

Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 528.47

doi:10.30987/2658-6436-2022-2-18-26

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СУДОХОДНЫХ МАРШРУТОВ В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Екатерина Валерьевна Андреева

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова,
г. Санкт-Петербург, Россия

AndreevaEV@gumrf.ru

***Аннотация.** Настоящая работа посвящена разработке обобщенной модели формирования судоходных маршрутов в акватории арктических морей. Тема исследования связана с решением стратегической задачи обеспечения круглогодичной навигации в акватории Северного морского пути. Дана характеристика навигационно-гидрографических и ледовых условий функционирования морской арктической транспортной системы. Приводятся основные показатели, характеризующие объём грузоперевозок, выполненных по трассам Северного морского пути в 2021 году и количество судов, работающих в акватории. Определены основные факторы, влияющие на развитие сети круглогодичных судоходных маршрутов. Выполнен аналитический обзор известных моделей и методов оценки навигационных рисков. Установлен перечень основных факторов навигационных рисков. Предложена обобщенная модель совместного учета влияния малых глубин, ледовых условий и стесненности акватории на безопасность судоходства. Приведены основные формулы, соотношения и ограничения модели, а также обобщенные и частные критерии показателей навигационной безопасности. Представлены результаты проверки работоспособности модели. Рассмотрена возможность круглогодичного плавания крупнотоннажных судов двух типов в проливе Санникова. Использование модели позволило выполнить сравнительную оценку маршрутов плавания судов по обобщенному критерию навигационной безопасности и частным критериям. Разработана методика практического использования предложенной модели для решения задач обеспечения безопасного судоходства в условиях продленной и круглогодичной навигации в акватории Северного морского пути. Намечены пути дальнейшего исследования.*

Ключевые слова: северный морской путь, судоходные маршруты, модель, круглогодичная навигация

Для цитирования: Андреева Е. В. Модель формирования судоходных маршрутов в акватории северного морского пути // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2022. №2 (16). С. 18-26. doi: 10.30987/2658-6436-2022-2-18-26.

Original article

Open Access Article

MODEL FOR FORMING SHIPPING ROUTES IN THE WATER AREA OF THE NORTHERN SEA ROUTE

Ekaterina V. Andreeva

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

AndreevaEV@gumrf.ru

Abstract. This work is devoted to developing a generalized model for forming shipping routes in the waters of the Arctic seas. The research theme is related to solving the strategic task of providing a year-round navigation in the waters of the Northern Sea Route. The characteristics of the navigation-hydrographic and ice conditions for performing the maritime Arctic transport system are given. The article presents the main indicators characterizing the volume of

cargo transportation carried out along the routes of the Northern Sea Route in 2021 and the number of ships operating in the water area. The main factors influencing the network development of year-round shipping routes are determined. An analytical review of known models and methods for assessing navigational risks are carried out. A list of the main factors of navigational risks is established. A generalized model is proposed for joint considering the influence of shallow depths, ice conditions and tightness of the water area on the navigation safety. The main formulae, correlations and limitations of the model, as well as generalized and particular criteria for indicators of navigational safety are given. The results of checking the model performance are presented. The possibility of a year-round navigation of two-type large-capacity vessels in the Sannikov Strait is considered. Applying the model makes it possible to perform a comparative assessment of the ship navigation routes according to the generalized criterion of navigational safety and particular criteria. A technique is developed for the practical use of the proposed model to solve the problems of ensuring safe navigation in the conditions of extended and a year-round navigation in the waters of the Northern Sea Route. The article outlines the ways of further research.

Keywords: northern sea route, shipping routes, model, year-round navigation

For citation: Andreeva E. V. Model for forming shipping routes in the water area of the northern sea route. Automation and modeling in design and management, 2022, no. 2 (16). pp. 18-26. doi: 10.30987/2658-6436-2022-2-18-26.

Введение

Акватория Северного морского пути (СМП) – сложная морская транспортная зона, отличающаяся суровым климатом, тяжелыми ледовыми условиями, наличием обширных участков с малыми глубинами, недостаточной гидрографической изученностью, а также наличием множества участков со стесненными условиями. С 2013 года в акватории СМП отмечаются резкое возрастание интенсивности судоходства, увеличение доли крупнотоннажных судов, расширении сети судоходных маршрутов в юго-восточной части Карского моря, по которым осуществляется круглогодичная транспортировка углеводородов из портов Обской губы в западном направлении и летняя транспортировка грузов в восточном направлении.

В 2021 году в акватории СМП работало 413 морских судов, более 200 судов категории «река – море» и 20 ледоколов. Общий объем грузоперевозок составил 34,85 млн. тонн. К 2024 году этот показатель планируется довести до 80 млн. тонн, а к 2030 году – до 150 млн. тонн [1]. Увеличение грузооборота в 4,3 раза за 8 лет может быть достигнуто за счет строительства новых морских портов и грузовых терминалов, строительства новых судов, а также за счет продления навигационного периода на традиционных судоходных маршрутах восточного сектора СМП и обеспечения круглогодичных транзитных грузоперевозок по приполюсным маршрутам. Задача продления навигационного периода и круглогодичной навигации признана стратегическим проектом государства [2].

Реализация проекта ограничена навигационно-гидрографическими и ледовыми условиями арктических морей, к которым относятся:

- риски аварий судов, связанных с касанием грунта на обширных мелководных участках с недостаточной гидрографической изученностью [3 – 5];
- риски ледовых повреждений и ледовой блокады судов [6, 7];
- стесненность акватории, ограничивающая возможность безопасного маневрирования судов в узкостях, образованных опасными изобатами, опасными ледовыми образованиями, границами запретных зон, сторонними судами и другими объектами [8 – 10].

Для снижения риска посадок на мель в акватории СМП для плавания судов с заданной осадкой используется сеть рекомендованных судоходных маршрутов.

Для снижения риска ледовых повреждений в акватории СМП используется разрешительный порядок плавания судов, предусматривающий выдачу разрешений на район плавания и время плавания только тем судам, которые имеют установленный ледовый класс.

Оценка влияния факторов риска на суда, как правило, выполняется отдельно для каждого судна и каждого фактора. Подобный подход считается оправданным при плавании в летний навигационный период при полном отсутствии льда. В условиях продленной и особенно круглогодичной навигации, совместный учет всех навигационных факторов риска имеет актуальное значение.

Настоящая работа посвящена разработке обобщенной модели формирования

судоходных маршрутов в акватории арктических морей, в которой факторы риска малых глубин, ледяных полей и стесненности учитываются совместно.

Модель предназначена для решения задач управления морскими транспортными процессами в акватории СМП.

Методы и материалы

Неотъемлемой частью арктической транспортной системы является сеть судоходных маршрутов R . Маршруты характеризуются глубинами Z , ледяными полями толщиной H и показателем стесненности S .

В арктических водах толщина льда H меняется в пределах от нуля до нескольких метров в зависимости от навигационного периода T . Самые сложные ледовые условия в акватории СМП отмечаются в зимне-весенний навигационный период в марте и апреле. В летне-осенний навигационный период в августе и сентябре на большей части акватории лед исчезает.

Акватория СМП относится к мелководной морской акватории, на большей части которой глубины Z не превышают 20 м [11].

Арктический флот представлен судами V с осадкой d от 2 до 12 м и ледовой проходимостью h от 0 до 1,7 м [12].

Стесненность акватории характеризуется ее мерой M , которая соотносится с минимальной шириной полосы безопасного маневрирования судна B [13].

Показатель безопасности $F(T) \in [0; 1]$ маршрута определяется возможностью его использования судами разных типов: если $F(T) = 1$, то маршрут для заданного типа судов безопасен; если $F(T) = 0$, то маршрут для заданного типа судов опасен.

Показатель $F(T)$ задается выражением:

$$F(T) = R(Z, H(T), S) \cap V(d, h, B). \quad (1)$$

Выражение (1) представим в виде:

$$F(T) = f_1 \left(\frac{d}{Z - \Delta_L} \right) f_2 \left(\frac{h_\phi}{h_{\text{пр}}} \right) f_3 \left(\frac{B}{M} \right), \quad (2)$$

где $f_1 \in [0; 1]$ – фактор влияния глубины; $f_2 \in [0; 1]$ – фактор влияния льда; $f_3 \in [0; 1]$ – фактор влияния стесненности; d – осадка судна; Z – глубины на маршруте; Δ_L – показатель гидрографической изученности рельефа дна; h_ϕ – фактическая толщина льда на маршруте; $h_{\text{пр}}$ – ледопроходимость судна; B – ширина полосы безопасного движения судна; M – мера стесненности.

В формуле (2) условие $F = 1$ выполняется, когда все показатели f_1, f_2, f_3 равны единице. В этом случае маршрут для плавания судов будет полностью безопасен.

Условие $F = 0$ выполняется, когда хотя бы один из показателей f_1, f_2, f_3 принимает нулевое значение. В этом случае маршрут для плавания судов становится непригодным.

Условие $f_1 \rightarrow 1$ выполняется, когда $(Z - \Delta_L) \gg d$. При $(Z - \Delta_L) > d$ показатель находится в пределах $0 < f_1 < 1$.

Условие $f_1 = 0$ выполняется, когда $(Z - \Delta_L) \leq d$.

Для учета гидрографической изученности предложено [14] глубины на маршруте исправлять поправкой Δ_L , величина которой зависит от подробности выполненного промера и морфометрических характеристик акватории.

В тех районах, где промерные работы не проводились и сведения о глубинах отсутствуют, значение поправки за гидрографическую изученность принимается равной глубине, $\Delta_L = Z$. В этом случае показатель f_1 принимает нулевое значение. Последнее означает, что любой маршрут, проложенный по необследованной акватории, будет опасным для всех судов.

В обследованных районах величина поправки рассчитывается по формуле:

$$\Delta_L = k \cdot L, \quad (3)$$

где k – показатель вертикальной расчлененности рельефа дна на уровне 95 % обеспеченности; L – показатель подробности промера.

В случае, когда рельеф дна обследован с использованием многолучевых эхолотов или других средств площадного обследования дна поправка за гидрографическую изученность принимает нулевое значение, $\Delta_L = 0$.

Условие $f_2 = 1$ выполняется при отсутствии льда, когда $h_{\text{пр}} = 0$.

Для тонкого льда, когда выполняется условие $h_{\text{пр}} > h_{\text{ф}}$, показатель влияния льда f_2 находится в пределах $0 < f_2 < 1$, движение судна по маршруту возможно.

Для толстого льда, когда $h_{\text{пр}} \leq h_{\text{ф}}$, то $f_2 = 0$, проход судна невозможен.

Условие $f_3 \rightarrow 1$ выполняется, когда судно не ограничено в возможности маневрирования из-за близости берегов и других навигационных опасностей. В таком случае, мера стесненности $M \rightarrow \infty$, а фактор $f_3 \rightarrow 1$.

В зависимости от соотношения ширины полосы безопасного движения судна и меры стесненности фарватера могут выполняться условия:

– если $M > B$, то показатель влияния стесненности находится в пределах $0 < f_3 < 1$, движение судна по маршруту возможно;

– если $M < B$, то показатель стесненности маршрута равен нулю, проход судна невозможен.

Мера стесненности M определяется с использованием методов стохастической геометрии. В общем виде мера стесненности маршрута записывается в виде соотношения [15]:

$$M = M(l_{\min}, k_j), \quad (4)$$

где l_{\min} – минимальное расстояние между препятствием и маршрутом; k_j – показатель, учитывающий форму и размеры препятствия.

Разработанная модель использована для сравнительной оценки навигационной безопасности судоходного маршрута, проходящего по проливу Санникова, расположенного между островами Котельный и Малый Ляховский. Пролив соединяет море Лаптевых и Восточно-Сибирское море, для двух типов транспортных судов.

Длина пролива составляет 238 км, максимальная ширина пролива составляет 77 км, минимальная ширина – 55 км.

Для вычисления показателей навигационной безопасности использовались следующие материалы: морские навигационные карты, схемы гидрографической изученности, ледовые карты и лоции арктических морей.

Схема пролива Санникова приведена на рис. 1.



Рис. 1. Судоходные маршруты пролива Санникова
Fig. 1. Shipping routes of the Sannikov Strait

На рис. 1 желтым (светло-серым) цветом обозначены острова. Голубым (темно-серым) цветом выделены области с глубинами до 10 м, белым цветом – области с глубинами более 10 м. Розовыми линиями представлены судоходные маршруты.

В западной части пролива имеется два подходных маршрута с моря Лаптевых курсами $112,4^{\circ}$ - $292,4^{\circ}$ и $45,2^{\circ}$ - $225,2^{\circ}$. На востоке проходит маршрут курсом 126° - 306° в Восточно-Сибирское море.

Глубины в западной части пролива Санникова достигают 33 м. К востоку они постепенно уменьшаются до 11...15 м. На маршрутах имеются глубины не меньше 13,8 м. Ближе к берегам расположены банки с глубинами 4...10 м.

В восточной части пролива севернее маршрута курса 126° - 306° на 24 км тянется обширная мель с глубинами 8...10 м.

Много банок в виде отдельных гряд расположено вдоль южного берега острова Новая Сибирь. От острова Большой Ляховский на 19 км к востоку отходит обширная отмель с глубинами менее 6 м. У восточного выхода из пролива глубина 13...15 м.

В проливе выполнена съемка рельефа дна с подробностью 250...500 м, судходный маршрут изучен многолучевой съемкой в полосе шириной 2 км.

Усредненные за период с 1979 по 2017 год среднемесячные значения толщины льда в проливе Санникова представлены в таб. 1.

Таблица 1

Усредненные за период с 1979 по 2017 год среднемесячные значения толщины льда в проливе Санникова в разные месяцы [16]

Table 1

Average monthly values of ice thickness for the period from 1979 to 2017 in the Sannikov Strait in different months [16]

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$h_{\text{ф}}$, см	120	149	173	179	195	180	87	4	1	13	41	80

С августа по октябрь среднемесячная толщина льда не превышает 13 см.

С января по июнь среднемесячная толщина льда превышает 100 см.

С мая по июнь средняя толщина льда превышает 180 см.

Результаты

Для выполнения комплексной оценки навигационной безопасности судходного маршрута в проливе Санникова был выбран участок *AB* на маршруте протяженностью 250 км, который разбит на 10 равных участков по 25 км (см. рис. 1).

Сравнительный анализ безопасности маршрута проводился для крупнотоннажных судов двух типов.

К первому типу отнесены суда с осадкой 9,0 м и ледовым классом *Arc4*. Суда этого класса способны совершать самостоятельное плавание в разреженных однолетних арктических льдах при их толщине до 0,6 м в зимне-весеннюю навигацию и до 0,8 м в летне-осеннюю. Плавание в канале за ледоколом в однолетних арктических льдах толщиной до 0,7 м в зимне-весеннюю и до 1,0 м в летне-осеннюю навигацию [11].

Ко второй группе судов отнесены суда с осадкой 11,7 м и ледовым классом *Arc7*. Суда этого класса способны совершать самостоятельное плавание в сплоченных однолетних арктических льдах при их толщине до 1,4 м в зимне-весеннюю навигацию и до 1,7 м в летне-осеннюю при эпизодическом преодолении ледяных перемычек набегами. Плавание в канале за ледоколом в однолетних арктических льдах толщиной до 2,0 м в зимне-весеннюю и до 3,2 м в летне-осеннюю навигацию [11].

На маршруте *AB* глубины менялись от 13,8 м до 23 м, показатель гидрографической изученности рельефа $\Delta_L = 0$.

Ширина полосы безопасного движения в общем случае для разных типов судов имеет разные значения.

В табл. 2 приведены частные показатели навигационной безопасности f_1 , f_2 , f_3 судходного маршрута пролива Санникова.

Таблица 2

Частные показатели навигационной безопасности судоходного маршрута

Table 2

Particular indicators of navigation safety of the shipping route

№ участка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Показатели для первой группы судов ($Arc4; d = 9,0$ м)										
f_1	0,53	0,61	0,55	0,46	0,51	0,35	0,46	0,47	0,38	0,40
f_2	I – VII	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VIII	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
	IX	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	X	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
	XI	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
	XII	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f_3	0,75	0,68	0,68	0,60	0,73	0,64	0,64	0,79	0,38	0,38
Показатели для второй группы судов ($Arc7; d = 11,7$ м)										
f_1	0,38	0,49	0,41	0,30	0,36	0,15	0,30	0,31	0,20	0,22
f_2	I	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
	II – VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VII	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
	VIII	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	IX	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	X	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	XI	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
	XII	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
f_3	0,71	0,33	0,47	0,18	0,33	0,25	0,38	0,34	0,11	0,11

В табл. 2 количественные значения показателей навигационной безопасности для крупнотоннажных судов находятся в следующих пределах:

– показатель фактора влияния глубины f_1 для первой группы судов меняется от 0,35 до 0,61 м; для второй группы – от 0,15 до 0,49 м;

– показатель фактора влияния льда f_2 рассчитан для разных месяцев и меняется от 0 до 0,99 м для первой и второй группы судов;

– показатель фактора влияния стесненности f_3 для первой группы судов меняется от 0,38 до 0,79 м; для второй – от 0 до 0,75 м.

В табл. 3 приведены обобщенные показатели безопасности $F(T)$ судоходного маршрута пролива Санникова.

Таблица 3

Обобщенные показатели безопасности судоходного маршрута

Table 3

Summarized Safety Indicators for the Shipping Route

№ участка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Показатели для первой группы судов ($Arc4; d = 9,0$ м)											
$F(T)$	I – VII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	VIII	0,38	0,39	0,36	0,26	0,35	0,21	0,28	0,35	0,14	0,14
	IX	0,39	0,41	0,37	0,27	0,37	0,22	0,29	0,37	0,14	0,15
	X	0,33	0,35	0,31	0,23	0,31	0,20	0,25	0,31	0,12	0,13
	XI	0,20	0,20	0,18	0,14	0,18	0,11	0,14	0,18	0,07	0,08
	XII	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Показатели для второй группы судов ($Arc7; d = 11,7$ м)											
$F(T)$	I	0,04	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0	0
	II – VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VII	0,13	0,08	0,09	0,03	0,06	0,01	0,06	0,05	0,01	0,01
	VIII	0,26	0,16	0,19	0,05	0,12	0,04	0,11	0,10	0,02	0,02
	IX	0,27	0,16	0,19	0,05	0,12	0,04	0,11	0,10	0,02	0,02
	X	0,25	0,15	0,18	0,05	0,11	0,04	0,10	0,10	0,02	0,02
	XI	0,21	0,12	0,15	0,04	0,09	0,03	0,09	0,08	0,02	0,02
	XII	0,12	0,07	0,08	0,02	0,05	0,02	0,05	0,05	0,01	0,01

В табл. 3 серым цветом отмечены значения показателя безопасности $F(T) = 0$; полужирным шрифтом – $F(T) < 0,2$; курсивом – $F(T) > 0,2$.

Для первой группы судов показатель безопасности находится в пределах от 0 до 0,41.

Для второй группы судов показатель безопасности находится в пределах от 0 до 0,27.

Обсуждение

Сравнительная оценка безопасности маршрута для двух типов судов осуществляется по обобщенному показателю $F(T)$ (см. табл. 3) и частным показателям f_1, f_2, f_3 (см. табл. 2).

Фактор f_1 на суда первой группы оказывает меньшее влияние, чем на суда второй группы. Наиболее опасными на маршруте для судов первой группы являются участки 6, 9 и 10, для которых $f_1 \leq 0,4$. Для судов второй группы практически на всем маршруте, за исключением участков 2 и 3, показатель f_1 не превышает 0,4.

Фактор f_2 на суда первой группы оказывает большее влияние, чем на суда второй группы. Для судов первой группы наиболее опасным навигационным периодом является период с декабря по июль, когда $f_2 \leq 0,4$. Для судов второй группы наиболее опасным навигационным периодом является период с января по июнь, в декабре по показателю f_2 маршрут может считаться относительно безопасным.

Таким образом, по ледопроеходимости маршрут может считаться безопасным для первой группы судов с августа по ноябрь, для второй группы – с июля по декабрь.

Фактор f_3 на суда первой группы оказывает меньшее влияние, чем на суда второй группы. Для судов первой группы по критерию стесненности практически весь маршрут, за исключением участков 9 и 10, может быть отнесен к относительно безопасным. На участках 9 и 10 показатель стесненности равен 0,38. Для судов второй группы практически на всем маршруте, за исключением участков 1 и 3, показатель f_3 не превышает 0,4.

По обобщенному показателю $F(T)$ плавание судов первой группы в период с декабря по июль становится невозможным, так как $F(T) = 0$. Плавание представляется опасным на участках 9 и 10, на которых $F(T) \leq 0,2$, а также по всему маршруту в ноябре.

По обобщенному показателю $F(T)$ плавание судов второй группы в период с февраля по июнь становится невозможным, так как $F(T) = 0$. Во все остальные месяцы плавание судов с осадкой 11,7 м представляется крайне опасным.

Таким образом, в летнюю навигацию (с августа до ноября) использование судов первой группы может считаться относительно безопасным. Суда второй группы в летнюю навигацию подвержены высокому навигационному риску. В зимний период безопасное использование судов обоих типов практически невозможно.

Для реализации проекта круглогодичной навигации необходимо рассмотреть варианты повышения навигационной безопасности, в том числе создание судов, отличающихся относительно небольшой осадкой и сверхвысокой ледопроеходимостью, проведение дноуглубительных работ, использование мощных ледоколов с небольшой осадкой.

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. В модели наряду с частными показателями навигационной безопасности предложено использовать обобщенный показатель навигационной безопасности судоходных маршрутов для судов, отличающихся осадкой, маневренными характеристиками и ледопроеходимостью.

2. Практическое значение разработанной модели состоит в том, что она может быть использована для решения задач управления морскими транспортными процессами в акватории СМП.

3. Модель может использоваться при реализации проекта круглогодичной навигации в акватории арктических морей.

4. Предложенная модель разработана с учетом ряда допущений, связанных с особенностями исходной информации о параметрах движения судов и навигационных условий.

Список источников:

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2019 года № 3120 р. «План развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://government.ru/docs/38714/> (дата обращения: 18.03.2022).
2. Указ Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/74810556/> (дата обращения: 19.03.2022).
3. Решетняк С.В., Тезиков А.Л. Метод повышения эффективности гидрографического обследования высокоширотных трасс Северного морского пути // Геодезия и картография. 2011. № 6. С. 45-49.
4. Решетняк С.В., Тезиков А.Л. Северный морской путь. Численная оценка гидрографической обеспеченности трасс для судов с большой осадкой // Геодезия и картография. 2008. № 6. С. 59-61.
5. Королев И.Ю. Оценка допустимого отклонения пути судна от обследованной полосы // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2016. №6 (40). С. 105-112. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-105-112.
6. Снопков В.И. Управление судном. СПб: АНО НПО «Профессионал», 2004. 536 с.
7. Сазонов К.Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2010. 274 с.
8. Ключев В.В. Количественная оценка показателя стесненности акватории Северного морского пути // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2016. №5 (39). С. 109-117. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-109-117.
9. Ключев В.В. Формализация оценки безопасности акватории Северного морского пути // 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. Tezikov A., Afonin A., Kljuev V. Research of quantitative indicators of tightness of the northern sea route (NSR) // Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions. – Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), 2017.
11. Afonin A.B., Ol'khovik E.O., Tezikov A.L. Influence of the bottom relief on the formation of the navigable routes network in the water area of the Northern Sea Route // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 378. № 1. С. 012003.
12. Правила классификации и постройки морских судов. – Ч. 1. Классификация – НД № 2 020101 104. – СПб: Российский морской регистр судоходства, 2018. 69 с.
13. Ершов А.А., Михневич А.В. Использование характеристик маневрирования для обеспечения безопасности движения судов в узкостях // Вестник Государственного университета морского и речного

References:

1. Decree of the Government of the Russian Federation No. 3120-p. “Infrastructure Development Plan for the Northern Sea Route for the Period up to 2035” [Internet]. 2019 Dec 21 [cited 2022 Mar 18]. Available from: <http://government.ru/docs/38714/>
2. Decree of the President of the Russian Federation No. 645 “On the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation and Ensuring National Security for the Period until 2035” [Internet]. 2020 Oct 26 [cited 2022 Mar 19]. Available from: <https://base.garant.ru/74810556/>
3. Reshetnyak S.V., Tezikov A.L. Efficiency Increasing Method of Hydrographic Survey of Northern Sea Route Highlatitude Paths. *Geodesy and Cartography*. 2011;6:45-49.
4. Reshetnyak S.V., Tezikov A.L. Northern Seaway. Numerical Evaluation of the Hydrographic Provision of Routes for High Draught Vessels. *Geodesy and Cartography*. 2008;6:59-61.
5. Korolev I.Yu. Evaluation of the Tolerance Path of the Vessel from the Surveyed Strip. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2016;6(40):105-112. doi: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-105-112.
6. Snopkov V.I. *Ship Handling*. St. Petersburg: ANO NPO “Professional”; 2004.
7. Sazonov K.E. *Theoretical Basis for Ship Navigation on Ice*. Saint Petersburg: Krylov Shipbuilding Research Institute; 2010.
8. Klyuev V.V. Quantitative Assessment of Constraint of the Northern Sea Route. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2016;5(39):109-117. doi: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-109-117.
9. Klyuev V.V. Formalization of the Safety Assessment of Routes of the Northern Sea Route. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. 2016;4(38):69-74. doi: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-69-74.
10. Tezikov A., Afonin A., Kljuev V. Research of quantitative indicators of tightness of the northern sea route (NSR) // Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions. – Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), 2017.
11. Afonin A.B., Ol'khovik E.O., Tezikov A.L. Influence of the bottom relief on the formation of the navigable routes network in the water area of the Northern Sea Route // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 378. № 1. С. 012003.
12. ND No. 2 020101 104. Part 1. Rules for the Classification and Construction of Sea Vessels. Saint Petersburg: Russian Maritime Register of Shipping; 2018.
13. Ershov A.A., Mikhnevich A.V. 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*

флота имени адмирала С.О. Макарова. 2018. Т. 10. № 5. С. 897-910. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-897-910.

14. Афонин А.Б., Ольховик Е.О., Тезиков А.Л. Разработка методов оценки проходных глубин на трассах Северного морского пути в зависимости от подробности съёмки рельефа дна // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2016. №4 (38). С. 62-68. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-62-68.

15. Андреева Е.В., Тезиков А.Л. Формализация показателя стесненности акватории Северного морского пути // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2022. №1 (71). С. 55-62. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-55-62.

16. Холопцев А.В., Подпорин С.А. Перспективы безледокольной навигации транзитных судов в районе Новосибирских островов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2019. Т. 11. № 4. С. 683-695. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-683-695.

S.O. Makarova. 2018;10(5):897-910. doi: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-897-910.

14. Afonin A.B., Olkhovik E.O., Tezikov A.L. Development of the Assessment of Anadromous Depths on the Northern Sea Route, Depending on the Detail of Survey of the Bottom Relief. Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2016;4(38):62-68. doi: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-62-68

15. Andreeva E.V., Tezikov A.L. Formalization of the Constraint Indicator of the Northern Sea Route Water Area. Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2022;1(71):55-62. doi: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-55-62

16. Kholoptsev A.V., Podporin S.A. Prospects for Unescorted Navigation of Transit Vessels in the Region of the New Siberian Islands. Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2019;11(4):683-695. doi: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-683-695.

Информация об авторах:

Екатерина Валерьевна Андреева
ассистент кафедры гидрографии моря ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Information about authors:

Ekaterina Valerievna Andreeva
Assistant of the Department «Marine Hydrography» of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Admiral Makarov» State University of Maritime and Inland Shipping”

Статья поступила в редакцию 31.03.2022; одобрена после рецензирования 12.04.2022; принята к публикации 14.04.2022.

The article was submitted 31.03.2022; approved after reviewing 12.04.2022; accepted for publication 14.04.2022.

Рецензент – Брынь М.Я., доктор технических наук, профессор, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I.

Reviewer – Bryn M.Ya., Doctor of Technical Sciences, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.