

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-861-867

CONTAINER LINE ROUTE OPTIMIZATION BASED ON CARGO DISTRIBUTION BETWEEN PORTS AND HINTERLANDS

A. S. Malykhin

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

It is noted that in modern conditions in container liner transportation, the implementation of the shipping line is an important and complex task, the solution of which is associated with the serious financial risks. It is indicated that currently many container line companies, in addition to sea transportation, offer land transportation services. Accordingly, the need to optimize the operation of the line's marine services is supplemented by the need to work with land routes. When working with land logistics, it is necessary to take into account that the place of beginning and ending the cargo flows are not seaports, but land points that are located in the hinterland of each port. It is emphasized that each port has several land points associated with it. In this regard, a large number of route options appear. It is determined that with a high complexity of solving the problem, this problem belongs to the class of NP-complex problems and cannot be solved in an acceptable period of time by the methods of full search of values. A possible problem solution is heuristic programming based on the genetic algorithms. The existing method of finding the problem solution is discussed in the paper. A modification based on modifying the genetic Chimera algorithm by combining this algorithm with an ordered crossover is proposed. Depending on the need, optimization can be performed using one or more criteria. It is shown that the main criteria can be time or cargo turnover, as well as a combination of these two criteria. Performing optimization using different criteria within the same model is a convenient tool for a shipping line.

Keywords: container shipping company, heuristic algorithm, genetic algorithm.

For citation:

Malykhin, Aleksandr S. "Container line route optimization based on cargo distribution between ports and hinterlands." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.5 (2020): 861–867. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-861-867.

УДК 656.6

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТА КОНТЕЙНЕРНОЙ ЛИНИИ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУЗОВ МЕЖДУ ПОРТАМИ И ХИНТЕРЛЕНДАМИ

А. С. Малыхин

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

Отмечается, что в современных условиях в контейнерных линейных перевозках реализация работы судоходной линии является важной и сложной задачей, решение которой сопряжено с серьезными финансовыми рисками. Указывается, что в настоящее время многие контейнерные линейные компании, помимо морских перевозок, предлагают услуги по наземным перевозкам. Соответственно к необходимости оптимизации работы морских сервисов линии добавляется необходимость работы с сухопутными путями. При работе с наземной логистикой необходимо учитывать, что местом зарождения и угасания грузопотоков являются не морские порты, а наземные пункты, которые располагаются в хинтерленде каждого порта. Подчеркивается, что у каждого порта существуют несколько связанных с ним наземных пунктов. В связи с этим появляется большое количество вариантов маршрутов. Определено, что при высокой сложности решения задачи данная проблема относится к классу NP-сложных задач и не может быть решена за приемлемый промежуток времени методами полного перебора значений. Возможным вариантом решения задачи является эвристическое программирование, которое основано на генетических алгоритмах. В статье обсуждается существующий метод поиска решения задачи. Предлагается модификация, которая основана на модификации алгоритма генетических химер путем комбинирования

этого алгоритма с упорядоченным кроссовером. В зависимости от потребности оптимизацию можно проводить с использованием одного или нескольких критериев. Приведено, что основными критериями могут являться время или грузооборот, а также комбинирование этих двух критериев. Проведение оптимизации с помощью разных критериев в рамках одной модели является удобным инструментом для судоходной линии.

Ключевые слова: контейнерная судоходная компания, эвристический алгоритм, генетический алгоритм.

Для цитирования:

Малыхин А. С. Оптимизация маршрута контейнерной линии на основе распределения грузов между портами и хинтерлендами / А. С. Малыхин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 5. — С. 861–867. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-861-867.

Введение (Introduction)

Оптимизация маршрута — это процесс определения кратчайших возможных маршрутов для достижения места назначения. Эта методология завоевала популярность в транспортно-логистической отрасли. Ее применение приводит к сокращению времени, затрачиваемого на перевозку, и в то же время к уменьшению затрат, понесенных в процессе перевозки. Вопрос оптимизации маршрутов движения судов в морской отрасли является хорошо изученным. Существует большое количество устоявшихся маршрутов и логистических схем, используемых в индустрии. Различные эвристические способы оптимизации положительно зарекомендовали себя в вопросе оптимизации только морских маршрутов. Тем не менее вопросы, касающиеся работы судоходных линий, остаются по-прежнему актуальными. Морские перевозчики интенсивнее начинают заниматься наземной логистикой, предоставляя большее количество услуг своим клиентам. Недостаточно изученным является вопрос создания судоходных линий при условии распределения контейнерных грузов между морскими портами для доставки грузов в их хинтерленды.

Безошибочная разработка и реализация работы контейнерной судоходной линии в современных условиях монополизации рынка линейных контейнерных перевозок [1], [2], с учетом высокого уровня постоянных отраслевых издержек [3] является серьезной задачей, связанной с большим уровнем финансовых рисков и значительным количеством вероятностных факторов. Для снижения риска принятия неверных решений на уровне выбора маршрута линейных судов необходима их детальная проработка.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Критерием оптимальности маршрута перевозок контейнеров между морскими портами может выступать одна из трех величин. Во-первых, это может быть время, затрачиваемое на круговой рейс (время выражает расходы судоходной линии на эксплуатацию флота, оплату труда экипажей судов и т. д.). Во-вторых, это может быть обслуживаемый грузооборот в контейнерах при прохождении судна по определенному маршруту (грузооборот выражает доход судоходной линии при организации перевозок по маршруту). Оптимизация только по каждому из этих двух указанных критериев является *однокритериальной оптимизацией*. В-третьих, это критерий, скомбинированный из первых двух, позволяющий провести многокритериальную оптимизацию и определить решение, оптимальное по Парето [4]. Все три варианта оптимизации могут быть использованы в модели как альтернативные.

Предлагаемая модель работает на основе базовых принципов объектно-ориентированного программирования. Все основные моделируемые понятия: наземные пункты, морские порты, контейнеры, сухопутные и морские пути сообщения, описываются классами. Во время выполнения программы создаются объекты этих классов, которые взаимодействуют между собой посредством отправки друг другу сообщений. В модели реализован такой базовый принцип объектно-ориентированного программирования, как наследование. Класс, описывающий морские порты, и класс, описывающий наземные пункты, наследуются от общего класса-родителя — территориального пункта. При разработке модели был использован язык программирования C# 7.0 и платформа .NET.

Типовая схема моделируемой сети распределения контейнеров между морскими портами и их хинтерлендами представлена на рис. 1, а. Данная схема имеет важное ограничение: каждый наземный пункт может быть связан только с одним морским портом. Данное ограничение, накладываемое на модель, связано с тем, что источниками зарождения и угасания грузопотоков в модели являются наземные пункты, расположенные в хинтерлендах морских портов. Сами по себе морские порты не могут быть источниками зарождения и угасания контейнерных грузопотоков, они выполняют лишь роль перевалочного пункта. Во время инициализации модели в каждом наземном пункте создается массив объектов, представляющих контейнеры. Каждый контейнер имеет четыре значимых поля (свойства): наземный пункт зарождения (Origin), наземный пункт назначения (Destination), ИМО-тип, порядковый номер (индекс) в рамках модели.

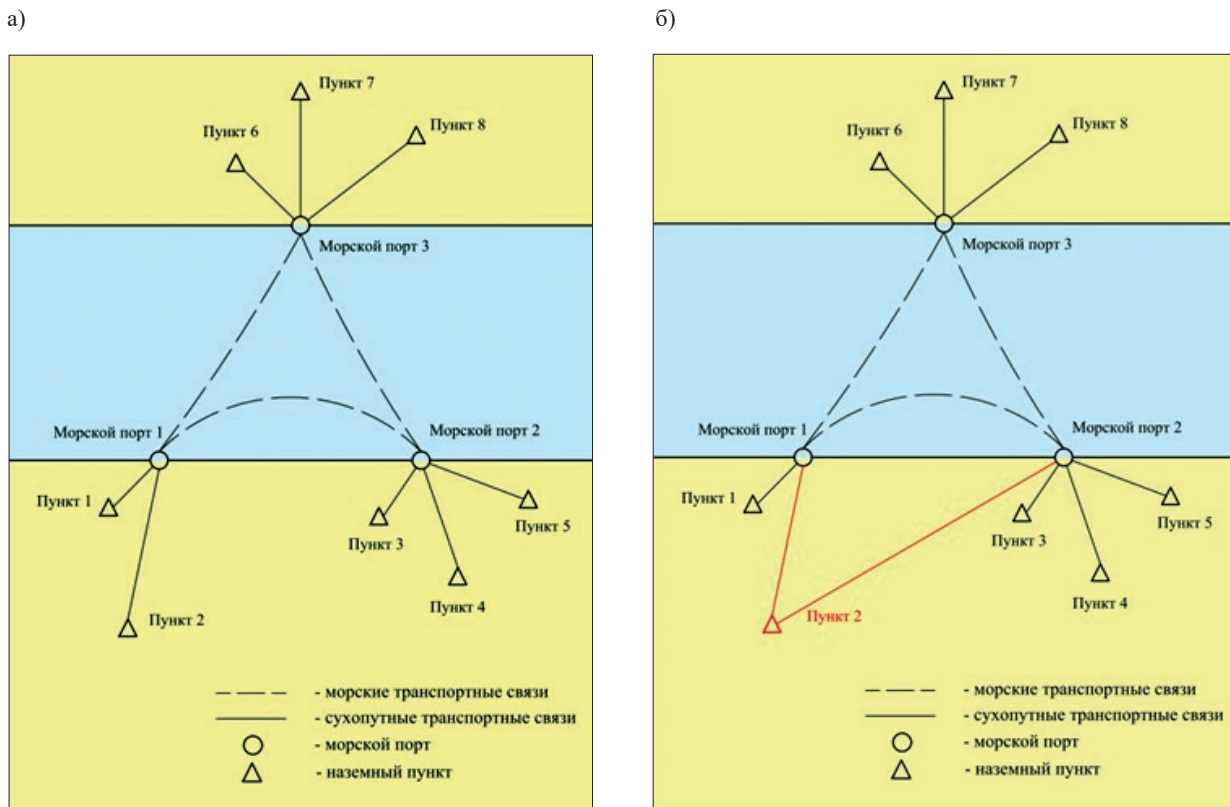


Рис. 1. Схемы транспортных путей между наземными пунктами и морскими портами:
 а — каждый пункт соединен только с одним портом;
 б — возможно соединение пунктов сразу с несколькими морскими портами

При создании массива контейнеров в наземном пункте задаются пункты назначения для каждого контейнера. Регистрация пункта назначения в каждом контейнере происходит случайным образом и ограничена только одним условием: пункт назначения не должен быть подключен к тому же порту, что и пункт отправления контейнера. Предполагается, что между пунктами зарождения грузопотоков, подключенными к одному и тому же морскому порту, существует сеть сухопутных путей сообщения, позволяющая доставку груза напрямую. Поэтому доставлять груз из одного наземного пункта в другой через этот порт, если оба наземных пункта связаны с одним и тем же морским портом, считается нерациональным априори.

В случае, если один наземный пункт связан с двумя морскими портами сухопутной связью, возникает проблема определения морского порта, в который необходимо доставить контейнер для того, чтобы он попал в свой конечный пункт назначения. Примером является схема взаимосвязей портов и наземных пунктов, приведенная на рис. 1, б. При рассмотрении схемы возникает вопрос: в случае зарождения контейнерного грузопотока из Пункта 7 в Пункт 2, через какой морской порт

должны быть доставлены контейнеры: через *Морской порт 1* или через *Морской порт 2*. В случае, если таких наземных пунктов, связанных с несколькими морскими портами, более одного-двух, то проблема выбора рационального пути через морские порты начинает оказывать значительное влияние на производительность модели. Предполагается, что подобная проблема может быть решена известными методами поиска пути на графе, поскольку сеть морских портов с хинтерлендами, по сути, представляет собой граф. К таким методам относятся алгоритмы поиска в ширину, в глубину, алгоритм Дейкстры [5], алгоритм «А звездочка», Jump Point Search и др. Однако выбор подходящего алгоритма обхода графа морских портов является отдельной крупной задачей, выходящей за рамки данного исследования.

Метод, применяемый для поиска оптимального решения, базируется на принципах эвристического программирования, основанного на генетических алгоритмах. Анализ подходящих эвристических методов выполнен в обзоре [6]. На основе известных данных о расстояниях между морскими портами и количестве контейнеров, которые необходимо перевезти, модель строит матрицу расстояний и матрицу грузооборотов контейнеров. Матрица расстояний служит основой для матрицы времен переходов судна между морскими портами. Примеры матриц приведены на рис. 2.

а)						б)							
	Порт1	Порт2	Порт3	Порт4	Порт5	Порт6		Порт1	Порт2	Порт3	Порт4	Порт5	Порт6
Порт1:	0	55	75	51	68	52	Порт1:	0,0	72,2	30,3	35,3	57,9	40,9
Порт2:	1410	0	1445	1335	1361	1397	Порт2:	72,2	0,0	47,3	46,0	14,9	38,4
Порт3:	1936	1945	0	1960	2020	1996	Порт3:	30,3	47,3	0,0	5,7	35,3	10,8
Порт4:	2819	2850	2754	0	2907	2797	Порт4:	35,3	46,0	5,7	0,0	35,5	7,7
Порт5:	4859	4935	4912	4935	0	4851	Порт5:	57,9	14,9	35,3	35,5	0,0	28,5
Порт6:	5497	5650	5519	5451	5504	0	Порт6:	40,9	38,4	10,8	7,7	28,5	0,0

Рис. 2. Примеры экранного вывода программой:

а — матрица грузооборотов контейнеров между портами (в контейнерах);

б — матрица времен переходов между портами (в часах)

В рассмотренной постановке задача сводится к задаче коммивояжера (Travelling Salesman Problem (TSP)) [7]. Данная проблема относится к классу NP-сложных задач и не может быть решена за приемлемый промежуток времени методами полного перебора значений.

Результаты (Results)

Рассматривается новый метод, в котором предлагается оптимизация маршрута контейнерной линии методами эвристического программирования на основе динамической модели сети распределения контейнерных грузов между морскими портами для доставки грузов в их хинтерленды. Функцией приспособленности может являться время или грузооборот, а также одновременное использование времени и грузооборота для проведения многокритериальной оптимизации.

Обсуждение (Discussion)

Данная задача может быть решена другими методами, в том числе методами генетических алгоритмов [8]. При этом не все методы генетических алгоритмов применимы для решения задачи коммивояжера, поскольку допускают повторный заход в уже обойденные вершины графа (пункты рейса). Для применения метода генетических алгоритмов необходимо внесение изменений в исходный алгоритм. Один из методов применительно к задаче коммивояжера был исследован авторами *метода генетических химер* [9].

В данном исследовании предлагается модификация *алгоритма генетических химер* на основе его комбинации с элементами *алгоритма упорядоченного кроссовера* (Ordered Crossover (OX)) [10]. Различия этих двух алгоритмов состоят в разном подходе к генерации недостающих генов (портов захода) при возникновении следующего поколения решений. Алгоритм генетических химер предполагает деление каждой особи надвое и случайную генерацию недостающих генов путем

подстановки случайного порта захода из неохваченного диапазона портов захода при наследовании. Алгоритм упорядоченного кроссовера предполагает скрещивание двух особей и попытку воспроизведения последовательности комбинированных генов. В тех местах, где это невозможно (один и тот же ген не должен повторяться дважды в решении), алгоритм ОХ предлагает подставить наиболее близкое решение. Однако близость решения оценивается этим алгоритмом на основе номера гена (девятый ген близок к восьмому и далек от первого или второго), в то время как в реальности близкие по номеру гены (морские порты) могут быть значительно удалены друг от друга.

Ввиду того, что алгоритм, предлагаемый в данном исследовании, базируется не на нумерации портов захода, а на времени перехода между ними или на количестве контейнеров для перевозки между ними, этот алгоритм ближе к алгоритму генетических химер. Предлагаемая модификация алгоритма приведена на рис. 3. В случае исходного алгоритма генетических химер каждая особь делилась на «голову» и «хвост» [9]. Это означает, что особь могла делиться только строго по центральным генам. В предлагаемой модификации особи также делятся пополам, однако выбирается не строго фиксированная последовательность генов (от нуля до середины — «голова», и от середины до конца — «хвост»), а любая последовательность генов, равная по размеру половине длины решения (см. рис. 3). Смещение последовательности выбранных генов от нулевого гена в сторону последнего происходит случайно.

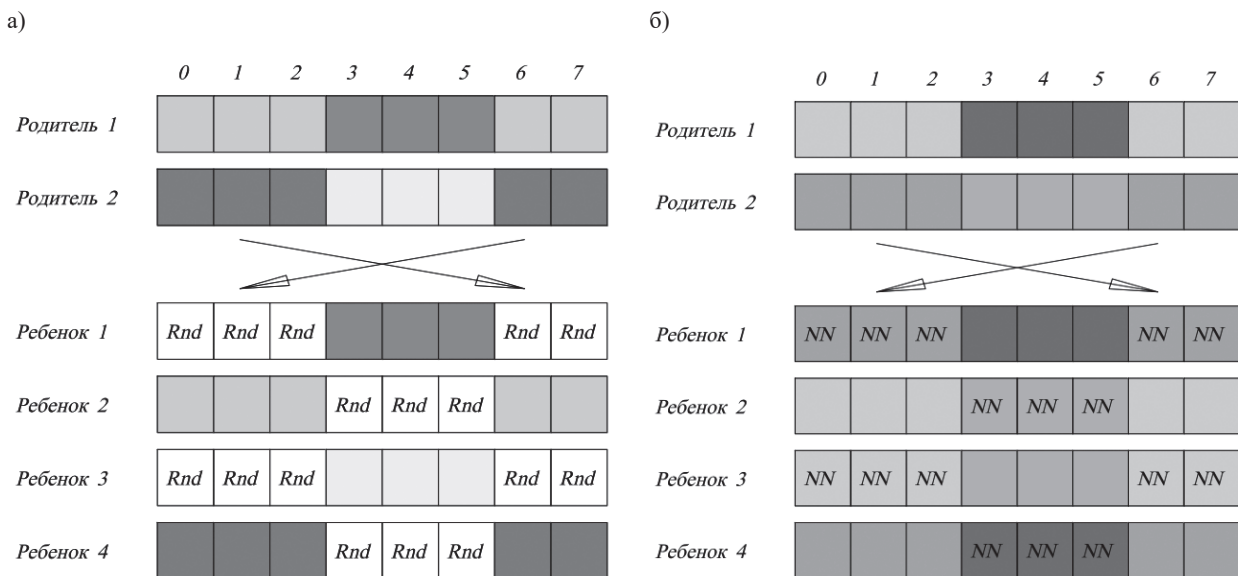


Рис. 3. Пример наследования: а — в алгоритме генетических химер;

б — в предлагаемой модификации

Условные обозначения:

Rnd — случайное воспроизведение гена;

NN (Nearest Neighbor) — подбор наиболее близкого гена

Кроме возможности случайного смещения последовательности генов вдоль длины решения, предлагается также заменить случайную генерацию недостающих генов (морских портов) на наиболее близкие (NN, Nearest Neighbor) по критерию минимального времени перехода до ближайшего порта или по критерию максимального грузооборота при разных вариантах однокритериальной оптимизации.

Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Приведен метод решения задачи оптимизации маршрута судов судоходной линии на основе динамической модели сети распределения контейнерных грузов между морскими портами и их наземными пунктами.

2. Предложена модификация алгоритма генетических химер путем комбинирования этого алгоритма с упорядоченным кроссовером.
3. Изменен принцип формирования новых недостающих генов, исходя из расстояний между портами и величиной грузопотоков.
4. В результате модификации предложен оригинальный метод мутации генов.
5. На основании предложенных изменений предполагается создание действующей модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буров В. И. Основные тенденции развития современного линейного судоходства / В. И. Буров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. — 2015. — № 10-1. — С. 75–79.
2. Русинов И. А. Коротко о линейных конференциях / И. А. Русинов, И. А. Гаврилова, А. Г. Нелогов // Морской вестник. — 2016. — № 2 (58). — С. 113–116.
3. Кириллова Е. В. Антимонопольное освобождение в системе линейного судоходства / Е. В. Кириллова // Сборник научных трудов SWorld. — 2013. — Т. 1. — № 1. — С. 61–64.
4. Zhen L. Route and speed optimization for liner ships under emission control policies / L. Zhen, Z. Hu, R. Yan, D. Zhuge, S. Wang // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. — 2020. — Vol. 110. — Pp. 330–345. DOI: 10.1016/j.trc.2019.11.004
5. Wang H. A Three-Dimensional Dijkstra's algorithm for multi-objective ship voyage optimization / H. Wang, W. Mao, L. Eriksson // Ocean Engineering. — 2019. — Vol. 186. — Pp. 106131. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.106131.
6. Галин А. В. Аналитический обзор методов маршрутизации судов в линейном контейнерном сервисе при сбое его работы / А. В. Галин, А. С. Малыхин // Транспортное дело России. — 2019. — № 2. — С. 162–164.
7. Manerba D. The traveling purchaser problem and its variants / D. Manerba, R. Mansini, J. Riera-Ledesma // European Journal of Operational Research. — 2017. — Vol. 259. — Is. 1. — Pp. 1–18.
8. Федоренко К. В. Исследование основных параметров генетического алгоритма применительно к задаче поиска оптимального маршрута / К. В. Федоренко, А. Л. Оловянников // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 4. — С. 714–723. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-714-723.
9. Кузнецов А. Л. Метод генетических химер для решения задачи рационализации маршрутов морской транспортировки / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, Г. Б. Попов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 3. — С. 456–467. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-456-467.
10. Moscato P. On Genetic Crossover Operations for Relative Order Preservation: Caltech Concurrent Computation Program 158-79 / P. Moscato. — Pasadena, CA, USA: California Institute of Technology, 1989. — 10 p.

REFERENCES

1. Burov, V. I. "Osnovnye tendentsii razvitiya sovremennogo lineinogo sudokhodstva." *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk* 10-1 (2015): 75–79.
2. Rusinov, I. A., I. A. Gavrilova, and A. G. Nelogov. "Kortoko o lineinykh konferentsiyakh." *Morskoi vestnik* 2(58) (2016): 113–116.
3. Kirillova, E. V. "Antimonopol'noe osvobozhdenie v sisteme lineinogo sudokhodstva." *Sbornik nauchnykh trudov SWorld* 1.1 (2013): 61–64.
4. Zhen, Lu, Zhuang Hu, Ran Yan, Dan Zhuge, and Shuaian Wang. "Route and speed optimization for liner ships under emission control policies." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 110 (2020): 330–345. DOI: 10.1016/j.trc.2019.11.004.
5. Wang, Helong, Wengang Mao, and Leif Eriksson. "A Three-Dimensional Dijkstra's algorithm for multi-objective ship voyage optimization." *Ocean Engineering* 186 (2019): 106131. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.106131.
6. Galin, A., and A. Malykhin. "Analytical review of methods of routing of vessels in the linear container service in case of failure of its work." *Transport business of Russia* 2 (2019): 162–164.

7. Manerba, Daniele, Renata Mansini, and Jorge Riera-Ledesma. “The traveling purchaser problem and its variants.” *European Journal of Operational Research* 259.1 (2017): 1–18.

8. Fedorenko, Kirill V., and Arkadii L. Olovyannikov. “Research of the main parameters of the genetic algorithm for the problem of searching the optimal route.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.4 (2017): 714–723. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-714-723.

9. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and German B. Popov. “Chimerical genetic algorithm for sea route rationalization.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.3 (2017): 456–467. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-456-467.

10. Moscato, Pablo. *On Genetic Crossover Operations for Relative Order Preservation: Caltech Cocurrent Computation Program 158-79*. Pasadena, CA, USA: California Institute of Technology, 1989.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Малыхин Александр Сергеевич — аспирант

Научный руководитель:

Галин Александр Валентинович —

доктор технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,

ул. Двинская, 5/7

e-mail: contrship@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Malykhin, Aleksandr S. — Postgraduate

Supervisor:

Galina, Aleksandr V. —

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: contrship@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 5 июня 2020 г.

Received: June 5, 2020.