

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 656.07.004.69 + 06

DOI: 10.36535/0236-1914-2022-10-4

НЕЙРО-НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ¹

Числов О.Н., Лябах Н.Н., Колесников М.В., Бакалов М.В., Задорожний В.М.

Ответственный за переписку – Бакалов Максим Владимирович, Maxim_bmw@mail.ru

Аннотация. Обоснована актуальность использования нейро-нечеткого моделирования транспортно-логистических процессов, позволяющего интегрировать естественный интеллект человека (разработчика, эксплуатанта) и интеллект машины (искусственный интеллект). Представлена авторская логика взаимодействия хозяйствующих агентов транспортно-логистических цепочек, реализующих принцип гомеостата Эшби, обеспечивающего оперативную адаптацию системы на внешние и внутренние возмущения: система автоматически находит равновесное состояние. Исследование осуществляется путем декомпозиции транспортно-логистической цепочки на отдельных хозяйствующих агентов с последующим синтезом, при котором учитываются их противоречивые интересы. Поставленная задача управления транспортно-логистическими процессами комбинирует нечеткое моделирование, моделирование с помощью нейросетей. Предложенная итерационная процедура управления транспортно-логистическими цепочками и их звеньями обеспечивает автоматическую адаптацию транспортного процесса к заданным показателям функционирования.

Ключевые слова: транспортно-логистические процессы, управление, сортировочная станция, нейро-нечеткое моделирование

Для цитирования: Числов О.Н., Лябах Н.Н., Колесников М.В., Бакалов М.В., Задорожний В.М. Нейро-нечеткое моделирование транспортно-логистических процессов // Транспорт: наука, техника, управление. 2022. № 10. С. 23-27. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-10-4.

RAILWAY TRANSPORT

Scientific article

NEURO-FUZZY MODELING OF TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES²

Chislov O.N., Lyabakh N.N., Kolesnikov M.V., Bakalov M.V., Zadorozhny V.M.

Responsible for correspondence - Bakalov Maxim Vladimirovich, Maxim_bmw@mail.ru

Abstract. The relevance of using neuro-fuzzy modeling of transport and logistics processes, which allows integrating the natural intelligence of a person (developer, operator) and the intelligence of a machine (artificial intelligence), is substantiated. The author's logic of interaction between economic agents of transport and logistics chains implementing the principle of Ashby's homeostat that ensures the operational adaptation of the system to external and internal disturbances is presented: the system automatically finds an equilibrium state. The study is carried out by decomposing the transport and logistics chain into separate economic agents with subsequent synthesis that takes into account their conflicting interests. The set task of managing transport and logistics processes combines fuzzy modeling, modeling using neural networks. The proposed iterative procedure for managing transport and logistics chains and their links provides automatic adaptation of the transport process to the specified performance indicators.

Keywords: Transport and logistics processes, management, marshalling yard, neuro-fuzzy modeling

For citation: Chislov O.N., Lyabakh N.N., Kolesnikov M.V., Bakalov M.V., Zadorozhny V.M. Neuro-Fuzzy Modeling of Transport and Logistics Processes // Transport: science, equipment, management (Scientific Information Collection). 2022. No. 10. P. 23-27. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-10-4.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-38-51014.

² The reported study was funded by RFBR, Sirius University of Science and Technology, JSC Russian Railways and Educational Fund «Talent and success», project number 20-38-51014.

Актуальность проблемы

В условиях нестабильности, сложной геополитической ситуации, ввода экономических санкций в отношении Российской Федерации, в том числе в отношении российских судов и грузов, происходит поиск альтернативных маршрутов доставки товаров, перераспределение грузопотоков в направлении портов Азово-Черноморского и Дальневосточного бассейнов, которые в большей степени, чем порты Балтийского бассейна ориентированы на дружественные страны. Грузооборот портов Азово-Черноморского бассейна за первый квартал текущего года составил более 61 млн. тонн (+0,3% к первому кварталу 2021 г.).

Рост и перераспределение грузопотоков, увеличение мощностей морских терминалов, развитие железнодорожной инфраструктуры требует повышения эффективности взаимодействия железнодорожного транспорта с морскими портами России путем внедрения сквозных логистических технологий организации пропуска по полигонам и переработки грузов, совершенствования системы оперативного руководства перевозочным процессом [1-3]. Реализация указанных транспортно-логистических процессов происходит посредством создания различных транспортно-логистических цепочек (ТЛЦ). Так, например, в задаче продвижения грузов в морские порты Азово-Черноморского бассейна ТЛЦ состоит из станций (сортировочных, погрузки, выгрузки и др.), перегонов, накопительных площадок, портов («сухих», морских) и т.д.

1. Анализ существующих подходов к управлению ТЛЦ

Для общности рассуждений каждое звено ТЛЦ далее будем называть объектом исследования (ОИ) или хозяйствующим агентом (ХА), отмечая тот факт, что они обладают собственными интересами (часто взаимно противоречивыми), различными возможностями (как правило, ограниченными). Для определенности вводимые понятия относительно ХА будем иллюстрировать на примере сортировочной станции (СС), как важнейшего звена ТЛЦ.

Относительно ТЛЦ, например, могут быть поставлены следующие технико-технологические задачи:

- идентификация транспортно-логистического процесса (определение «физики» явления);
- прогноз его развития;
- управление им.

Возможны и другие различные сочетания этих частных постановок. Существующая логика исследования транспортно-логистических цепочек в целом состоит в следующем [4]:

1. Осуществляется декомпозиция ТЛЦ на отдельные хозяйствующие агенты, имеющие собственные интересы, возможности, ограничения.

2. Для каждого ХА на основе статистического анализа строятся зависимости критериев функционирования от управляющих и производственных параметров.

3. Полученная совокупность аналитических моделей позволяет определить оптимальные параметры функционирования всех ХА. Это их частные интересы, выраженные аналитически. Область экстремума критерияльного показателя моделируется параболой.

4. Согласование этих интересов осуществляется средствами теории активных систем [4-6], обеспечивающей учет, как интересов ТЛЦ, в целом, так противоречивых интересов отдельных ХА.

2. Совершенствование процедуры управления ТЛЦ на основе использования нейро-нечеткого моделирования

В цитируемых источниках у приведенного алгоритма все механизмы принятия решений опираются на использование аналитических моделей регрессионного типа, но для транспортных объектов их построение затруднено. Сложность исследования определяется разнообразием свойств ОИ, постановок задач исследования, выбором методов и средств исследования, нестационарностью процессов. Статистические же модели отражают работу ХА в прошлом и в среднем [4].

Перспективными подходами для совершенствования моделирования ТЛЦ и составляющих их ХА в настоящее время являются активно развивающиеся нейро-нечеткие модели (ННМ) [7].

В настоящее время нейро-нечеткие модели реализуются различными способами. В простейшем случае механизм обучения искусственной нейронной сети (ИНС) определяет правила нечеткого вывода (ПНВ). Как только параметры ПНВ определяются, ИНС переходит из режима обучения в режим идентификации (прогноза) выхода. Функции принадлежности обычно аппроксимируются нейронной сетью из обучающих данных.

Другой подход в реализации ННМ состоит в том, что обучение происходит только в нейронной сети (строится модель исследуемого процесса), и нечеткая система остается неизменной (определяется субъектом управления). В этом случае ПНВ базируется на априорных знаниях, опыте специалиста, он транслирует системе свой (естественный) интеллект. Этот подход позволяет интегрировать в системе управления машинный (искусственный) и естественный интеллект.

В интегрированных ННМ выше описанные эффекты объединяются.

Для наших целей более подходит второй вариант синтеза ННМ. Представим каждого нашего ХА в виде трех составляющих:

- ТТС – технико-технологическая составляющая (оборудование, осуществляющее заявленные функции).
- НП – нейро-процессор, идентифицирующий текущее состояние ТТС.
- ПД – подсистема диалога с иными ХА.

В исследовании [8] представлена процедура управления ХА ТЛЦ с помощью нейросетевых моделей, а в работе [9] описана возможность использования знаний, опыта и интуиции специалиста для управления ТЛЦ. Эксперт (или их группа) представляет свое понимание ситуации в виде лингвистических переменных и методов нечеткого вывода (МНВ) в ННМ, которые могут строиться с использованием различных алгоритмов: Мамдани, Цукамото, Ларсена, Сугено, и их вариаций и комбинаций [10]. Внутри каждого подхода также возникают неопределенности с выбором функций принадлежности нечетких множеств.

Усовершенствованная логика исследования ТЛЦ предлагается в следующем виде (см. рисунок):

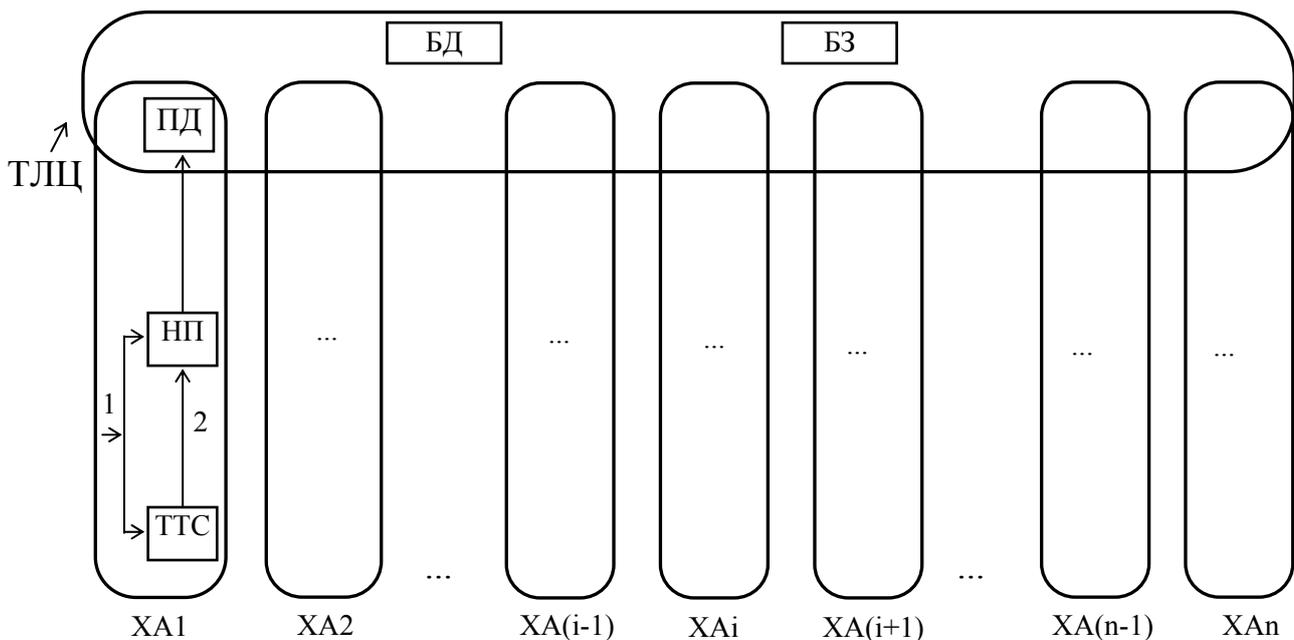


Рисунок. Исследования транспортно-логистических процессов и управление ТЛЦ с помощью ННМ

1. Для каждого ХА создается нейронная модель, определяющая характер связи между входными и выходными параметрами. Модель работает в двух режимах: обучение и анализ. В первом случае по входным и выходным данным идентифицируются процессы, протекающие в ХА [8]. Во втором – по входным данным и существующей модели определяются выходы ХА, используемые далее для синтеза общей логики функционирования ТЛЦ.

2. Эксперт-специалист (группа экспертов) формирует перечень лингвистических переменных, характеризующих пространство исследования, и нечеткие высказывания в этом пространстве, отражающие порядок, структуру и сущность управления ТЛЦ (учитываются цели заказчика, возможности системы) [9].

3. Организовывается «диалог» между ХА ТЛЦ, по принципу гомеостата Эшби [11].

4. Результаты функционирования ХА в отдельности и всей ТЛЦ, в целом, заносятся в базу данных (БД) для формирования статистических отчетов и базу знаний (БЗ) для последующего совершенствования деятельности ТЛЦ, тиражирования передового опыта и т.д.

3. Гомеостат ТЛЦ

Гомеостат Эшби – это самоорганизующаяся техническая система, состоящая из резисторов, катушек индуктивности, источников питания, и моделирующая способность живых организмов поддерживать в стабильном (и оптимальном по некоторым критериям) некоторые важные величины. Для человека это, например, температура тела, уровни сахара и инсулина в крови, артериальное давление, вестибулярная устойчивость организма и пр. Гомеостат как система демонстрирует сверх устойчивое поведение, избегая использование ступенчатых функций (скачков, разрывов), ведущих к критическому состоянию системы. Гомеостат обладает способностью к самоорганизации, то есть, может: обучаться, приспосабливаться к окружающей среде при возникающих отклонениях во внутреннем

строении (например, при частичной поломке) или связей с окружающей средой.

Гомеостат Эшби предполагал наличие связей между всеми парами элементов системы. Наш гомеостат – гомеостат ТЛЦ, выстроен несколько иначе:

- Первый ХА общается только со вторым ХА.
- Последний (n -ый) ХА общается с предпоследним ХА.
- ХА с номером i , где $i = 2, 3, \dots, n - 1$, общается с предыдущим ($i - 1$ -ым) и последующим ($i + 1$ -ым).

Если какой-либо ХА в силу различных причин (природных, техногенных) изменяет свой режим функционирования, то с помощью специальных сообщений-высказываний эта информация распространяется по цепи как влево, так и вправо, корректируя деятельность рядом стоящих ХА (см. рисунок). Дойдя до границы ТЛЦ (первого или последнего ХА) информация «отражается» и идет в обратном направлении. Возникает затухающее колебательное движение в сети. При этом постепенно расхождения в возможностях ХА сглаживаются, и ТЛЦ переходит в новый стационарный режим функционирования.

4. Лингвистические переменные и правила нечеткого вывода для ХС ТЛЦ

Рассмотрим нечеткие высказывания для ХА с номерами $1, i$, где $i = 2, 3, \dots, n - 1$, и n . Очевидно, этого будет достаточно для описания диалога всех ХА.

Первый ХА (ХА1) руководствуется утверждениями:

- Если степень моей загрузки «низкая» или «оптимальная», а ХА2 просит увеличить интенсивность работы, то я ее повышаю соответственно до «оптимальной загрузки» или до «высокой загрузки».
- Если степень моей загрузки «оптимальная» или «высокая», а ХА2 просит снизить интенсивность работы, то я ее понижаю соответственно до «низкой» или «оптимальной» загрузки.

Последний ХА (ХА n) руководствуется утверждениями:

- Если моя загрузка «низкая», то я прошу ($n - 1$)-го ХА увеличить интенсивность.

- Если моя загрузка «высокая», то я прошу ($n - 1$)-го ХА снизить интенсивность.

ХА с номером i руководствуется системой утверждений, объединяющей две предыдущие позиции:

- Если степень моей загрузки «низкая» или «оптимальная», а $ХА(i + 1)$ просит увеличить интенсивность работы, то я ее повышаю соответственно до «оптимальной загрузки» или до «высокой загрузки».

- Если степень моей загрузки «оптимальная» или «высокая», а $ХА(i+1)$ просит снизить интенсивность работы, то я ее понижаю соответственно до «низкой» или «оптимальной» загрузки.

- Если моя загрузка «низкая», то я прошу ($i - 1$)-го ХА увеличить интенсивность.

- Если моя загрузка «высокая», то я прошу ($i - 1$)-го ХА снизить интенсивность.

В классической постановке определения лингвистических переменных имеется широкий набор понятий [12], в исследовании [8] уже определены лингвистические переменные загрузки «низкая», «оптимальная», «высокая». Здесь же определены и операции над нечеткими множествами «или» и импликации, то есть, конструкции типа: «если ..., то ...». Здесь же приведен иллюстративный пример осуществления этих операций. Таким образом, представлен полный комплекс процедур исследования и управления ТЛЦ.

Выводы

1. Показана актуальность совершенствования функционирования транспортно-логистических процессов в России на современном этапе ее развития.

2. Обосновано использование гибридного нейро-нечеткого моделирования транспортно-логистических процессов, интегрирующего естественный интеллект специалиста-эксперта и интеллект машины (искусственный интеллект, основанный на применении нейросетей).

3. Разработан итерационный механизм взаимодействия хозяйствующих агентов транспортно-логистических цепочек. Для этой цели к условиям задачи адаптирован принцип гомеостата Эшби.

4. Описаны основные логико-лингвистические «высказывания» взаимодействия ХА.

Разработанная процедура управления транспортно-логистическими цепочками и их звеньями обеспечивает автоматическую адаптацию транспортного процесса к заданным показателям функционирования, возможностям звеньев ТЛЦ и внешним воздействиям.

© Числов О.Н., Лябах Н.Н., Колесников М.В., Бакалов М.В., Задорожний В.М., 2022

Список источников

1. Черняев, А.Г. На основе развития инфраструктуры и полигонных технологий / А.Г. Черняев, В.Н. Зубков, М.В. Бакалов // Железнодорожный транспорт. 2016, № 9. С. 32-37.

2. Кудряшов, К.В. Перевозки грузов в железнодорожно-морском сообщении на юге России / К.В. Кудряшов, В.Н. Зубков, Э.А. Мамаев, Е.А. Чеботарева // Железнодорожный транспорт. 2019, № 4. С. 4-10.

3. Развитие методов моделирования в выборе рациональных параметров распределения вагонопотоков припортовых транспортных систем / О.Н. Числов и др. // Вестник РГУПС. – 2021. – № 2. – С. 168–179. DOI: 10.46973/0201–727X_2021_2_168.

4. Лябах, Н.Н. Моделирование деятельности транспортных предприятий / Н.Н. Лябах, М.В. Колесников, М.В. Бакалов // Вестник РГУПС. 2018, № 1. С. 72–77.

5. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. 584 с.

6. Колесников, М.В. Математический инструментальный процессного подхода при организации транспортно-логистических цепей / М.В. Колесников, Ю.В. Шаповалова // Вестник РГУПС. 2019, № 2. С. 98–103.

7. Хижняков Ю.Н. Алгоритмы нечеткого, нейронного и нейро-нечеткого правления в системах реального времени: учеб. пособие. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. 160 с.

8. Нейросетевое исследование транспортных систем / О.Н. Числов и др. // Транспорт: наука, техника, управление – 2021, № 10. С. 9-13.

9. Chislov, O. Fuzzy modelling of the transportation logistics processes / O Chislov, N Lyabakh, M Kolesnikov, M Bakalov, D Bezusov // Journal of Physics: Conference Series 2131 (2021) 032007, 11 p. doi:10.1088/1742-6596/2131/3/032007.

10. Аншаков О.М. Системы нечеткого вывода / Аншаков О.М. М.: Российский государственный гуманитарный университет, 2019. 109 с.

11. Эшби У. Р. Конструкция мозга. Глава 8. Гомеостат. М. 1962. С. 156-184.

12. Zadeh, L.A. Computing with words: Principle concepts and ideas // Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2012 (277): 1-153. DOI 10.1007/978-3-642-27473-2.

References

1. Chernyaev A.G., Zubkov V.N., Bakalov M.V. On the basis of development of infrastructure and polygon technologies / The railway transport. 2016; (9): 32-37 (In Russ.).

2. Kudryashov K.V., Zubkov V.N., Mamaev E.A., Chebotareva E.A. Cargo transportation in railway and sea traffic in southern Russia / The railway transport. 2019; (4): 4-10 (In Russ.).

3. Chislov O.N., Kolesnikov M.V., Zadorozhniy V.M., Bakalov M.V., Khan V.V. Development of modeling methods in the selection of rational parameters of the distribution of car flows of port transport system / Vestnik RGUPS. 2021;(2): 168-179 (In Russ.). DOI: 10.46973/0201–727X_2021_2_168.

4. Lyabakh N.N., Kolesnikov M.V., Bakalov M.V. Modelling of transport enterprises activities / Vestnik RGUPS. 2018;(1): 72-77 (In Russ.).

5. Novikov D.A. Novikov D.A. Theory of management of organizational systems. Moscow: MPSI; 2005. (In Russ.)

6. Kolesnikov M.V., Shapovalova Yu.V. Mathematical tools of the process approach at the organization of transport and logistics chains / M.V. Kolesnikov, // Vestnik RGUPS. / Vestnik RGUPS. 2019;(2): 98-103 (In Russ.).

7. Khizhnyakov Yu.N. Algorithms of fuzzy, neural and neuro-fuzzy control in real-time systems. Perm: Perm National Research Polytechnic University, 2013; 160 p. (In Russ.).

8. Chislov O.N., Lyabakh, N.N., Kolesnikov M.V. Bakalov M.V., Zadorozhnyy V.M. Neural network investigation of the transport systems / Transport: science, equipment, management (Scientific Information Collection) 2021;(5):24-28 (In Russ.).

9. Chislov, O. Fuzzy modelling of the transportation logistics processes / O Chislov, N Lyabakh, M Kolesnikov, M Bakalov, D Bezusov // Journal of Physics: Conference Series 2131 (2021) 032007, 11 p. doi:10.1088/1742-6596/2131/3/032007.

10. Anshakov O.M. Fuzzy inference systems. Moscow: Russian state university for the humanities, 2019; 109 p. (In Russ.).

11. Ashby W.Ross Design for a brain. Moscow, 1962; 156-184 (In Russ.).

12. Zadeh, L.A. Computing with words: Principle concepts and ideas / Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2012 (277): 1-153. DOI 10.1007/978-3-642-27473-2.

Информация об авторах

Числов Олег Николаевич – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Станции и грузовая работа» (Научно-технологический университет «Сириус». г. Сочи; Ростовский государственный университет путей сообщения. Ростов-на-Дону),

<https://orcid.org/0000-0001-7800-0113>,
тел. 8(863)272-64-73,
e-mail: o_chislov@mail.ru.

Лябах Николай Николаевич – доктор техн. наук, профессор, научный руководитель Центра интеллектуальных и инновационных технологий (Майкопский государственный технологический университет. Майкоп),

<https://orcid.org/0000-0002-0736-1082>,
тел. +79185334704,
e-mail: liabakh@rambler.ru.

Колесников Максим Владимирович – доктор техн. наук, профессор кафедры «Экономика и менеджмент» (Научно-технологический университет «Сириус». г. Сочи; Ростовский государственный университет путей сообщения. Ростов-на-Дону),

<https://orcid.org/0000-0002-6554-336X>,
тел. 8(863)272-62-05,
e-mail: kmv-d@list.ru.

Бакалов Максим Владимирович – кандидат техн. наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой» (Научно-технологический университет «Сириус». г. Сочи; Ростовский государственный университет путей сообщения. Ростов-на-Дону),

<https://orcid.org/0000-0002-5060-5863>,
тел. 8(863)272-63-83,
e-mail: Maxim_bmw@mail.ru.

Задорожний Вячеслав Михайлович – кандидат техн. наук, доцент кафедры «Станции и грузовая работа» (Научно-технологический университет «Сириус». г. Сочи; Ростовский государственный университет путей сообщения. Ростов-на-Дону)

<https://orcid.org/0000-0002-8357-4151>,
тел. 8(863)272-64-73,
e-mail: zadorozniy91@mail.ru.

Information about the authors

Chislov O.N. – Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of the Department "Stations and Cargo Work" (Sirius University of Science and Technology, city of Sochi; Rostov State University of Railways, Rostov-on-Don),

<https://orcid.org/0000-0001-7800-0113>,
тел. +7(863)272-64-73,
e-mail: o_chislov@mail.ru.

Lyabakh N.N. – Doctor of Science in Engineering, Professor, Scientific Director of the Center for Intellectual and Innovative Technologies (Maykop State Technological University. Maykop),

<https://orcid.org/0000-0002-0736-1082>,
тел. +79185334704,
e-mail: liabakh@rambler.ru.

Kolesnikov M.V. – Doctor of Science in Engineering, Professor of the Department "Economics and Management", (Sirius University of Science and Technology, city of Sochi; Rostov State University of Railways, Rostov-on-Don),

<https://orcid.org/0000-0002-6554-336X>,
тел. +7(863)272-62-05,
e-mail: kmv-d@list.ru.

Bakalov M.V. – Ph.D. (Tech.), Associate Professor of the Department "Management of Maintenance Works" (Sirius University of Science and Technology, city of Sochi; Rostov State University of Railways, Rostov-on-Don),

<https://orcid.org/0000-0002-5060-5863>,
тел. +7(863)272-63-83,
e-mail: Maxim_bmw@mail.ru.

Zadorozhny V.M. – Ph.D. (Tech.), Associate Professor of the Department "Stations and Cargo Work" (Sirius University of Science and Technology, city of Sochi; Rostov State University of Railways, Rostov-on-Don),

<https://orcid.org/0000-0002-8357-4151>,
тел. +7(863)272-64-73,
e-mail: zadorozniy91@mail.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12.07.2022, одобрена после рецензирования 08.08.2022, принята к публикации 15.08.2022.

The article was submitted 12.07.2022, approved after reviewing 08.08.2022, accepted for publication 15.08.2022.