

Научная статья
УДК 658.7:004.94
doi: 10.46684/2687-1033.2024.2.173-178

Цифровые двойники и их экономически целесообразное использование в сфере логистики

А.В. Майоров^{1✉}, Н.Ю. Егорова²

^{1,2} Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС); г. Санкт-Петербург, Россия

¹ sasha_may00@mail.ru✉

² egorova_nyu@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Дана характеристика технологии цифрового двойника (ЦД), описано ее использование в сфере логистических операций. Рассмотрены цифровизация бизнес-процессов и актуальные концепции Индустрии 4.0 и Логистики 4.0, возможности применения имитационных моделей в условиях улучшения технологической базы информационных систем.

Указана необходимость цифровизации в современной Индустрии 4.0 и Логистике 4.0, поскольку в настоящее время наиболее эффективным способом добиться улучшения производства, скорости перевозок, отзывчивости бизнес-процессов организации является внедрения цифровых технологий, одну из которых представляет ЦД. С его помощью становится возможным создавать виртуальные копии складов, конвейеров и даже городов. Внедрение этой технологии предоставляет новые возможности для анализа данных и безрискового прогноза сценариев поведения цифровой модели, проведения всевозможных стресс-тестов. Данные при интеграции с технологией интернета вещей можно анализировать в реальном времени и сравнивать с другими оцифрованными объектами. Такой подход способствует повышению эффективности работы как конкретного проблемного элемента цепочки поставок, так и всей системы в целом. Можно повысить и безопасность труда рабочих, модель самостоятельно с применением машинного обучения учится на своих ошибках и выдает результаты своей деятельности людям.

Цифровые двойники не только показывают копию требуемого элемента, но и понимают его динамику, прогнозируют поведение, а также способны к анализу собственной деятельности.

Ключевые слова: цифровизация международной логистики; цифровая трансформация бизнес-систем; управление цепями поставок; концепция Индустрия 4.0 и Логистика 4.0; цифровой двойник; гибридное моделирование

Для цитирования: Майоров А.В., Егорова Н.Ю. Цифровые двойники и их экономически целесообразное использование в сфере логистики // Техник транспорта: образование и практика. 2024. Т. 5. Вып. 2. С. 173–178. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2024.2.173-178>.

Original article

Digital twins and their economically effective using in the logistics field

Alexander V. Mayorov^{1✉}, Natalya Yu. Egorova²

^{1,2} Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS); Saint Petersburg, Russian Federation

¹ sasha_may00@mail.ru✉

² egorova_nyu@mail.ru

ABSTRACT

The characteristics of digital twin technology are given and its use in the field of logistics operations is described. The digitalization of business processes and current concepts of Industry 4.0 and Logistics 4.0, the possibility of using simulation models in the context of improving the technological base of information systems are considered.

© А.В. Майоров, Н.Ю. Егорова, 2024

The need for digitalization in modern Industry 4.0 and Logistics 4.0 is indicated, since currently the most effective way to improve production, speed of transportation, and responsiveness of an organization's business processes is the introduction of digital technologies, one of which is a digital twin. With its help, it becomes possible to create virtual copies of warehouses, conveyors and even cities. The introduction of this technology provides new opportunities for data analysis and risk-free forecasting of scenarios for the behavior of a digital model, and conducting all kinds of stress tests. When integrated with Internet of Things technology, data can be analyzed in real time and compared with other digitized objects. This approach helps improve the efficiency of both the specific problematic element of the supply chain and the entire system as a whole. It is also possible to improve the safety of workers; the model independently learns from its mistakes using machine learning and displays the results of its activities to people.

Digital twins not only show a copy of the required element, but also understand its dynamics, predict behavior, and are also capable of analyzing their own activities.

Keywords: digitalization of international logistics; digital transformation of business systems; supply chain management; concept of Industry 4.0 and Logistics 4.0; digital twin; hybrid modeling

For citation: Mayorov A.V., Egorova N.Yu. Digital twins and their economically effective using in the logistics field. *Transport technician: education and practice*. 2024;5(2).173-178. (In Russ.). <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2024.2.173-178>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сфера логистики пришла к новому эволюционному развитию цепочек поставок Логистика 4.0. Под ней подразумевается упор на цифровизацию не только промышленного сектора как в концепции четвертой промышленной революции Индустрии 4.0, т.е. в направлении функционирования бизнеса в сторону внедрения комплексных киберфизических систем, контролирующих и анализирующих промышленный сектор, но и цифровизации физических элементов и транспортных, информационных связей друг с другом [1–3]. Таким образом, возможна взаимная интеграция между этими двумя отраслями, инструменты Индустрии 4.0, такие как интеллектуальные утилиты и технологии интернет вещей, внедрились в логистику, а у логистики появилась возможность более тесно интегрироваться в цифровую промышленность [4–6].

Подобная кооперация позволяет автоматизировать логистические процессы, придать им прозрачность, создает возможность отслеживания объектов в реальном времени, совершенствования интеллектуальных цифровых платформ. В управление производством входят такие компоненты как логистика и цепочка поставок, при этом сама по себе логистика служит частью цепочек поставок, поэтому между этими звеньями производства должны быть выстроены отзывчивые связи, которые исключали бы возможность неэффективной работы внутренних систем [7–9]. Сегодня этому активно помогает цифровизация всевозможных бизнес-процессов, в нее входят комплексные ав-

томатизированные технологии, такие как блокчейн, облачные технологии, интернет вещей. Одна из таких технологий, играющих важную роль в современном функционировании цепочек поставок, — цифровой двойник (ЦД). С помощью ЦД можно создать виртуальное изображение процесса, объекта, системы, отражающее особенности поведения, внешний вид своего реального аналога [10–12].

Технология позволяет выполнить безрисковый анализ характеристик объектов, а также построение комплексных систем, таких как склады с возможностью последующего моделирования вариантов поведения отдельных его компонентов или всей системы в целом. Такая сложная компьютерная программа предоставляет инструменты для предсказания событий в реальном времени на основе вложенных инженерами данных. С применением подобного виртуального воспроизведения реальных процессов в дальнейшем осуществляется глубокая аналитика полученного потока информации, центральный компонент удобства заключается в том, что это не несет в себе никаких рисков для физических объектов, т.е. нанятого персонала людей, купленной техники, производственного помещения [13, 14].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Технологию «цифровой двойник» можно внедрить в городскую логистику, но для этого необходимо определить структуру построения такой системы, для чего сначала требуется охарактери-

зовать городские логистические операции. Городская имитационная модель (ИМ) в этом плане кажется более сложной, чем производственная, в которой присутствие человеческого фактора играет менее значимую роль ввиду большего количества технического оборудования, включая роботизированные машины и, соответственно, принятие решений также во многом остается за ними. Согласно представленным исследованиям прогрессивных зарубежных ученых [15, 16], когнитивные ЦД в гибких цепочках поставок должны расширять свою базу данных, узнавая больше от физической исходной модели. Исследование указывает на то, что технология должна связать свои прогнозируемые результаты с фактически наблюдаемыми, изучая желательные и нежелательные результаты. Со временем с помощью этой структуры возможно улучшение способности к обучению на основе прошлых и новых знаний, ЦД будет эффективно использовать методы машинного обучения.

Помимо этого, важным аспектом проектирования ЦД является моделирование — представление системы, которая либо будет в будущем, либо уже существует. Исследователи считают, что создавать стоит упрощенную версию физической модели, потому что воссоздание требуемого объекта во всех деталях может привести к понижению эффективности изучения городской среды. Многообразную структуру города следует абстрагировать, но по мере расширения потребностей исследования в модель можно включить большее количество переменных [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При моделировании комплексного ЦД для решения задач в условиях замысловатой городской среды можно воспользоваться методологией, включающей шестистапную процедуру воссоздания физической модели (рис. 1).

Вначале следует сбор сведений, которые отвечают интересам создаваемой модели, к примеру местоположение и потоки людей, средняя скорость автомобилей. Затем, после сбора, на втором шаге эти данные нужно правильным образом обработать для конкретной цели, которая может быть сформулирована (установлена и достигнута) в математической модели. После этого можно начать создавать количественную модель математической оптимизации, которая в перспективе будет обладать полномочиями принимать решения. На четвертом этапе эту модель необходимо проверить с применением экспериментальных симуляций, чтобы она лучше отражала поведение города и встроенные на прошлых этапах конкретные задачи. Этап тестирования должен выявить сильные

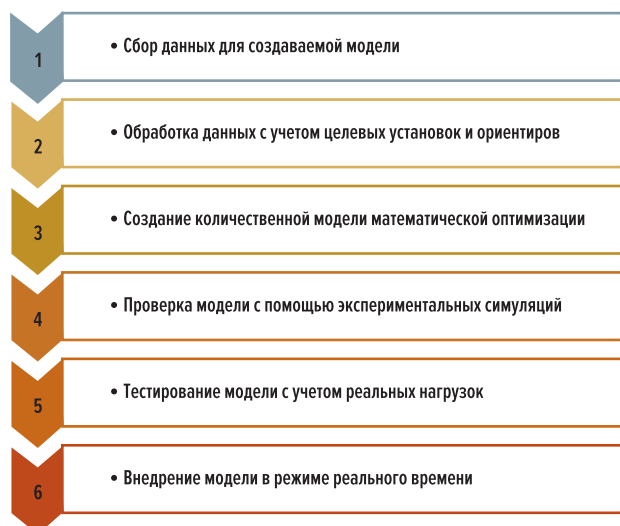


Рис. 1. Процедура воссоздания физической модели комплексного цифрового двойника

и слабые стороны, ошибки и нагрузить ее таким образом, чтобы при дальнейшей реальной работе она не давала сбоев и качество анализа оставалось на требуемом уровне.

Дальше ее внедряют, при этом ключевые показатели эффективности генерируются в режиме реального времени, также происходит сравнение с результатами прошлого этапа и на последнем, шестом этапе значительные отклонения корректируются с помощью настроенных процессов самообучения. Все эти тестировочные этапы нужны для того, чтобы создать гарантию точного и лучшего принятия решений в будущей работе модели.

При складских операциях также используются разные подходы к созданию ЦД. Основные — это дискретное моделирование, модель системной динамики и гибридное моделирование. Первый подход обычно применяют для имитации складских операций, к примеру для исправления готовой продукции. Модель системной динамики отображает поведение потребителей, управленческие решения, затраты. Тем не менее наиболее используемым является третий, гибридный подход. Ввиду этого виртуальная логистическая модель имеет динамический характер, важными элементами становятся функциональность и затраты. Такое гибридное имитационное моделирование дает возможность отразить комплексное поведение и изменения в модели.

Благодаря этому информацию о цифровой модели при использовании с ней технологии интернета вещей можно вносить в режиме реального времени, при этом часто как основной центр данных применяется централизованная система SCADA, которая собирает их и управляет ими. За счет этого стало возможным получать важные



Рис. 2. Пример имитационного моделирования и наглядного представления складских логистических процессов с помощью цифрового двойника склада (URL: <https://logistics.ru>)

данные из объемных хранилищ в кратчайшие сроки, из которых имитационное моделирование генерирует шаблоны сценариев, они изучаются алгоритмами машинного обучения, в результате чего это приводит к способности модели быстро реагировать на них и принимать решения. Подобные устойчивые ИМ можно стратегически использовать как эффективный экономический инструмент для виртуальной визуализации проблем, предложения решений и проведения безрискового тестирования. Прогнозировать оптимальную структуру сети, методы управления запасами, системы снабжения актуально, при этом появляется спрос и на совершенные системы ЦД, и мониторинг данных, роль человека в прогнозировании и анализе сведений начинает уменьшаться.

Одним из хороших примеров использования ЦД служит оптимизация автоматизированных модульных конвейерных систем на складах (рис. 2). С помощью динамической ИМ возможно просмотреть разные сценарии работы конвейеров, помимо этого модель может предложить наиболее эффективный подход для повышения производительности. Снижается непредсказуемость, благодаря чему этот сложный технологический процесс можно правильно откалибровать для нужд склада. В будущем подобные интеллектуальные системы принятия решений, основанные на динамических ИМ, будут играть еще большую роль.

Исследователи уже сегодня занимаются разработкой и могут представить гибридный подход к имитационному моделированию, для этого они объединили итеративную модель, в которой данные анализируются и корректируются в процессе цикла, с агентно-ориентированной имитационной моделью, которая может принимать решения об оптимальном распределении ресурсов с учетом

множества проблем и ограничений, начинающей свой анализ с децентрализованных агентов и воспринимаящей глобальную модель как результаты деятельности ее частей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровые двойники, став частью интеллектуальной системы «умных складов» и других элементов и объектов управления цепями поставок, помогут провести модернизацию и автоматизировать множество процессов, облегчить рутинные задачи с запасами и отслеживанием предметов с помощью технологий больших данных, интернета вещей, искусственного интеллекта, имитационных моделей. Благодаря этому можно сформулировать такие процессы, как оптимальное время окончания работы и получения товаров на складе в зависимости от скорости реагирования на заказы клиентов, в этом могут помочь стохастические ИМ, в которых большую роль играет элемент случайности и от чего такая модель работает не с детерминированным поведением процесса или объекта.

С помощью гибридного моделирования представляется возможным провести виртуальную визуализацию системы, являющейся динамической и при этом сохранить все ее функции, а также отобразить комплексное поведение. Модель представляет собой оцифрованную в виртуальном пространстве систему, которая уже существует или может существовать в будущем. Таким образом, проводить анализ можно даже на объектах, которые только собираются создать, иметь физический источник необязательно. В этой модели внедрена система принятия решений, шлюз для интеграции технологии интернета вещей, чтобы открыть возможность передачи данных прототипу в реальном времени, в итоге с применением настраиваемых алгоритмов машинного обучения у модели появляется возможность проводить прогнозную аналитику, которая может помочь в дальнейшем улучшении эффективности работы действующего источника.

Географические ИМ позволяют помочь в прокладывании путей продукции, нахождении наиболее целесообразного расположения распределительных центров. Параметры сбоев и соответствующие решения должны быть включены в модели для анализа различных сценариев развития событий. Эти шаблоны извлекаются отдельно для создания алгоритмов усиленного обучения, способствующих формированию предписывающей аналитической платформы, которая выступает в качестве трамплина для систем поддержки принятия решений в сфере Логистики 4.0.

ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальные вопросы инженерного предпринимательства в условиях Индустрии 4.0. // Сборник трудов студенческой научно-практической конференции с международным участием / под ред. М.А. Дроздовой, О.Д. Покровской. 2023. 461 с. DOI: 10.29039/02120-0. EDN KOXWDP.
2. 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.
3. 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.
4. Кравченко Л.А., Фурсова Е.А. Цифровая трансформация российских железных дорог // III Бетанкуровский международный инженерный форум: сборник трудов. 2021. С. 219–221. EDN MJOXSP.
5. 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.
6. 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.: СПбУТUiЭ, 2018. 252 с. EDN YQYFKH.
7. 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.
8. Покровская О.Д., Новикова И.Д., Заболоцкая 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.
9. Покровская О.Д., Воробьев А.А., Мигров А.А., Шевердова М.В., Ульяницкая В.И. и др. Альтернативная логистика Российской Федерации в условиях западных санкций // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12. № 4. С. 111–134. DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-4-111-134. EDN MIWDBQ.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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/e3sconf/202338303001. EDN UFRDOV.
14. 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
15. Kalaboukas K., Rožanec J., Košmerlj A., Kiritsis D., Arampatzis G. Implementation of Cognitive Digital Twins in Connected and Agile Supply Networks — an Operational Model // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. Issue 9. P. 4103. DOI: 10.3390/app11094103
16. Marcucci E., Gatta V., Le Pira M., Hansson L., Bråthen S. Digital Twins: A Critical Discussion on Their Potential for Supporting Policy-Making and Planning in Urban Logistics // Sustainability. 2020. Vol. 12. Issue 24. P. 10623. DOI: 10.3390/su122410623
17. Wang J., Das S., Rai R., Zhou C. Data-driven simulation for fast prediction of pull-up process in bottom-up stereo-lithography // Computer-Aided Design. 2018. Vol. 99. Pp. 29–42. DOI: 10.1016/j.cad.2018.02.002

REFERENCES

1. Current issues of engineering entrepreneurship in the conditions of Industry 4.0. *Collection of proceedings of the student scientific and practical conference with international participation* / ed. by M.A. Drozdova, O.D. Pokrovskaya. 2023;461. DOI: 10.29039/02120-0. EDN KOXWDP. (In Russ.).
2. 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.).
3. 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.).
4. Kravchenko L.A., Fursova E.A. Digital transformation of Russian railways. *III Betancourt International Engineering Forum*. 2021;219-221. EDN MJOXSP. (In Russ.).
5. Lyubimenko A.I., Fursova E.A. Managerial aspects of digitalization of the transport and logistics ecosystem *Transport technician: education and practice*. 2024;5(1):77-82. DOI: 10.46684/2687-1033.2024.1.77-82. EDN HNNLNT. (In Russ.).
6. 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, SPbUTUiE, 2018;252. EDN YQYFKH. (In Russ.).
7. 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.).

8. 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.).

9. Pokrovskaya O.D., Vorob'ev A.A., Migrov A.A., Sheverdova M.V., Ul'yanitskaya V.I. et al. Alternative logistics of the Russian Federation in the conditions of western sanctions. *International Journal of Advanced Studies*. 2022;12(4):111-134. DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-4-111-134. EDN MIWDBQ.

10. 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.).

11. 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.).

12. 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: collection of proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. 2021;168-173. EDN OOXZLU. (In Russ.).

13. 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/e3sconf/202338303001. EDN UFRDOV.

14. 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

15. Kalaboukas K., Rožanec J., Košmerlj A., Kiritsis D., Arampatzis G. Implementation of Cognitive Digital Twins in Connected and Agile Supply Networks — an Operational Model. *Applied Sciences*. 2021;11(9):4103. DOI: 10.3390/app11094103

16. Marcucci E., Gatta V., Le Pira M., Hansson L., Bråthen S. Digital Twins: A Critical Discussion on Their Potential for Supporting Policy-Making and Planning in Urban Logistics. *Sustainability*. 2020;12(24):10623. DOI: 10.3390/su122410623

17. Wang J., Das S., Rai R., Zhou C. Data-driven simulation for fast prediction of pull-up process in bottom-up stereo-lithography. *Computer-Aided Design*. 2018;99:29-42. DOI: 10.1016/j.cad.2018.02.002

Об авторах

Александр Валерьевич Майоров — студент; **Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)**; 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9; sasha_may00@mail.ru;

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.

Bionotes

Alexander V. Mayorov — student; **Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)**; 9 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russian Federation; sasha_may00@mail.ru;

Natalya Yu. Egorova — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of "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.

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: Александр Валерьевич Майоров, sasha_may00@mail.ru.

Corresponding author: Alexander V. Mayorov, sasha_may00@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 17.04.2024; одобрена после рецензирования 22.04.2024; принята к публикации 28.05.2024.

The article was submitted 17.04.2024; approved after reviewing 22.04.2024; accepted for publication 28.05.2024.