

Экономико-математическое обоснование устойчивости многомерных транспортных систем

Economic and mathematical substantiation of the stability of multidimensional transport systems

doi 10.26310/2071-3010.2022.282.4.003



Л. Н. Борисоглебская,

д. э. н., профессор, проректор по научной и проектно-инновационной деятельности, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева
✉ boris-bleb@rambler.ru

L. N. Borisoglebskaya,

doctor of economics, professor, vice-rector for research and design and innovation activities, Oryol state university n. a. I. S. Turgenev



С. М. Сергеев,

к. т. н., доцент, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет
✉ sergeev2@yandex.ru

S. M. Sergeev,

PhD, associate professor, Institute of industrial management, economy and trade, Peter the Great St. Petersburg polytechnic university



А. Л. Гнеушева,

к. э. н., доцент, аналитик, управление научных и инновационных проектов, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева
✉ alija-777@yandex.ru

A. L. Gneusheva,

candidate of economics, associate professor, analyst, department of scientific and innovation projects, Oryol state university n. a. I. S. Turgenev

Современное состояние транспортно-логистического рынка Российской Федерации подвержено серьезным дестабилизирующим факторам. Уровень логистических издержек в целом оценивается как достаточно высокий в сравнении с развитыми странами. Негативный эффект от серьезного санкционного давления и в первую очередь на сегмент транспорта приводит к росту затрат на логистику в целом по стране свыше 20%. Необходимо выделить в общей картине долю важнейшей для бюджета РФ составляющей связанной с перемещением углеводородов, нефти, газа. Расходы на них оцениваются свыше 65% по отношению к общим затратам. Таким образом, неотъемлемым фактором исследований должен быть учет вида товаров и грузов. Современные модели логистического процесса оперируют как дискретными товарными единицами, так и непрерывным потоком переносов. Важно также учесть, что хотя уже сформированы концепции сторонней логистики, но она не может рассматриваться как оторванный от производственного процесса бизнес. В настоящем исследовании проведен анализ формализмов необходимых для разработки алгоритмической основы цифровых логистических платформ. При этом акцент сделан на разработку условий устойчивости полученных решений. Это полностью соответствует целям концепции «Промышленность 4.0» в части устойчивой цифровой среды и задаче поддержания необходимого уровня противодействия как внешним вызовам и продолжающемуся давлению, так и острому конкурентному окружению страны в целом.

The current state of the transport and logistics market of the Russian Federation is subject to serious destabilizing factors. The level of logistics costs is generally assessed as quite high in comparison with developed countries. The negative effect of serious sanctions pressure and, first of all, on the transport segment leads to an increase in logistics costs in the country as a whole by more than 20%. It is necessary to single out in the overall picture the share of the most important component for the budget of the Russian Federation associated with the movement of hydrocarbons, oil, and gas. Their costs are estimated at over 65% of the total costs. Thus, an integral factor in research should be taking into account the type of goods and cargo. Modern models of the logistics process operate with both discrete trade units and a continuous stream of transfers. It is also important to take into account that although the concepts of third-party logistics have already been formed, it cannot be considered as a business divorced from the production process. In this study, an analysis of the formalisms necessary for the development of the algorithmic basis of digital logistics platforms was carried out. In this case, the emphasis is on developing the conditions for the stability of the obtained solutions. This is fully consistent with the goals of the Industry 4.0 concept in terms of a sustainable digital environment and the task of maintaining the necessary level of counteraction to both external challenges and ongoing pressure, and the sharp competitive environment of the country as a whole.

Ключевые слова: «Промышленность 4.0», цифровизация, устойчивость, n -мерная сеть, логистика, метод полудискретизации.

Keywords: Industry 4.0, digitalization, sustainability, n -dimensional network, logistics, semisampling method.

Введение

Логистический менеджмент чтобы стать конкурентоспособным на современном этапе должен внедрять программно-технические надстройки в процессе принятия решений и планировании перевозок. Влияющие на экономику дестабилизирующие или возмущающие факторы будут в обозримом горизонте определять условия работы всех участников данного сегмента. Основная их доля проистекает из санкционной политики, а также недобросовестной конкуренции в нарушение всех норм и международных соглашений.

Отметим значительные, достигающие десятикратных значений скачки стоимости фрахта, беспрецедентные изменения регламентов и условий страхования. Также к перечню необходимо добавить перекрытие транспортно-путей, причем не только сезонные или форс-мажорные типа блокировки Суэцкого канала судном Ever Given, но и запреты на полеты, пограничные санкционные барьеры, задержки грузов. Мультиплицирующим эффектом при этом становится демередж (Demurrage) в виде издержек за непредусмотренное хранение товаров и грузов, detention (Detention) как линейные расходы владельцем тары, сторедж (Storage)

и весь хорошо известный менеджеру по транспортной логистике набор трудно прогнозируемых затрат.

Сложившаяся в мировом экономическом окружении ситуация вынуждает более глубоко анализировать варианты трека, эффективно сочетать как различные технологии доставки мультимодальной логистики, гибко применять FTL (Full Truck Load) перевозки в комплексе с LTL (Less than Truck Load). Наиболее перспективно внедрение преимуществ цифровых технологий не только в процесс оформления, сопровождения и смарт-документооборота. Актуально направление исследований нацеленных на создание цифровых двойников и разработки соответствующих алгоритмов, учитывающих многомерность транспортных сетей. Это понятие несколько различно в сегменте дискретных грузов и непрерывного переноса. В первом случае логистика имеет дело с такими единицами, как контейнеры, морские пакеты, вагоны, транспортные средства и весь спектр грузов, оцениваемых квантами поставки или единицами транспортировки. При этом доступны не только варианты доставки различными видами транспорта или мультимодальные опции, но и в рамках одного вида имеем дело с многомерными трассами. Второй сегмент гораздо более важный для экономики РФ включает в себя все товары, перемещаемые по сложной системе трубопроводов. Современная международная трубопроводная сеть является одним из самых сложных инженерно-технических объектов. По российскому регламенту трубопроводный транспорт позиционируется в официальных регулирующих документах как входящий в состав транспортной инфраструктуры. С учетом их назначения для переноса жидких, газообразных масс и иных продуктов, разжиженных в целях дальнейшей транспортировки и одного из определяющих вкладов в бюджет страны, задача поиска экономически оптимального и устойчивого к изменению внешних экономических параметров управления потоками грузов является актуальной и перспективной. Проведенный анализ данных по сходным исследованиям показывает, что при решении задач логистического сектора сформулированы как правило, одномерные цепочки поставок. Также решаются задачи определения потребительской ценности, спроецированные на математические графы, выступающие абстрактным двойником сетевых объектов коммерческого плана. Для соответствия общемировой тенденции на дигитализацию, а также алгоритмов искусственного интеллекта, необходимы более адекватные математические модели. Результаты исследований, освещенные в данной статье, более широко охватывают проблему за счет многомерности логистических потоков. Причем указанное обстоятельство, всегда характерно для перемещения между узлами транспортной сети, как непрерывных грузов, так и для дискретных.

Изложение основного материала

Необходимо разработать математическое описание для применения в задаче анализа процессов переноса в сетевых и сетеподобных многомерных (nD) струк-

турах. Результат ориентирован на применение в алгоритмической архитектуре цифровых логистических платформ. Построение математической nD -модели проводится с применением динамических уравнений переноса на n -мерных пространственных аргументах. Поиск решения ведется в пространствах Соболева. Суммируя перечисленные факторы с учетом их, во многом случайного характера, в задаче отражаются как возмущения параметров в математическом моделировании. Такой набор формализмов дает основу для исследования устойчивости и построения оптимальных, по экономическим критериям, решений менеджмента логистического дивизиона. В целом задача должна отражать развитие прежних одномерных подходов к решению транспортно-логистических проблем.

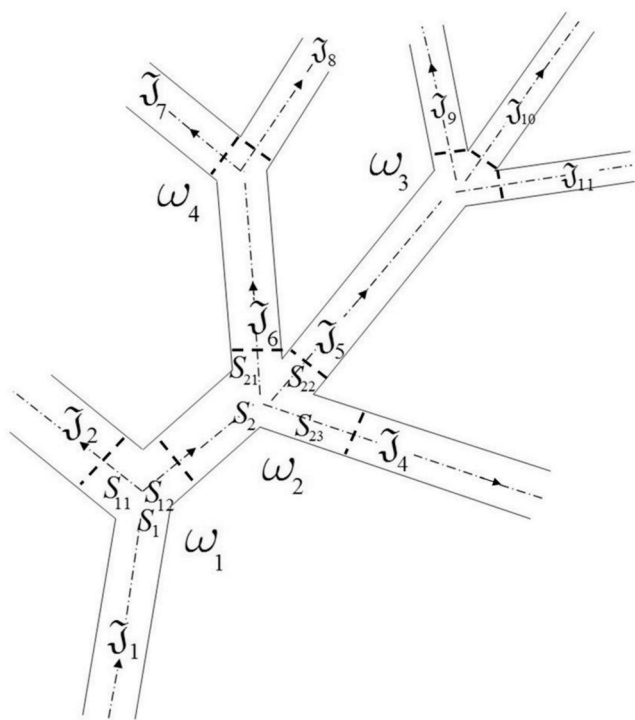
Применение в логистической практике одномерных математических моделей для формализации процессов [1, 2] транспортировки недостаточно отвечает требованиям практики на современном этапе. Причина в серьезно усложнившихся условиях бизнеса, многократно выросшем объеме информационного взаимодействия участников рынка. Кроме того, как для переноса сплошных сред, так и в задачах управления дискретными потоками, все процессы имеют уже многомерную [3, 4] структуру. Также значительно усложнилась топология сетевой взаимодействия, ее структура, которая также отражает современный тренд на консолидацию бизнеса как в производственном сегменте, так и в сфере услуг. В задачах формализации перемещения сплошных грузов, поток содержит целый ряд фракций, характеризуемых своими параметрами такими как, например, вязкость, состав, скорость. Для потоков дискретных грузов, например, необходимо учесть разнообразие возможных видов транспорта или многополосность трасс. Для этого привлекается математический аппарат, оперирующий пространствами дискретных функций включающий условия балансных отношений в узлах топологии сети.

В предлагаемом исследовании использован метод анализа динамических дифференциальных систем. Введено понятие сетеподобной области [5, 6]

$$\mathfrak{S} \subset R^n, n \geq 2,$$

содержащей пространственные переменные. Для иллюстрации применяемого метода на рисунке представлена структура формализмов. При этом обозначено: $\omega_j = (j=1, M)$ — узлы логистической сетевой транспортной системы; Γ — транспортная сеть; для применения математических методов введены понятия $\partial\Gamma$ и $J(\Gamma)$ [7], отражающие логистические хабы или распределительные центры и потребители/терминалы рассматриваемой сети; S_j (размерностью $S_j > 0$) означает множество поверхностей примыкания [8]. Приведенная система обозначений распространена и использована в исследованиях [3, 4].

Для выбора методики решения использовано представление начально-краевой задачи [9] отражающей динамику потоков в сетевой структуре логистики. При этом нами применен неклассический [10] метод анализа:



Сочетание элементов транспортно-логистической сети

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(a(x) \frac{\partial y(x, t)}{\partial x} \right) + b(x)y(x, t) = f(x, t), \quad (1)$$

$$y|_{t=0} = \varphi(x), x \in \Gamma, y|_{x \in \partial \Gamma_T} = 0, \quad (2)$$

Дифференциальное соотношение (1) для эволюционной динамики процесса на образе сети в виде графа Γ как образ топологии. Обозначен как $\partial \Gamma$ набор (математическое множество) граничных узлов [11] транспортной сети. Система (1) и (2) дает возможность формализовать различные по природе процессы. В первую очередь на практике требуется решение задачи моделирования по сети транспортировки углеводородов и вообще любых сплошных сред. После проведения редукции системы (1) и (2) описывающей начально-краевую задачу, можно написать следующее преобразование:

$$\frac{1}{\tau} (u(k) - u(k-1)) - \frac{d}{dx} \left(a(x) \frac{du(k)}{dx} \right) + b(x)u(k) = f_\tau(k), \quad k=1, 2, \dots, K, \quad (3)$$

$$u(0) = \varphi(x), u(k)|_{x \in \partial \Gamma} = 0, \quad (4)$$

Таким образом, имеем уже дифференциально-разностную [12] систему (3), (4). Для дальнейшего решения применим метод полудискретизации по параметру времени $\tau \in [0, T]$ [5], согласно принципу Ротэ. Это уже даст возможность применить разработанные математические методы для эллиптических уравнений со следующим оператором:

$$-\frac{d}{dx} \left(a(x) \frac{du(k)}{dx} \right) + b(x)u(k).$$

Такой подход позволяет упростить алгоритмизацию и провести дальнейшее исследование опираясь на дискретно-временную интерпретацию процессов транспортировки имеющих аргументом непрерывное время [1].

Такое преобразование позволяет в дальнейшем встраивать целый ряд математических алгоритмов в практические приложения вида программного кода цифровых логистических платформ и востребованы в модулях [13] цифровых транспортных коридоров. Кроме того, получим исключительно важное развитие данной модели в задаче определения оптимально (по критериях экономического характера) режима работы логистического оператора и как итог — устойчивости полученных решений к флуктуациям экономических параметров.

Для такого развития дополнительно определим аргументы

$$\hat{\omega} = \bigcup_{j=1}^M \omega_j \text{ и } \hat{\mathfrak{S}} = \bigcup_{k=1}^N \mathfrak{S}_k,$$

отражающие уже количественные данные по состоянию потока $y(x, t)$; зависимости $\varphi(x)$ и $f(x, t)$ отражают внешние характеристики носителей на сети; $u(k) := u(x, k)$,

$$f_\tau(k) := f_\tau(x, k) = \frac{1}{\tau} \int_{(k-1)\tau}^{k\tau} f(x, t) dt,$$

$k=1, 2, \dots, K$; при этом: $\tau = T/K$, зависимости $u(k)$, $k=1, 2, \dots, K$, соответствуют дискретно-временным аналогам $y(x, t)$ для всех значений $t = k\tau$, $k=1, 2, \dots, K$.

Далее, используя результаты [1, 5] можно развить полученное одномерное решение на целый класс многомерных моделей. Для этого зададим класс функций уже на многомерной сети \mathfrak{S} в которой существуют параметры. Например, в качестве \mathfrak{S} выступают 3D сетеподобные и магистральные газо- и нефтепроводы. Тогда строится математическая модель, аналогичная приведенной выше системе выражений (1)-(4). Отличие в том, что используется пространственная [14] переменная x , область изменения которой будет сетеподобная n -мерная \mathfrak{S} ($n \geq 2$). Отметим, что такое абстрактное представление гораздо ближе соответствует реально протекающим физическим процессам.

Также отметим в данном представлении на области \mathfrak{S} , содержится самый общий случай, когда $\mathfrak{S} \subset R^n$, $n \geq 2$ (здесь применяется обозначение R^n для евклидова n -мерного пространства). Тогда естественно, что x в представленных уравнениях (1)-(4) будет вектор: $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$.

Введем теперь область \mathfrak{S} с границей $\partial \mathfrak{S}$ и соответствующие подобласти \mathfrak{S}_l имеющие набор границ $\partial \mathfrak{S}_l$ ($l=1, \overline{N}$), а также топология сети соединяет их в M узлах ω_j ($j=1, \overline{M}$, $1 \leq M \leq N-1$):

$$\mathfrak{S} = \hat{\mathfrak{S}} \cup \hat{\omega},$$

где

$$\hat{\mathfrak{S}} = \bigcup_{l=1}^N \mathfrak{S}_l, \hat{\omega} = \bigcup_{j=1}^M \omega_j, \mathfrak{S}_l \cap \mathfrak{S}_j = \emptyset, (l \neq j),$$

$$\omega_j \cap \omega_l = \emptyset, (l \neq j), \mathfrak{S}_l \cap \omega_j = \emptyset \forall l \neq j [1, 3].$$

По каждому узлу логистической сети места ω_j ($j=1, M$) обозначим поверхность примыкания в виде S_j (размерность $S_j > 0$) по всем $1+m_j$ подобластей \mathfrak{S}_{j_0} и \mathfrak{S}_{j_s} ($s=1, m_j$):

$$S_j = \bigcup_{s=1}^{m_j} S_{j_s} \text{ (размерность } S_{j_s} > 0), S_j \subset \partial \mathfrak{S}_{j_0}, S_{j_s} \subset \partial \mathfrak{S}_{j_s} (s=1, m_j).$$

Каждое \mathfrak{S}_l ($l=1, N$) отражает наиболее распространенный вариант организации логистических структур как spoke-hub или звездная топология. Это отражает структурирование области \mathfrak{S} как образ графа — дерево сложной сетевой структуры [1, 2], а подобласти \mathfrak{S}_j являются ребрами графа. В результате математического моделирования сформирована дифференциально-разностная система [15], позволяющая анализировать дискретно-временной процесс переноса непрерывных потоков товаров и грузов и проводить поиск оптимальных решений и исследование их устойчивости.

Заключение

В результате проведенного исследования предлагается использовать для анализа nD процессов в сетях переноса товарных масс, научно обоснованную методику, базирующуюся на обобщенном решении сформулированном и успешно опробованном в классе начально-краевых задач. Это хорошо разработанный математический аппарат применим для представленных эволюционных уравнений переноса. Так как в процессе моделирования логистической деятельности в динамике необходим поиск априорных оценок, который в свою очередь связан с применением дифференциально-разностных систем уравнений в частных производных. Именно нахождение норм обоб-

щенных решений дает инструмент по созданию эффективных алгоритмов. В первую очередь их применение полезно в алгоритмическом каркасе цифровых сетевых платформ управления транспортно-логистическими процессами. В реальных приложениях изложенная математическая модель позволит формировать цифрового двойника процессов на сетеподобных областях путем подстановки дифференциально-разностного аналога. При этом охватывается целый класс аналогичных задач, связанных с исследованием проблем, содержащих распределенные параметры в аргументах модели. Наиболее четко становится виден результат при анализе потоковых процессов и феноменов переноса в товарном сегменте, представленном непрерывными потоковыми грузами.

Примененный метод может также использоваться в исследованиях, направленных на формализацию как процессов перемещения дискретных и непрерывных грузов так и на решение задач поиска оптимальных решений и определения условий устойчивости полученных результатов а также границ их стабильности. Удобство встраивания математических моделей в системы искусственного интеллекта дает основание рассматривать использование полученного результата не только в таких важных с точки зрения глобальной производственной цепи сегментах, как перемещение углеводородов. В задачах анализа и управления дискретными потоками, nD сечения отражают набор всех имеющихся логистических путей соответствующий доступным видам транспорта. Также результаты перспективны при создании алгоритмов искусственного интеллекта для управления беспилотными грузовыми транспортными средствами, разработка которых интенсивно ведется в развитых странах мира.

Список использованных источников

1. С. Ю. Барыкин, Л. Н. Борисоглебская, В. В. Провоторов и др. Устойчивость управленческих решений в цифровой логистической сети//Sustainability (Швейцария), 2021, 13 (16), 9289.
2. С. Л. Подвальный, В. В. Провоторов, Е. С. Подвальный. Управляемость параболических систем с запаздыванием и распределенными параметрами на графе//Procedia Computer Science. 2017. Т. 103. С. 324-330.
3. В. В. Провоторов, Е. Н. Провоторова. Оптимальное управление линеаризованной системой Навье-Стокса в сеткоподобной области//Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления, 2017, Т. 13. Вып. 4. С. 431-443. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2017.409>.
4. М. А. Артемов, Е. С. Барановский, А. П. Жабко, В. В. Провоторов. О трехмерной модели неизоэтермических потоков в трубопроводной сети//Журнал Физика. Conference Series. 2019. Т. 1203. Article ID 012094. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1203/1/012094>.
5. В. В. Провоторов, С. М. Сергеев, В. Н. Хоанг. Точечное управление дифференциально-разностной системой с распределенными параметрами на графе//Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Вычислительная техника. Процессы управления. 2021. Т. 17. Вып. 3. С. 277-286.
6. Е. С. Барановский, В. В. Провоторов, М. А. Артемов, А. П. Жабко. Неизоэтермические ползуние потоки в трубопроводной сети: результаты существования//Симметрия. 2021. V. 13.
7. O. Kalinina, S. Firova, S. Barykin, I. Kapustina. Разработка логистической модели источников инвестиций энергетических проектов в транспортном секторе//In Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 982. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_29.
8. O. Kalinina, I. Kapustina, Barykin S. et al. Development of a combined approach of innovative and traditional scenarios of the company's strategy//Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020.
9. И. А. Красюк, В. В. Бахарев, Н. А. Козлова, Д. Д. Мирзоева. Кадровое обеспечение в сфере торговли: основные проблемы и перспективы решения//Материалы 2017 IEEE 6th Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science. Education. Innovations), SPUE 2017 6. 2018. С. 48-50.
10. I. A. Krasnyuk, Y. Y. Medvedeva. Resource support in business analytics of innovative development of trade and technological systems//IEEE Conference on Data Science: Challenges of Digital Transformation (IEEE DSDT 2018). 2018. P. 482-488.
11. M. Yanenko. Cost-Based Brand Management//International Business Management. 2016. Vol. 10. Iss. 26. P. 5991-5995.
12. И. Красюк, Т. Кириллова, В. Бахарев, Б. Лямин. Управление жизненным циклом сетевого розничного предприятия на основе внедрения инноваций//2019 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
13. М. С. Рыбачева, Е. А. Иванова, С. С. Демин и др. Финансовая устойчивость предприятия и основные методы ее оценки//Международный журнал прикладных деловых и экономических исследований. 2017. Т. 15. № 23. С. 139-146.
14. В. В. Провоторов. Собственные функции краевых задач на графах и приложениях. Воронеж, 2008.
15. А. С. Волкова, Ю. А. Гнилицкая, В. В. Провоторов. О разрешимости краевых задач для уравнений параболического и гиперболического типов на геометрическом графе//Системы управления и информационные технологии. 2013. № 1 (51). С. 11-15.

References

1. S. Yu. Bary`kin, L. N. Borisoglebskaya, V. V. Provotorov et al. Ustojchivost` upravlencheskix reshenij v cifrovoj logisticheskoj seti//Sustainability (Shvejczariya), 2021, 13 (16), 9289.
2. S. L. Podval`ny`j, V. V. Provotorov, E. S. Podval`ny`j. Upravlyaemost` parabolicheskix sistem s zapazdy`vaniem i raspredelenny`mi parametrami na grafe//Procedia Computer Science. 2017. T. 103. S. 324-330.

3. V. V. Provotorov, E. N. Provotorova. Optimal`noe upravlenie linearizovannoj sistemoj Nav`e-Stoksa v setkopodobnoj oblasti//Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Prikladnaya matematika. Informatika. Processy` upravleniya. 2017. Vol. 13. Iss. 4. P. 431-443. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2017.409>.
4. M. A. Artemov, E. S. Baranovskij, A. P. Zhabko, V. V. Provotorov. O trexmernoj modeli neizotermicheskix potokov v truboprovodnoj seti//Zhurnal Fizika. Conference Series. 2019. Vol. 1203. Article ID 012094. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1203/1/012094>.
5. V. V. Provotorov, S. M. Sergeev, V. N. Xoang. Tochechnoe upravlenie differencial`no-raznostnoj sistemoj s raspredelenny`mi parametrami na grafe//Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Prikladnaya matematika. Vy`chislitel`naya texnika. Processy` upravleniya. 2021. Tom 17. Vy`p. 3. P. 277-286.
6. E. S. Baranovskij, V. V. Provotorov, M. A. Artemov, A. P. Zhabko. Neizotermicheskie polzuchie potoki v truboprovodnoj seti: rezul`taty` sushhestvovaniya//Simmetriya. 2021. V. 13.
7. O. Kalinina, S. Firova, S. Barykin, I. Kapustina. Razrabotka logisticheskoy modeli istochnikov investitsij energeticheskix projektov v transportnom sektore//In Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 982. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_29.
8. O. Kalinina, I. Kapustina, Barykin S. et al. Development of a combined approach of innovative and traditional scenarios of the company's strategy//Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020.
9. I. A. Krasnyuk, V. V. Baxarev, N. A. Kozlova, D. D. Mirzoeva. Kadrovoe obespechenie v sfere trgovli: osnovny`e problemy` i perspektivy` resheniya//Materialy` 2017 IEEE 6th Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science. Education. Innovations), SPUE 2017 6. 2018. P. 48-50.
10. I. A. Krasnyuk, Y. Y. Medvedeva. Resource support in business analytics of innovative development of trade and technological systems//IEEE Conference on Data Science: Challenges of Digital Transformation (IEEE DSDT 2018). 2018. P. 482-488.
11. M. Yanenko. Cost-Based Brand Management//International Business Management. 2016. Vol. 10. Iss. 26. P. 5991-5995.
12. I. Krasnyuk, T. Kirillova, V. Baxarev, B. Lyamin. Upravlenie zhiznenny`m ciklom setevogo roznichnogo predpriyatiya na osnove vnedreniya innovacij//2019 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
13. M. S. Ry`byanceva, E. A. Ivanova, S. S. Demin et al. Finansovaya ustojchivost` predpriyatiya i osnovny`e metody` ee ocenki//Mezhdunarodny`j zhurnal prikladny`x delovy`x i ekonomicheskix issledovanij. 2017. T. 15. № 23. S. 139-146.
14. V. V. Provotorov. Sobstvenny`e funkcii kraevy`x zadach na grafax i prilozheniyax. Voronezh, 2008.
15. A. S. Volkova, Yu. A. Gnilyczkaya, V. V. Provotorov. O razreshimosti kraevy`x zadach dlya uravnenij parabolicheskogo i giperbolicheskogo tipov na geometricheskom grafe//Sistemy` upravleniya i informacionny`e tehnologii. 2013. № 1 (51). S. 11-15.