспечивающий наименьшие среднесуточные затраты на накопление, переработку и продвижение вагонопотока на полигоне, перестает удовлетворять инфраструктурному ограничению на лимитирующем участке. Это приводит к росту балансового наличия вагонов, не отправленных со станций В и Г. Данная ситуация соответствует стратегии 1 (см. рис. 3) и требует перераспределения вагонопотоков на менее загруженный ресурс.

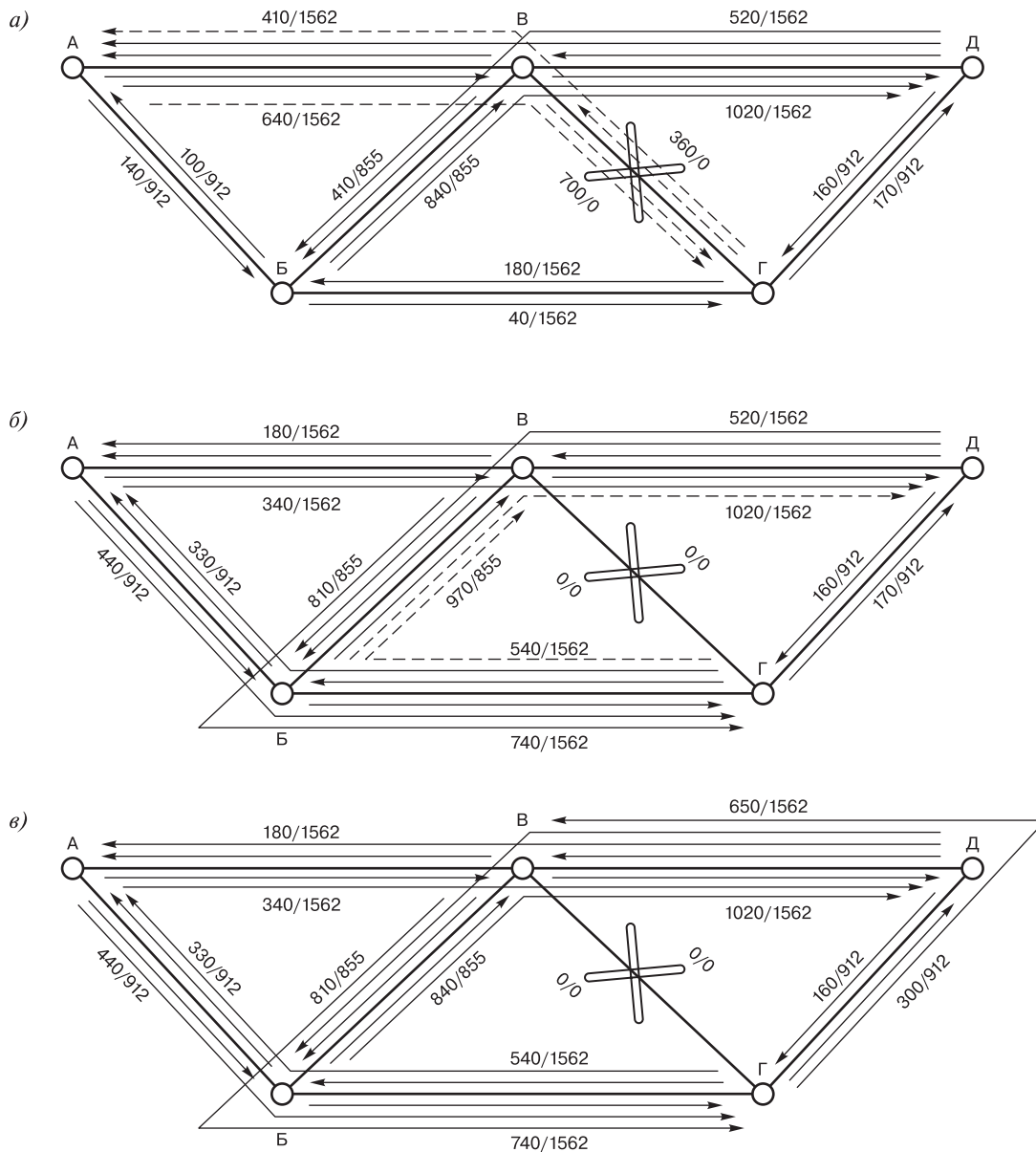


Рис. 4. Варианты корректировки плана формирования поездов\*:

в числителе — рассчитанное число вагонов на участках, ваг./сут; в знаменателе — технически допустимое число вагонов на участках, ваг./сут; над линией — в нечетном направлении; под линией — в четном направлении

\* Источник: данные авторов

Fig. 4. Options for adjusting the train make-up plan\*:

the numerator is the calculated cars' number per railway section, cars/day, and the denominator is the technically permissible cars' number per railway section, cars/day; above the line is the parameter in the odd direction and below the line is in the down direction

\* Source: authors' data

Таблица 4  
Сравнение вариантов при корректировке плана формирования поездов\*

Table 4

Comparison of options for adjusting the train make-up plan\*

Вариант	Превышение ограничений, ваг./сут	Переработка транзитных вагонов, ваг./сут	Стоимостная оценка, руб./сут
а)	+360 на В–Г, +700 на Г–В	3 960	3 486 380
б)	+155 на Б–В	3 960	3 913 080
в)	0	3 960	3 921 790

\* Источник: данные авторов

\* Source: authors' data

Полигон корректировки ограничивается назначениями, пути следования которых проходят по лимитирующему участку, — они объявляются запрещенными (на рис. 4, а отмечены пунктиром). Скорректированный план формирования (см. рис. 4, б) является оптимальным по затратам, однако не удовлетворяет инфраструктурному ограничению на участке Б–В. В условиях дефицита ресурса целесообразно оптимизировать план формирования по критерию наилучшего его использования.

По участку Б–В прокладываются обязательные (участковые) назначения, а перед прокладкой каждого из оставшихся сквозных (на рис. 4, б отмечены пунктиром) проверяется выполнение ограничений, и на назначения, для которых они не выполняются, налагается повышающий коэффициент к затратам [2] за превышение ресурса. Вновь скорректированный план формирования (см. рис. 4, в) удовлетворяет инфраструктурным ограничениям по станциям и участкам полигона, а также условиям целевой функции, связанным с достижением наибольшего уровня транзитности вагонопотока и наименьших затрат при смене плана формирования. Все предложенные варианты организации вагонопотоков предусматривают постоянное число формируемых на полигоне поездных назначений и освоение каждой корреспонденции вагонопотока только одним назначением, благодаря чему при смене вариантов плана формирования станции не будут загружены дополнительной работой по переформированию составов.

Информационно-технологическая поддержка указанных стратегий управления вагонопотоками должна быть обеспечена в Автоматизированной системе организации вагонопотоков (АСОВ) с развитием пошаговых пользовательских интерфейсов [3], формализующих порядок работы технолога с информацией из разных подсистем АСОВ и внешних источников данных с использованием шаблонов изменений для повторяющихся технологических ситуаций.

**Обсуждение и заключение.** На базе исследования взаимосвязей процессов организации вагонопотоков в режимах нормативного плана формирования грузовых поездов, его периодических изменений (корректировок) и оперативных приказов структурированы и формализованы исходные данные, управляемые переменные, ограничения и их взаимозависимости. В парадигме жизненного цикла организации вагонопотоков отмечена необходимость введения в целевую функцию расчета плана формирования дополнительной компоненты, обеспечивающей преемственность расчетов и устойчивость плана к колебаниям потоков. В результате определены шесть возможных стратегий поиска решений по приведению системы организации вагонопотоков к нормативному состоянию для развития интерактивных сценариев вычислений в функциональном составе АСОВ.

Таким образом, впервые представлено системное формализованное описание постановки задач, обеспечивающих преемственность в процессах технологической регламентации, планирования и оперативного управления организацией вагонопотоков в поезда.

На основе положений, представленных в статье, в дальнейшем исследовании должны определяться граничные условия показателей, при которых происходит запуск перерасчетов, и ограничения траектории целевой функции в период действия плана формирования. Это обеспечивает содержательную настройку используемой экономико-математической модели расчета плана формирования поездов методом пошагового распределения вагонопотоков по сети допустимых назначений поездов. Указанная настройка также включает в себя ряд приемов конструирования сетевых потоковых моделей и управления расчетом плана формирования поездов.

**Благодарности:** коллектив авторов исследования выражает благодарность рецензентам и научному редактору за конструктивные и содержательные предложения при подготовке рукописи к изданию.

**Acknowledgments:** the team of authors expresses gratitude to the reviewers and the scientific editor for constructive and meaningful suggestions during the preparation of the manuscript for publication.

**Финансирование:** авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Funding:** the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бородин А. Ф., Николаев К. Ю., Прозоров В. В., Шиндеров Р. В. Логистические, инфраструктурные и ресурсные ограничения в управлении вагонопотоками // Политранспортные системы: материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, 24–25 октября 2024 г. Новосибирск: СГУПС, 2024. С. 80–84. EDN: <https://elibrary.ru/lzkmro>.
- Borodin A. F., Nikolaev K. Yu., Prozorov V. V., Shinderov R. V. Logistical, infrastructural and resource constraints in car traffic streams operation. *Polytransport Systems: Proceedings of the Thirteenth All-Russian Scientific and Technical Conference, 24–25<sup>th</sup> October, 2024*. Novosibirsk: SGUPS; 2024. P. 80–84. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/lzkmro>.
2. Батуринов А. П., Бородин А. Ф., Панин В. В., Шумская О. А., Пояркова М. А. Организация сетевых вагонопотоков в одногруппные поезда // Железнодорожный транспорт. 2005. № 6. С. 17–24.
- Baturin A. P., Borodin A. F., Panin V. V., Shumskaya O. A., Poyarkova M. A. Organisation of network car traffic streams into one-group trains. *Railway Transport*. 2005;(6):17–24. (In Russ.).
3. Бородин А. Ф., Вербов Д. М., Рубцов Д. В., Новиков П. О. Автоматизированная система организации вагонопотоков: современные теория и практика // Железнодорожный транспорт. 2021. № 11. С. 4–17. EDN: <https://elibrary.ru/ndafsl>.
- Borodin A. F., Verbov D. M., Rubtsov D. V., Novikov P. O. Automated system for car traffic streams organisation: modern theory and practice. *Railway Transport*. 2021;(11):4–17. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ndafsl>.
4. Новиков П. О., Шиндеров Р. В., Щепанов А. Л., Сухов А. А., Дмитриев Е. О. Решение задач автоматизированного расчета нормативной технологии организации вагонопотоков, оперативного управления и логического контроля // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021): труды XIV междунар. конф., 27–29 сентября 2021 г. М.: ИПУ им. В. А. Трапезникова РАН, 2021. С. 1020–1027. EDN: <https://elibrary.ru/lipnhi>.
- Novikov P. O., Shinderov R. V., Shchepanov A. L., Sukhov A. A., Dmitriev E. O. Solving tasks for automated calculation of normative technology for car traffic streams organisation, operative management, and logical control. *MLSD'2021: Proceedings of Fourteenth International Conference, 27–29<sup>th</sup> September, 2021*. Moscow: V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS; 2021. P. 1020–1027. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/lipnhi>.
5. Кутыркин А. В. Комплексная модель планирования и оперативного управления вагонопотоками // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: сб. научн. тр. (Труды ВНИИЖТ). М.: Транспорт, 1985. С. 68–77.
- Kutyarkin A. V. Comprehensive model for car traffic streams planning and operation. *Improvement of Operational Work of Railways. Proceedings of VNIIZHT*. Moscow: Transport; 1985. P. 68–77. (In Russ.).
6. Кутыркин А. В. Алгоритмы оперативной корректировки плана формирования // Вестник Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 1983. № 8. С. 1–6.
- Kutyarkin A. V. Algorithms for operative adjustment of train make-up plan. *Vestnik VNIIZHT*. 1983;(8):1–6. (In Russ.).
7. Кутыркин А. В., Павловский А. А. Оптимальное управление вагонопотоками в условиях нечетких исходных данных // Наука и техника транспорта. 2003. № 3. С. 40–53. EDN: <https://elibrary.ru/hvyuwz>.
- Kutyarkin A. V., Pavlovsky A. A. Optimal management of car traffic streams under uncertain initial data. *Science and Technology in Transport*. 2003;(3):40–53. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/hvyuwz>.
8. Осминин А. Т. Интеллектуальная система управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2021. № 1. С. 1–17.
- Os'minin A. T. Intelligent management system for transportation processes in railway transport. *Bulletin of the Unified Scientific Council of JSC "RZD"*. 2021;(1):1–17. (In Russ.).
9. Осминин А. Т., Шапкин И. Н. Оптимизация системы организации вагонопотоков на основе цифровых технологий на железнодорожном транспорте и принципах клиентоориентированности // Ф. П. Кочнев — выдающийся организатор транспортного образования и науки в России: труды междунар. науч.-практич. конф., 22–23 апреля 2021 г. М.: РУТ (МИИТ), 2021. С. 231–239. EDN: <https://elibrary.ru/bpabwp>.
- Os'minin A. T., Shapkin I. N. Optimisation of the system for car traffic streams organisation based on digital technologies in railway transport and client-oriented principles. *F. P. Kochnev: Proceedings of International Scientific and Practical Conference, 22–23<sup>rd</sup> April, 2021*. Moscow: RUT (MIIT); 2021. P. 231–239. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/bpabwp>.
10. Осминин А. Т., Бадецкий А. П. Многоагентная система расчета адаптивного плана формирования поездов // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2015): труды IV науч.-техн. конф. с междунар. участием, 18 ноября 2015 г. М.: НИИАС, 2015. С. 61–65. EDN: <https://elibrary.ru/bfbkkn>.
- Os'minin A. T., Badetsky A. P. Multi-agent system for the adaptive train make-up plan calculating. *ISUZHT-2015: Proceedings of Fourth Scientific and Technical Conference, 18<sup>th</sup> November, 2015*. Moscow: NIIAS; 2015. P. 61–65. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/bfbkkn>.
11. Негрей В. Я., Шкурин К. М. Синергетический подход к расчету плана формирования одногруппных поездов // Наука та прогрес транспорту. 2018. № 5 (77). С. 53–64. <https://doi.org/10.15802/stp2018/147718>. EDN: <https://elibrary.ru/ytfxbx>.
- Negrey V. Ya., Shkurin K. M. Synergetic approach to the one-group train make-up plan calculating. *Science and Progress in Transport*. 2018;(5(77)):53–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.15802/stp2018/147718>. EDN: <https://elibrary.ru/ytfxbx>.
12. Литвинова И. М., Козлов В. Г. Информационно-аналитическая модель распределения сортировочной работы на станциях Белорусской железной дороги // Тихомировские чтения. Инновационные технологии перевозочного процесса: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 30 ноября 2018 г. Гомель: БелГУТ, 2019. С. 99–102. EDN: <https://elibrary.ru/tequmn>.
- Litvinova I. M., Kozlov V. G. Information-analytical model for distributing sorting work at the stations of the Belarusian Railway. *Tikhomirov Readings: Proceedings of International Scientific and Practical Conference, 30<sup>th</sup> November, 2018*. Gornel: BSUT; 2019. P. 99–102. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/tequmn>.
13. Ерофеев А. А., Козлов В. Г., Терещенко О. А., Литвинова И. М., Сладкевич А. Н. Ускорение продвижения вагонопотоков: опыт Белорусской железной дороги // Железнодорожный транспорт. 2025. № 8. С. 34–39. EDN: <https://elibrary.ru/ukdafa>.
- Yerofeev A. A., Kozlov V. G., Tereshchenko O. A., Litvinova I. M., Sladkevich A. N. Accelerating the movement of car traffic streams: experience of the Belarusian Railway. *Railway Transport*. 2025;(8):34–39. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ukdafa>.
14. Козлов В. Г. Повышение эффективности технической маршрутизации на основе динамической модели расчета и оценки параметров корреспонденций вагонопотока // Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ-2022): сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., 15–16 марта 2022 г. СПб.: ПГУПС, 2022. С. 364–368. EDN: <https://elibrary.ru/mlznui>.
- Kozlov V. G. Increasing the efficiency of technical routing based on the dynamic model for the parameters of car traffic streams correspondences calculating and evaluating. *UERT-2022: Proceedings of International Scientific and Practical Conference, 15–16<sup>th</sup> March, 2022*. St. Petersburg: PGUPS; 2022. P. 364–368. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/mlznui>.
15. Кекиш Н. А. Повышение эффективности организации маломощных вагонопотоков при использовании системы взаимовязанных групповых поездов // 36. науч. праць УкрДУЗТ. Харків: УкрДУЗТ, 2017. № 167. С. 42–54.
- Kekish N. A. Improving the efficiency of the low-power car traffic streams organisation using the system of interrelated group trains. *Collected scientific works of UkrSURT*. 2017;(167):42–54. (In Russ.).

16. Xiao J., Lin B. Comprehensive optimisation of the one-block and two-block train formation plan. *Journal of Rail Transportation Planning & Management*. 2016;6(3):218–236. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2016.09.002>.

17. Poliński J., Ochociński K. Cyfryzacja w transporcie kolejowym. *Problemy Kolejnictwa*. 2020. Zeszyt 188. S. 53–65. <https://doi.org/10.36137/1885P>.

18. Бородин А. Ф., Сотников Е. А. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учетом увеличения доли частных вагонов // Железнодорожный транспорт. 2011. № 3. С. 8–19. EDN: <https://elibrary.ru/nxlpnj>.

Borodin A. F., Sotnikov E. A. Rational ratio of track capacities of stations and car fleets considering the increase in the share of private cars. *Railway Transport*. 2011;(3):8–19. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/nxlpnj>.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### Андрей Федорович БОРОДИН,

д-р техн. наук, профессор, начальник отдела технологического обеспечения автоматизированных систем и имитационного моделирования, Институт экономики и развития транспорта (ИЭРТ, 105066, Москва, ул. Новорязанская, 24); заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте», Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ), 127994, Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9), SPIN-код: 4753-4275, <https://orcid.org/0000-0002-3466-6818>

### Владимир Вигенович ПРОЗОРОВ,

инженер 1 категории, Институт экономики и развития транспорта (ИЭРТ, 105066, Москва, ул. Новорязанская, 24); аспирант, Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ), 127994, Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9), SPIN-код: 8089-1438

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### Andrey F. BORODIN,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Technological Support of Automated Systems and Simulation Modelling Department, Institute of Economics and Development of Transport (105066, Moscow, 24, Novoryazanskaya St.); Head of the Department of Management of Operational Work

and Safety in Transport, Russian University of Transport (127994, Moscow, bldg. 9, 9, Obratsova St.), SPIN-code: 4753-4275, <https://orcid.org/0000-0002-3466-6818>

### Vladimir V. PROZOROV,

1st Category Engineer, Institute of Economics and Development of Transport (105066, Moscow, 24, Novoryazanskaya St.); Postgraduate, Russian University of Transport (127994, Moscow, bldg. 9, 9, Obratsova St.), SPIN-code: 8089-1438

## ВКЛАД АВТОРОВ

**Андрей Федорович БОРОДИН.** Определение направления исследования, консультации (20 %).

**Владимир Вигенович ПРОЗОРОВ.** Обзор существующих исследований по адаптивному управлению вагонопотоками, математическая постановка задач управления вагонопотоками, определение стратегий поиска решений, написание статьи (80 %).

## CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

**Andrey F. BORODIN.** Determining the direction of research, consultations (20 %).

**Vladimir V. PROZOROV.** Review of existing research on adaptive car traffic operation, mathematical formulation of car traffic operation problems, definition of strategies for finding solutions (80 %).

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*The authors have read and approved the final manuscript.*

Статья поступила в редакцию 12.12.2025, рецензия от первого рецензента получена 17.12.2025, рецензия от второго рецензента получена 23.01.2026, рецензия от третьего рецензента получена 02.02.2026, принята к публикации 12.02.2026.

The article was submitted 12.12.2025, first review received 17.12.2025, second review received 23.01.2026, third review received 02.02.2026, accepted for publication 12.02.2026.