

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-335-343

THE USE OF PHASE DIAGRAMS WHEN CHOOSING OPTIMAL ROUTES IN THE WATERS OF THE NORTHERN SEA ROUTE

E. V. Andreeva, A. L. Tezikov

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

A method for choosing optimal shipping routes using phase diagrams is developed in the paper. The topic and purpose of the study is directly related to the tasks, the implementation of which is provided for by the Plan of the Northern Sea Route Development, approved by the decree of the Government of the Russian Federation on August 1, 2022, confirmed by the financing program for the development and implementation of the digital platform of the Northern Sea Route, approved by the Government in mid-January 2023. The assessment of the current state of the shipping routes network, navigation, hydrographic and hydro meteorological support is given. The use of the method of multi-criteria evaluation of alternative routes based on a variety of safety criteria depending on the depths, ice conditions, tightness of the water area and hydrographic study of the bottom relief is justified. The dependence of the safety criteria on the draft of the vessel, its icebreaking ability and maneuverable elements is established. A method of comparative assessment of shipping routes for settlement vessels according to four main criteria has been developed. A scheme for calculating quantitative safety indicators is proposed. A procedure for normalizing indicators has been developed. A three-level scale for assessing the safety of shipping routes has been introduced. A methodology for ranking shipping routes and culling the routes assessed as dangerous and forming a set of routes assessed as safe is proposed. The method was tested using a model of the passage of an Arc4 ice category vessel with a draft of 9 m along eight alternative routes of the East Siberian Sea. A set of phase diagrams of alternative routes constructed according to pairs of basic safety criteria is presented. The states of routes are analyzed with the application of the Pareto efficient solution rule to the selection of optimal routes. It is noted that the use of phase diagrams can be extended to a larger number of indicators affecting the efficiency and safety of vessels navigation. Recommendations on the use of the developed method are given. The main directions of further research are determined.

Keywords: Northern Sea Route, shipping routes, safety criteria, transit time, Pareto optimization, phase diagrams.

For citation:

Andreeva, Ekaterina V., and Aleksandr L. Tezikov. "The use of phase diagrams when choosing optimal routes in the waters of the Northern Sea Route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.3 (2023): xx–xx. 335–343. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-335-343.

УДК 528.47

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ ПРИ ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ В АКВАТОРИИ СЕВМОРПУТИ

Е. В. Андреева, А. Л. Тезиков

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

Темой исследования является разработка метода выбора оптимальных судоходных маршрутов с использованием фазовых диаграмм. Тема и цель исследования напрямую связаны с задачами, реализация которых предусмотрена планом развития Северного морского пути, утвержденным распоряжением Правительства Российской Федерации 1 августа 2022 г. в соответствии с программой финансирования работ

по разработке и внедрению цифровой платформы Северного морского пути, утвержденной Правительством в январе 2023 г. Дана оценка современного состояния сети судоходных маршрутов, навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения. Обосновано использование метода многокритериальной оценки альтернативных маршрутов по множеству критериев безопасности, зависящих от глубин, ледовых условий, стесненности акватории и гидрографической изученности рельефа дна. Установлена зависимость критериев безопасности от осадки судна, его ледопроеходимости и маневренных элементов. Разработан метод сравнительной оценки судоходных маршрутов для расчетных судов по четырем основным критериям. Предложена схема вычисления количественных показателей безопасности. Разработана процедура нормировки показателей. Введена трехуровневая шкала оценки безопасности судоходных маршрутов. Предложена методика ранжирования судоходных маршрутов и отбраковки маршрутов, оцениваемых как опасные, а также формирования множества маршрутов, оцениваемых как безопасные. Апробация метода выполнена с использованием модели перехода судна ледовой категории Arc4, имеющего осадку 9 м по восьми альтернативным маршрутам Восточно-Сибирского моря. Представлен комплект фазовых диаграмм альтернативных маршрутов, построенных по парам основных критериев безопасности. Проанализированы состояния маршрутов с применением правила эффективного решения Парето к выбору оптимальных маршрутов. Отмечается, что использование фазовых диаграмм может быть распространено на большее количество показателей, влияющих на эффективность и безопасность плавания судов. Даны рекомендации по использованию разработанного метода. Определены основные направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: Северный морской путь, арктическое судоходство, судоходные маршруты, критерии безопасности, время перехода, Парето оптимизация, фазовые диаграммы.

Для цитирования:

Андреева Е. В. Использование фазовых диаграмм при выборе оптимальных маршрутов в акватории Севморпути / Е. В. Андреева, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 3. — С. 335–343. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-335-343.

Введение (Introduction)

Арктическое судоходство представляет собой часть морского судоходства, на которое распространяются общие правила безопасности мореплавания. Вместе с тем плавание в высоких широтах имеет ряд специфических особенностей, которые в полярном судоходстве являются особо тяжелыми и опасными видами мореплавания. К ним относятся: обширные мелководные области с опасными глубинами, тяжелые ледовые условия, недостаточная гидрографическая изученность рельефа дна, а также недостаточно развитая инфраструктура.

Арктическое судоходство играет важнейшую роль в решении стратегических задач Российской Федерации. Распоряжением Правительства 1 августа 2022 г. был утвержден «Обновленный план развития Северного морского пути (СМП) до 2035 г.» [1] (далее — План), направленный на создание условий обеспечения круглогодичной навигации в акватории арктических морей и запланированного увеличения объема морских перевозок между азиатскими портами и портами РФ [2]. План предусматривает строительство ледоколов, гидрографических судов усиленного ледового класса, земснарядов, а также проведение комплекса мероприятий, направленных на обеспечение безопасности и повышение эффективности арктической транспортной системы.

Госкорпорацией «Росатом» разработана концепция единой цифровой платформы СМП, предназначенной для сбора информации о состоянии арктической транспортной системы и решения задач повышения ее эффективности [3]. Важное место отводится решению задачи выбора оптимальных маршрутов плавания судов, отвечающих требованиям безопасности, предсказуемости и экономической выгоды. Научная и практическая новизна задачи выбора оптимальных маршрутов определяется отсутствием опыта круглогодичной навигации в акватории СМП за исключением юго-западной части Карского моря, где круглогодичная навигация осуществляется с 2006 г., а также отсутствием достоверных прогнозов ледовой обстановки морей центрального и восточного секторов акватории СМП. Плавание судов в этих секторах СМП выполняется по рекомендованным маршрутам в летне-осенний навигационный период (с середины июля до середины ноября) [4], проложенным по участкам с хорошей гидрографической изученностью рельефа дна. Рекомендованные маршруты

представляют собой оптимальные маршруты для судов с заданной осадкой в летне-осенний навигационный период при отсутствии льда.

В зимне-весенний навигационный период (с середины ноября до середины июля) использование летних рекомендованных маршрутов становится невозможным, так как они покрываются толстыми льдами и могут перекрываться непреодолимыми препятствиями в виде айсбергов, торосов, стамух и других опасных ледовых образований [5]. В таких условиях суда вынуждены отклоняться в область малых глубин с недостаточной гидрографической изученностью рельефа дна [6].

Выбор оптимального маршрута плавания судов в летне-осенний навигационный период сводится к решению задачи выбора самого короткого пути из имеющихся рекомендованных маршрутов для судов с заданной осадкой [7]. Используются два критерия оптимальности: критерий времени перехода и критерий безопасности по глубине. Выбор оптимального маршрута в зимне-весенний период должен выполняться с использованием большего количества критериев: критерия времени перехода, критерия безопасности по глубине, критерия стесненности и критерия гидрографической изученности. Обоснование необходимости использования указанных критериев при выборе оптимальных маршрутов выполнено в работах [8]–[11]. Задача выбора оптимальных маршрутов в ледовых условиях относится к многокритериальным [12]. Решение таких задач, как правило, сводится к поиску некоторого множества альтернативных решений, каждое из которых может быть оптимальным по одному критерию, но неоптимальным по другим. Принятие решения упрощается с использованием фазовых диаграмм состояния маршрутов по критериям безопасности.

Целью работы является построение фазовых диаграмм состояния маршрутов по критериям безопасности и их использование при выборе оптимальных судоходных маршрутов в акватории СМП.

Методы и материалы (Methods and Materials)

На рис. 1 показана схема района, расположенного между Новосибирскими островами и проливом Лонга.

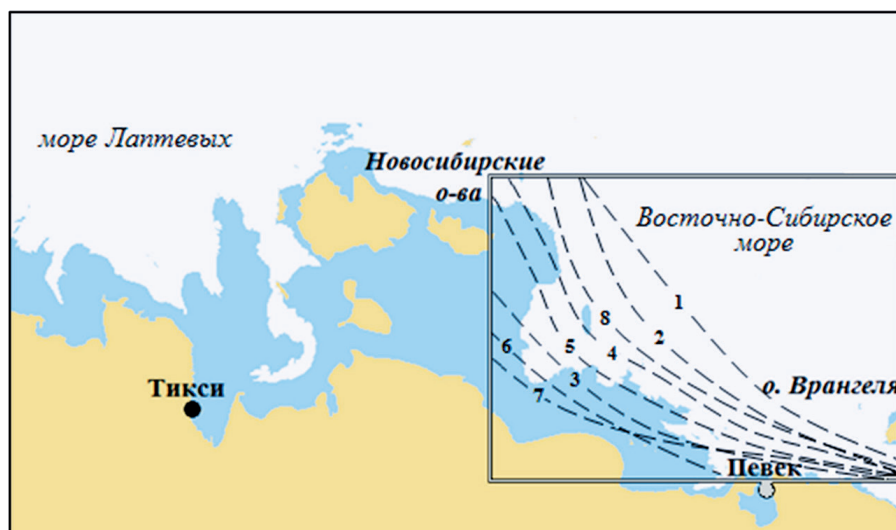


Рис. 1. Район расположения альтернативных маршрутов

Решается задача выбора оптимального маршрута из восьми альтернативных. Расположение маршрутов с их нумерацией показано в окне на рис. 1. Оценка безопасности маршрутов выполняется для судов, имеющих класс ледового усиления Arc4 и осадку 9,0 м, в начале зимней навигации (ноябрь). Параметры альтернативных маршрутов приведены в таблице.

Параметры альтернативных маршрутов

Маршрут, r	Параметры маршрута						
	Глубины минимальные	Толщина льда максимальная	Время перехода	Показатели безопасности			
	$Z_{\min}$, м	$h_{\max}$, см	T , ч	f_1	f_2	f_3	f_4
1	45	30	50	0,80	0,50	0,6	0,6
2	30	40	56	0,70	0,33	0,4	0,8
3	13	40	58	0,31	0,33	0,2	0,4
4	20	20	43	0,55	0,67	0,8	0,6
5	18	20	45	0,50	0,67	0,5	0,5
6	14	25	47	0,35	0,58	0,2	0,3
7	10	30	50	0,10	0,50	0,5	0,2
8	23	50	64	0,61	0,17	0,5	0,5

Протяженность каждого маршрута составляет 520–560 миль. Каждый маршрут характеризуется значением минимальной глубины $Z_{\min}$ и максимальной толщиной льда $h_{\max}$. Маршрут r_7 представляет собой самый мелководный маршрут, маршрут r_1 — самый глубоководный.

В зимний навигационный период ледопроездимость $h_{\text{лп}}$ судов ледовой категории Arc4 составляет 60 см [13], что позволяет им совершать самостоятельное плавание по всем маршрутам, максимальная толщина льда на которых находится в диапазоне от 20 см (маршруты r_4 и r_5) до 50 см (маршрут r_8). Расчетное время перехода по маршрутам меняется от 43 ч (маршрут r_4) до 64 ч (маршрут r_8). Каждый маршрут оценивается по четырем показателям безопасности:

f_1 — показателю безопасности по соотношению осадки судна d и минимальной глубины $Z_{\min}$;
 f_2 — показателю безопасности по соотношению ледопроездимости $h_{\text{лп}}$ судна и максимальной толщины льда $h_{\max}$;

f_3 — показателю безопасности по соотношению ширины полосы безопасного маневрирования судна B_0 и минимальным значением ширины фарватера $B_{\min}$;

f_4 — показателю безопасности по соотношению междугалсового расстояния $L_{\text{ф}}$, используемому при выполнении промерных работ в районе, и междугалсового расстояния L_0 , которое необходимо использовать для обнаружения опасных глубин в районе.

Каждый из указанных показателей безопасности f_1, f_2, f_3 и f_4 определен на интервале $[0, 1]$. При этом значение 0 соответствует максимальной степени опасности маршрута по принятому показателю, значение 1 — максимальной степени безопасности маршрута по принятому показателю.

На практике для каждого показателя принимается трехуровневая шкала безопасности:

I уровень (опасный) — $0 \leq f_i \leq f_i^{*\min}$;

II уровень (относительно безопасный) — $f_i^{*\min} < f_i < f_i^{*\max}$;

III уровень (наивысшая степень безопасности) — $f_i^{*\max} \leq f_i \leq 1$, где $f_i^{*\min}$ и $f_i^{*\max}$ — пороговые значения показателя f_i .

Для оценки маршрутов примем следующие пороговые значения: $f_i^{*\min} = 0,2$ и $f_i^{*\max} = 0,8$. В соответствии с принятой шкалой оценок к опасному состоянию по показателю f_1 относится маршрут r_7 , к опасному состоянию по показателю f_2 — маршрут r_8 , к опасному состоянию по показателю f_3 — маршруты r_3 и r_6 , к опасному состоянию по показателю f_4 — маршрут r_7 . К наиболее безопасному маршруту по показателю f_1 относится маршрут r_1 , по показателю f_2 к наиболее безопасным маршрутам — маршруты r_4 и r_5 , к наиболее безопасному маршруту по показателю f_3 — маршрут r_4 , к наиболее безопасному маршруту по показателю f_4 — маршрут r_1 . Поиск оптимального маршрута из восьми альтернативных маршрутов по четырем показателям производить сложно из-за обилия вариантов и противоречивых оценок. Для оценки маршрутов примем следующие пороговые значения: $f_i^{*\min} = 0,2$ и $f_i^{*\max} = 0,8$.

Результаты (Results)

Фазовая диаграмма альтернативных маршрутов по показателям f_1 – f_2 приведена на рис. 2. На диаграмме f_1 – f_2 заштрихованные области соответствуют I уровню шкалы безопасности. В опасные области по показателям f_1 и f_2 попадают маршруты r_8 и r_7 , которые выделены кругами.

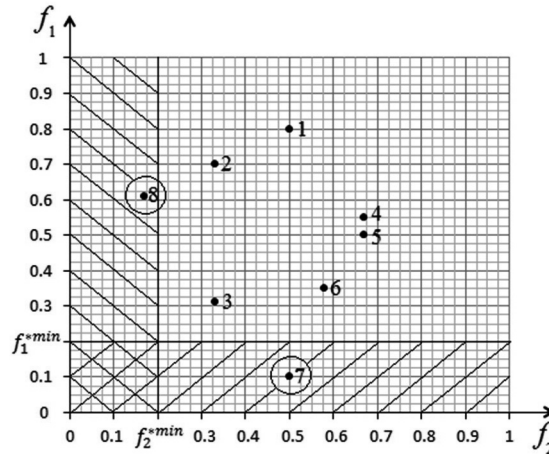


Рис. 2. Фазовая диаграмма f_1 – f_2

Маршруты $r_1, \dots, r_6$ по показателям f_1 и f_2 относятся к безопасным маршрутам. По показателю f_1 маршрут r_1 доминирует над всеми безопасными маршрутами. По показателю f_2 доминирующее положение занимают маршруты r_4 и r_5 . В соответствии с принципами решения многокритериальных задач [13] для выбора оптимального маршрута следует использовать маршруты r_1 и r_4 .

На рис. 3 приведена фазовая диаграмма f_1 – f_4 . На диаграмме f_1 – f_4 в опасные области попадает маршрут r_7 по показателям f_1 и f_4 . Точка, соответствующая маршруту r_7 , на диаграмме выделена кругом. Ранее на диаграмме f_1 – f_2 состояние маршрута r_7 , было отнесено к опасному состоянию по показателю f_1 .

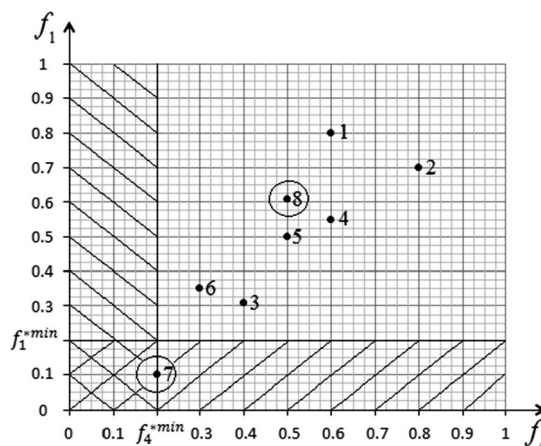


Рис. 3. Фазовая диаграмма f_1 – f_4

Маршруты $r_1, \dots, r_6$ и r_8 по показателям f_1 и f_4 относятся к безопасным маршрутам, однако точка, соответствующая маршруту r_8 , ранее была отнесена к опасному маршруту по показателю f_2 (см. рис. 2). По показателю f_1 маршрут r_1 доминирует над всеми безопасными маршрутами. По показателю f_4 доминирующее положение занимает маршрут r_2 . В соответствии с принципами решения многокритериальных задач для выбора оптимального маршрута следует использовать маршруты r_1 и r_2 .

На рис. 4 приведена фазовая диаграмма f_1-f_3 . На ней в опасные области попадают маршруты r_3 , r_6 и r_7 по показателям f_1 и f_3 . Маршруты r_7 и r_8 ранее по диаграммам f_1-f_2 и f_1-f_4 были отнесены к опасным маршрутам. Все опасные маршруты по критериям f_1, f_2, f_3 и f_4 выделены на рисунке кружками.

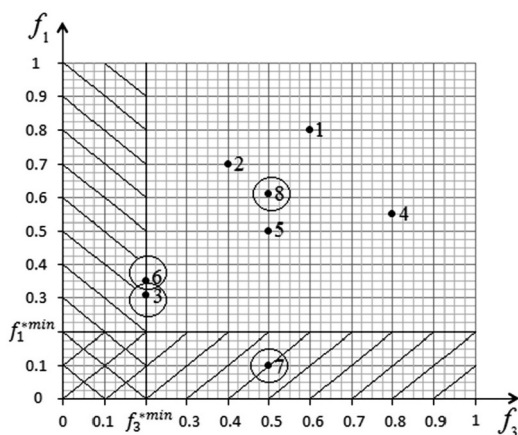


Рис. 4. Фазовая диаграмма f_1-f_3

Маршруты r_1, r_2, r_4, r_5 и r_8 по показателям f_1 и f_3 относятся к безопасным маршрутам, однако точка, соответствующая маршруту r_8 , ранее была отнесена к опасному маршруту по показателю f_2 (рис. 2). По показателю f_1 маршрут r_1 доминирует над всеми безопасными маршрутами. По показателю f_3 доминирующее положение занимает маршрут r_4 . В соответствии с принципами решения многокритериальных задач для выбора оптимального маршрута следует использовать маршруты r_1 и r_4 .

На рис. 5 приведена фазовая диаграмма f_2-f_3 , на которой в опасные области попадают маршруты r_3, r_6 и r_8 . Маршруты r_1, r_2, r_4, r_5 и r_7 по показателям f_2 и f_3 относятся к безопасным маршрутам. Однако маршрут r_7 ранее по диаграммам f_1-f_2, f_1-f_4 и f_1-f_3 был отнесен к опасному маршруту. Все опасные маршруты по критериям f_1, f_2, f_3 и f_4 выделены кружками.

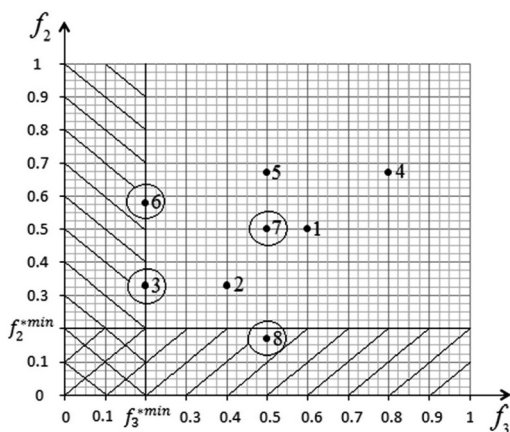


Рис. 5. Фазовая диаграмма f_2-f_3

По показателю f_2 маршруты r_4 и r_5 равнозначны и доминируют над всеми безопасными маршрутами. По показателю f_3 доминирующее положение занимает маршрут r_4 над всеми безопасными маршрутами. В соответствии с принципами решения многокритериальных задач для выбора оптимального маршрута следует использовать маршрут r_4 . На основании анализа маршрутов по всем показателям безопасности к множеству Парето оптимальных [13] маршрутов относятся безопасные маршруты r_1, r_2, r_4 и r_5 .

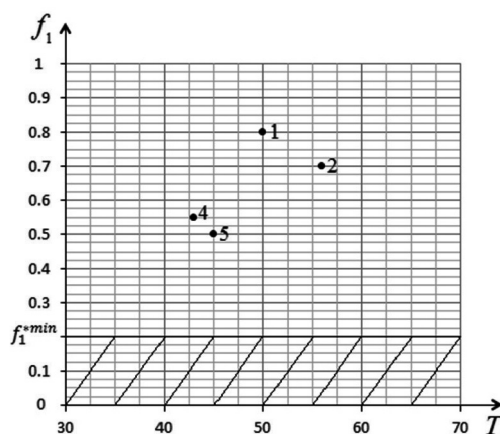


Рис. 6. Фазовая диаграмма f_1-T

На рис. 6 приведена фазовая диаграмма f_1-T . Маршрут r_4 характеризуется минимальным значением времени перехода (43 ч), что обеспечивает его доминирование над остальными маршрутами. Маршрут r_2 характеризуется максимальным временем перехода. К множеству Парето оптимальных маршрутов по параметрам f_1 и T относятся маршруты r_1 и r_4 .

Обсуждение (Discussions)

Полученные в ходе моделирования результаты хорошо согласуются с данными реального судоходства. Вместе с тем следует отметить, что проверка метода выбора оптимальных маршрутов выполнялась для одного типа судов при определенном состоянии ледовых условий в акватории. В модели использовались локальные фрагменты судоходных маршрутов, поэтому полученные оценки и заключения относятся только к этим фрагментам и не могут без дополнительного обоснования быть распространены на участки маршрутов, расположенные вне границ фрагмента. Использование фазовых диаграмм альтернативных маршрутов обеспечивает наглядное представление процедуры отбраковки маршрутов по частным критериям и формирование множества Парето оптимальных маршрутов, которое может быть использовано для принятия окончательного решения.

На точность и обоснованность решения оказывает влияние полнота и достоверность информации, используемой для вычисления показателей безопасности, а также ряд допущений, относящихся к методам оценки показателей безопасности и их использованию. В качестве допущений принималось, что все используемые показатели имеют одинаковые значения. Кроме того, не учитывался ряд других факторов, влияющих на оценку маршрутов по критериям безопасности, к которым может быть отнесено влияние ветра, течения, плотность судоходства, удаленность от пунктов размещения морской спасательной службы и др. Применение фазовых диаграмм может быть распространено на большее количество показателей безопасности, влияющих на эффективность и безопасность плавания судов. Фазовые диаграммы могут использоваться при проработке перехода конкретного судна, а также при проработке переходов групп разнотипных судов, выполняемой в штабах морских операций.

Заключение (Conclusion)

Проблема круглогодичной навигации в акватории Северного морского пути связана с решением комплекса многокритериальных задач, в перечень которых входят оптимизация структуры и состава полярного флота, совершенствование всех видов информационного обеспечения, разработка методов прогнозирования ледовых условий, проведение гидрографических и дноуглубительных работ, развитие морской транспортной инфраструктуры. Успешное решение указанных задач позволит обеспечить надежную и безопасную перевозку грузов и товаров для людей, живущих в районах Крайнего Севера, а также создание условий для реализации инвестиционных проектов в Арктической зоне страны [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ от 1 августа 2022 г. № 2115-р. «Об утверждении плана развития Северного морского пути на период до 2035 г.» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://government.ru/news/46171/> (дата обращения: 30.01.2023).
2. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027> (дата обращения: 30.01.2023).
3. «Росатом» создаст цифровую платформу для навигации по Севморпути [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/08/03/880554-rosatom-platformu> (дата обращения 30.01.2023).
4. Постановление Правительства РФ от 18.09.2020 N 1487 «Об утверждении Правил плавания в акватории Северного морского пути» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rostransnadzor.gov.ru/documents/categories/79/document/3805> (дата обращения 30.01.2023).
5. Порубаев В. С. Максимальная осадка килей гряд торосов в глубоководной части Северного Ледовитого океана / В. С. Порубаев // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2014. — № 2 (100). — С. 75–81.
6. Тезиков А. Л. Гидрографическая изученность акватории Северного морского пути / А. Л. Тезиков, А. Б. Афонин, Е. О. Ольховик // Транспорт Российской Федерации. — 2018. — № 2 (75). — С. 19–21.
7. Акмайкин Д. А. Эвристический поиск оптимального маршрута судна по северному морскому пути / Д. А. Акмайкин, С. Ф. Ключева, П. А. Салюк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 5 (33). — С. 55–62. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-5-55-62.
8. Ольховик Е. О. Влияние льда на формирование судоходных маршрутов в акватории Северного морского пути / Е. О. Ольховик, Е. В. Андреева, А. Л. Тезиков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2019. — № 2. — С. 26–36. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-26-36.
9. Ключев В. В. Формализация оценки безопасности акватории Северного морского пути / В. В. Ключев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 4 (38). — С. 69–74. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-69-74.
10. Решетняк С. В. Северный морской путь. Численная оценка гидрографической обеспеченности трасс для судов с большой осадкой / С. В. Решетняк, А. Л. Тезиков // Геодезия и картография. — 2008. — № 6. — С. 59–61.
11. Ершов А. А. Использование характеристик маневрирования для обеспечения безопасности движения судов в узкостях / А. А. Ершов, А. В. Михневич // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 5. — С. 897–910. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-897-910.
12. Андреева Е. В. Многокритериальный подход в задаче выбора оптимальных маршрутов в акватории Северного морского пути / Е. В. Андреева // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 3. — С. 399–408. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-399-408.
13. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде / В. Д. Ногин. — М.: Физматлит, 2005. — 176 с.

REFERENCES

1. Rasporiazhenie Pravitel'stva RF ot 1 avgusta 2022 g. № 2115-r. «Ob utverzhdenii plana razvitiya Severnogo morskogo puti na period do 2035 g. Web. 30 Jan. 2023 <<http://government.ru/news/46171/>>.
2. Ukaz Prezidenta RF ot 7 maya 2018 goda № 204 «O natsional'nykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2024 goda». Web. 30 Jan. 2023 <<http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027>>.
3. «Rosatom» sozdaet tsifrovuyu platformu dlya navigatsii po Sevmorputi. Web. 30 Jan. 2023 <<https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/08/03/880554-rosatom-platformu>>.
4. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 18.09.2020 N 1487 «Ob utverzhdenii Pravil plavaniya v akvatorii Severnogo morskogo puti». Web. 30 Jan. 2023 <<https://rostransnadzor.gov.ru/documents/categories/79/document/3805>>.
5. Porubayev, V. S. “Maximum draft of ice ridge keels in the deep-sea area of the Arctic Ocean.” *Arctic and Antarctic Research* 2(100) (2014): 75–81.

6. Tezиков, A. L., A. B. Afonin, and Ye. O. Olkhovik. "The state of hydrographic exploration of the Northern Sea Route water area." *Transport business of Russia* 2(75) (2018): 19–21.
7. Akmaykin, Denis Aleksandrovich, Svetlana Fedorovna Klyueva, and Pavel Anatolievich Salyuk. "Heuristic search for the optimal route ship Northern Sea Route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(33) (2015): 55–62. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-5-55-62.
8. Olkhovik, Evgeniy Olegovich, Ekaterina Valerievna Andreeva, and Aleksandr Lvovich Tezиков. "Ice influence on forming shipping routes in the water area of the Northern Sea Route." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 2 (2019): 26–36. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-26-36.
9. Kljuev, Vitaly Vladimirovich. "Formalization of the assessment of safety of routes of the northern sea route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 4(38) (2016): 69–74.
10. Reshetnyak, S. V., and A. L. Tesikov. "Northern seaway. Numerical evaluation of the hydrographic provision of routes for the high draught vessels." *Geodesy and Cartography* 6 (2008): 59–61.
11. Ershov, Andrey A., and Andrey V. Mikhnevich. "The use of characteristics of maneuvering to ensure the safety of vessel traffic in the narrows." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.5 (2018): 897–910. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-897-910.
12. Andreeva, Ekaterina V. "Multi-criteria approach to the problem of choosing the optimal routes in the waters of the Northern Sea Route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.3 (2021): 399–408. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-399-408.
13. Nogin, V. D. *Prinyatie reshenii v mnogokriterial'noi srede*. M.: Fizmatlit, 2005.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Андреева Екатерина Валерьевна — ассистент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_gm@gumrf.ru

Тезиков Александр Львович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: altezиков@yandex.ru, TezиковAL@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andreeva, Ekaterina V. — Assistant
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_gm@gumrf.ru

Tezиков, Aleksandr L. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: altezиков@yandex.ru, TezиковAL@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 14 февраля 2023 г.
Received: February 14, 2023.