

Вестник Череповецкого государственного университета. 2024. № 3 (120). С. 7–18.
Cherepovets State University Bulletin, 2024, no. 3 (120), pp. 7–18.

Научная статья
УДК 004.942:519.876.2
<https://doi.org/10.23859/1994-0637-2024-3-120-1>
EDN: ZSWLHC

Моделирование распределения продукции промышленного предприятия в иерархических транспортно-логистических системах

Сергей Николаевич Гончаренко^{1✉}, Алмунтафеки Асель Фарис Марзуг²,
^{1,2} Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,
Москва, Россия

^{1✉}gsn@isis.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7783-3738>

²gs16@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-1399-1344>

Аннотация. В работе произведено сценарное моделирование маршрутов доставки продукции промышленного предприятия автомобильным и железнодорожным транспортом с учетом перевалки на промежуточных транспортно-логистических терминалах, времени доставки, расстояния и различных типов используемых транспортных средств. На основе сформированного графика поставок моделируется необходимое количество рейсов с учетом сезонных ограничений, а также производится расчет необходимого транспортного ресурса и суммарных затрат на перевозку готовой продукции.

Ключевые слова: иерархическая транспортная система, оптимизационная транспортная задача, сценарное моделирование, структура логистических затрат, транспортная сеть

Для цитирования: Гончаренко С. Н., Алмунтафеки А. Ф. М. Моделирование распределения продукции промышленного предприятия в иерархических транспортно-логистических системах // Вестник Череповецкого государственного университета. 2024. № 3 (120). С. 7–18. <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2024-3-120-1>; EDN: ZSWLHC

Modeling the distribution of industrial enterprise products in hierarchical transport and logistics systems

Sergey N. Goncharenko^{1✉}, Almuntafeki Asel' Faris Marzug²,
^{1,2} The National University of Science and Technology MISIS,
Moscow, Russia

^{1✉}gsn@isis.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7783-3738>

²gs16@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-1399-1344>

Abstract. The paper carries out a scenario modeling of routes for delivering products of an industrial enterprise by road and rail, taking into account transshipment at intermediate transport and logistics terminals, delivery time, distance and various types of vehicles used. Based on the generated delivery

schedule, the required number of flights is modeled, considering seasonal restrictions, the authors calculate required transport resource and total costs for transporting finished products.

Keywords: hierarchical transport system, optimization transport problem, scenario modeling, logistics cost structure, transport network

For citation: Goncharenko S. N., Almuntafeki A. F. M. Modeling the distribution of industrial enterprise products in hierarchical transport and logistics systems. *Cherepovets State University Bulletin*, 2024, no. 3 (120), pp. 7–18. (In Russ.) <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2024-3-120-1>; EDN: ZSWLHC

Введение

В исходной постановке для перевозки грузов используется несколько типов транспортных средств, которые возможно использовать на различных по своим характеристикам маршрутах доставки, а также система ограничений при перевозке грузов определенными транспортными средствами. Количество используемых транспортных средств каждого типа и его транспортно-логистические показатели на каждом маршруте доставки определены. В этом случае расстановка определенных типов транспортных средств по маршрутам доставки должна обеспечивать либо минимизацию затрат (денежных или временных) на выполнение заданного объема перевозок, либо максимизацию объемов перевезенной продукции. Соответственно в качестве критериев оптимальности могут выступать затраты (денежные или временные) или объемы перевезенной продукции предприятия (в натуральном или денежном эквиваленте)¹.

Основная часть. В первой постановке оптимизационной задачи необходимо так распределить транспортные средства по маршрутам доставки, чтобы общее время работы для выполнения всего объема перевозки было минимальным.

Обозначим через $i = 1, 2, \dots, n$ – типы используемых транспортных средств; $j = 1, 2, \dots, m$ – маршруты доставки; Pr_{ij} – производительность i -го транспортного средства на j -м маршруте; PO_j – плановый объем перевозок на j -м маршруте; BP_i – временной ресурс транспортного средства i -го типа. За управляемые переменные возможно принять x_{ij} – объемы перевозки продукции i -м транспортным средством на j -м маршруте или T_{ij} – время работы i -го транспортного средства на j -м маршруте. Приведем модели задач для двух типов вышеуказанных управляемых переменных.

За критерий оптимальности примем общее время выполнения всего заданного объема перевозок (Z). Общее время работ складывается из времени транспортировки

¹ Багинова В. В., Кузьмин Д. В. Особенности развития контейнерных перевозок в России // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. № 3 (2). С. 49–52; Зубков В. Н., Рязанова Е. В. Методы эффективного взаимодействия участников перевозочного процесса в транспортных узлах // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2012. № 1 (45). С. 135–143; Verhoeven P., Sinn F., Herden T. T. Examples from Blockchain Implementations in Logistics and Supply Chain Management: Exploring the Mindful Use of a New Technology. *Logistics*. 2018. № 2 (3). С. 20. <https://doi.org/10.3390/logistics2030020>

грузов каждого вида транспортного средства i на всех участках j и выражается следующей целевой функцией задачи (1):

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{x_{ij}}{Pr_{ij}} \rightarrow \min. \quad (1)$$

При решении оптимизационной задачи такого вида должны выполняться следующие ограничения:

по выполнению планового объема перевозок на каждом маршруте доставки (2)

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = PO_j, (j = 1, 2, \dots, m); \quad (2)$$

по имеющемуся временному ресурсу транспортных средств (количеству транспортных средств) (3)

$$\sum_{j=1}^m \frac{x_{ij}}{Pr_{ij}} \leq BP_i (i = 1, 2, \dots, n); \quad (3)$$

по положительности решения задачи (4)

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Модель данной задачи с управляемыми переменными T_{ij} – время работы i -го транспортного средства на j -м маршруте имеет следующий вид (5):

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m T_{ij} \rightarrow \min, \quad (5)$$

при ограничениях (6)

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n T_{ij} Pr_{ij} = PO_j, (j = 1, 2, \dots, m); \\ \sum_{j=1}^m T_{ij} \leq BP_i, (i = 1, 2, \dots, n); \\ x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \end{cases} \quad (6)$$

Разработанные модели являются линейными и относятся к классу задач дискретного (целочисленного) линейного программирования, так как на определенном

маршруте доставки может находиться только целое количество единиц транспортных средств¹.

Кроме того, при доставке грузов по различным маршрутам стоимость 1 машино-часа различных типов транспортных средств существенно отличается и равна C_i . В такой постановке в качестве критерия оптимальности возможно использовать суммарные затраты на перевозку всего объема продукции (7).

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{x_{ij}}{Pr_{ij}} C_i \rightarrow \min; \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m T_{ij} C_i \rightarrow \min. \end{array} \right. \quad (7)$$

При решении задачи в данной постановке возможны варианты, когда при выполнении заданного объема перевозок нет необходимости использовать все имеющиеся в наличии транспортные средства. В этой связи уместно определять оптимальное распределение транспортных средств по маршрутам доставки, принимая в качестве критерия оптимальности не затраты (временные или денежные), а объемы перевезенной продукции предприятия (в натуральном или денежном эквиваленте), которые соответственно необходимо максимизировать (8).

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \rightarrow \max, \quad (8)$$

при ограничениях

по выполнению минимально необходимого объема перевозки на маршруте (9)

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq PO_j, (j = 1, 2, \dots, m); \quad (9)$$

по имеющемуся временному ресурсу транспортных средств (количеству транспортных средств) (10)

¹ Qian X., Chan F. T. S., Yin M., Zhang Q., Huang M., Fu X. A two-stage stochastic winner determination model integrating a hybrid mitigation strategy for transportation service procurement auctions // Computers & Industrial Engineering. 2020. № 149 (1). С. 106703. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106703>; Qian X., Fang S.-C., Yin M., Huang M., Xin Li. Selecting green third party logistics providers for a loss-averse fourth party logistics provider in a multiattribute reverse auction // Information Sciences. 2021. № 548. С. 357–377. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.09.011>

$$\sum_{j=1}^m \frac{x_{ij}}{Pr_{ij}} \leq BP_i, (i = 1, 2, \dots, n); \quad (10)$$

по положительности решения задачи (11)

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (11)$$

В вышеуказанных моделях объемы перевозки грузов и грузоподъемности автосамосвалов на различных маршрутах доставки равноценны. Однако в ряде случаев бывает эффективнее изменить (увеличить) объемы поставок на отдельных маршрутах с использованием определенных транспортных средств, либо необходимо пропорционально (в месте и времени) сформировать план поставок между участниками транспортно-логистической цепи. В этом случае модель задачи необходимо трансформировать исходя из введенных дополнительных условий функционирования транспортно-логистической системы¹.

При наличии у предприятия автосамосвалов различной грузоподъемности, обслуживающих несколько маршрутов доставки, эффективная производительность доставки продукции будет зависеть от типа транспортного средства и маршрута (плеча доставки, характеристики и ограничений автодорог) доставки груза. В такой постановке имеющиеся в наличии транспортные средства необходимо распределить по маршрутам таким образом, чтобы максимизировать общий объем перевозок, соблюдая установленные соотношения объемов доставки между маршрутами. За управляемые переменные принимаем объем грузов, перевозимый транспортным средством на определенном маршруте x_{ij} , где $i = 1, 2, \dots, n$ – типы используемых транспортных средств; $j = 1, 2, \dots, m$ – маршруты перевозки.

В качестве исходного информационного базиса (неуправляемых переменных) принимаем Pr_{ij} – производительность на i -го транспортного средства на j -м маршруте, N_i – количество транспортных средств i -го типа, V_j – отношение объемов перевозок по j -му маршруту к общему объему доставки грузов.

Критерием оптимальности в данной постановке принимаем суммарный объем перевозки грузов в транспортно-логистической системе, который позволит достичь наиболее производительной работы автосамосвалов и, в свою очередь, снизить как суммарные, так и удельные затраты на перевозку продукции². В случае необходимо-

¹ Баскаков П. В., Матюшин Л. Н. Интеграция России в международную транспортную систему (функциональный аспект) // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. 2015. № 5. С. 66–88; Гапанович В. А., Розенберг И. Н. Основные направления развития интеллектуального железнодорожного транспорта // Железнодорожный транспорт. 2011. № 4. С. 5–11.

² Степанов Д. Ю. Интеграция модулей логистики и финансов при внедрении корпоративных информационных систем на примере SAP ERP // Проблемы экономики. 2014. № 4 (62). С. 22–27; Qian X., Huang M., Yin M., Zhang Q., Yu Y. A Multiattribute Decision Approach for 4PL Supply Base Design // Chinese Control And Decision Conference (CCDC). 2019. P. 4281–4285. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2019.8832611>

сти учета уровня значимости (приоритетности) определенных маршрутов и необходимости соблюдения соотношений объемов доставки грузов, определяемых плановыми условиями перевозок, возможно ввести коэффициент приоритетности j -го маршрута доставки K_j , соответственно, для всех маршрутов транспортно-логистической системы предприятия $\sum_{j=1}^{j=m} K_j = 1$. В такой постановке целевая функция решения задачи имеет следующий вид (12):

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} K_j \rightarrow \max, \quad (12)$$

при ограничениях

по количеству имеющихся в наличии транспортных средств (13)

$$\sum_{i=1}^n \frac{x_{ij}}{Pr_{ij}} \leq N_i, (i = 1, 2, \dots, n); \quad (13)$$

по соблюдению установленного соотношения объемов поставок между маршрутами (14)

$$\frac{\sum_{j=1}^m x_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}} = V_j, j = \overline{1, m}. \quad (14)$$

Дальнейшее моделирование производилось в разрезе двух сценариев плана продаж готовой продукции предприятия. Перечень потребителей и география поставок в сценариях отличаются ввиду разветвленной сети конечных потребителей и различной удаленности транспортно-логистических терминалов.

Сценарий «АВТО» предполагает доставку всего объема выпускаемой продукции потенциальным потребителям исключительно автомобильным транспортом.

Сценарий «ТЛТ» (транспортно-логистический терминал) предполагает доставку продукции потребителям автомобильным и железнодорожным транспортом. Доставка автомобильным транспортом осуществляется от обогатительной фабрики до транспортно-логистического терминала, а далее по железной дороге до конечного потребителя.

Моделирование по сценарию «АВТО». Для данного сценария возможно использовать традиционную постановку и модель многопродуктовой транспортной задачи, которая распадается на независимые однопродуктовые транспортные задачи в зависимости от количества видов выпускаемой продукции.

В данном случае для фиксированного типа транспортного средства имеется q пунктов хранения и погрузки (погрузочные терминалы обогатительной фабрики), f точек доставки (потребители продукции предприятия) n видов производимой продукции (концентраты, фракционные пески, пески для стекольной промышленности).

В исходной постановке задачи в общем виде будем считать, что в каждом пункте производится погрузка и потребляются все виды продукции предприятия. Тогда объем погрузки в z -м пункте возможно представить в виде вектора $p_z = (p_{z1}, p_{z2}, \dots, p_{zn})$, а объем потребления в g -й точке доставки $l_g = (l_{g1}, l_{g2}, \dots, l_{gn})$, стоимость перевозки единицы груза из z -го пункта погрузки в g -ю точку доставки составит $c_{zg} = (c_{zg1}, c_{zg2}, \dots, c_{zgn})$, объем перевозок из z -го пункта в g -й $v_{zg} = (v_{zg1}, v_{zg2}, \dots, v_{zgn})$.

Тогда суммарные транспортные затраты (ТЗ) будут выражены в виде (15):

$$TZ = \sum_{z=1}^q \sum_{g=1}^f < c_{zg} v_{zg} > \rightarrow \min. \quad (15)$$

В случае, если перевозимые продукты являются независимыми (не взаимозаменяемыми), то система ограничений в задаче будет иметь следующий вид (16):

$$\begin{cases} \sum_{g=1}^f v_{zg} = p_z, z = \overline{1, q}, \\ \sum_{z=1}^q v_{zg} = l_g, g = \overline{1, f}, \\ v_{zg} \geq 0. \end{cases} \quad (16)$$

Моделирование по сценарию «ТЛТ». Для выполнения условий реализации данного сценария возможно использовать формальную постановку многопродуктовой транспортной задачи с промежуточными пунктами, когда имеются пункты хранения и погрузки готовой продукции, промежуточные пункты в виде транспортно-логистических терминалов и конечные точки доставки разнородной продукции предприятия за определенный момент времени. При этом задается комплекс ограничений, связанных с хранением и погрузкой, потреблением в конечной точке доставки и потенциальными возможностями перевозки продукции определенным типом транспортного средства с учетом особенностей перевалки в промежуточных пунктах доставки. В данной задаче необходимо определить оптимальные объемы отгрузки готовой продукции предприятия за определенные промежутки времени, которые бы удовлетворяли заданной системе ограничений и были эффективными с точки зрения традиционных критериев (стоимостных и временных) транспортной задачи.

Пусть I – множество пунктов отгрузки готовой продукции комбината, J – множество транспортно-логистических терминалов в системе, K – множество конечных точек доставки (потребителей продукции), S – множество видов отгружаемой продукции, T – временные интервалы планирования отгрузки и доставки грузов в конечные точки.

Обозначим через V и V^+ – минимально и максимально возможные объемы перевозимой продукции, для которых выполняется следующее условие $0 \leq V \leq V^+$. M_{st} – минимальный объем продукции s , который должен быть перевезен в единицу времени t .

P_{jt}^- и P_{jt}^+ – минимально и максимально возможные объемы отгруженной продукции, которые могут быть перевезены в промежуточный пункт (транспортно-логистический терминал) j в момент времени t , $0 < P_{jt}^- < P_{jt}^+$.

G_{ist} – максимальный объем продукции s , который может быть отгружен пунктом i в момент времени t .

Q_{ijkt} – минимальный объем продукции, который должен быть перевезен из пункта погрузки i через транспортно-логистический терминал j в пункт потребления k в момент времени t .

Тогда формализованная постановка многопродуктовой транспортной задачи с промежуточными пунктами может быть представлена как задача оптимизации (максимизации) x_{ijkst} – количество продукта s , которое должно быть отгружено и перевезено из пункта i через транспортно-логистический терминал j в конечную точку доставки (потребителю) k в момент времени t , $i \in I, j \in J, k \in K, s \in S, t \in T$ (17):

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} x_{ijkst} \rightarrow \max; \quad (17)$$

при следующих двусторонних ограничениях:

– ограничения на общий объем хранения и отгрузки готовой продукции предприятия (18)

$$V^- \leq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} x_{ijkst} \leq V^+; \quad (18)$$

– ограничения на объемы каждого вида перевозимой продукции в заданные временные интервалы планирования перевозок (19)

$$M_{st}^- \leq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} x_{ijkst} \leq M_{st}^+, s \in S, t \in T; \quad (19)$$

– ограничения на объемы, которые могут быть перевезены из транспортно-логистических терминалов в заданные интервалы планирования (20)

$$P_{jt}^- \leq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} x_{ijkst} \leq P_{jt}^+, j \in J, t \in T; \quad (20)$$

– ограничения на объемы по каждому виду отгружаемой продукции в погрузочных терминалах обогатительной фабрики в заданные интервалы планирования (21)

$$0 \leq \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{ijkst} \leq G_{ist}, i \in I, s \in S, t \in T; \quad (21)$$

– ограничения на объемы продукции, которые могут быть перевезены из пункта хранения и погрузки через транспортно-логистический терминал в конечную точку доставки потребителю в заданные интервалы планирования (22)

$$Q_{ijkt}^- \leq \sum_{s \in S} x_{ijkst} \leq Q_{ijkt}^+, i \in I, j \in J, k \in K, t \in T; \quad (22)$$

– транспортно-логистический терминал в определенный момент времени планирования перевозок не может вместить больше груза, чем объемы перевозки за предыдущий момент времени (23)

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} x_{ijkst} \geq \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} x_{ijkst+1}, j \in J, t \in T; \quad (23)$$

по положительности получаемого решения (24)

$$0 \leq x_{ijkst} \leq V^+, i \in I, j \in J, k \in K, s \in S, t \in T. \quad (24)$$

При этом $M_{st}^- = M_{st}$, $M_{st}^+ = V^+$, $s \in S$, $t \in T$; $Q_{ijkt}^- = Q_{ijkt}$, $Q_{ijkt}^+ = V^+$, $i \in I$, $j \in J$, $k \in K$, $t \in T$; $G_{its}^+ = G_{its}$, $i \in I$, $s \in S$, $t \in T$, исходя из приведенных условий, может быть построена транспортная сеть с двусторонними пропускными способностями дуг и использованы методы решения потоковых задач, в частности алгоритмы поиска потока минимальной стоимости и максимального потока производительности сети.

Для увеличения производительности транспортно-логистического комплекса предприятия (в том числе в период сезонных ограничений) требуется приобрести (взять в аренду / лизинг у транспортных компаний ТК) дополнительно BA_i большегрузных автосамосвалов i -го типа, $i = \overline{1, n}$ по цене $Ц_i$. На реализацию данных целей может быть израсходовано капитальных затрат (на приобретение транспортных средств) не более $\sum_{i=1}^n KЗ_i \leq KЗ$, либо арендная плата, которая учитывается в составе прочих расходов, связанных с производством и реализацией $\sum_{i=1}^n АП_i \leq АП$. При этом величину удельных затрат (руб./тонну перевозимого груза) обозначим за $УЗ_i$, а среднегодовой объем перевозок (тонн) через $СОП_i$. В качестве критерия оптимальности в данной задаче может выступать минимум затрат (ЗП) $\rightarrow \min$ на перевозку грузов. В такой постановке оптимизационная модель имеет следующий вид (25):

$$ЗП = \sum_{i=1}^n УЗ_i СОП_i BA_i \rightarrow \min, \quad (25)$$

при ограничениях (26)

$$\sum_{i=1}^n СОП_i BA_i \geq \Delta Пр, \sum_{i=1}^n Ц_i BA_i \leq KЗ, \quad (26)$$

либо $\sum_{i=1}^n Ц_i BA_i \leq АП$ (в случае аренды транспортных средств), $BA_i \geq 0$, $i = \overline{1, n}$.

Первое ограничение модели обеспечивает необходимый объем перевозок парком автосамосвалов, второе ограничение накладывает допустимую норму капитальных вложений или арендных платежей.

На основании данных прогнозной модели можно сделать вывод, что покупка собственного парка выгодна только для коротких плеч доставки. При этом существенным требованием для организации собственного парка является создание собственной организационной структуры и ремонтно-эксплуатационной инфраструктуры. Реализация данных мероприятий может быть обоснована только в случае необходимости покрытия дефицита транспортных средств на рынке транспортных услуг.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований была сформирована база данных потенциальных потребителей (местонахождение точек доставки, расстояние от места погрузки на обогатительной фабрике до точки доставки, временные параметры функционирования точки доставки (график работы)) и тарифов доставки готовой продукции предприятия, база данных основных типов используемых транспортных средств, где основным параметром, применяемым для расчетов, является полезная вместимость транспортного средства в тоннах.

На основе анализа номенклатуры производимой продукции и типов перевозимого груза, связанной со складскими площадями и мощностями отгрузки, была сформирована структура транспортного потока для различных сценариев доставки готовой продукции. Расчет затрат времени для принимаемого типа груза учитывал время в точке доставки от момента въезда транспортного средства на территорию потребителя до момента выезда транспортного средства с этой территории с учетом типа груза. Ограничения на маршрутах для каждого типа транспортного средства с учетом допустимой загрузки (предельно допустимая масса груза) были сформированы по дням года с учетом сезонных ограничений.

Результаты моделирования позволили произвести расчет загруженности мест погрузки (погрузочных терминалов обогатительной фабрики) и верифицировать систему взаимосвязей складских помещений (мест хранения готовой продукции комбината) по производственным мощностям и объемам выпуска номенклатуры готовой продукции, что позволило сформировать страховой запас готовой продукции на складах предприятия (расчет дефицита складов, количество дней страхового запаса, количество часов переходящего запаса для обеспечения отгрузки следующего дня). На основе вычисленного дефицита складов выполняется оценка инвестиций в дополнительные складские помещения.

Список источников

Багинова В. В., Кузьмин Д. В. Особенности развития контрейлерных перевозок в России // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. № 3 (2). С. 49–52.

Баскаков П. В., Матюшин Л. Н. Интеграция России в международную транспортную систему (функциональный аспект) // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. 2015. № 5. С. 66–88.

Гапанович В. А., Розенберг И. Н. Основные направления развития интеллектуального железнодорожного транспорта // *Железнодорожный транспорт*. 2011. № 4. С. 5–11.

Зубков В. Н., Рязанова Е. В. Методы эффективного взаимодействия участников перевозочного процесса в транспортных узлах // *Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения*. 2012. № 1 (45). С. 135–143.

Степанов Д. Ю. Интеграция модулей логистики и финансов при внедрении корпоративных информационных систем на примере SAP ERP // *Проблемы экономики*. 2014. № 4 (62). С. 22–27.

Qian X., Chan F. T. S., Yin M., Zhang Q., Huang M., Fu X. A two-stage stochastic winner determination model integrating a hybrid mitigation strategy for transportation service procurement auctions // *Computers & Industrial Engineering*. 2020. No. 149 (1). P. 106703. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106703>

Qian X., Fang S.-C., Yin M., Huang M., Xin Li. Selecting green third party logistics providers for a loss-averse fourth party logistics provider in a multiattribute reverse auction // *Information Sciences*. 2021. No. 548 (1). P. 357–377. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.09.011>

Verhoeven P., Sinn F., Herden T. T. Examples from Blockchain Implementations in Logistics and Supply Chain Management: Exploring the Mindful Use of a New Technology // *Logistics*. 2018. No. 2 (3). P. 20. <https://doi.org/10.3390/logistics2030020>

Qian X. ; Huang M. ; Yin M. ; Zhang Q. ; Yu Y. A Multiattribute Decision Approach for 4PL Supply Base Design // *Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*. 2019. P. 4281–4285. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2019.8832611>

References

Baginova V. V., Kuz'min D. V. Osobennosti razvitiia kontreilernykh perevozok v Rossii [Development of piggyback transportations in Russia]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex], 2013, no. 3 (2), pp. 49–52.

Baskakov P. V., Matiushin L. N. Integratsiia Rossii v mezhdunarodnuiu transportnuiu sistem (funktsional'nyi aspekt) [Integration of Russia into the international transport system (functional aspect)]. *ETAP: ekonomicheskaja teoriia, analiz, praktika* [ETAP: Economic Theory, Analysis, and Practice], 2015, no. 5, pp. 66–88.

Gapanovich V. A., Rozenberg I. N. Osnovnye napravleniia razvitiia intellektual'nogo zheleznodorozhnogo transporta [Main directions of the intellectual railway transport development]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway Transport], 2011, no. 4, pp. 5–11.

Zubkov V. N., Riazanova E. V. Metody effektivnogo vzaimodeistviia uchastnikov perevozochnogo protsessa v transportnykh uzлах [Methods for efficient interaction of participants in transportation process at transport junctions]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniia* [Vestnik of Rostov State Transport University], 2012, no. 1 (45), pp. 135–143.

Stepanov D. Iu. Integratsiia modulei logistiki i finansov pri vnedrenii korporativnykh informatsionnykh sistem na primere SAP ERP [Logistics and finance modules integration while SAP ERP implementing]. *Problemy ekonomiki* [Problems of Economics], 2014, no. 4 (62), pp. 22–27.

Qian X., Chan F. T. S., Yin M., Zhang Q., Huang M., Fu X. A two-stage stochastic winner determination model integrating a hybrid mitigation strategy for transportation service procurement auctions. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, no. 149 (1), p. 106703. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106703>

Qian X., Fang S.-C., Yin M., Huang M., Xin Li. Selecting green third party logistics providers for a loss-averse fourth party logistics provider in a multiattribute reverse auction. *Information Sciences*, 2021, no. 548 (1), pp. 357–377. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.09.011>

Verhoeven P., Sinn F., Herden T. T. Examples from Blockchain Implementations in Logistics and Supply Chain Management: Exploring the Mindful Use of a New Technology. *Logistics*, 2018, no. 2 (3), p. 20. <https://doi.org/10.3390/logistics2030020>

Qian X. ; Huang M. ; Yin M. ; Zhang Q. ; Yu Y. A Multiattribute Decision Approach for 4PL Supply Base Design. *Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 2019, pp. 4281–4285. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2019.8832611>

Сведения об авторах

Сергей Николаевич Гончаренко – доктор технических наук, профессор; <https://orcid.org/0000-0001-7783-3738>, gsn@misis.ru, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (д. 4, стр. 1, пр-т Ленинский, 119991 Москва, Россия); **Sergey N. Goncharenko** – Doctor of Technical Sciences, Professor, <http://orcid.org/0000-0001-7783-3738>, gsn@misis.ru, NUST MISIS (4, str. 1, pr. Leninskiy, 119991 Moscow, Russia).

Асель Фарис Марзуг Алмунтафеки – аспирант; <https://orcid.org/0009-0002-1399-1344>, gs16@mail.ru, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (д. 4, стр. 1, пр-т Ленинский, 119991 Москва, Россия); **Almuntafeki Asel' Faris Marzug** – Postgraduate Student, <https://orcid.org/0009-0002-1399-1344>, gs16@mail.ru, NUST MISIS (4, str. 1, pr. Leninskiy, 119991 Moscow, Russia).

Заявленный вклад авторов: авторы сделали разный вклад в подготовку публикации, что отражено в последовательности персоналий авторского коллектива. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors made different contributions to the preparation of the publication, which is reflected in the sequence of personalities of the author's team. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 09.01.2024; одобрена после рецензирования 14.02.2024; принята к публикации 28.02.2024.

The article was submitted 09.01.2024; Approved after reviewing 14.02.2024; Accepted for publication 28.02.2024.