

Научная статья  
УДК 164:004  
doi: 10.46684/2687-1033.2025.1.69-75  
EDN RYNVRC

## Практические инструменты цифровизации в логистике: метод «рюкзак» и динамическое программирование

**В.И. Новикова<sup>1</sup>, А.М. Ульянов<sup>2</sup>, Н.Ю. Егорова<sup>3✉</sup>, Ю.В. Коровяковская<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС);

г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup> vika10nov2002@gmail.com

<sup>2</sup> artspb2002@gmail.com

<sup>3</sup> egorova\_nyu@mail.ru✉

<sup>4</sup> yulyakor@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

Представлено многообразие подходов к определению логистики, в том числе схематичное изображение классификации видов и основных функций логистики в авторской интерпретации.

Дано обоснование вариативности методик расчетов логистических параметров, подкрепленное наглядными примерами из теории и практики логистики. Отмечено, что многие решения логистических задач связаны с понятиями оптимальности и методами оптимизации, так как зачастую сводятся к нахождению оптимального маршрута, оптимума ресурсного обеспечения, распределительной политики, производственного управления, т.е. к оптимальному ответу, что достигается за счет, например, сокращения времени на доставку груза посредством выбора наиболее выгодного поставщика и перевозчика, а также благодаря внедрению современных цифровых технологий.

Аргументировано утверждение, что для получения наилучшего (достоверного и точного) результата необходимо рассмотреть весь логистический процесс не только с точки зрения управленческого подхода, но и методов математического анализа. В связи с этим акцентируется внимание на возможностях синергии классической и цифровой логистики с математикой и информатикой для решения логистических задач. Особое внимание уделено практическому использованию в вычислениях и аналитических выводах для целей логистического планирования и учета по методу «рюкзак» и динамическому программированию. В условиях цифровой трансформации экономики в целом и логистических процессов в частности эти подходы приобретают новое актуальное прочтение и практическую значимость.

**Ключевые слова:** цифровизация логистики; «оптимизация» и «оптимальность» в логистике; практическое решение логистических задач; «задача о рюкзаке»; динамическое программирование в логистике; транспортная логистика

**Для цитирования:** Новикова В.И., Ульянов А.М., Егорова Н.Ю., Коровяковская Ю.В. Практические инструменты цифровизации в логистике: метод «рюкзак» и динамическое программирование // Техник транспорта: образование и практика. 2025. Т. 6. Вып. 1. С. 69–75. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2025.1.69-75>. EDN RYNVRC.

Original article

### Practical tools for digitalization in logistics: “knapsack” method and dynamic programming

**Victoria I. Novikova<sup>1</sup>, Artem M. Ulyanov<sup>2</sup>, Natalya Yu. Egorova<sup>3✉</sup>, Yulia V. Korovyakovskaya<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS); Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>1</sup> vika10nov2002@gmail.com

<sup>2</sup> artspb2002@gmail.com

<sup>3</sup> egorova\_nyu@mail.ru✉

<sup>4</sup> yulyakor@mail.ru

© В.И. Новикова, А.М. Ульянов, Н.Ю. Егорова, Ю.В. Коровяковская, 2025

**ABSTRACT**

The article presents a variety of approaches to the definition of logistics, including a schematic representation of the classification of types and main functions of logistics in the author's interpretation.

A justification is given for the variability of methods for calculating logistics parameters, supported by illustrative examples from the theory and practice of logistics. It is noted that many solutions to logistics problems are associated with the concepts of optimality and optimization methods, since they often come down to finding the optimal route, optimal resource provision, distribution policy, production management, that is, to the optimal answer, which is achieved by, for example, reducing time for cargo delivery by choosing the most profitable supplier and carrier, as well as through the introduction of modern digital technologies.

It is argued that in order to obtain the best (reliable and accurate) result, it is necessary to consider the entire logistics process not only from the point of view of a management approach, but also methods of mathematical analysis. In this regard, the article focuses on the possibilities of synergy between classical and digital logistics with mathematics and computer science to solve logistics problems. Particular importance is given to the practical use of the "backpack" method and dynamic programming in calculations and analytical conclusions for the purposes of logistics planning and accounting. In the context of the digital transformation of the economy in general, and logistics processes in particular, these approaches are acquiring a new, relevant interpretation and practical significance.

**Keywords:** digitalization of logistics; "optimization" and "optimality" in logistics; practical solution of logistics challenges; "knapsack problem"; dynamic programming in logistics; transport logistics

**For citation:** Novikova V.I., Ulyanov A.M., Egorova N.Yu., Korovyakovskaya Yu.V. Practical tools for digitalization in logistics: "knapsack" method and dynamic programming. *Transport technician: education and practice*. 2025;6(1).69-75. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2025.1.69-75>. EDN RYNVRC. (In Russ.).

**ВВЕДЕНИЕ**

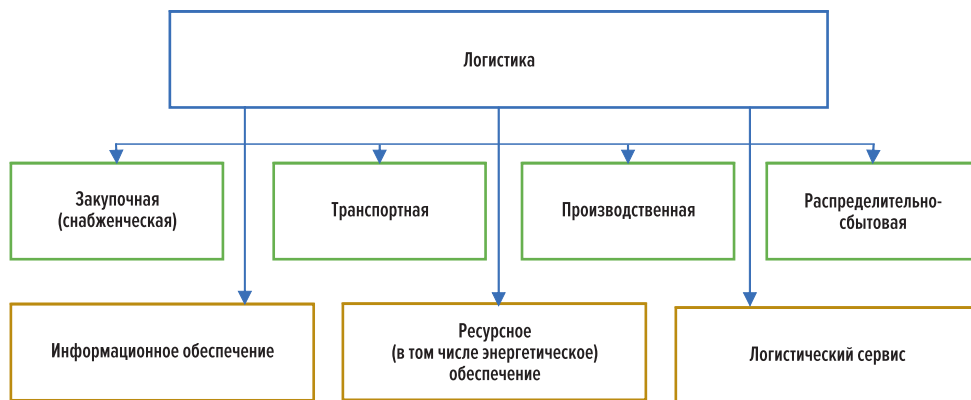
Научное сообщество констатирует, что цифровая трансформация экономики в целом [1–3] и непосредственно логистических процессов [4–6] требует переосмысления накопленного научного опыта и знаний, которые используются недостаточно, поскольку плоды цифровизации открывают новые горизонты и масштабы применения расчетных и аналитических методов [7–9].

Почти в каждой учебной литературе по логистике можно встретить термин «оптимизация» и «оптимальность», что закономерно, поскольку все решения логистических задач сводятся к нахождению оптимального маршрута, оптимума ресурсного обеспечения, распределительной политики, производственного управления, т.е. к оптимальному ответу [10, 11]. Это достигается за счет, например, сокращения времени на доставку груза посредством выбора наиболее выгодного поставщика и перевозчика благодаря внедрению современных цифровых технологий и т.д. Однако для точного получения результата необходимо рассмотреть весь логистический процесс, причем не только с точки зрения управленческого подхода, но и методов математики [12, 13].

У термина «логистика» нет единого (универсального и общепринятого) определения. Мы можем рассматривать ее, как научное направление,

цель которого — поиск новых возможностей повышения эффективности материальных потоков. С другой стороны, логистика является направлением хозяйственной деятельности, суть которого заключается в управлении материальными и сопутствующими ему потоками. В научном представлении и с точки зрения практического применения выделяют несколько видов логистики [1–13]. На схеме приведена наглядная, по мнению авторов данного исследования, классификация логистики и ее основных функций (рис. 1).

На рис. 1 видно, что существует много видов логистики, которые рассматривают определенную область логистического процесса. Например, закупочная логистика занимается постоянным снабжением товарами, материалами и сырьем для поддержания производственного процесса. Авторами сознательно не включена в схему складская логистика и логистика запасов, поскольку на современном этапе научно-технического прогресса и в условиях цифровой трансформации производства и логистики в направлении концепций Industry 4.0 и Logistics 4.0 имеются все возможности оптимально управлять товарно-материальными потоками производственных и торговых предприятий с использованием интегрированных информационных систем на принципах известных концепций Just-in-time, Learn Production, Kanban без образования запасов, а управление товарными потоками круп-



**Рис. 1.** Обобщенная классификация видов логистики (схема построена авторами с использованием научных подходов [1–13])

ных терминально-складских комплексов вполне вписывается в функционал представленных в классификации видов логистики.

Логистика:

- Закупочная (снабженческая).
- Транспортная.
- Производственная.
- Распределительно-сбытовая.
- Информационное обеспечение.
- Ресурсное (в том числе энергетическое) обеспечение.
- Логистический сервис.

В настоящей статье авторы помимо непосредственно научных подходов к логистике акцентируют внимание на возможностях синергии с математикой и информатикой для решения логистических задач. Особое значение уделяется расчетам по методу «рюкзак» и программированию. Первое упоминание о методе «рюкзак» было в конце XIX в. в работах английского математика Джорджа Балларда Мэтьюса (George Ballard Mathews) [14], а сформулировал «задачу о рюкзаке» американский математик Джордж Бернард Данциг (George Bernard Dantzig), которого по праву можно назвать основоположником и разработчиком симплекс-метода и линейного программирования [15].

В условиях цифровой трансформации экономики в целом и логистических процессов в частности эти подходы приобретают новое актуальное прочтение и практическую значимость.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В каждом разделе (классификационном виде) логистики решаются, помимо общих, свои специфические задачи. Следовательно, и методы их решения тоже отличаются. Например, в транспортной логистике зачастую требуется составить оптимальный маршрут, в том числе спланировать транспортировку в рамках отечественной тран-

спортно-логистической инфраструктуры и при необходимости — по международному транспортному коридору, выбрать оптимальные способы транспортировки и транспортные средства (особенно при интермодальной и мультимодальной перевозке грузов). Для этого используют метод северо-западного угла, метод наименьшего элемента и другие известные научно-практические подходы.

Стоит отметить, что в последнее время особую актуальность приобрели логистические прогнозы и сценарии возможных альтернативных каналов цепей поставки в условиях сложных и динамично меняющихся геополитических условий с учетом факторов риска и неопределенности, меняющейся географии поставок сырья и материалов, структуры и объемов рынков сбыта.

Есть еще один метод, который нечасто применяется для решения логистических задач, но видится авторами данного исследования весьма продуктивным, имеющим большую практическую значимость и потенциал применения. Этот метод называется «задача о рюкзаке» (англ. knapsack problem) или просто «рюкзак». Данный метод получил такое название, потому что напоминает практическую ситуацию из жизни — необходимость поместить больше ценных предметов, не превышая возможности рюкзака. То есть в данной задаче фигурируют три переменные (рис. 2).



**Рис. 2.** Визуальное представление метода «рюкзак» в логистике (рисунок авторов)

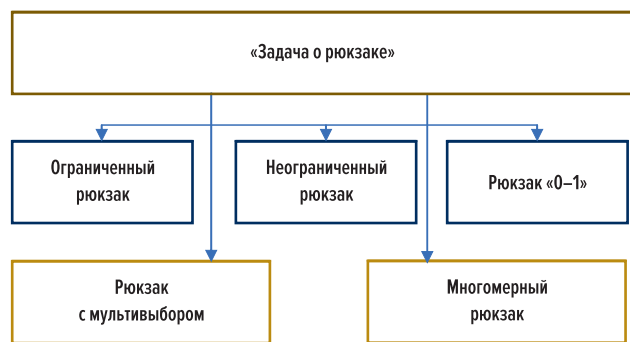


Рис. 3. Разновидности задач о рюкзаке (рисунок авторов)

Этот метод может найти широкое практическое применение в транспортной логистике, а именно при заполнении транспортных средств (ТС): вагонов, самолетов и т.д., так же «задачу о рюкзаке» можно рекомендовать для оптимального размещения товарно-материальных ценностей на складах.

Из-за того, что существует множество факторов, которые могут повлиять на ТС или склад, формулировка задач может выглядеть разной, например: когда у нас не одно ТС. Для большей наглядности была составлена схема разновидности задач о рюкзаке (рис. 3).

Из всех вариаций наиболее часто встречаются задачи с многомерным ограниченным рюкзаком, когда к переменным веса и ценности добавляется дополнительный параметр (к примеру, объем груза). При этом груз может быть выбран только некоторое количество раз (в основном один).

Рассмотрим на условном примере использование метода на железнодорожном транспорте: предположим, нам нужно поместить в грузовой вагон, имеющий определенные логистические параметры (в частности, грузоподъемность), 100 бочек, которые характеризуются такими параметрами:

1) ценность груза (здесь мы можем сами установить, что является ценным при погрузке, допустим, насколько жизненно необходим этот груз и срочен);

2) вес груза;

3) объем груза (дополнительный параметр).

При этом очевидно каждую бочку в вагон мы можем загрузить только один раз. Так можно применить в транспортной логистике метод «рюкзак», что выглядит достаточно просто и полезно, но, безусловно, требует внимательного использования, чтобы не упустить из виду критически значимые факторы (например, требования безопасности, совместимости грузов и т.п.).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В логистике метод «рюкзак» по своей сути является задачей комбинаторной оптимизации. Поэтому в логистических реалиях задача о рюкзаке звучала бы следующим образом: предположим, что в грузовое ТС необходимо вместить  $n$  предметов. Каждый из них имеет свою стоимость (ценность)  $v_i$  и вес  $w_i$ , причем  $v_i > 0$  и  $w_i > 0$ , где  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $C$  — грузоподъемность ТС. Необходимо разработать оптимальный план загрузки: по максимизации ценности грузов и не превышая грузоподъемность. Проблема заключается в том, что не учитывается ряд условий. Например, некоторые грузы должны быть доставлены быстрее остальных и имеют приоритет, какие-то грузы могут иметь большой объем и при этом незначительный вес, что также ведет к изменению определения ценности.

Такую задачу можно решить несколькими способами.

«Простой перебор» представляет собой полный перебор всех возможных решений. Этот метод удобно применять, если у нас небольшое количество груза.

«Метод ветвей и границ» — разновидность простого перебора, при этом изначально исключаются заведомо неоптимальные решения.

Суть динамического программирования заключается в том, что оптимальное решение на определенном шаге находится исходя из найденных ранее оптимальных решений на предыдущих шагах.

Чтобы разобраться в сути методик, продемонстрируем решение данной задачи с помощью простого перебора.

Исходные данные: предположим, в вагон грузоподъемностью 50 т необходимо загрузить 4 груза наиболее оптимально, зная «ценность» груза и вес.

Решение будет выглядеть следующим образом. Учитываем, что задан ограничитель — грузоподъемность. Анализируя исходные данные из табл. 1, видно, что образовывается несколько вариаций, для удобства сведенных в матрицу 1 (табл. 2)

Таблица 1

Исходные данные для решения логистической задачи

№ п/п	Логистические параметры		
	Груз	Вес, т	Ценность
1	1	10	1
2	2	20	2
3	3	30	3
4	4	40	5

Таблица 2

Матрица возможных вариантов загрузки вагона

Вариант загрузки	Расчет веса, т	Ценность
1 груз и 2-й груз	$10 + 20 = 30$	$1 + 2 = 3$
1 груз и 3-й груз	$10 + 30 = 40$	$1 + 3 = 4$
1 груз и 4-й груз	$40 + 10 = 50$	$1 + 5 = 6$
2 груз и 3-й груз	$20 + 30 = 50$	$2 + 3 = 5$
2-й груз и 4-й груз	$20 + 40 = 60$ – этот вариант не подходит, так как выходит за ограниченную грузоподъемность	Ценность не считаем
3-й груз и 4-й груз	$30 + 40 = 70$ – этот вариант не подходит, так как выходит за ограниченную грузоподъемность	Ценность не считаем

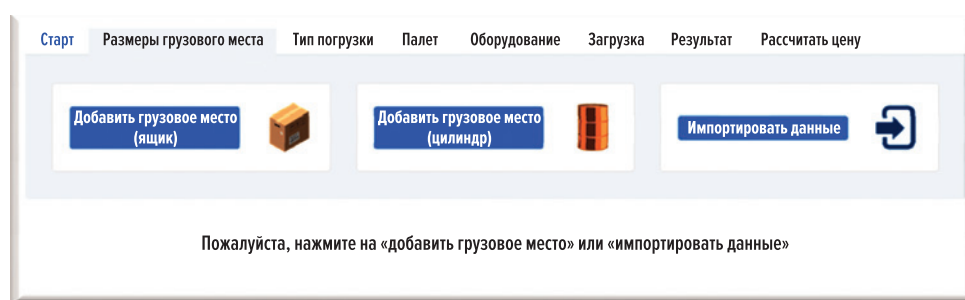


Рис. 4. Практическое отражение цифровизации в логистике: применение метода «рюкзак» и динамического программирования<sup>1</sup>

Ответ: оптимальная загрузка будет 1 и 4-й груз, так как максимальная ценность и максимальная загрузка.

Как было отмечено ранее, при небольшом количестве груза и при двух параметрах задача легко решается обычным перебором.

Задачи о «неограниченном рюкзаке», о «рюкзаке 0–1» и другие можно решить методами динамического программирования.

Уже сейчас существует множество программ, которые могут решать такие задачи быстрее и качественней, например: 3D Load Calculator — программа, которая позволяет оптимально расположить груз внутри контейнера и грузовика (рис. 4). В отличие от простого перебора данная программа учитывает размер груза, что является наиболее жизненным.

## ВЫВОДЫ

Предложено практическое использование математического метода «рюкзак» и динамического программирования в логистике, продемонстрировано разнообразие вариантов и решения на примере логистической задачи с заданными вариативными параметрами грузоперевозки. Несмотря

на известность, проработанность и достаточную простоту в расчетах, рассмотренный метод нельзя назвать популярным, поскольку он не так часто используется в планировании и оценке логистической деятельности.

Этому видится закономерное объяснение, поскольку не всегда придается значение и соответственно не учитывается влияние внешних факторов, конкретных физических характеристик и логистических параметров, что не позволяет однозначно трактовать найденное решение как оптимальный вариант. В транспортной логистике часто имеет значение, что некоторые грузы должны быть доставлены быстрее остальных и имеют приоритет, в таком случае приходится корректировать решение оптимизации загрузки с учетом этого условия.

Можно было бы назвать это обстоятельство «погрешностью», однако такое пренебрежение в какой-то ситуации может иметь негативные последствия или не отвечать заданным требованиям «оптимальности».

Таким образом, следует сделать вывод о том, что для решения сложных логистических задач с множеством значимых заданных параметров, ограничений, переменных и вариативности решений, оптимальности можно достичь только в синергии классической и цифровой логисти-

<sup>1</sup> URL: <https://www.pier2pier.com/>

ки с математикой и информатикой. В условиях цифровой трансформации экономики в целом и логистических процессов в частности эти подходы находят новое актуальное прочтение и могут быть переосмыслены и применены для получения

максимально точных и достоверных результатов благодаря динамическому программированию, а в дальнейшем станут еще более простыми и, несомненно, популярными благодаря внедрению искусственного интеллекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальные вопросы инженерного предпринимательства в условиях Индустрии 4.0 / под ред. М.А. Дроздовой, О.Д. Покровской. М.: РИОР, 2023. 461 с. DOI: 10.29039/02120-0. EDN KOXWDP.

2. Фурсова Е.А. 6.1. Стратегическое развитие цифровой экономики в России, Европе и США: универсальные проекты машинного интеллекта, единый цифровой рынок и доступные цифровые финансы // Международная и российская практика управления финансовыми процессами в период цифровизации экономики: коллективная монография. 2020. С. 183–194. EDN EZLFET.

3. Фурсова Е.А. «Беспилотники»: технологии цифровой трансформации и экологизации экономики и менеджмента // Инновационные подходы развития экономики и управления в XXI веке: сборник трудов II Международной научно-практической конференции. 2021. С. 168–173. EDN OOXZLU.

4. Давыдова О.А., Лазарева Н.А., Фурсова Е.А. Цифровая среда экономики транспорта: от смарт-контрактов до беспилотных логистических коридоров // Финансовая экономика. 2022. № 4. С. 105–109. EDN TJWTSG.

5. Котт А.Г., Легкодимов Д.А., Фурсова Е.А. Трансформация бизнес-систем и технологий международной логистики под влиянием трендов цифровизации // Техник транспорта: образование и практика. 2024. Т. 5. № 1. С. 83–88. DOI: 10.46684/2687-1033.2024.1.83-88. EDN BYMVLJ.

6. Кравченко Л.А., Фурсова Е.А. Цифровая трансформация российских железных дорог // III Бетанкуровский международный инженерный форум: сборник трудов 2021. С. 219–221. EDN MJOXSP.

7. Любименко А.И., Фурсова Е.А. Управленческие аспекты цифровизации транспортно-логистической экосистемы // Техник транспорта: образование и практика. 2024. Т. 5. № 1. С. 77–82. DOI: 10.46684/2687-1033.2024.1.77-82. EDN HNNLNT.

8. Земенцкий Ю.В., Фурсова Е.А., Аминова Ф.И., Звягина Е.М., Румянцева А.Ю. и др. Особенности управления финансами в условиях развития цифровой экономики. СПб.: СПбУТиЭ, 2018. 252 с. EDN YQYFKH.

9. Покровская О.Д., Титова Т.С. Инструментарий логистического нормирования для проведения аудита транспортно-складских систем // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2019. Т. 16. № 2. С. 175–190. DOI: 10.20295/1815-588X-2019-2-175-190. EDN HRYJIA.

10. Покровская О.Д., Новикова И.Д., Заблоцкая К.А. О цифровой платформе «Терминальная сеть» // Бюллетень результатов научных исследований. 2020. № 2. С. 20–32. DOI: 10.20295/2223-9987-2020-2-20-32. EDN YLQSKP.

11. Тропынина Н.Е., Фурсова Е.А. Мировые и отечественные тенденции развития аутсорсинга в условиях цифровой трансформации промышленности // Развитие финансовых отношений в период становления цифровой экономики: материалы II Международной научно-практической конференции. 2019. С. 146–151. EDN ARXUDK.

12. Drozdova M., Fursova E. Peculiarity and functionality of the digital educational ecosystem for transport and logistics // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 383. P. 03001. DOI: 10.1051/e3s-conf/202338303001. EDN UFRDOV.

13. Gorbunova M., Novichikhin A. Improvement of the system of transport-transfer hubs on the example of St. Petersburg agglomeration // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 383. P. 01006. DOI: 10.1051/e3sconf/202338301006. EDN YYQZVS.

14. Mathews G.B. On the partition of numbers // Proceedings of the London Mathematical Society. 1896. Vol. s1–28. Issue 1. Pp. 486–490. DOI: 10.1112/plms/s1-28.1.486

15. Cottle R.W. George B. Dantzig: a legendary life in mathematical programming // Mathematical Programming. 2005. Vol. 105. Issue 1. Pp. 1–8. DOI: 10.1007/s10107-005-0674-4

## REFERENCES

1. *Current issues of engineering entrepreneurship in the conditions of Industry 4.0* / Edited by M.A. Drozdova, O.D. Pokrovskaya. Moscow, RIOR, 2023;461. DOI: 10.29039/02120-0. EDN KOXWDP. (In Russ.).

2. Fursova E.A. 6.1. Strategic development of the digital economy in Russia, Europe and the USA: universal projects of machine intelligence, a single digital market and accessible digital finance. *International and Russian practice of managing financial processes during the digitalization of the economy: collective monograph*. 2020;183-194. EDN EZLFET. (In Russ.).

3. Fursova E.A. "UAVs": technologies of digital transformation and greening of the economy and management. *Innovative approaches to the development of economics and management in the XXI century*. 2021;168-173. EDN OOXZLU. (In Russ.).

4. Davydova O.A., Lazareva N.A., Fursova E.A. Digital environment of the transport economy: from smart contracts to unmanned logistics corridors. *Financial Economy*. 2022;4:105-109. EDN TJWTSG. (In Russ.).

5. Kott A.G., Legkodymov D.A., Fursova E.A. Transformation of business systems and international logistics technologies under the influence of digitization trends. *Transport Technician: Education and Practice*. 2024;5(1):83-88. DOI: 10.46684/2687-1033.2024.1.83-88. EDN BYMVLJ. (In Russ.).

6. Kravchenko L.A., Fursova E.A. Digital transformation of Russian railways. *III Betancourt International Engineering Forum*. 2021;219-221. EDN MJOXSP. (In Russ.).

7. Lyubimenco A.I., Fursova E.A. Managerial aspects of digitalization of the transport and logistics ecosystem. *Trans-*

port Technician: Education and Practice. 2024;5(1):77-82. DOI: 10.46684/2687-1033.2024.1.77-82. EDN HNNLNT. (In Russ.).

8. Zementskiy Yu.V., Fursova E.A., Aminova F.I., Zvyagina E.M., Rumyantseva A.Yu. et al. Features of financial management in the development of a digital economy. St. Petersburg, SPbUTiE, 2018;252. EDN YQYFKH. (In Russ.).

9. Pokrovskaya O.D., Titova T.S. The tools of logistic rationing for conducting audit of storage-retrieval systems. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2019;16(2):175-190. DOI: 10.20295/1815-588X-2019-2-175-190. EDN HRYJIA. (In Russ.).

10. Pokrovskaya O.D., Novikova I.D., Zabolotskaya K.A. Description of the “terminal network” digital platform. *Bulletin of Scientific Research Results*. 2020;2:20-32. DOI: 10.20295/2223-9987-2020-2-20-32. EDN YLQSKP. (In Russ.).

11. Tropynina N.E., Fursova E.A. Global and domestic trends in the development of outsourcing in the conditions of digital transformation of industry. *Development of financial relations during the*

*formation of the digital economy: materials of the II International scientific and practical conference*. 2019;146-151. EDN ARXUDK. (In Russ.).

12. Drozdova M., Fursova E. Peculiarity and functionality of the digital educational ecosystem for transport and logistics. *E3S Web of Conferences*. 2023;383:03001. DOI: 10.1051/e3s-conf/202338303001. EDN UFRDOV.

13. Gorbunova M., Novichikhin A. Improvement of the system of transport-transfer hubs on the example of St. Petersburg agglomeration. *E3S Web of Conferences*. 2023;383:01006. DOI: 10.1051/e3sconf/202338301006. EDN YYQZVS.

14. Mathews G.B. On the partition of numbers. *Proceedings of the London Mathematical Society*. 1896;s1-28(1):486-490. DOI: 10.1112/plms/s1-28.1.486

15. Cottle R.W. George B. Dantzig: a legendary life in mathematical programming. *Mathematical Programming*. 2005;105(1):1-8. DOI: 10.1007/s10107-005-0674-4

## Об авторах

**Виктория Ивановна Новикова** — обучающийся; **Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)**; 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9; vika10nov2002@gmail.com;

**Артем Михайлович Ульянов** — обучающийся; **Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)**; 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9; artspb2002@gmail.com;

**Наталья Юрьевна Егорова** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Логистика и коммерческая работа»; **Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)**; 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9; SPIN-код: 3988-0640, РИНЦ ID: 1063642; egorova\_nyu@mail.ru;

**Юлия Владимировна Коровяковская** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Логистика и коммерческая работа»; **Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)**; 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9; SPIN-код: 3737-9960, РИНЦ ID: 351784; yulyakor@mail.ru.

## Bionotes

**Victoria I. Novikova** — student; **Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)**; 9 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russian Federation; vika10nov2002@gmail.com;

**Artem M. Ulyanov** — student; **Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)**; 9 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russian Federation; artspb2002@gmail.com;

**Natalya Yu. Egorova** — Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department “Logistics and Commercial work”; **Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)**; 9 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russian Federation; SPIN-code: 3988-0640, ID RSCI: 1063642; egorova\_nyu@mail.ru;

**Yulia V. Korovyakovskaya** — Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department “Logistics and Commercial work”; **Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)**; 9 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russian Federation; SPIN-code: 3737-9960, ID RSCI: 351784; yulyakor@mail.ru.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
 Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.  
 The authors declare no conflicts of interests.

Автор, ответственный за переписку: Наталья Юрьевна Егорова, egorova\_nyu@mail.ru.  
 Corresponding author: Natalya Yu. Egorova, egorova\_nyu@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 17.05.2024; одобрена после рецензирования 21.06.2024; принята к публикации 28.01.2025.  
 The article was submitted 17.05.2024; approved after reviewing 21.06.2024; accepted for publication 28.01.2025.