

УДК 656.2

Выбор подвижного состава для обеспечения государственных перевозок: постановка задачи и методы решения

Н. Г. Кобозева, А. В. Новичихин

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Кобозева Н. Г., Новичихин А. В. Выбор подвижного состава для обеспечения государственных перевозок: постановка задачи и методы решения // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23. Вып. 1. С. 101–107. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-101-107

Аннотация

Цель: оптимизация порожних вагонопотоков для обеспечения необходимым подвижным составом требуемых объемов государственных перевозок путем решения задачи многокритериальной оптимизации. **Методы:** моделирование вариантов отбора вагонов для выполнения всех заявок на государственные перевозки. **Результаты:** разработан метод оптимизации порожних вагонопотоков, который позволяет сократить время и затраты на государственные перевозки, а также учитывает риски невыполнения нормативных сроков. **Практическая значимость:** состоит в использовании нового подхода при выборе вариантов подбора порожних вагонов для обеспечения государственных перевозок и возможностях его применения для организации других видов перевозок, а также в работе частных компаний операторов на рынке транспортных услуг.

Ключевые слова: железнодорожные перевозки, оптимальные варианты подсыла вагонов, государственные перевозки, эффективность, порожние вагонопотоки

Организация порожних вагонопотоков для обеспечения железнодорожным подвижным составом государственных перевозок имеет стратегическое значение и повышает эффективность функционирования всей системы транспортного обеспечения страны.

Для решения задач по отбору вагонов для организации государственных перевозок необходимо разработать математическую модель и программное обеспечение, которое ускорит время принятия решений и повысит эффективность организации процесса [1–3]. Необходимо решить задачу многокритериальной оптимизации методом Парето на основе справедливого компромисса.

Критериями принятия оптимальных решений в задаче являются: время на подсыл

вагонов к местам погрузки, затраты на организацию доставки вагонов и полное обеспечение всех заявок на порожние вагоны. Подсыл вагонов может осуществляться к нескольким станциям концентрации грузопотоков. Грузопотоки должны быть в полном объеме обеспечены порожними вагонами необходимого типа [4, 5]. Выбор станций отправления порожних вагонов и станций назначения для их дальнейшей погрузки ограничен нормативным временем на подсыл вагонов. Заявка должна быть обеспечена в срок не более 3 суток, как прописано в регламенте по организации срочных перевозок на железнодорожном транспорте.

Для математического описания задачи принимаем:

Z — количество подаваемых заявок;

$X = (x_1, \dots, x_n)$ — вектор порожнего подвижного состава (ПС), где x_k — порожний состав по родам вагонов, принадлежащий k -му оператору;

$T = (t_1, \dots, t_n)$ — вектор времени доставки вагонов; \bar{T} — время доставки вагонов (нормативное) при организации срочных перевозок;

$C = (c_1, \dots, c_n)$ — вектор затрат на доставку порожних вагонов, где C_k — затраты государства на доставку порожних вагонов, в том числе изъятых у компаний-операторов;

$L = (l_1, \dots, l_n)$ — вектор удаленности вагонов k -го оператора от места погрузки;

R — определяемый расчетным путем радиус дислокации подвижного состава, в пределах которого необходимо осуществить подбор порожних вагонов с учетом рисков. Он рассчитывается на основе анализа оценки рисков невыполнения нормативных сроков подсыла вагонов при организации срочных перевозок [6–9]. Расчеты производятся на основе прогнозируемых данных и меняются в зависимости от принимаемых параметров.

Рассмотрим последовательно критерии математического моделирования. Затраты на полное обеспечение подвижным составом всего объема грузов по государственным заказам на железнодорожном транспорте обеспечиваются государственными активами на основе постановления Правительства РФ от 31 декабря 2016 г. № 1590 «Об оказании услуг по организации и осуществлению воинских и специальных железнодорожных перевозок» [10].

Сокращение затрат возможно путем снижения платы за подсыл вагонов.

Расчет платы за перевозку порожних вагонов к местам погрузки осуществляется на основании соответствующей нормативно-правовой документации на железнодорожном транспорте [10, 11].

Функция f_1 зависит от вектора X :

$$f_1(X) = \sum_{k=1}^n c_k x_k = C^t \cdot X, \quad (1)$$

где $C^t \cdot X$ — произведение матрицы-строки $C^t = (c_1, \dots, c_n)$ и матрицы-столбца $X = (x_1, \dots, x_n)$.

Определение сроков доставки порожних вагонов производится в соответствии с Правилами перевозок грузов железнодорожным транспортом [12]. В свою очередь, сроки оборота вагонов определяются Порядком разработки и определения технологических сроков оборота вагонов [13] и технологическими нормами (i -вагон, j -станция). Таким образом, общее время складывается из суммы этих двух компонентов.

Оборот вагона по станции состоит из:

$$t_{об}^{ij} = t_{нд}^{ij} + t_{нод}^{ij} + t_{с(n)}^{ij} + t_{уб}^{ij} + \alpha(t_p^{ij} + t_\phi^{ij}) + \beta t_{нрс}^{ij}, \quad (2)$$

где α и β принимают значение 1 для вагонов с одной и двумя грузовыми операциями, а 0 — для маршрутных отправок и других случаев.

В случае поступления вагонов в составе маршрута время на станции отправления составит:

$$t_{ст.о}^{ij} = t_{нак}^{ij} + t_{зф}^{ij} + t_o^{ij}, \quad (3)$$

где t — это время на станции отправления, затрачиваемое на приемосдаточные операции ($t_{нд}^{ij}$), на подачу-уборку вагонов ($t_{нод}^{ij}$), на расформирование (t_p^{ij}) и формирование (t_ϕ^{ij}), на выгрузку (погрузку) ($t_{с(n)}^{ij}$), на уборку вагонов ($t_{уб}^{ij}$), на перестановку ($t_{нрс}^{ij}$), накопление ($t_{нак}^{ij}$), завершение формирования состава ($t_{зф}^{ij}$) и отправление (t_o^{ij}).

В случае поступления вагонов в составе группы на станцию сбора:

$$T_{онеп}^{ij} = \alpha t_{ac}^{cbij} + \beta(t_{омб}^{ij} + t_{нак}^{ij} + t_\phi^{ij} + t_{оно}^{ij}) + \mu(t_{об1}^{ij} + t_{неп}^{ij}) + \gamma_{об2}^{ij} + t_{онн}^{ij}, \quad (4)$$

где α принимает значение 1 при сборе вагонов с промежуточных станций участка и 0 —

для других случаев; β принимает значение 1 при сборе вагонов с участков станции с переработкой и без переработки в пути следования и 0 — для других случаев; $\mu = 1$, если сбор вагонов осуществляется с участков станций с переработкой и 0 — для других случаев; $\gamma = 0$, если это доставка групп вагонов со станций примыкающих участков; $\gamma = 1$ — для других случаев.

В эту сумму входят операции по отбору и накоплению вагонов, формированию составов, обработке их по отправлению, движение до станций переработки и погрузки, переработка на сортировочной станции, обработка по прибытии, сбор вагонов со станций участков.

Время подсыла порожних вагонов к станциям погрузки складывается из времени в пути следования и дополнительного времени на сбор вагонов и формирование составов на станции отправления:

$$t_i = \max \left(\frac{l_k^i}{\mathbf{v}_k} + \tau_k^i \right). \quad (5)$$

Дополнительным временем, как оказывающим незначительное влияние на конечный результат при моделировании, возможно пренебречь. Временем обеспечения подвижным составом будет считаться время подсыла последнего вагона или группы вагонов для обеспечения последующей погрузки (рис. 1).

$$t_i = \max \left(\frac{l_k^i}{\mathbf{v}_k} \right). \quad (6)$$

Из всех возможных вариантов подсыла порожних вагонов до полного обеспечения всех заявок на государственные перевозки при отборе в пределах оптимального радиуса дислокации (R) должен быть выбран вариант с полученным минимальным значением:

$$f_2(T) = t_i \rightarrow \min, \quad (7)$$

$$l_k^i = \mathbf{v}_k t_k^i \leq R, \quad 0 \leq \frac{l_k^i}{\mathbf{v}_k} \leq \frac{R}{\mathbf{v}_k}, k = 1, \dots, n,$$

где l_i — тарифное расстояние подсыла вагонов, определяемое по Тарифному руководству № 4.

Все заявки на государственные перевозки должны быть выполнены, то есть весь объем груза должен быть обеспечен порожними вагонами необходимого типа на t -е сутки. В первую очередь отбираются порожние вагоны необходимого типа (x_{0i}). В случае если их количество недостаточно для обеспечения всех заявок, то отбираются вагоны из резервов компаний-операторов (x_{ri}). Если и в этом случае заявки не закрыты, отбираются вагоны из-под погрузки или груженные (x_{ci}), а также вагоны других типов, подходящие по своим техническим характеристикам для погрузки груза (v_{0i}).

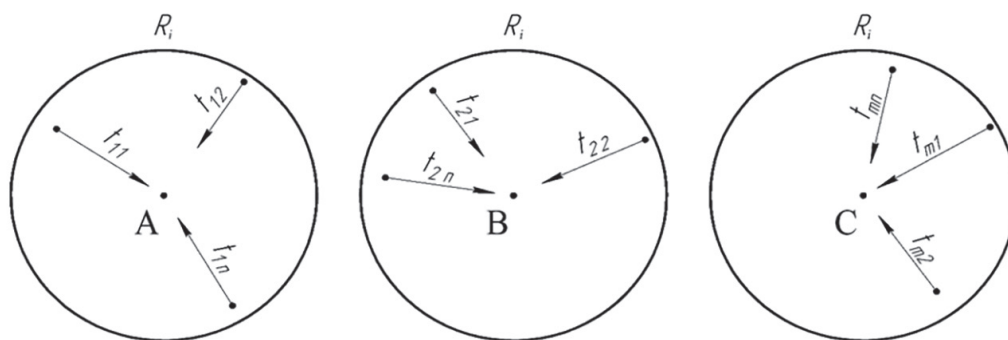


Рис. 1. Варианты подсыла вагонов к станциям погрузки с учетом оптимального радиуса R

Таким образом,

$$x_i = x_{0i} + x_{ri} \cdot \alpha_i + y_{i0} \cdot \beta_i + x_{ci} \cdot \gamma_i \quad (8)$$

где $(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i) \in \{0,1\}$; $(1,0,0)$, $(1,1,0)$, $(1,1,1)$, $(1,0,1)$, $(0,1,0)$, $(0,1,1)$, $(0,0,1)$.

Тогда

$$f_3 = \sum_i x_i = \sum (x_{0i} + x_{ri} \cdot \alpha_i + y_{i0} \cdot \beta_i + x_{ci} \cdot \gamma_i) \rightarrow \max. \quad (9)$$

Введем ограничения:

$$\sum_i x_i = \sum_i (x_{0i} + x_{ri} \cdot \alpha_i + y_{i0} \cdot \beta_i + x_{ci} \cdot \gamma_i) = z \quad (10) \quad \text{либо}$$

$$t_i = \max \left(\frac{l_k^i}{v_k} + \tau_k^i \right) \leq \bar{T} \quad (11)$$

$$l_k^i \leq R. \quad (12)$$

Очевидно, что $x_i \geq 0$:

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad T = \begin{pmatrix} t_1 \\ \vdots \\ t_n \end{pmatrix} \quad C = C_B(T) = \begin{pmatrix} c_1(t_1) \\ \vdots \\ c_n(t_n) \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Проведены модельные эксперименты, в которых необходимо было выбрать порожние вагоны компаний-операторов, находящиеся в данный момент времени на станциях, расположенных на выбранном полигоне железнодорожной сети, для подсыла их на станции погрузки по государственным заказам. Ниже приведен пример исходных данных (табл. 1), где КПП, КРГ, ФГК (АО «Федеральная грузовая компания»), ПГК (АО «Первая Грузовая Компания») и т. д. — обозначение видов подвижного состава в порожнем, груженом состоянии и в резерве, принадлежащем государственным и частным компаниям-операторам.

Выбор оптимальных вариантов производится по следующим критериям оптимальности:

- целевая функция 1 по X (затраты на доставку порожнего подвижного состава)

$$f_1(X) = \sum_{k=1}^n (C_k x_k) \rightarrow \min; \quad (14)$$

- целевая функция 2 по T (срок доставки до мест погрузки)

$$f_2(T) = t_i \rightarrow \min; \quad (15)$$

- целевая функция 3 по X (выполнение всех заявок на порожние вагоны)

$$f_3(X) = \sum_{s=1}^n x_s \rightarrow \max \quad (16)$$

$$f_4 = -f_3(X) \rightarrow \min. \quad (17)$$

При этом:

$$Y = (X, T) \in R^{n+n} \Leftrightarrow Y = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \\ t_1 \\ \vdots \\ t_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \\ y_{n+1} \\ \vdots \\ y_{n+n} \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Таким образом:

$$F(Y) = (f_1(X), f_2(T), f_4(X)) \rightarrow \min, \quad (19)$$

$$G(y = f(x)) = \{(x, y) \mid x \in x, y \in y\}, \quad (20)$$

$y = f(x)$ в плоскости $хоу$.

Векторное значение будет выглядеть следующим образом:

$$D: \begin{cases} X > 0 \\ \max_i y_i \leq T_0 \\ \sum_{k=1}^n y_k = Z \\ l_k^i \leq R, i, k = 1 \dots n \end{cases} \quad (21)$$

Так как в примере моделирования задано условие полного обеспечения всех заявок, то для учета рисков в качестве третьего критерия выступает критерий удаленности от мест погрузки.

Результатом моделирования являются таблицы сравнения таких показателей, как время

ТАБЛИЦА 1. Набор из 10 операторов для отбора вагонов

Название/номер оператора	Время подсыла (Т)	Затраты (С)	Расстояние от места дислокации ПС до места подсыла (L)																								
				КПГ	КРГ	КТГ	КПЧ	КРЧ	КТЧ	ППГ	ПРГ	ПТГ	ППЧ	ПРЧ	ПТЧ	УППГ	УПРГ	УПТГ	УППЧ	УПРЧ	УПТЧ	ФГ	КТ	ФЧ	КЧ		
1	8	94961	107	0	0	0	27	9	0	0	0	0	0	36	14	1	0	0	0	0	20	14	2	0	0	14	26
2	14	192115	182	0	0	0	36	27	3	0	0	0	29	15	2	0	0	0	0	43	16	4	0	0	5	25	
3	8	88869	81	27	32	2	0	0	0	25	18	1	0	0	0	31	37	3	0	0	0	19	40	0	0	0	
4	8	99577	183	0	0	0	25	46	2	0	0	0	47	6	4	0	0	2	32	48	3	0	0	17	17	0	
5	6	69549	64	26	48	1	0	0	0	6	20	1	0	0	0	2	34	0	0	0	0	23	32	0	0	0	
6	8	117310	186	0	0	0	34	38	3	0	0	0	11	32	0	0	0	0	20	15	1	0	0	39	12	0	
7	12	164632	153	0	0	0	15	20	1	0	0	0	8	23	0	0	0	0	43	1	6	0	0	43	12	0	
8	10	127332	127	0	0	0	43	39	0	0	0	0	3	42	0	0	0	0	41	11	1	0	0	22	19	0	
9	7	68858	68	0	0	0	30	21	3	0	0	0	24	29	1	0	0	0	48	15	2	0	0	33	5	0	
10	8	185994	107	0	0	0	0	32	0	0	0	0	26	35	1	0	0	0	46	5	5	0	0	47	29	0	

подсыла вагонов, затраты на организацию и удаленность от мест погрузки. Путем их сравнения методом Парето получаем таблицу с выбранными операторами для подсыла вагонов. Пример с результатами моделирования представлен в табл. 2.

На основе оценки нормализованных результатов моделирования производится выбор оптимальных вариантов методом Парето-оптимизации. На основании приведенного

примера выбраны варианты подбора вагонов у операторов 3, 5 и 9.

Таким образом, результатом выбора является оптимальный набор операторов на полигоне дислокации из числа частных и государственных компаний, вагоны которых должны быть использованы для обеспечения заявок на государственные перевозки. Предлагаемая модель обеспечения железнодорожным подвижным составом государственных перевозок позволит осуществить выбор

ТАБЛИЦА 2. Показатели отбора операторов

Оператор	Время подсыла вагонов, Т (f_1)	Затраты, С (f_2)	Удаленность, L (f_3)
Оператор 1	8	94961	107
Оператор 2	14	192115	182
Оператор 3	8	88869	81
Оператор 4	8	99577	183
Оператор 5	6	69549	64
Оператор 6	8	117310	186
Оператор 7	12	164632	153
Оператор 8	10	127332	127
Оператор 9	7	68858	68
Оператор 10	8	185994	107

подвижного состава на основе комплексирования параметров, что даст возможность принимать оптимальные решения, минимизировать не только время, но и затраты на перевозки.

Список источников

1. Ногин В.Д. Множество и принцип Парето. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2020. 100 с.
2. Леонова Н.Л. Задачи линейного программирования и методы их решения. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. 75 с.
3. Минькова Р.М., Чуксина Н.В. Векторный анализ в примерах и задачах. Екатеринбург: УРФУ, 2013. 65 с.
4. Абрамов А.А. Математическое моделирование транспортных процессов. М.: РГОТУПС, 2002. 128 с.
5. Партыкина Т.Л., Попов И.И. Математические методы. М.: Форум, Инфа-М, 2005. 464 с.
6. Экономико-математические методы и прикладные модели / В.В. Федосеев и др. М.: Юнити, 2002. 392 с.
7. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики. М.: Энергоатомиздат, 1987. 496 с.
8. Ахмадиев Ф.Г., Гильфанов Р.М. Математическое моделирование и методы оптимизации. Казань: КГАСУ, 2017. 178 с.
9. Кобозева Н.Г., Новичихин А.В. Разработка метода оценки рисков обеспечения железнодорожным подвижным составом государственных перевозок в условиях чрезвычайных ситуаций // Из-

вестия Петербургского университета путей сообщения. 2023. № 2. С. 424–432.

10. Об оказании услуг по организации и осуществлению воинских и специальных железнодорожных перевозок: постановление Правительства РФ от 31.12.2016 № 1590 (ред. от 18.02.2023). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_210605 (дата обращения: 10.06.23).
11. Правила перевозок грузов, порожних грузовых вагонов железнодорожным транспортом: приказ Министерства транспорта РФ от 27.07.2020 № 256.
12. Об утверждении порядка проведения аукциона по привлечению железнодорожного подвижного состава и контейнеров: приказ ФАС России от 19.10.2017 № 1384/17 (ред. от 02.07.2018).
13. Об утверждении Порядка разработки и определения технологических сроков оборота вагонов и технологических норм погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов: приказ МПС РФ от 29.09.2003 № 67.

Дата поступления: 20.01.2026

Решение о публикации: 23.02.2026

Контактная информация:

КОБОЗЕВА Нона Гивиевна — ст. преподаватель кафедры «Логистика и коммерческая работа»; nonakobozeva@yandex.ru
 НОВИЧИХИН Алексей Викторович — д-р техн. наук, зав. кафедрой «Логистика и коммерческая работа»; novitchihin@bk.ru

The choice of the rolling stock for public transportation: problem statement and solution approaches

N.G. Kobozeva, A.V. Novichikhin

St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I, 9 Moskovsky pr., Saint Petersburg 190031, Russia

For citation: *Kobozeva N.G., Novichikhin A.V.* The choice of the rolling stock for public transportation: problem statement and solution approaches // Proceedings of Petersburg State Transport University, 2026. Vol. 23, iss. 1. Pp. 101–107. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-101-107. (In Russian)

Abstract

Objective: the study addresses the optimization of empty-wagon flows to ensure the provision of required public-transport volumes with an adequate fleet by solving a multi-criteria optimization issue. **Methods:** the approach is based on modelling alternative schemes for railcar allocation aimed at satisfying all public transportation requests. **Results:** a method for optimizing empty railcar movements has been developed, which reduces the time and cost of public transportation while explicitly accounting for the risk of failing to meet regulatory deadlines. **Practical significance:** the proposed approach offers a novel framework for selecting empty-wagon allocation options to support public transportation. It has potential applications in organizing other transport modalities, and can be employed by private operators competing in the transport services market.

Keywords: railway transportation, optimal wagon-loading options, public transportation, efficiency, empty-wagon flows

References

1. Nogin V.D. Mnozhestvo i printsip Pareto. SPb.: Izdatel'sko-poligraficheskaya assotsiatsiya vysshikh uchebnykh zavedenij, 2020. 100 s. (In Russian)
2. Leonova N.L. Zadachi linejnogo programirovaniya i metody ikh resheniya. SPb.: VShTE SPbGUPTD, 2017. 75 s. (In Russian)
3. Min'kova R.M., Chuksina N.V. Vektornyj analiz v primerakh i zadachakh. Ekaterinburg: URFU, 2013. 65 s. (In Russian)
4. Abramov A.A. Matematicheskoe modelirovanie transportnykh protsessov. M.: RGOTUPS, 2002. 128 s. (In Russian)
5. Partykina T.L., Popov I.I. Matematicheskie metody. M.: Forum, Infa-M, 2005. 464 s. (In Russian)
6. Ekonomiko-matematicheskie metody i prikladnye modeli / V.V. Fedoseev i dr. M.: Yuniti, 2002. 392 s. (In Russian)
7. Korshunov Yu.M. Matematicheskie osnovy kibernetiki. M.: Energoatomizdat, 1987. 496 s. (In Russian)
8. Akhmadiev F.G., Gil'fanov R.M. Matematicheskoe modelirovanie i metody optimizatsii. Kazan': KGASU, 2017. 178 s. (In Russian)
9. Kobozeva N. G., Novichikhin A.V. Razrabotka metoda otsenki riskov obespecheniya zheleznodorozhnym podvizhnym sostavom gosudarstvennykh perezovok v usloviyakh chrezvychajnykh situatsij // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. 2023. No. 2. S. 424–432. (In Russian)
10. Ob okazanii uslug po organizatsii i osushchestvleniyu voinskikh i spetsial'nykh zheleznodorozhnykh perezovok: postanovlenie Pravitel'stva RF ot 31.12.2016 No. 1590 (red. ot 18.02.2023). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_210605 (data obrashcheniya: 10.06.23). (In Russian)
11. Pravila perezovok gruzov, porozhnykh gruzovykh vagonov zheleznodorozhnym transportom: prikaz Ministerstva transporta RF ot 27.07.2020 No. 256. (In Russian)
12. Ob utverzhdenii poryadka provedeniya auktsiona po privlecheniyu zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava i kontejnerov: prikaz FAS Rossii ot 19.10.2017 No. 1384/17 (red. ot 02.07.2018). (In Russian)
13. Ob utverzhdenii Poryadka razrabotki i opredeleniya tekhnologicheskikh srokov oborota vagonov i tekhnologicheskikh norm pogruzki gruzov v vagony i vygruzki gruzov iz vagonov: prikaz MPS RF ot 29.09.2003 No. 67. (In Russian)

Received: 20.01.2026

Accepted: 23.02.2026

Author's information:

Nona G. KOBOZEVA — Senior Lecturer of the Department “Logistics and Commercial work”; nona-kobozeva@yandex.ru
Alexey V. NOVICHIKHIN — Dr. Sci. in Engineering, Head of the Department “Logistics and Commercial Work”; novichihin@bk.ru