

DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-3-413-420

MULTI-CRITERIA ASSESSMENT OF THE COMBINED SHIPMENTS CONTAINER TRANSPORTATION POSSIBILITY

O. A. Izotov

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The topic of the study is the organization of combined shipments transportation using container technologies, which is a complex multi-purpose decision-making task both technically and economically. The complexity of this task is due to the fact that when choosing an option, making a decision on transportation, many criteria and requirements, which often conflict with each other, have to be taken into account. It is noted that currently almost all mathematical methods for optimizing transport processes are designed to find the extremum of one objective function. Therefore, in the course of solving transport problems, multi-purpose tasks are often reduced to single-purpose ones and, as a rule, lead to a distortion of the problem essence and, as a result, to the substitution of one task for another. At the same time, in modern transport science, there is no established approach as to which transportation indicators should be considered alternative when solving problems with several target functions, since they tend to minimize the set of acceptable options at various points. A method based on making compromise decisions is considered in the paper. It consists in organizing transportation based on a balanced decision, in which, in a certain proportion, all accounting factors for organizing the combined shipments transportation from the marine terminal territory to the interior of the mainland using established and promising technology for applying new means of cargo consolidation, namely, cargo delivery range using container technologies, transportation cost and time. When using this method, it is assumed that not an unambiguous answer, but a whole range of rational proposals for decision-making by the responsible person will be received.

Keywords: container technologies, multi-criteria tasks, combined shipments, in-container modules.

For citation:

Izotov, Oleg A. "Multi-criteria assessment of the combined shipments container transportation possibility." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 16.3 (2024): 413–420. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-3-413-420.

УДК 656.073.7

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК СБОРНЫХ ПАРТИЙ ГРУЗОВ

О. А. Изотов

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Темой исследования является организация перевозок сборных партий грузов с применением контейнерных технологий — сложная многоцелевая задача принятия решений как в техническом, так и в экономическом плане. Сложность данной задачи обусловлена тем, что при выборе варианта принятия решения о перевозке приходится учитывать многие критерии и требования, часто вступающие в противоречие друг с другом. Отмечается, что в настоящее время почти все математические методы оптимизации транспортных процессов предназначены для нахождения экстремума одной целевой функции. Поэтому в ходе решения транспортных задач многоцелевые задачи нередко сводятся к одноцелевым, что приводит, как правило, к искажению сути проблемы и, как следствие, к подмене одной задачи другой. В предлагаемой работе рассмотрен метод на основе принятия компромиссных решений, заключающийся в организации транспортировки на основе взвешенного решения, в котором в определенной пропорции могут фигурировать все существующие факторы организации перевозки сборных партий грузов с территории морского терминала вглубь материка с применением существующих перспективных технологий применения новых средств укрупнения грузов, а именно: дальность доставки грузов с применением контейнерных технологий, стоимость транспортировки и сроки перевозки. При использовании

данного метода предполагается получение не однозначного ответа, а множества рациональных предложений для принятия решения ответственным лицом.

Ключевые слова: контейнерные технологии, многокритериальные задачи, сборные партии грузов, внутриконтейнерные модули.

Для цитирования:

Изотов О. А. Многокритериальная оценка возможности контейнерных перевозок сборных партий грузов / О. А. Изотов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 3. — С. 413–420. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-3-413-420.

Введение (Introduction)

Современное развитие видов транспорта ставит перед организаторами перевозочного процесса сложные задачи комплексного использования транзитного потенциала транспортной инфраструктуры и провозных возможностей средств транспорта. В результате в ходе построения и оценки вариантов транспортировки грузов экспедитор выполняет обработку значительного объема информации (критериев, отражающих этапы перевозки) для удовлетворения потребностей своего клиента, заставляя с учетом предстоящих издержек. На основе приведенных далее вариантов организации перевозки сборной партии грузов может быть построена целевая функция. При этом рассмотрение единственной целевой функции позволяет применять эффективные методы решения оптимизационных задач, в достаточной степени описывающие сравнительно простые ситуации. Однако такие оптимизационные модели не в полной мере описывают реальную действительность, тогда как те или иные процессы преследуют достижение сразу нескольких независимых или зависимых друг от друга целей [1].

В качестве примера рассмотрим следующие варианты организации перевозки сборной партии грузов с морского терминала до получателя:

- доставка грузов магистральным видом транспорта в большегрузном контейнере до пункта перевалки (распределительного или логистического центра) с последующим довозом до получателя арендованным или собственным автомобильным транспортом;
- растарка большегрузного контейнера на морском терминале, в сухом порту или на прилегающем к порту железнодорожном грузовом дворе / железнодорожной грузовой станции с последующим довозом грузов до получателя смежным видом транспорта;
- растарка на морском терминале из большегрузного контейнера и доставка грузов до получателя во внутриконтейнерном модуле с применением контейнерных технологий на всем пути следования [2], [3].

Указанные варианты организации доставки сборных партий грузов преследуют следующие основные цели, которые экспедитору необходимо определенным образом систематизировать для удовлетворения следующих запросов клиента:

- достижение горизонта доставки — L , км;
- сокращение затрат, связанных с транспортировкой — C , руб.;
- сокращение времени транспортировки — T , сут.

Как правило, данные запросы противоречат друг другу, но участникам транспортного процесса приходится с этим считаться, выполняя предварительную оценку всех указанных параметров для принятия решения на перевозку. Такие задачи, в которых имеется не одна, а сразу несколько целевых функций, имеют название *многокритериальных* [4]. Таким образом, можно сформулировать задачу по разработке модели многокритериальной оценки возможности организации контейнерных перевозок сборных партий грузов.

Для дальнейшего исследования важно учесть, что с внедрением в оборот контейнерных технологий доставки грузов новых средств укрупнения число поставленных целей управления перевозкой начинает совпадать с числом инструментария, доступного для достижения указанных целей. Кроме того, согласно существующему мнению экономистов, если число целей превышает число инструментария, то решение целевой функции будет иметь *приближенный характер*, т. е. оно не дает

однозначного ответа. Поэтому в данной работе будем исходить из следующего условия: *число целей, составляющих целевую функцию, не превышает числа инструментария для ее достижения.*

Следует отметить, что в своих работах исследователи подобных операций: Е. С. Вентцель «Исследование операций» (М., 1988. 206 с.), И. В. Гайшун и др. «Высшая математика для экономистов» (Минск: БГЭУ, 2005. 623 с.), Ю. И. Дегтярев «Исследование операций» (М., 1986. 269 с.), П. В. Конюховский «Математические методы исследования операций в экономике» (СПб., М., Харьков, Минск: Питер, 2000. 208 с.), рассматривая целевые функции применительно к системам управления в более широком смысле, предлагают оценку следующих критериев: степень достижения рассматриваемой целевой функции, уровень усилий, необходимый для достижения целевой функции, и эффективность достижения целевой функции.

В данном исследовании предложена методика принятия решения на перевозку на основе удовлетворения требований потенциального клиента транспортных услуг.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В постановке задачи рассматривается организация перевозки сборной партии груза с применением различных средств укрупнения вглубь материка на расстояние, принятое за некоторую условную константу (в силу зависимости протяженности маршрутов от привлекаемых к перевозке видов транспорта) с n возможными вариантами издержек по транспортировке и с m затратами временных параметров доставки грузов. При этом оценка вариантов перевозок требует минимизации обоих показателей. Кроме того, владелец груза может быть более заинтересован в минимизации одного из рассматриваемых вариантов перевозки в силу своих предпочтений. Тогда модель может выглядеть следующим образом:

$$\min \sum_{j=1}^n c_j x_j; \quad (1)$$

$$\min x_1, \quad (2)$$

при следующих условиях:

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n;$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b, i = 1, 2, \dots, m.$$

Если игнорировать одну из целевых функций (например, (1)), то поиск минимального значения $x_1 = \bar{x}_1$, удовлетворяющего приведенным ранее условиям, упрощается. При этом отсутствует уверенность в том, что при $x_1 = \bar{x}_1$ целевая функция (2) достигнет минимума. Можно сделать аналогичный прогноз, если игнорировать целевую функцию (2) и искать минимум функции (1).

В многокритериальных задачах ограничения, накладываемые на решение конкретной задачи, не позволяют сделать вывод об оптимальности того или иного варианта рассматриваемой перевозки. В частности, решение $(x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)$ хуже, чем решение $(x_1^2, x_2^2, \dots, x_n^2)$ в случае, если выполняются неравенства:

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j^1 < \sum_{j=1}^n c_j x_j^2;$$

$$x_1^1 < x_1^2.$$

Кроме того, следует отметить, что не существует такого решения $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, которое обеспечивало бы одновременно минимум обеих функций (1) и (2).

Результаты и обсуждения (Results and Discussion)

Основным отношением, в соответствии с которым выполняется сравнение исходов, является отношение доминирования по Парето (рис. 1) [5], [6]. Множество Парето представляет

собой набор всевозможных компромиссных решений для участников перевозочного процесса при условии, что решение находится за рамками рассматриваемых границ, т. е. преследуя повышение качества одного из рассматриваемых критериев (целей), оно приведет к безусловному снижению качества других.

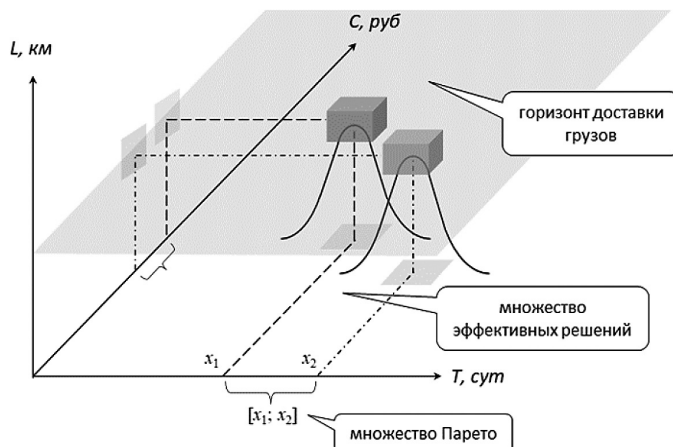


Рис. 1. Поиск компромисса на множестве Парето

Fig. 1. Finding a compromise on the Pareto set

Из рис. 1 следует, что сохраняя горизонт доставки, пункт назначения грузом может быть достигнут в течение различного периода времени и с различной стоимостью издержек по транспортировке. Такая оценка возможностей средств транспорта вместе с тем создает для пользователя услуг «коридор» принятия решения в свою пользу. Таким образом, методы решений многокритериальных задач в том или ином виде предусматривают наличие мнения участников перевозочного процесса, принимающих окончательное решение [7], [8].

Первым методом решения задачи при этом может выступать способ сведения двух выбранных критериев к одному. При этом производится взвешивание относительной важности каждого критерия, т. е. исходя из «внемоделных» соображений выбирается число α ($0 \leq \alpha \leq 1$) при построении единой целевой функции:

$$\alpha \left(\sum_{j=1}^n c_j x_j \right) + (1 - \alpha) x_1. \quad (3)$$

Дальнейшие рассуждения сводятся к сопоставлению данных. Если $\alpha = 1$, то принятие решения на перевозку учитывает только целевую функцию (1), при этом функция (2) не рассматривается. Если $\alpha = 0$, то в основе решения будет функция (2). Оптимизационная задача с единственной целевой функцией (3), удовлетворяющая решению исходной задачи с двумя функциями (1) и (2), попадает тем самым в зависимость от оценки проблемы участниками перевозочного процесса [9].

Второй метод основан на применении последовательных уступок. Рассматривая только одну целевую функцию (2), в которой $\min x_1 = \bar{x}_1$, можно сделать вывод о том, что при $x_1 = \bar{x}_1$ целевая функция (1) может находиться достаточно далеко от необходимого результата, и от участников перевозки требуется определенного рода уступка. Организатор перевозочного процесса под влиянием неравенства x_1 и $\bar{x}_1$ соглашается рассмотреть их отличие, например, на 10 %. Таким образом, задачу можно сформулировать следующим образом:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{j=1}^n c_j x_j; \\ & x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n; \\ & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m; \\ & 0,9\bar{x}_1 < x_1 < \bar{x}_1. \end{aligned}$$

Задача в такой постановке с единственной целевой функцией решается известными методами, поскольку величина x_1 примет значение $\bar{x}_1$. При этом процесс уступок может быть продолжен, при этом главное четко определить, чем организатор перевозки готов пожертвовать: *сроками* или *стоимостью доставки грузов* [10].

Технология доставки сборных грузов в большегрузных контейнерах с дроблением на тарно-штучные единицы для отправки смежными видами транспорта или во внутриконтейнерных модулях предполагает для организаторов перевозок пересмотр границ диапазонов принятых технологий перевозок (рис. 2) на одно и то же расстояние [11], [12].

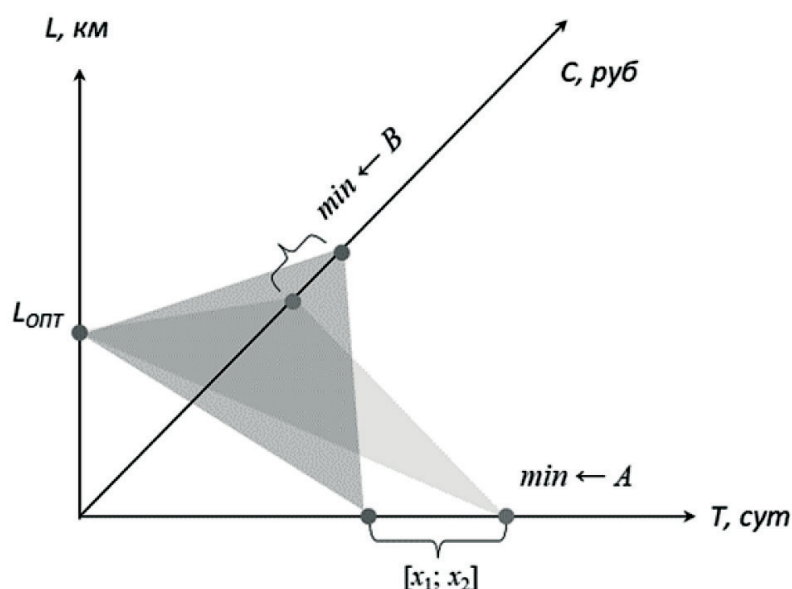


Рис. 2. Границы диапазонов принятых технологий перевозок сборных грузов
Fig. 2. Limits of the ranges of accepted technologies for transportation of combined cargo

Отказ от перевалки сборной партии груза из большегрузного контейнера на смежный вид транспорта предусматривает сокращение общего количества перегрузок, простоев в пунктах перевалки, а следовательно, снижение стоимости транспортных издержек. Применение контейнерных технологий вглубь материка способствует также сокращению времени доставки грузов (рис. 3) [13]–[16].

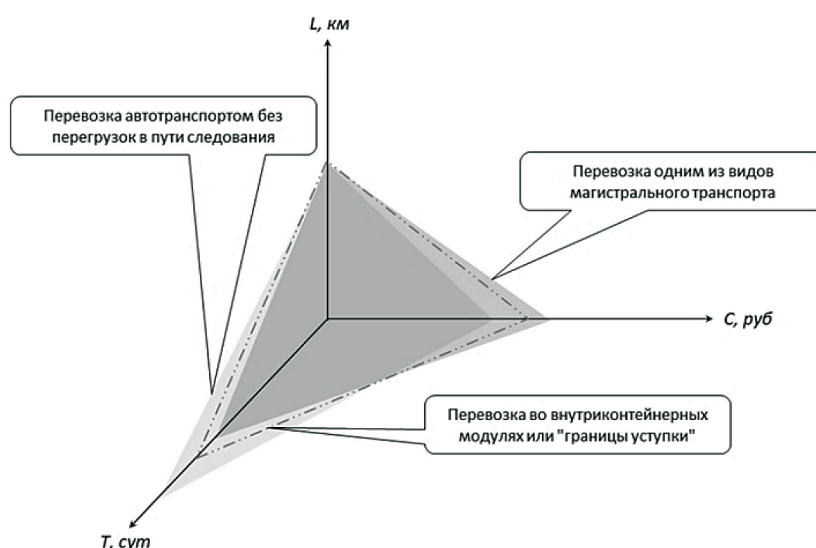


Рис. 3. Пространственная модель принятия многокритериальных решений
Fig. 3. Spatial model of multi-criteria decisions making

Кроме того, дополнительные услуги в виде применения новых средств укрупнения сборных партий грузов предполагают расширение границ применения контейнерных технологий на протяжении всего пути следования груза, что также может отвечать требованиям участников перевозки.

Заключение (Conclusion)

Целесообразность формулирования целевой функции в предложенном виде объясняется прежде всего необходимостью оценки возможности включения в контейнерные технологии организации перевозок сборных партий грузов новых средств укрупнения, обеспечивающих «стыковку» морских контейнерных линий с внутренними наземными видами транспорта на территории России. В результате можно сделать вывод о том, что при равенстве количества выбранных критериев для выбора конечных целей управления перевозкой с количеством инструментария, доступного для достижения указанных целей, экспедитор может успешно оценить и предложить своему клиенту возможные варианты доставки сборных партий грузов вглубь материка, в том числе с применением контейнерных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мезенцев Ю. А. Некоторые аспекты задач оптимального проектирования при нескольких критериях предпочтения. / Ю. А. Мезенцев, Ю. В. Кириллов // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. — 2003. — № 3 (33). — С. 21–40.
2. Изотов О. А. Процессы формирования сборных контейнерных партий груза / О. А. Изотов, Ю. И. Васильев, О. А. Ражев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 2. — С. 252–261. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-252-261.
3. Изотов О. А. Перспективы развития технологий перевозки сборных грузов в контейнерах / О. А. Изотов, А. Л. Кузнецов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2020. — № 1. — С. 140–148. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-140-148.
4. Кириллов Ю. В. Многокритериальное моделирование как основа информационных технологий поддержки принятия решений / Ю. В. Кириллов // Фундаментальные исследования. — 2004. — № 6. — С. 114–116.
5. Иванов Л. Н. К вопросу о Парето-оптимальности решений задач векторной оптимизации / Л. Н. Иванов, Ю. В. Кириллов // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. — 2003. — № 3 (33). — С. 61–74.
6. Кириллов Ю. В. Использование методов векторной оптимизации в современных информационных технологиях управления / Ю. В. Кириллов // Стратегия бизнеса и социально-экономическое развитие региона: сб. статей участников 6-й Всерос. науч.-практ. конф., Ярославль, 27 ноября 2003. — Ярославль: Ремдер, 2003. — С. 748–753.
7. Kirillov Yu. Optimization of a price policy with using of vector-stochastic models / Yu. Kirillov, A. Shestakova // Modelling, Computation and Optimization in Information Systems and Management Sciences MCO 2004: Fifth International conference on Computer Science. July 1–3, 2004, Metz University, France. — France, 2004.
8. Домашова Д. В. Методы решения задач многокритериальной оптимизации: методические указания к практическим занятиям / Д. В. Домашова. — Оренбург: ГОУ ОГУ, 2008. — 49 с.
9. Ногин В. Д. Принятие решения при многих критериях. Учебно-металлическое пособие / В. Д. Ногин. — СПб.: Издательство «ЮТАС», 2007. — 104 с.
10. Кини Р. Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р. Л. Кини, Х. Райфа. — М.: Радио и связь, 1981. — 37 с.
11. Изотов О. А. Роль транспортно-логистических кластеров в формировании контейнерных коридоров перевозок сборных грузов / О. А. Изотов, А. Л. Кузнецов, Д. Л. Головцов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2020. — № 2. — С. 127–136. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-127-136.
12. Кузнецов А. Л. Оценка времени доставки в сложных цепях поставки с помощью моделирования / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 3. — С. 372–383. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-372-383.

13. Изотов О. А. Оценка требуемых технологических ресурсов путем статистического моделирования / О. А. Изотов, А. В. Гульяев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 3. — С. 497–506. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-497-506.

14. Larsen R. B. Model predictive control for simultaneous planning of container and vehicle routes / R. B. Larsen, B. Atasoy, R. R. Negenborn // European Journal of Control. — 2021. — Vol. 57. — Pp. 273–283. DOI: 10.1016/j.ejcon.2020.06.003.

15. Демидова Л. А. Принятие решений в условиях неопределенности / Л. А. Демидова, В. В. Кираковский, А. Н. Пылькин. — М.: Горячая линия — Телеком, 2012. — 290 с.

16. Сердюкова Л. О. Формирование инновационной транспортно-логистической системы на цифровой платформе / Л. О. Сердюкова, Р. Р. Баширзаде, А. В. Пахомова // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. — 2020. — Т. 13. — № 2. — С. 64–78. DOI: 10.18721/JE.13206.

REFERENCES

1. Mezentsev, Yu. A., and Yu. V. Kirillov. “Nekotorye aspekty zadach optimal’nogo proektirovaniya pri neskol’kikh kriteriyakh predpochteniya.” *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* 3(33) (2003): 21–40.

2. Izotov, Oleg A., Yuri I. Vasiliev, and Oleg A. Razhev. “Processes for forming groupage container consignments.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.2 (2020): 252–261. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-252-261.

3. Izotov, Oleg Albertovich, and Alexander Lvovich Kuznetsov. “Development prospects of technologies of grouped cargo containerization.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 1 (2020): 140–148. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-140-148.

4. Kirillov, Yu.V. “Mnogokriterial’noe modelirovanie kak osnova informatsionnykh tekhnologii podderzhki prinyatiya reshenii.” *Fundamental Research* 6 (2004): 114–116.

5. Ivanov, L.N., and Yu. V. Kirillov. “K voprosu o Pareto-optimal’nosti reshenii zadach vektornoj optimizatsii.” *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* 3(33) (2003): 61–74.

6. Kirillov, Yu.V. “Ispol’zovanie metodov vektornoj optimizatsii v sovremennykh informatsionnykh tekhnologiyakh upravleniya.” *Strategiya biznesa i sotsial’no-ekonomicheskoe razvitie regiona: Sb. statei uchastnikov 6-i Vseros. nauch.-prakt. konferentsii*. Yaroslavl: Remder, 2003. 748–753.

7. Kirillov, Yu., and A. Shestakova. “Optimization of a price policy with using of vector-stochastic models.” *Modelling, Computation and Optimization in Information Systems and Management Sciences MCO 2004: Fifth International conference on Computer Science*. France, 2004.

8. Domashova, D. V. *Metody resheniya zadach mnogokriterial’noi optimizatsii: metodicheskie ukazaniya k prakticheskim zanyatiyam*. Orenburg: GOU OGU, 2008.

9. Nogin, V. D. *Prinyatie resheniya pri mnogikh kriteriyakh*. SPb.: Izdatel’stvo «YuTAS», 2007.

10. Keeney, R.L., and H. Raiffa. *Decision with Multiple Objectives: Preference and Value Tradeoffs*. New York: Cambridge University Press, 1993. DOI: 10.1017/CBO9781139174084.

11. Izotov, Oleg Albertovich, Alexander Lvovich Kuznetsov, and Dmitriy Lvovich Golovtsov. “Role of transport and logistics clusters in creating container corridors for groupage cargo transportation.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 2 (2020): 127–136. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-127-136.

12. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Anton D. Semenov. “Evaluating lead-time in complex supply chains by simulation technique.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.3 (2021): 372–383. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-372-383.

13. Izotov, Oleg A., and Alexander V. Gulyaev. “Assessment of required technological resources by statistical simulation.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.3 (2018): 497–506. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-497-506.

14. Larsen, Rie B., Bilge Atasoy, and Rudy R. Negenborn. “Model predictive control for simultaneous planning of container and vehicle routes.” *European Journal of Control* 57 (2021): 273–283. DOI: 10.1016/j.ejcon.2020.06.003.

15. Demidova, L.A., V. V. Kirakovskii, and A. N. Pyl’kin. *Prinyatie reshenii v usloviyakh neopredelennosti*. M.: Goryachaya liniya — Telekom, 2012.

16. Serdyukova, L. O., R. R. K. Bashirzade, and A. V. Pakhomova. "Digital platforms for development of innovative transport logistic systems." *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics* 13.2 (2020): 64–78. DOI: 10.18721/JE.13206.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Изотов Олег Альбертович —
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: iztv65@rambler.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Izotov, Oleg A. —
Dr. of Technical Sciences, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: iztv65@rambler.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

*Статья поступила в редакцию 13 мая 2024 г.
Received: May 13, 2024.*