

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1132-1142

A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE SAFETY OF NAVIGATION IN THE WATER AREA OF THE NORTHERN SEA ROUTE

A. B. AfoninAdmiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The article is devoted to the development of a model of navigational conditions of the water area. The main features of the water area of the Northern sea route are given. The main factors that determine the navigation conditions of the Northern sea route are highlighted. The uniqueness of its navigation conditions in comparison with the navigation conditions of the vast majority of coastal areas of the world ocean is emphasized. Define artificial and natural factors that shape the conditions of navigation in the water area. Among the natural factors are hydrographic and hydrometeorological, which have a major impact on the formation of navigation conditions. It is assumed that it is possible to expand the composition of factors in order to describe in more detail the navigational conditions of the water area. The generalized representation of the model of navigation conditions as a vector in the n -dimensional Euclidean space is substantiated. The coordinate axes of the n -dimensional coordinate system are the factors that form the navigation conditions of the water area. It is proposed to consider the numerical values of the factors forming the navigational conditions of the water area as the coordinates of the n -dimensional vector of the state of the water area in the n -dimensional Euclidean vector space. The ship state model is also proposed to be interpreted as a vector in the n -dimensional Euclidean space. The coordinates of this vector are the parameters of the vessel, describing its ability to withstand the negative effects of navigational conditions of the water area. A method for determining the coordinates is proposed. The measure of safety of navigation of the vessel on the water area is offered to consider a mutual arrangement of these vectors. The necessity of normalization of vectors of the state of navigational conditions of the water area and the state of the vessel for a quantitative assessment of safety measures of navigation of the vessel is proved. An expression that can be interpreted as a numerical measure of safety of navigation of a given vessel in a given water area is obtained. The formula by which the measure of safety of navigation takes numerical value is deduced.

Keywords: Northern sea route, safety of navigation, navigational conditions of the water area, hydrographic water reserve under the keel, hydrographic conditions of the water area, hydro meteorological conditions of the water area.

For citation:

Afonin, Andrej B. "A comprehensive assessment of the safety of navigation in the water area of the Northern sea route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.6 (2018): 1132–1142. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1132-1142.

УДК 528.47

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

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

Статья посвящена разработке модели навигационных условий акватории. Приводятся основные особенности акватории Северного морского пути. Выделяются основные факторы, определяющие навигационные условия акватории Северного морского пути. Подчеркивается уникальность ее навигационных условий по сравнению с навигационными условиями подавляющего большинства прибрежных районов Мирового океана. Определяются искусственные и естественные факторы, формирующие навигационные условия акватории. Среди естественных факторов выделяются гидрографические и гидрометеорологические, оказывающие основное влияние на формирование навигационных условий. Предполагается возможность расширения состава факторов с целью более подробного описания навигационных условий аквато-

рии. Обосновывается обобщенное представление модели навигационных условий как вектора в n -мерном евклидовом пространстве. Координатными осями n -мерной системы координат выступают факторы, формирующие навигационные условия акватории. Предложено численные значения факторов, формирующих навигационные условия акватории, рассматривать как координаты n -мерного вектора состояния акватории в n -мерном евклидовом векторном пространстве. Модель состояния судна также предлагается интерпретировать как вектор в n -мерном евклидовом пространстве. Координатами этого вектора служат параметры судна, описывающие его способность противостоять негативным влияниям навигационных условий акватории. Предложен метод определения координат. Мерой безопасности плавания судна по акватории предлагается считать взаимное расположение этих векторов. Обоснована необходимость нормирования вектора состояния навигационных условий акватории и вектора состояния судна. Получено выражение, которое можно интерпретировать как количественную оценку безопасности плавания заданного судна в заданной акватории. Выведена формула, с помощью которой мера безопасности плавания принимает численное значение.

Ключевые слова: Северный морской путь, безопасность плавания, навигационные условия акватории, запас под килем, гидрографические условия акватории, гидрометеорологические условия акватории.

Для цитирования:

Афонин А. Б. Комплексная оценка безопасности плавания в акватории Северного морского пути / А. Б. Афонин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1132–1142. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1132-1142.

Введение (Introduction)

Перед Российской Федерацией стоит глобальная задача превращения Северного морского пути (СМП) в постоянно действующую круглогодичную транспортную магистраль, связывающую по кратчайшему расстоянию Атлантический и Тихий океан [1]. В ближайшем будущем в акватории СМП ожидается рост интенсивности судоходства и продление сроков навигации, вплоть до превращения его в круглогодично действующую транспортную магистраль. Для обеспечения этих процессов планируется строительство ледоколов нового поколения [2]. Реализация этих планов неизбежно вызовет необходимость плавания судов в акватории СМП не только по рекомендованным маршрутам, но и с существенными отклонениями от них. Это связано с увеличением осадки судов до 12–15 м, для которых использование значительной части нынешних рекомендованных трасс затруднительно или невозможно [3]–[7].

Еще одной причиной отклонения от рекомендованных путей является наличие изменяющихся во времени и перемещающихся в пространстве ледяных полей, которые перекрывают значительную часть акватории СМП, отдельные проливы и узкости. Влияние этого фактора в течение года изменяется. Минимум влияния наступает в период летне-осенней навигации в западном секторе Арктики, максимум — в период зимне-весенней навигации в ее центральном и восточном секторе. Таким образом, явно прослеживается тенденция перехода от безопасного судоходства по рекомендованным путям к безопасному плаванию в акватории.

Безопасность плавания судна в акватории обеспечивается наличием квалифицированного экипажа и соответствием параметров судна навигационным условиям акватории. В настоящей статье принимается, что квалификация экипажа соответствует предъявляемым требованиям и не является причиной негативного влияния на безопасность плавания. Поэтому влияние человеческого фактора на безопасность здесь не рассматривается.

Параметры судна определяются его конструкцией. Их можно считать постоянными с момента постройки и до официального признания судна как не соответствующего требованиям. В данном случае под параметрами судна будем понимать только те, которые непосредственно характеризуют способность судна противостоять негативному воздействию навигационных условий.

Навигационные условия акватории формируют искусственные и естественные факторы. К *искусственным факторам* можно отнести инфраструктуру обеспечения навигации: системы определения места судна, средства навигационного оборудования, средства и системы связи

и оповещения, организацию спасательных служб. Наличие и влияние искусственных факторов на безопасность мореплавания также можно считать известными и постоянными, и на этом основании в данной работе не рассматривать. *Естественные факторы*, обусловленные природными силами, формируют навигационные условия акватории, которые изменяются как во времени, так и в пространстве.

Различные аспекты естественных навигационных условий СМП рассматривались многими авторами. Гидрографические условия безопасности плавания, зависящие от дискретности измерений глубин при гидрографической съемке рельефа дна, достаточно подробно были рассмотрены в трудах [8]–[12]. Исследованию ледовых условий посвящены работы [13]–[16]. Условия, являющиеся следствием стесненности акватории, рассматривались в исследованиях [17], [18]. В указанных работах, как правило, анализировалось влияние лишь одного фактора на создание навигационных условий, и формировался лишь один их аспект. В действительности, навигационные условия акватории формируются под воздействием не одной, а целого ряда причин: рельеф дна обуславливает стесненность судна своей осадкой; ледовые условия ограничивают маневренность судна; гидрометеорологические факторы приводят к уменьшению скорости судна вплоть до необходимости поиска укрытия и прекращения движения по заданному маршруту. Поэтому оценка безопасности плавания судна в акватории должна учитывать влияние всех значимых факторов, формирующих навигационные условия, и иметь комплексный характер.

Таким образом, решение глобальной задачи превращения СМП в круглогодичную магистраль с постоянным и достаточно плотным транспортным потоком требует разработки модели навигационных условий акватории, учитывающей совместное влияние основных факторов, оказывающих влияние на формирование этих условий, а также методики комплексной оценки безопасности плавания заданного судна. Полученные оценки дадут возможность районировать акваторию СМП в целом по условиям безопасной навигации для различных типов судов и в разное время года. Выделенные районы могут явиться основой для совершенствования существующих и проектирования новых трасс, планирования гидрографических работ, а также оценки предельных возможностей СМП как транспортной магистрали. Акватория СМП уникальна и не имеет аналогов в мире как по своим гидрографическим, так и по гидрометеорологическим условиям.

Гидрографические условия СМП формируют главным образом два фактора, рассмотренные далее. Первый фактор — обширное мелководье. Площадь арктических морей составляет около 3 млн км² [2]. В целом по СМП глубины до 30 м занимают 45 % площади акватории (1,4 млн км²), а в восточном секторе — 55 % (1,2 млн км²). Распределение глубин по площадям арктических морей приведено в табл. 1 [2], из которой следует, что наиболее мелководным является Восточно-Сибирское море, где доля глубин, не превышающих 30 м, составляет 86,5 %. Кроме мелководья, для акватории СМП характерным является наличие многочисленных банок и мелей, которые встречаются на значительном удалении от берега (рис. 1–3).

Таблица 1

Распределение глубин по площади арктических морей

Диапазон глубин, м	Доля площади, %			
	Карское море	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море	Чукотское море
0–10	3,5	11,1	14	1
10–20	5,3	37,4	47	
20–30	10,1	22,7	25,5	6
> 30	81,1	28,8	13,5	93

На рис. 1 показан фрагмент трассы СМП. Трасса, обозначенная красной пунктирной линией, проходит через мелководный район с глубинами 15–16 м, имеющий отличительную глубину 14,8 м.

Глубина 14,8 м не является опасной для судов с осадкой 5–6 м. Для судов с осадкой 12–15 м этот участок трассы вообще недопустим для плавания. Удаление этого участка трассы от берега — 71 морская миля.

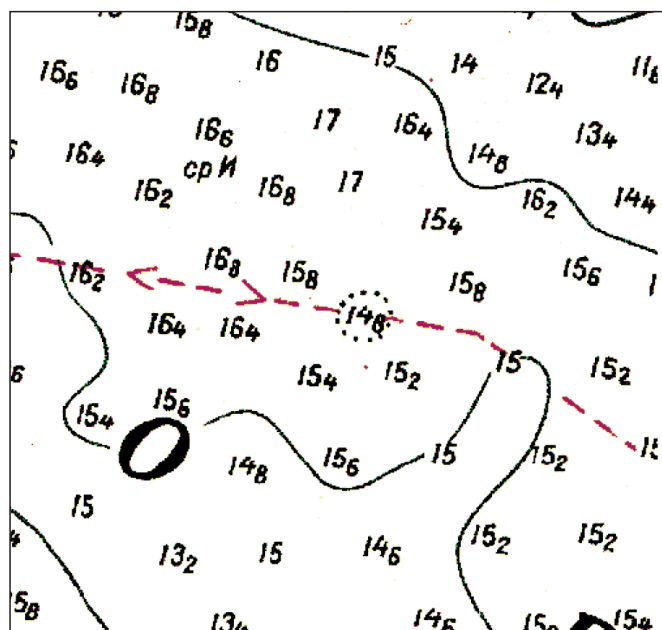


Рис. 1. Фрагмент трассы СМП в Восточно-Сибирском море

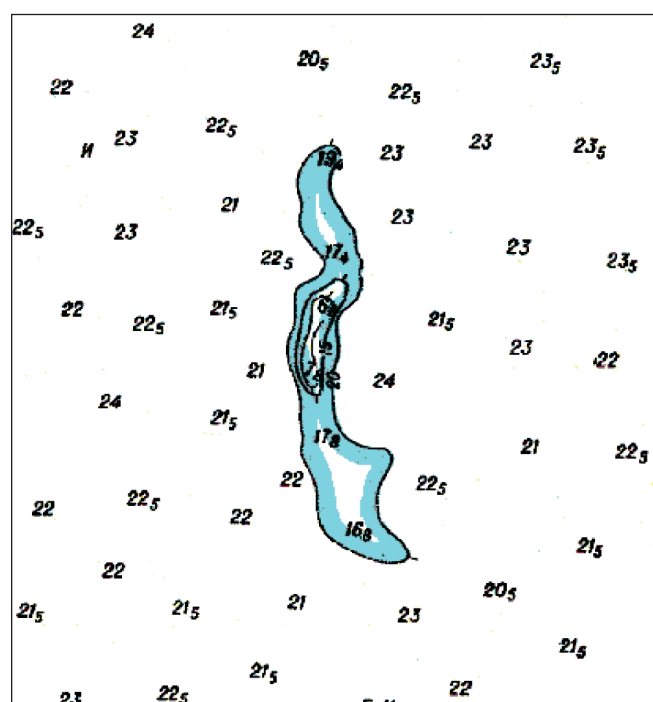


Рис. 2. Банка в Восточно-Сибирском море

На рис. 2 показана банка с глубиной над ней 6,8 м. Удаление банки от берега — 117 морских миль. Для сравнения, например, в Черном море удаление от берега на расстояние 25 морских миль гарантирует отсутствие подводных навигационных опасностей и наличие глубин под килем, превышающих 1600 м и более (рис. 3). В районе, показанном на рис. 3, 20-метровая изобата проходит на расстоянии всего 0,2 – 0,7 морских миль от берега.

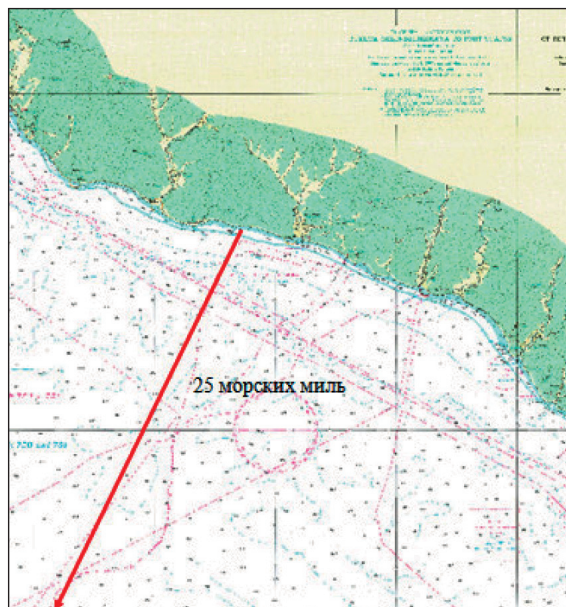


Рис. 3. Черное море (удаление от берега 25 морских миль)

По сравнению с акваторией СМП, подавляющее большинство прибрежных районов Мирового океана достаточно приглубы [19]. Это обстоятельство, учитывая размеры мелководья в акватории СМП, делает ее уникальной.

Второй фактор, формирующий гидрографические условия судоходства в акватории СМП, — это недостаточная гидрографическая изученность отдельных районов, вплоть до наличия «белых» пятен. Изученность акватории, в общем случае, определяется подробностью съемки рельефа дна. Подробность, в свою очередь, определяется дискретностью измерений. Практически на всей акватории СМП съемка рельефа дна выполнена однолучевым эхолотом с междугалсовыми расстояниями (дискретностью) в пределах 100–8000 м. Исключение составляют высокоширотная трасса, Обская губа и Енисейский залив [20], где было выполнено площадное обследование. Доля площади акваторий морей с недостаточной гидрографической изученностью составляет [2]: Карское море — 18 %, Море Лаптевых — 15 %, Восточно-Сибирское море — 51 %, Чукотское море — около 40 %.

Недостаточная гидрографическая изученность акватории приводит к необходимости учитывать не только, как обычно, навигационный запас глубины под килем [21], но и дополнительный запас, обусловленный неопределенностью значения глубины [5]. В этом случае оценка проходной глубины Z_s для судна, имеющего осадку d , для данной акватории выполняется по формуле

$$Z_s = d + \Delta + \Delta_L(p; L), \quad (1)$$

где Δ — навигационный запас глубины под килем;

$\Delta_L(p; L)$ — поправка за неопределенность значения глубины (гидрографический запас глубины под килем);

p — доверительная вероятность поправки $\Delta_L(p; L)$;

L — дискретность измерений глубин, выполненной съемки рельефа дна.

Гидрографический запас глубины увеличивает величину проходной глубины судна сверх обычного, тем самым сужая границы районов акватории, в пределах которых плавание судна с данной осадкой является безопасным. Определение проходной глубины судна позволяет одновременно очертить географические границы безопасных для плавания данного судна участков акватории СМП и небезопасные для судна районы. Гидрографические факторы в общем случае стационарны во времени, поэтому в дальнейшем будем считать их влияние на безопасность плавания судов неизменным.

Гидрометеорологические условия СМП формируются факторами ледовитости, ветром и волнением. Наличие льда на участке акватории приводит к ограничению скорости движения и маневрирования судов, вплоть до их полной остановки и невозможности дальнейшего движения по заданному курсу. Непроходимый для судна данного ледового класса лед формирует границы районов акватории, недоступных для плавания и в то же время позволяет определить безопасные с точки зрения ледовой угрозы участки. Ветер и волнение также приводят к ограничениям по скорости движения судна, вынуждая его маневрировать в пределах доступного, определенного значениями прочих факторов, района акватории. Гидрометеорологические условия изменяются во времени, поэтому в дальнейшем влияние гидрометеорологических факторов будем относить к определенному моменту t_i .

Целью настоящей статьи является разработка модели навигационных условий акватории, методики оценки влияния навигационных условий акватории на заданное судно и на этой основе методики оценки безопасности его плавания.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Оценка акватории по критерию безопасности плавания основана на формализации задачи с помощью аппарата теории множеств. Аппарат векторной алгебры позволяет представить условия акватории и параметры судна как n -мерные векторы их состояний. Оценка безопасности плавания судна представляется как расстояние между этими векторами в n -мерном пространстве. Для оценки акватории A по критерию безопасности плавания судна S примем следующие определения.

1. Акватория $\{A\}$ — это область, имеющая установленные границы B_A .
2. Акватория имеет определенный уровень гидрографической изученности, обусловленный дискретностью измерений глубин выполненной съемки рельефа дна L_A . В момент времени t_i акватория $\{A\}$ характеризуется ледовитостью $I_A(t_i)$, ветрами $W_A(t_i)$ и волнением $V_A(t_i)$:

$$\{A\} = \{B_A, L_A, I_A(t_i), W_A(t_i), V_A(t_i)\}.$$

3. Судно $\{S\}$ — это множество, элементами которого являются характеристики судна: проходная глубина судна Z_S , вычисляемая для данной акватории $\{A\}$ по формуле (1), ледовый класс судна I_S , мореходность судна по ветру W_S и мореходность судна по волнению V_S :

$$\{S\} = \{Z_S, I_S, W_S, V_S\}.$$

4. Ледовый класс I_S — обозначает ледопроездимость судна, т. е. максимальную толщину и сплоченность льда, которые судно преодолевает без падения скорости перемещения до нуля.

5. Мореходность судна по ветру W_S — обозначает максимальную силу ветра, допустимую при эксплуатации судна.

6. Мореходность судна по волнению V_S — обозначает максимальную степень волнения, допустимую при эксплуатации судна.

Для характеристики акватории введем следующие обозначения:

- множество отмелей с глубинами Z менее, чем Z_S , обозначим $\{R_Z\}$;
- множество ледовых полей, непроходимых для судна с ледовым классом I_S , обозначим $\{R_I\}$;
- множество судов (интенсивность транспортного потока), гидротехнических сооружений, морских нефтегазодобывающих установок и прочих препятствий обозначим $\{R_D\}$.

Учитывая введенные ранее обозначения, свободный от непреодолимых препятствий безопасный участок акватории $\{A_{free}\}$ определяется следующим выражением:

$$\{A_{free}\} = [\{A\} - \{A\} \cap \{R_Z\}] \cap [\{A\} - \{A\} \cap \{R_I\}] \cap [\{A\} - \{A\} \cap \{R_D\}]. \quad (2)$$

Если $\{A_{free}\} = \emptyset$, то акватория недоступна для судна $\{S\}$ и является для него опасной. Если $\{A_{free}\} \neq \emptyset$, то акватория доступна для судна $\{S\}$.

Участки акватории $\{A_{free1}\}$, $\{A_{free2}\}$, $\{A_{free3}\}$, ..., $\{A_{freeN}\}$ образуют область безопасных маршрутов, если совместно выполняются следующие условия:

$$\begin{aligned} \{A_{free1}\} \cap \{A_{free2}\} &\neq \emptyset; \\ \{A_{free2}\} \cap \{A_{free3}\} &\neq \emptyset; \\ &\dots\dots\dots \\ \{A_{freeN-1}\} \cap \{A_{freeN}\} &\neq \emptyset; \end{aligned} \quad (3)$$

Доступные для плавания в момент времени t_i участки акватории $\{A(t_i)_{free}\} = \{B_A, L_A, I_A(t_i), W_A(t_i), V_A(t_i)\}$ характеризуются различными сочетаниями навигационных условий, параметры которых не превышают предельных для данного судна значений:

$$\left. \begin{aligned} I_A(t_i) &\leq I_S; \\ W_A(t_i) &\leq W_S; \\ V_A(t_i) &\leq V_S. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Эти условия определяют уровень безопасности плавания конкретного судна $\{S\} = \{Z_S, I_S, W_S, V_S\}$, который требует оценки.

Для оценки уровня безопасности плавания судна $\{S\} = \{Z_S, I_S, W_S, V_S\}$ на акватории $\{A(t_i)\} = \{B_A, L_A, I_A(t_i), W_A(t_i), V_A(t_i)\}$ примем следующие определения.

Вектор состояния акватории $\vec{A}(t_i) = A(Z_A, I_A(t_i), W_A(t_i), V_A(t_i), \dots)$ — в общем случае n -мерный вектор в евклидовом пространстве, координатами которого являются скалярные значения параметров $(Z_A, I_A(t_i), W_A(t_i), V_A(t_i), \dots)$, где Z_A — массив глубин акватории. Например, параметр I_A , обозначающий ледовитость акватории, может принимать значения от нуля (чистая вода) до десяти (сплошной лед).

Вектор состояния судна $\vec{S} = S(Z_S, I_S, W_S, V_S, \dots)$ в общем случае также n -мерный вектор в евклидовом пространстве, координатами которого являются скалярные значения параметров $(Z_S, I_S, W_S, V_S, \dots)$. Например, параметр I_S , класс ледовых усилений судна, принимающий значения от нуля (ледовые усиления отсутствуют) до десяти (ледовый класс Arc9).

Акватория $\vec{A}(t_i) = A(Z_A, I_A(t_i), W_A(t_i), V_A(t_i), \dots)$ доступна для плавания судна $\vec{S} = S(Z_S, I_S, W_S, V_S, \dots)$ по условию (2), поэтому для координат векторов $\vec{A}(t_i)$ и $\vec{S}$ справедливы неравенства:

$$\left. \begin{aligned} Z_A &\geq Z_S; \\ I_A(t_i) &\leq I_S; \\ W_A(t_i) &\leq W_S; \\ V_A(t_i) &\leq V_S. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Нормируем координаты вектора $\vec{A}(t_i)$, кроме координаты по глубине Z_A :

$$\vec{A}(t_i) = A_n \left(\frac{I_A(t_i)}{I_S}, \frac{W_A(t_i)}{W_S}, \frac{V_A(t_i)}{V_S}, \dots \right). \quad (6)$$

В этом случае координаты вектора $\vec{A}(t_i)$ принимают значение от нуля до единицы, которые имеют следующий смысл: равенство единице какой-либо координаты вектора $\vec{A}(t_i)$ показывает, что преодоление влияния этого фактора судном достигается на пределе его возможностей и, наоборот, равенство нулю координаты показывает, что этот фактор на судно не оказывает никакого влияния.

Выполним нормирование координаты по глубине Z_A вектора $\vec{A}(t_i)$, руководствуясь следующими соображениями. Известно, что при навигационном запасе воды под килем в 5–6 м влияние стесненности судна своей осадкой на практически исчезает [22]. Поэтому условие безопасного плавания судна в выражении (1) можно записать в виде $\Delta \geq 6$. Тогда проходную глубину для судна Z_S , обусловленную только его осадкой d и гидрографическим запасом воды под килем $\Delta_L(p; L)$, можно определить по формуле

$$Z_S = d + \Delta_L(p; L). \quad (7)$$

Стесненность судна своей осадкой определяется величиной неравенства (5), лежащей в пределах от нуля (акватория недоступна по глубине), до шести метров (фактор глубины на судно не оказывает никакого влияния). Исходя из этого нормирование координаты вектора акватории $\vec{A}_n(t_i)$ по глубине выполним по формуле

$$\frac{Z_A}{Z_S} \rightarrow \frac{1}{Z_A - Z_S + 1} \quad (7)$$

и правилам:

$$\begin{aligned} \text{если } Z_A = Z_S, \text{ то } \frac{Z_A}{Z_S} &= 1; \\ \text{если } Z_A - Z_S \geq 6, \text{ то } \frac{Z_A}{Z_S} &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

После нормирования координат вектора $\vec{A}_n(t_i)$ возможны следующие граничные состояния навигационных условий акватории по отношению к судну $\vec{S}$:

1) $\vec{A}_n(t_i) = A_n(0, 0, 0, \dots)$ — вектор $\vec{A}_n(t_i)$ нулевой, значит, судно преодолевает акваторию в максимально благоприятных с точки зрения безопасности плавания условиях — *наилучший случай*;

2) $\vec{A}_n(t_i) = A_n(1, 1, 1, \dots)$ — вектор $\vec{A}_n(t_i)$ совпадает с вектором $\vec{S} = S(Z_S, I_S, W_S, V_S, \dots)$ значит, судно преодолевает акваторию на пределе своих возможностей, условия для безопасного плавания максимально неблагоприятны — *наихудший случай*.

Результаты (Results)

Мерой безопасности плавания судна $\vec{S}$ на акватории $\vec{A}_n(t_i)$ служит норма вектора $\vec{A}_n(t_i)$:

$$\|\vec{A}_n(t_i)\| = \sqrt{\left(\frac{1}{Z_A - Z_S + 1}\right)^2 + \left(\frac{I_A(t_i)}{I_S}\right)^2 + \left(\frac{W_A(t_i)}{W_S}\right)^2 + \left(\frac{V_A(t_i)}{V_S}\right)^2 + \dots}, \quad (9)$$

а принятие решения осуществляется по правилу: чем больше норма вектора $\vec{A}_n(t_i)$, тем акватория опаснее для плавания заданного судна.

Обсуждение (Discussion)

Построенная модель позволит оценить влияние навигационных условий акватории на судно и на этом основании прогнозировать безопасность его плавания.

Выводы (Summary)

Предложенная методика позволяет для заданного судна или группы судов:

- выявлять участки акватории допустимые для плавания по условию (2);
- формировать области допустимых маршрутов по условию (3);
- сравнивать уровень безопасности плавания заданного судна на акваториях по параметру (9);
- выбирать наиболее безопасные маршруты.

Дальнейшее направление исследований состоит в разработке методики комплексной оценки безопасности плавания в акватории СМП, методики выбора оптимального маршрута и методики планирования дальнейшего совершенствования навигационно-гидрографического обеспечения СМП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олерский В. Комплексный проект развития Северного морского пути / В. Олерский // Транспортная стратегия — XXI век. — 2015. — № 29 (2). — С. 8–9.
2. Афонин А. Б. Концепция развития судоходных трасс акватории Северного морского пути / А. Б. Афонин, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 81–87. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-81-87.
3. Рукша В. В. Структура и динамика грузоперевозок по Северному морскому пути: история, настоящее и перспективы / В. В. Рукша, М. С. Белкин, А. А. Смирнов, В. Г. Арутюнян // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 4 (20). — С. 104–110.
4. Комплексный проект развития Северного пути: утв. Председателем Правительства РФ 5 июня 2015 г. № 3529п-П9.
5. Афонин А. Б. Разработка методов оценки проходных глубин на трассах Северного морского пути в зависимости от подробности съемки рельефа дна / А. Б. Афонин, Е. О. Ольховик, А. Л. Тезиков // 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.
6. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу. Утверждены Президентом РФ 18 сентября 2008 года.
7. Смирнов А. А. Перспективы развития Северного морского пути (к 55-летию атомного ледокольного флота России) / А. А. Смирнов, С. А. Головинский // Арктика: экология и экономика. — 2014. — № 4 (16). — С. 108–114.
8. Zhao H. Study on Economic Evaluation of the Northern Sea Route: Taking the Voyage of Yong Sheng as an Example / H. Zhao, H. Hu // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. — 2016. — № 2549. — С. 78–85. DOI: 10.3141/2549-09.
9. Збаращенко В. С. Арктическая контейнерная линия Мурманск – Петропавловск – Мурманск // Транспорт и логистика в Арктике: альманах. — Вып. 1. — М.: Техносфера, 2015. — С. 61–67.
10. 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.
11. Алексеев С. П. Арктический шельф России — новые представления о рельефе дна бассейна / С. П. Алексеев, И. С. Грамберг, А. А. Комарицын, Г. Д. Нарышкин // Навигация и гидрография. — 2001. — № 12. — С. 9–13.
12. Тезиков А. Л. Гидрография моря: подробность съемки / А. Л. Тезиков, С. Г. Амельченко. — СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2011. — 72 с.
13. Миронов Е. У. Модели и методы расчета и прогноза ледовых и океанографических условий в арктических морях / Е. У. Миронов, И. М. Ашик, В. И. Дымов, М. Ю. Кулаков, С. В. Клячкин // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2010. — № 2 (85). — С. 16–28.
14. Padman L. A barotropic inverse tidal model for the Arctic Ocean / L. Padman, S. Erofeeva // Geophysical Research Letters. — 2004. — Vol. 31. — Is. 2. DOI: 10.1029/2003GL019003.
15. Клячкин С. В. Численная модель прогноза распределения льдов в юго-западной части Охотского моря заблаговременностью 1–5 суток / С. В. Клячкин, З. М. Гудкович, Р. Б. Гузенко, Р. И. Май // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. — 2015. — № 353. — С. 63–87.
16. Карелин И. Д. Припай и заприпайные полыньи арктических морей сибирского шельфа в конце XX – начале XXI века / И. Д. Карелин, В. П. Карклин. — СПб.: Изд. ГНЦ РФ ААНИИ, 2012. — 180 с.
17. 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.
18. Ключев В. В. Количественная оценка показателя стесненности акватории Северного морского пути / В. В. Ключев // 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.
19. Рельеф дна Мирового океана, карта, адм номер 90095. — ГУНиО МО, 1984.
20. ФГУП «Гидрографическое предприятие» [Электронный ресурс] / Официальный сайт. — Режим доступа: <http://www.hydro-state.ru/> (дата обращения: 25.10.2018).

21. Снопков В. И. Управление судном / В. И. Снопков. — СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. — 536 с.
22. Бурханов М. В. Справочная книжка штурмана / М. В. Бурханов. — М.: Транспорт, 1986. — 150 с.

REFERENCES

1. Olerskii, V. "Kompleksnyi projekt razvitiya Severnogo morskogo puti." *Transportnaya strategiya - XXI vek* 29(2) (2015): 8–9.
2. Afonin, Andrej B., and Aleksandr L. Tezikov. "The concept of development of shipping routes along the northern sea route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.1 (2017): 81–87. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-81-87.
3. Ruksha, V. V., M. S. Belkin, A. A. Smirnov, and V. G. Arutyunyan. "Structure and dynamics of cargo transportation along the Northern Sea Route: the history, present and prospects." *Arctic: ecology and economy* 4(20) (2015): 104–110.
4. Russian Federation. Kompleksnyi projekt razvitiya Severnogo puti. Utverzhden Predsedatelem Pravitel'stva RF 5 iyunya 2015 g. № 3529p-P9.
5. Afonin, Andrej Borisovich, Evgenij Olegovich Ol'hovik, and Aleksandr L'vovich Tezikov. "Development of the assessment methods 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* 4(38) (2016): 62–68. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-62-68.
6. Russian Federation. Osnovy gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v Arktike na period do 2020 goda i dal'nejshuju perspektivu. Approved by the by the President of Russian Federation 18 September 2008.
7. Smirnov, A. A., and S. A. Golovinsky. "55 th Anniversary of the Russian Nuclear Icebreaker Fleet and Development of the Northern Sea Route." *Arctic: Ecology and Economy* 4(16) (2014): 108–114.
8. Zhao, Hui, and Hao Hu. "Study on Economic Evaluation of the Northern Sea Route: Taking the Voyage of Yong Sheng as an Example." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2549 (2016): 78–85. DOI: 10.3141/2549-09.
9. Zbarashchenko, V.S. "Arkticheskaya konteiner'naya liniya Murmansk – Petropavlovsk – Murmansk." *Transport i logistika v Arktike. Al'manakh*. Is. 1. M.: Tekhnosfera, 2015. 61–67.
10. Tezikov, A. L., A. B. Afonin, and Ye. O. Olkhovik. "The state of hydrographic exploration of the Northern Sea Route water area." *Transport of Russian Federation* 2(75) (2018): 19–21.
11. Alekseev, S. P., I. S. Gramberg, A. A. Komaritsyn, and G.D. Naryshkin. "Arkticheskii shel'f Rossii - novye predstavleniya o rel'efe dna basseina." *Navigatsiya i gidrografiya* 12 (2001): 9–13.
12. Tezikov, A. L., and S. G. Amel'chenko. *Gidrografiya morya: podrobnost' s'emki*. SPb.: Izd-vo GMA im. adm. S. O. Makarova, 2011.
13. Mironov, E. U., I. M. Ashik, V. I. Dymov, M. Yu. Kulakov, and S. V. Klyachkin. "Modeli i metody rascheta i prognoza ledovykh i okeanograficheskikh uslovii v arkticheskikh moryakh." *Problemy Arktiki i Antarkтики* 2(85) (2010): 16–28.
14. Padman, L., and S. Erofeeva. "A barotropic inverse tidal model for the Arctic Ocean." *Geophysical Research Letters* 31.2 (2004). DOI: 10.1029/2003GL019003.
15. Klyachkin, S. V., Z. M. Gudkovich, R. B. Guzenko, and R. I. Mai. "Chislennaya model' prognoza raspredeleniya l'dov v yugo-zapadnoi chasti Okhotskogo morya zablagovremennost'yu 1-5 sutok." *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossijskoj Federatsii* 353 (2015): 63–87.
16. Karelin, I. D., and V. P. Karklin. *Pripai i zapripainye polyn'i arkticheskikh morei sibirskogo shel'fa v kontse XX – nachale XXI veka*. SPb.: Izd. GNTs RF AANII, 2012.
17. 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. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-69-74.
18. Kljuev, Vitaly Vladimirovich. "Quantitative assessment of constraint of the Northern sea route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(39) (2016): 109–117. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-109-117.

19. *Rel'ef dna Mirovogo okeana, karta, adm nomer 90095*. GUNiO MO, 1984.
20. FGUP «Gidrograficheskoe predpriyatie». Web. 25 Oct. 2018 <<http://www.hydro-state.ru/>>.
21. Snopkov, V. I. *Upravlenie sudnom*. SPb.: ANO NPO «Professional», 2004.
22. Burkhanov, M.V. *Spravochnaya knizhka shturmana*. M.: Transport, 1986.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Афонин Андрей Борисович —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: andrey.afonin.gma@yandex.ru;
AfoninAB@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Afonin, Andrej B. —
PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: andrey.afonin.gma@yandex.ru,
AfoninAB@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 30 октября 2018 г.
Received: October 30, 2018.