

20. Larsen C.H., Lauritsen D.S., Larsen J.J., Pilgaard M., Madsen J.B. Differences in Human Audio Localization Performance between a HRTF- and a non-HRTF Audio System, *Proceedings of the AM'13, September 18-20. 2013, Piteå, Sweden, 2013.*
21. Lima Y., Gardia A., Sabatinia R., Ramasamy S., Kistana T., Ezerc N., Vined J., Boliad R. Avionics Human-Machine Interfaces and Interactions for Manned and Unmanned Aircraft, *Progress in Aerospace Sciences*, 2018.
22. MacDonald J.A., Tran P.K. The Effect of Head-Related Transfer Function Measurement Methodology on Localization Performance in Spatial Audio Interfaces, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2008, Vol. 50, No. 2, pp. 256-263.
23. Romigh G.D., Brungart D.S., Simpson B.D. Free-Field Localization Performance with a Head-Tracked Virtual Auditory Display, *IEEE Journal of selected topics in signal processing*, 2015, Vol. 9, No. 5, pp. 943-954.
24. Saito K.Y., Iwaya Y., Suzuki Y. The Technique of Choosing the Individualized Head-Related Transfer Function Based on Localization, *Technical Report of IEICE*, 2004, Vol. 104, pp. 1-6.
25. Zhang W., Samarasinghe P.N., Chen H., Abhayapala T.D. Surround by Sound: A Review of Spatial Audio Recording and Reproduction, *Appl. Sci.*, 2017, No. 7, pp. 532-539.
26. Zhong X., Yost W. How many images are in an auditory scene?, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2017, Vol. 141, No. 4, pp. 2882-2892. DOI: 10.1121/1.4981118.
27. Ziemer T., Schultheis H. Psychoacoustical signal processing for three-dimensional sonification, *Proceedings of the 25th International Conference on Auditory Display (ICAD 2019). June 23-27 2019, Northumbria University, 2019.*

Статью рекомендовал к опубликованию д.психол.н., профессор В.И. Панов.

Носуленко Валерий Николаевич – Институт психологии Российской академии наук; e-mail: nosulenkovn@ipran.ru; г. Москва, Россия; д.психол.н.; г.н.с.

Басюл Иван Андреевич – e-mail: basjulia@ipran.ru; м.н.с.

Зыбин Евгений Юрьевич – ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»; e-mail: ezyubin@2100.gosniias.ru; г. Москва, Россия; д.т.н.; начальник лаборатории.

Леликов Максим Алексеевич – e-mail: malelikov@2100.gosniias.ru; к.т.н.; начальник лаборатории.

Nosulenko Valery Nikolaevich – Institute of Psychology, Russian academy of sciences; e-mail: nosulenkovn@ipran.ru; Moscow, Russia; dr. of psychol. sc.; chief scientific officer.

Basul Ivan Andreevich – e-mail: basjulia@ipran.ru; junior researcher.

Zybin Evgeny Yur'evich – State Research Institute of Aviantion Systems; e-mail: ezyubin@2100.gosniias.ru; Moscow, Russia; dr. of eng. sc.; head of the laboratory.

Lelikov Maksim Alexeevich – e-mail: malelikov@2100.gosniias.ru; cand. of eng. sc.; head of the laboratory.

УДК 658.7: 656.07 + 06

DOI 10.18522/2311-3103-2021-7-119-129

О.Н. Числов, Э.А. Мамаев, М.В. Колесников, М.В. Бакалов, В.М. Задорожний

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК В ПРИПОРТОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

В условиях множественности операторов и собственников подвижного состава на сети железных дорог России имеют место следующие проблемы: излишняя загрузка пропускных и провозных способностей участков, встречный перепробег порожних вагонов одного типа, излишний пробег порожних вагонов, снижение участковой скорости и др. Для решения указанных проблем необходимо более эффективное взаимодействие участников

перевозочного процесса на принципах логистики, моделирования рынка грузовых перевозок, формирования математических моделей с использованием методов цифровизации и интеллектуализации управления. Данная работа посвящена исследованию вопросов актуализации принципов моделирования мультиагентного взаимодействия в припортовых транспортных системах. Методической основой исследования являются методы статистического, морфологического, регрессионного и системного анализа, математического и аналитического моделирования. Исследование и моделирование параметров распределения грузо- и вагонопотоков в условиях мультиагентности транспортного комплекса, при котором применяется разработанный авторами экономико-географический метод разграничения «областей влияния» станций позволяет создавать аналитические модели процесса перевозок на основе комплексной оценки транспортно-технологической инфраструктуры железнодорожного полигона и стоимости транспортных услуг. Особенностью является построение компьютерной географической модели распределения подвижного состава по видам перевозок для припортовых станций аналитическими кривыми высших порядков. «Области влияния» станций погрузки, получаемые методом экономико-географического разграничения, позволяют сформулировать ряд предпочтительных направлений при распределении вагонопотоков. Полученная территориальная картина распределения вагонопотоков является основой для решения многокритериальной задачи оптимизации регулирования направлений вагонов с учетом многооператорского рынка подвижного состава, цифровизации и интеллектуализации отрасли. Помимо решения задач регулирования рынка транспортных услуг в форме распределения подвижного состава, вопросы технологического, экономического, финансового и цифрового взаимодействия на принципах логистики в мультиагентных системах остаются ключевыми. Формируемые в этой связи модельные и методологические предложения должны обеспечить снижение транспортно-логистических издержек с параллельным улучшением количественных, качественных и временных показателей реализации интегрированных логистических цепей поставок.

Мультиагентное взаимодействие; оператор; интеллектуализация; транспортный полигон; области влияния; территориальная картина; аналитические кривые.

O.N. Chislov, E.A. Mamaev, M.V. Kolesnikov, V.M. Zadorozhniy, M.V. Bakalov

INTELLECTUALIZATION OF MULTI-AGENT INTERACTION CONTROL DURING THE FREIGHT TRAFFIC ORGANIZATION IN PORTSIDE TRANSPORT SYSTEM

Under the conditions of operation's and rolling stock owner's plurality on the Russian railway network the following issues are in case: excessive freight-hauling and carrying capacity of section, oncoming rerun of empty boxcar in one type, excessive mileage of empty boxcars, sectional speed reduction and others. More effective cooperation of transit process members based on logistics, market simulation of freight traffics, creation of math models with the use of digitalization and intellectualization methods of control are necessary for solving mentioned issues. This study is devoted to research matters of principles updating modelling multi-agent interaction in the portside transport systems. Methods of statistical, morphological, regression and system analysis, mathematical and analytical modelling compose the methodological basis of the research. Research and modelling characteristics of freight and car traffic flow distribution under contexts of multiagency of transport complex, wherein the author-developed economic and geographical method to delimit stations' «spheres of influence» is applied allow to create analytical models of transportation process based on integrated assessment of transport and technological infrastructure of the railway polygon and cost of transport services. Building of a digital geographical model of rolling stock distribution according to types of transportation service for portside stations by analytic curves of higher order is one of special characteristics. «Spheres of influence» of loading stations obtained by methods of economic and geographical delimitation allows formulating a range of preferential directions while distributing car traffic. Acquired territorial scene of distributing car traffic is a basis for solution of multi-attribute problem of optimization of boxcar directions regulation taking into account multi-operator market of rolling stock, digitalization and intellectualization of the branch. In addition to solution of objectives of transport services market regulation in terms of rolling stock distribution, the problems of technological, economic, fiscal

and digital interaction on a basis of logistics in the multi-agent systems are continued to be crucial. Model and methodological propositions formed in this context should ensure reduction of transport and logistic costs with parallel improvement of quantitative, qualitative and temporary indicators of integrated logistic supply chains realization.

Multi-agent interaction; operator; intellectualization; transport polygon; areas of influence; territorial picture; analytical curves.

Введение. В условиях множественности операторов и собственников подвижного состава на сети железных дорог России имеют место следующие проблемы: излишняя загрузка пропускных и провозных способностей участков, встречный перепробег порожних вагонов одного типа, излишний пробег порожних вагонов, снижение участковой скорости и др. Для решения указанных проблем необходимо более эффективное взаимодействие участников перевозочного процесса на принципах логистики, моделирования рынка грузовых перевозок, формирования математических моделей с использованием методов цифровизации и интеллектуализации управления.

В I полугодии 2020 года доля в объеме перевозок 10 крупнейших перевозчиков увеличилась на 0,8 п.п. до 59,1 % от общего объема перевозок, а ТОП-3 – сократилась до 28,1 %.



Рис. 1. Динамика доли крупнейших операторов подвижного состава в объеме перевозок в 2014–2020 гг., %

Источник: INFOLine

В условиях экономической неустойчивости, частой неравномерности грузопотоков в адрес припортовых систем и связанных с ними процессами транспортировки, традиционные технологии прогнозирования и управления часто не дают ощутимого результата.

Известно, что в управлении грузовыми потоками [1] широко используются методы, основанные на идеях линейного программирования, теории массового обслуживания, теории надежности, теории графов, теории вероятностей и новых перспективных научных направлениях – интеллектуальных управляющих систем, принципах нечеткой логики, нейронных сетях и др. Системы искусственного интеллекта на транспорте производят мониторинг составляющих перевозочного процесса, параллельно осуществляя решение дополнительных задач, связанных с оценкой переменных временных параметров транспортного потока в условиях динамичной ситуации [2].

Основой для дальнейшего развития теорий и методов управления грузопотоками припортовых транспортных систем являются исследования в рамках интеллектуальных транспортных систем перевозочного процесса в условиях цифровизации [3–15].

Например, в работе [4] исследование призвано предложить подход к разграничению вероятных внутренних районов интересующего порта. Авторами строится геометрическая модель для вероятных внутренних районов порта на основе интермодальных сетевых потоков, используя анализ дискретного выбора и географическую информацию о грузоотправителях. Также неотъемлемой частью алгоритма является кластерный анализ. Предлагаемая модель является достаточно общей, подход также может найти приложения для других типов логистических центров или рыночных центров, таких как, например, сухие порты.

Авторы статьи [5] исследуют цифровую железную дорогу как сложную технико-технологическую систему, имеющую связь с цифровой экономикой. Показаны основные технологические компоненты цифровой железной дороги. Описаны принципы блокового управления, взаимозависимости цифровой логистики и цифровой железной дороги. Подчёркиваются роль киберфизических систем в развитии цифровой железной дороги, перспективы цифровизации в обеспечении безопасной автоматизации и бесшовной интеграции всех видов транспорта.

В статье [6] авторами рассмотрен опыт информатизации перевозочного процесса. Предложена концепция создания интеллектуальной системы управления перевозочным процессом (ИСУПП) как базиса для цифровой трансформации технологических процессов. Рассмотрена методика оценки эффективности управляющих решений при плановом и оперативном управлениях. Описаны принципы принятия управляющих решений в условиях неопределенности информации. Приведен опыт разработки и внедрения на Белорусской железной дороге интеллектуальных систем управления, в том числе сменного-суточного планирования, разработки графика движения поездов, планирования составаобразования.

Для управления мультиагентным взаимодействием при организации грузовых перевозок наиболее часто используются: программно-целевой метод; балансовый метод; нормативный метод; экономико-математический метод; метод прогнозирования; интуитивные методы на основе интуитивно-логического мышления и нечеткой логики. Они используются, когда из-за значительной сложности транспортного объекта невозможно учесть совместное влияние противоречивых факторов или если объект имеет слишком простую структуру, что не требует проведения трудоемких расчетов.

Анализ работ [1–20] свидетельствует о необходимости дальнейших исследованиях на принципах развития логистических подходов, моделирования рынка грузовых перевозок, формирования математических моделей оптимизации мультимодальных грузовых перевозок на принципах интеллектуализации и цифровизации.

Положительные стороны мультимодальных перевозок и возможность их дальнейшего увеличения должны быть подкреплены современными научными и технико-технологическими решениями с учетом рыночных условий эксплуатации, различных форм собственности грузоотправителей, грузополучателей, владельцев транспортных средств, инфраструктуры и компаний-операторов.

Помимо ускорения цифровизации и условий необходимости внедрения инноваций в железнодорожную отрасль для повышения ее конкурентоспособности, необходимы дальнейшие исследования в области мультимодальных систем транспортировки.

Основная часть. Обсуждение. Данная работа посвящена исследованию вопросов актуализации принципов моделирования мультиагентного взаимодействия в припортовых транспортных системах.

Выбор объекта исследования. В качестве ТС могут выступать: полигон, транспортный коридор, транспортно-логистическая цепочка (ТЛЦ) в целом или ее некоторый структурно выделенный объект. В частности, такими объектами являются: станции (грузовая и/или сортировочная), перегон между некоторыми промежуточными пунктами движения груза/вагонов, порт, накопительный терминал, пункты диагностики и ремонта объектов инфраструктуры транспорта и т.д. От задания объекта исследования зависят входные и выходные параметры, масштаб модели, ее структура.

Определение перечня входных параметров процесса. Процедура отбора входных параметров процесса (модели) требует применения специальных формализованных процедур. Действительно, если не все факторы учесть в модели, то никакой современный математический аппарат не сможет дать положительного результата – модель не будет адекватной.

Методической основой исследования являются методы статистического, морфологического, регрессионного и системного анализа, математического и аналитического моделирования.

Особенностью является построение компьютерной географической модели распределения подвижного состава по видам грузовых перевозок для припортовых станций аналитическими кривыми высших порядков и многопараметрическое планирование подвода грузов в порт.

Указанное разграничение производится в соответствии с заданными критериями, например, со стоимостью перевозки грузов от места расположения каждого субъекта (станции) до пункта назначения (припортовая станция) или сроком доставки.

Аналитические кривые высших порядков при данном моделировании выступают линиями, разграничивающими области влияния станций, например, овалы Декарта (рис. 2).

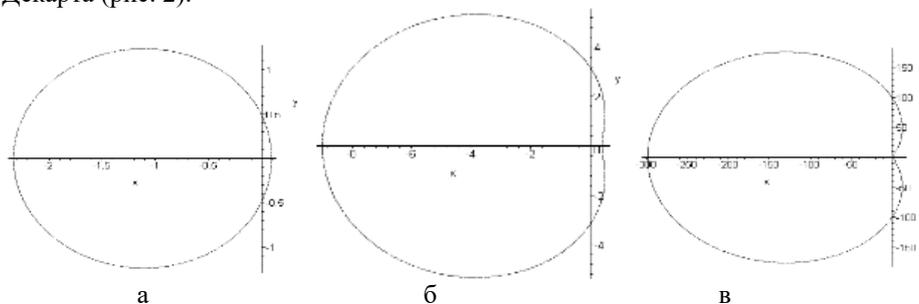


Рис. 2. Варианты монопольного разделения рынка грузовых перевозок

Исследуем развитие метода распределения припортовых вагонопотоков на основе экономико-географического разграничения «областей влияния» субъектов перевозочного процесса.

В качестве объекта исследований рассмотрим систему транспортировки зерновых грузов в адрес портов Азово-Черноморского бассейна, универсальность которых в отношении номенклатуры перерабатываемых грузов создает условия для конкуренции. Будем предполагать, что предназначенный для перевозки зерновой груз находится на станциях погрузки Тацинская, Целина, Зерноград, Ремонтная, Гулькевичи и Тихорецкая, а станциями выгрузки являются припортовые станции Новороссийск, Туапсе, Тамань, Ейск, Азов, Заречная, Таганрог (рис. 3).

Обратим внимание на то, что предлагаемый алгоритм решения оптимизационных транспортно-логистических задач имеет весьма общий характер и может быть использован, например, при изучении грузоперевозок, осуществляемых автомобильным транспортом. Относительно количества станций погрузки и станций выгрузки, а также накладываемых ограничений на множество допустимых планов перевозок, отметим, что они влияют лишь на объем производимых вычислительных процедур. В качестве программного обеспечения мы пользуемся Maxima (Free Ware).

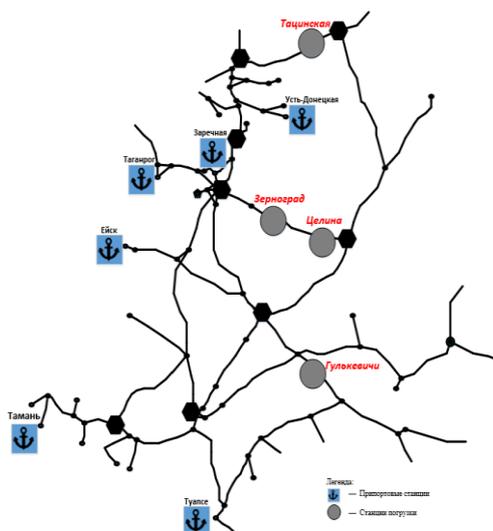


Рис. 3. Искомый граф транспортного полигона

«Области влияния» станций погрузки, получаемые методом экономико-географического разграничения, позволяют сформулировать ряд предпочтительных направлений при распределении вагонопотоков. На первом этапе на основе теории графов и системы аналитических вычислений формируется модель полигона дороги с соответствующими данными (рис. 4).

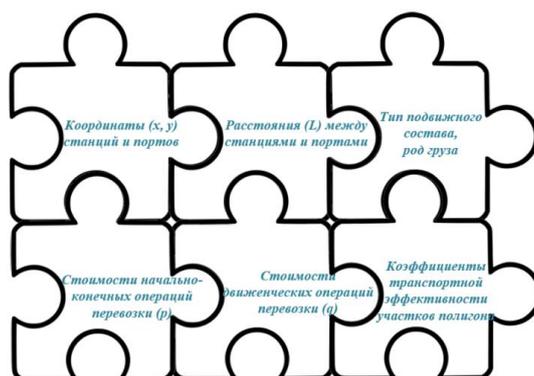


Рис. 4. Перечень входных параметров

Выполняется анализ необходимых конкретных стоимостных показателей перевозочного процесса в данном регионе на предмет существования возможных закономерностей. Соответствующие статистические данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Выражения зависимости стоимости перевозки

№	Станции погрузки	$c = p + ql$
1	Тацинская	$c = 589,24 + 2,17l$
2	Целина	$c = 621,3 + 2,13l$
3	Зерноград	$c = 593,45 + 2,26l$
4	Гулькевичи	$c = 1085,16 + 0,6l$

Обратим внимание на то, что различие между станциями погрузки выражается как в стоимости начально-конечных операций, так и в стоимости движущихся операций. Следовательно, территориальная картина полигона перевозок описывается алгебраическими кривыми 4-го порядка, а именно, овалами Декарта.

Отметим, что в данном разделе статьи понятия дуополия и олигополия применяются по отношению к станциям погрузки, которых в экономическом плане можно позиционировать как олигополистов. Конкуренция между этими станциями может выражаться, например, в стремлении наиболее эффективного использования вагонного парка какой-либо операторской компании.

«Области влияния» станций погрузки Тацинская–Гулькевичи в дуополистической ситуации приведены на рис. 5. В «область влияния» станции Гулькевичи попадают припортовые станции: Тамань и Туапсе, а в «область влияния» станции Тацинская – припортовые станции: Ейск, Таганрог, Усть-Донецкая, Заречная.

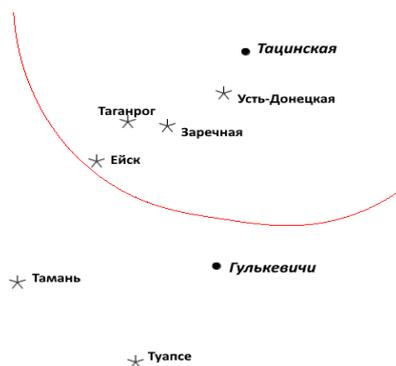


Рис. 5. «Области влияния» станций Тацинская–Гулькевичи в случае дуополии

Заключение. Полученная с помощью системы аналитических вычислений территориальная картина, создаваемого четырьмя станциями погрузки, приведена на рис. 6.



Рис. 6. Территориальная картина полигона перевозок в ГЕМ

Исследование и моделирование параметров распределения грузо- и вагонопотоков в условиях мультиагентности транспортного комплекса, при котором применяется разработанный авторами экономико-географический метод разграничения «областей влияния» станций позволяет создавать аналитические модели процесса перевозок на основе комплексной оценки транспортно-технологической инфраструктуры железнодорожного полигона и стоимости транспортных услуг.

Полученная территориальная картина распределения вагонопотоков является основой для решения многокритериальной задачи оптимизации регулирования направлений вагонов с учетом многооператорского рынка подвижного состава, цифровизации и интеллектуализации отрасли.

Помимо решения задач регулирования рынка транспортных услуг в форме распределения вагонопотоков, вопросы технологического, экономического и финансового взаимодействия на принципах логистики в мультиагентных системах остаются ключевыми. Формируемые в этой связи модельные и методологические предложения должны обеспечить снижение транспортно-логистических издержек с параллельным улучшением качественных и временных показателей реализации интегрированных логистических цепей поставок.

Следует отметить, что логистические цепи в организации мультимодальных грузовых перевозок включает гетерогенных агентов в системе рыночного их взаимодействия: от монопольных, до агентов, функционирующих в условиях совершенной конкуренции. Достижение синергетического эффекта от управления мультиагентными системами в современных условиях возможно с использованием методов цифровизации и интеллектуализации управления транспортными и транспортно-технологическими процессами в едином интегрированном цифровом пространстве.

Решение поставленных вопросов позволит получить экономический эффект от снижения эксплуатационных расходов при распределении припортовых вагонопотоков, рационального использования инфраструктуры общего пользования, а также моделировать и в оперативном режиме управлять транспортно-технологическим взаимодействием в системе «железнодорожная станция – порт».

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

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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Mogale D.G., Cheikhrouhou N., Tiwari M.K.* Modelling of sustainable food grain supply chain distribution system: a bi-objective approach // *International Journal of Production Research.* – 2020. – Vol. 58, Issue 18. – P. 5521-5544.
2. *Maiyar L.M., Thakkar J.J.* Robust optimisation of sustainable food grain transportation with uncertain supply and intentional disruptions // *International Journal of Production Research.* – 2020. – Vol. 58, Issue 18. – P. 5651-5675.
3. *Knoop V., Hoogendoorn S.* An Area-Aggregated Dynamic Traffic Simulation Mode // *European Journal of Transport and Infrastructure Research.* – 2015. – No. 15 (2). – P. 226-242.
4. *Wang X., Meng Q., Miao L.* Delimiting port hinterlands based on intermodal network flows: Model and algorithm // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.* – 2016. – Vol. 88. – P. 32-51.
5. *Лёвин Б.А., Цветков В.Я.* Цифровая железная дорога: принципы и технологии // *Мир транспорта.* – 2018. – Т. 16, № 3 (76). – С. 50-61.
6. *Ерофеев А.А., Бородин А.Ф.* Концепция интеллектуального управления перевозочным процессом и этапность ее реализации // *Проблемы безопасности на транспорте: Матер. X Междунар. науч.-практ. конф.: в 5 ч. Ч. 3 / под общ. ред. Ю.И. Кулаженко.* – Гомель: БелГУТ, 2020. – С. 16-20.

7. *Куприяновский В.П. и др.* Развитие транспортно-логистических отраслей Европейского Союза: открытый BIM, Интернет Вещей и кибер-физические системы // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2018. – Т. 6, № 2. – С. 54-100.
8. *Розенберг Е.Н., Озеров А.В., Лысиков М.Г., Ольшанский А.М.* О переходе к предиктивному управлению транспортными системами с использованием Big Data // *Техника железных дорог*. – 2018. – № 1 (41). – С. 32-37.
9. *Ларин О.Н., Куприяновский В. П.* Вопросы трансформации рынка транспортно-логистических услуг в условиях цифровизации экономики // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2018. – Т. 6, № 3.
10. *Алибеков Б.И., Мамаев Э.А.* Мультиагентные системы в логистике: информационно-аналитические аспекты // *Вестник Дагестанского государственного университета. Сер. 1. Естественные науки*. – 2017. – Т. 32. – Вып. 4. – С. 56-62.
11. *Бакалов М.В.* Системный подход к вопросу взаимодействия и конкуренции в региональной транспортной системе // *Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике: Сб. научных трудов III международной научно-практической конференции*. – 2019. – С. 36-39.
12. *Осьминин А.Т.* О разработке интеллектуальной системы управления перевозочным процессом // *Железнодорожный транспорт*. – 2021. – № 3. – С. 17-27.
13. *Лябах Н.Н.* Математический инструментарий исследования задач транспорта и логистики через призму идей цифровой экономики // *Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике: Сб. науч. трудов III международной научно-практической конференции*. – Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО РГУПС, 2019. – С. 217-221.
14. *Chislov O.N., Zadorozhnyi V.M., Bogachev V.A., Kravets A.S., Bogachev T.V., Bakalov M.V.* Mathematical modeling of cargo flow distribution in a regional multimodal transportation system // *Transport Problems*. – 2021. – Vol. 16, No. 2. – P. 153-165.
15. *Числов О.Н., Лябах Н.Н., Колесников М.В., Бакалов М.В., Задорожний В.М.* Нейросетевое исследование транспортных систем // *Научно-информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление»*. ВИНТИ РАН. – 2021. – № 10. – С. 9-14.
16. *Бородин А.Ф.* Проблемы комплексного развития железнодорожной инфраструктуры в припортовых транспортных узлах // *Транспорт Российской Федерации*. – 2017. – № 4 (71). – С. 45-50.
17. *Rakhmangulov A., Muravev D., Hu H., Mishkurov P.* Multi-agent optimization of the intermodal terminal main parameters by using AnyLogic simulation platform: Case study on the Ningbo-Zhoushan Port // *International Journal of Information Management*. – 2021. – Vol. 57. – P. 102-133. – DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2020.102133.
18. *Tian W., Cao C.* A generalized interval fuzzy mixed integer programming model for a multimodal transportation problem under uncertainty // *Engineering Optimization*. – 2017. – Vol. 49, Issue 3. – P. 481-498.
19. *Sun Y., Liang X., Li X., Zhang C.* A Fuzzy Programming Method for Modeling Demand Uncertainty in the Capacitated Road–Rail Multimodal Routing Problem with Time Windows // *Journals Symmetry*. – 2019. – Vol. 11, Issue 1, 91. – <https://doi.org/10.3390/sym11010091>.
20. *Aulin V., Lyashuk O., Pavlenko O., Velykodnyi D., Hrynkiv A., Lysenko S., Holub D., Vovk Y., Dzyura V., Sokol M.* Realization of the Logistic Approach in the International Cargo Delivery System // *Communications - Scientific letters of the University of Zilina*. – 2020. – Vol. 21 (No. 2). – P. 3-12.

REFERENCES

1. *Mogale D.G., Cheikhrouhou N., Tiwari M.K.* Modelling of sustainable food grain supply chain distribution system: a bi-objective approach, *International Journal of Production Research*, 2020, Vol. 58, Issue 18, pp. 5521-5544.
2. *Maiyar L.M., Thakkar J.J.* Robust optimisation of sustainable food grain transportation with uncertain supply and intentional disruptions, *International Journal of Production Research*, 2020, Vol. 58, Issue 18, pp. 5651-5675.
3. *Knoop V., Hoogendoorn S.* An Area-Aggregated Dynamic Traffic Simulation Mode, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 2015, No. 15 (2), pp. 226-242.

4. Wang X., Meng Q., Miao L. Delimiting port hinterlands based on intermodal network flows: Model and algorithm, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2016, Vol. 88, pp. 32-51.
5. Levin B.A., TSvetkov V.Ya. Tsifrovaya zheleznyaya doroga: printsipy i tekhnologii [Digital railway: principles and technologies], *Mir transporta* [The world of transport], 2018, Vol. 16, No. 3 (76), pp. 50-61.
6. Erofeev A.A., Borodin A.F. Kontseptsiya intellektual'nogo upravleniya perevozochnym protsessom i etapnost' ee realizatsii [The concept of intelligent control of the transportation process and the stages of its implementation], *Problemy bezopasnosti na transporte: Mater. X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Problems of safety in transport: materials of the X International Scientific and Practical Conference]: In 5 part. Part 3, under the general ed. Yu.I. Kulazhenko. Gomel': BelGUT, 2020, pp. 16-20.
7. Kupriyanovskiy V.P. i dr. Razvitie transportno-logisticheskikh otrasley Evropeyskogo Soyuza: otkrytyy BIM, Internet Veshchey i kiber-fizicheskie sistemy [The development of transport and logistics sectors of the European Union: an open BIM, Internet of Things and cyber-physical systems], *International Journal of Open Information Technologies*, 2018, Vol. 6, No. 2, pp. 54-100.
8. Rozenberg E.N., Ozerov A.V., Lysikov M.G., Ol'shanskiy A.M. O perekhode k prediktivnomu upravleniyu transportnymi sistemami s ispol'zovaniem Big Data [On the transition to predictive management of transport systems using Big Data], *Tekhnika zheleznykh dorog* [Railway Engineering], 2018, No. 1 (41), pp. 32-37.
9. Larin O.N., Kupriyanovskiy V.P. Voprosy transformatsii rynka transportno-logisticheskikh uslug v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki [Issues of transformation of the transport and logistics services market in the conditions of digitalization of the economy], *International Journal of Open Information Technologies*, 2018, Vol. 6, No. 3.
10. Alibekov B.I., Mamaev E.A. Mul'tiagentnye sistemy v logistike: informatsionno-analiticheskie aspekty [Multi-agent systems in logistics: information and analytical aspects], *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 1. Estestvennye nauki* [Bulletin of Dagestan State University. Ser. 1. Natural Sciences], 2017, Vol. 32, Issue 4, pp. 56-62.
11. Bakalov M.V. Sistemnyy podkhod k voprosu vzaimodeystviya i konkurentsii v regional'noy transportnoy sisteme [A systematic approach to the issue of cooperation and competition in the regional transport system], *Transport i logistika: strategicheskie priority, tekhnologicheskie platformy i resheniya v globalizovannoy tsifrovoy ekonomike: Sb. nauchnykh trudov III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Transport and logistics: strategic priorities, technology platforms and solutions in the globalized digital economy: Collection of scientific papers of the III international scientific-practical conference], 2019, pp. 36-39.
12. Os'minin A.T. O razrabotke intellektual'noy sistemy upravleniya perevozochnym protsessom [On the development of an intelligent control system for the transportation process], *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport], 2021, No. 3, pp. 17-27.
13. Lyabakh N.N. Matematicheskiy instrumentariy issledovaniya zadach transporta i logistiki cherez prizmu idey tsifrovoy ekonomiki [Mathematical tools for the study of transport and logistics problems through the prism of the ideas of the digital economy], *Transport i logistika: strategicheskie priority, tekhnologicheskie platformy i resheniya v globalizovannoy tsifrovoy ekonomike: Sb. nauch. trudov III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Transport and logistics: strategic priorities, technological platforms and solutions in the globalized digital economy: A collection of scientific papers of the III International Scientific and Practical Conference]. Rostov-on-Don: FGBOU VO RGUPS, 2019, pp. 217-221.
14. Chislov O.N., Zadorozhniy V.M., Bogachev V.A., Kravets A.S., Bogachev T.V., Bakalov M.V. Mathematical modeling of cargo flow distribution in a regional multimodal transportation system, *Transport Problems*, 2021, Vol. 16, No. 2, pp. 153-165.
15. Chislov O.N., Lyabakh N.N., Kolesnikov M.V., Bakalov M.V., Zadorozhniy V.M. Neyrosetevoe issledovanie transportnykh sistem [Neural network research of transport systems], *Nauchno-informatsionnyy sbornik «Transport: nauka, tekhnika, upravlenie»* [Scientific and informational collection "Transport: science, technology, management"]. VINITI RAN, 2021, No. 10, pp. 9-14.
16. Borodin A.F. Problemy kompleksnogo razvitiya zheleznodorozhnoy infrastruktury v priportovykh transportnykh uzlakh [Problems of complex development of railway infrastructure in port transport hubs], *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation], 2017, No. 4 (71), pp. 45-50.

17. *Rakhmangulov A., Muravev D., Hu H., Mishkurov P.* Multi-agent optimization of the intermodal terminal main parameters by using AnyLogic simulation platform: Case study on the Ningbo-Zhoushan Port, *International Journal of Information Management*, 2021, Vol. 57, pp. 102-133. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2020.102133.
18. *Tian W., Cao C.* A generalized interval fuzzy mixed integer programming model for a multimodal transportation problem under uncertainty, *Engineering Optimization*, 2017, Vol. 49, Issue 3, pp. 481-498.
19. *Sun Y., Liang X., Li X., Zhang C.* A Fuzzy Programming Method for Modeling Demand Uncertainty in the Capacitated Road–Rail Multimodal Routing Problem with Time Windows, *Journals Symmetry*, 2019, Vol. 11, Issue 1, 91. Available at: <https://doi.org/10.3390/sym11010091>.
20. *Aulin V., Lyashuk O., Pavlenko O., Velykodnyi D., Hrynkiv A., Lysenko S., Holub D., Vovk Y., Dzyura V., Sokol M.* Realization of the Logistic Approach in the International Cargo Delivery System, *Communications - Scientific letters of the University of Zilina*, 2020, Vol. 21 (No. 2), pp. 3-12.

Статью рекомендовала к опубликованию д.т.н., профессор М.А. Бутакова.

Числов Олег Николаевич – Ростовский государственный университет путей сообщения; e-mail: o_chislov@mail.ru; г. Ростов-на-Дону, Россия; тел.: 88632726473; кафедра «Станции и грузовая работа»; зав. кафедрой; д.т.н.

Мамаев Энвер Агапашаевич – e-mail: mamaev_enver@mail.ru; тел.: +78632726414; кафедра «Логистика и управление транспортными системами»; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Колесников Максим Владимирович – e-mail: kmv-d@list.ru; тел.: +79282261426; кафедра «Экономика и менеджмент»; д.т.н.; профессор.

Бакалов Максим Владимирович – e-mail: Maxim_bmw@mail.ru; тел.: +79515029566; кафедра «Управление эксплуатационной работой»; к.т.н.; доцент.

Задорожний Вячеслав Михайлович – e-mail: zadorozniy91@mail.ru; тел.: 88632726473; кафедра «Станции и грузовая работа»; к.т.н.; доцент.

Chislov Oleg Nikolaevich – Rostov State Transport University; e-mail: o_chislov@mail.ru; Rostov-on-Don, Russia; phone: +78632726473; chair «Stations and cargo work»; head of the chair; dr. of eng. sc.

Mamaev Enver Agapashaevich – e-mail: mamaev_enver@mail.ru; phone: +78632726445; chair «Logistics and transportation systems management»; head of the chair dr. of eng. sc. professor.

Kolesnikov Maksim Vladimirovich – e-mail: kmv-d@list.ru; phone: +79282261426; chair «Economics and management»; dr. of eng. sc.; professor.

Bakalov Maksim Vladimirovich – e-mail: Maxim_bmw@mail.ru; phone: +79515029566; chair «Management of maintenance works»; cand. of eng. sc.; associate professor.

Zadorozhnyi Viacheslav Mikhailovich – e-mail: zadorozniy91@mail.ru; phone: +78632726473; chair «Stations and cargo work»; cand. of eng. sc.; associate professor.