

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Томсон Петр Васильевич —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
peter-thomson@mail.ru, kaf_geo@gumrf.ru
Титова Анастасия Вячеславовна — аспирант.
Научный руководитель:
Томсон Петр Васильевич.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
heylady1991@mail.ru, kaf_geo@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Thomson Peter Vasil'evich —
PhD, associate professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
peter-thomson@mail.ru, kaf_geo@gumrf.ru
Titova Anastasia Vjacheslavovna — postgraduate.
Supervisor:
Thomson Peter Vasil'evich.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
heylady1991@mail.ru, kaf_geo@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 18 сентября 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-109-117
УДК 528.47

В. В. Ключев

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ СТЕСНЕННОСТИ
АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ**

Статья посвящена проблеме разработки количественных показателей и методик формализованной оценки безопасности акватории Северного морского пути (СМП), принципы которой сформулированы в документах Международной морской организации и Полярном кодексе. Рассмотрены особенности полярного судоходства и определены основные источники риска навигационных происшествий в арктических морях. Приведены результаты анализа методов оценки риска навигационных происшествий, основанных на использовании мировой и региональной статистики морских происшествий. Оценена репрезентативность статистики навигационных происшествий, относящаяся к морям арктического бассейна. Установлена взаимосвязь между частотой навигационных происшествий и «стесненностью» акватории. Термин «стесненность» акватории, который обычно используется применительно к плаванию судов в узкостях и на мелководье, предложено использовать в качестве обобщенной характеристики всей акватории СМП и отдельных ее частей. Для определения степени «стесненности» акватории предложено использовать метод, основанный на теории геометрических вероятностей. Приведены примеры эффективного использования теории геометрических вероятностей при решении практических задач гидрографии и дешифровки изображений. Утверждается, что использование теории геометрических вероятностей позволяет задачу количественной оценки «стесненности» акватории свести к задаче о пересечении прямых линий с кривыми на плоскости. В качестве количественной меры «стесненности» акватории автор предложил использовать вероятность пересечения маршрутов судна с навигационными опасностями. Приводятся основные формулы и соотношения, позволяющие рассчитать искомую вероятность аналитически для двух вариантов направления судовых потоков, включающих в себя изотропное множество маршрутов и анизотропное. В заключении дана общая оценка предложенного метода и определены направления его совершенствования.

Ключевые слова: «стесненность» акватории, количественная оценка, геометрическая вероятность, навигационная опасность.

Введение

Актуальность темы определяется тем, что в 2017 г. вступает в силу Полярный кодекс [1], в основу которого заложены принципы формальной оценки безопасности (ФОБ), изложенные во Временном руководстве по применению ФОБ, которое в 1997 г. было разработано и одобрено Комитетами морской безопасности и защиты морской окружающей среды при Международной

морской организации (ИМО) [2]. Суть концепции ФОб состоит в априорной оценке рисков морских навигационных и экологических происшествий и разработке мероприятий, направленных на снижение этих рисков. Как правило, при оценке рисков навигационных происшествий используется мировая или региональная статистика аварий, которая позволяет выделить некоторые общие причины аварий по их видам, частоте и условиям, и использовать полученные данные в качестве исходных априорных оценок при разработке ФОб.

К акватории СМП традиционный метод априорных оценок вероятностей навигационных происшествий может быть применен только частично, так как условия арктического судоходства и его риски в значительной степени отличаются от условий судоходства и соответствующих рисков на неарктической акватории Мирового океана. Имеющаяся статистика навигационных происшествий на акватории СМП [3] также не может быть признана репрезентативной для действующих и перспективных круглогодичных арктических транспортных проектов [4] – [10], так как она была, в основном, сформирована в условиях крайне низкой интенсивности судоходства, исключительно для летнего периода навигации и для судов, как правило, с незначительной осадкой и не имеющих ледовых усилений.

Постановка задачи исследования

При отсутствии достоверных статистических данных априорная оценка вероятности может выполняться на основе общих предположений о неблагоприятных событиях. Установлено [11], что навигационные происшествия чаще происходят на «стесненных» участках акваторий. При этом степень «стесненности» акватории определяется размерами и количеством ее участков, опасных для судоходства. Следует отметить, что термин «стесненная акватория» обычно используется применительно к плаванию судов в узкостях и на мелководье [12], где извилистость фарватера и близость к надводным и подводным навигационным опасностям существенно влияют на маневренные характеристики судна.

Результаты гидрографического исследования морей Арктики [13] – [15] показывают, что акватория СМП преимущественно мелководна, изобилует большим количеством подводных навигационных опасностей, к которым относятся отмели, банки, подводные камни и скалы, и поэтому может характеризоваться как «стесненная». Сравнительную оценку степени «стесненности» акватории СМП и отдельных ее частей, которую требуется выполнять для определения потенциально опасных в навигационном отношении районов и проведения комплексных мероприятий, направленных на снижение рисков происшествий [1], целесообразно выполнять, используя некоторые обобщенные количественные показатели акватории. Очевидно, что методика расчета таких показателей и сами показатели, должны быть обоснованными, реализуемыми на практике и объективными.

Количественную оценку степени «стесненности» отдельных частей акватории СМП предлагается выполнить методами, разработанными в теории геометрических вероятностей [16] и отвечающими перечисленным требованиям. В качестве примера использования теории геометрических вероятностей при решении практических задач следует отметить работы [17] – [20], посвященные исследованиям измерительных сетей, используемых при выполнении съемки подводного рельефа и поиске подводных объектов, а также работы [21] и [22], посвященные распознаванию сканированных изображений. Использование теории геометрических вероятностей позволяет задачу количественной оценки «стесненности» акватории свести к задаче о пересечении прямых линий с кривыми на плоскости. При этом в качестве количественной меры «стесненности» акватории M_{CA} принята вероятность пересечения прямых линий (путь судна) с кривыми (контуры навигационных опасностей) P_o .

Разработка и обоснование метода количественной оценки показателя «стесненность» акватории

Локальные поднятия дна, представляющие опасность для судна с осадкой d , зададим в виде

$$R_{oi}^d = R_{oi} [x, y, z < z_{np}(d)], \quad (1)$$

где нижний индекс «о» обозначает «опасность»; индекс i — номер опасности; x, y — плановые координаты локального поднятия; z — глубины во внутренней области локального поднятия дна; $z_{np}(d)$ — предельные проходные глубины для судна с осадкой d .

Маршруты судна зададим множеством линий в виде

$$G = \{G(d)\}. \quad (2)$$

Учет осадки d в моделях (1) и (2) является принципиальным, так как от ее величины зависят проходные глубины и размеры той части локальных поднятий дна, которая должна быть принята как опасная.

Вероятность P_o пересечения маршрутов судна G с опасностью R_{oi}^d представляет собой меру нежелательного события $M_{CA}[G \cap R_{oi}^d \neq 0]$, что записывается в виде выражения:

$$P_o = P[G \cap R_{oi}^d \neq 0] = M_{CA}[G \cap R_{oi}^d]. \quad (3)$$

Вероятность безопасного плавания P_s определяется условием, при котором ни один из маршрутов G не пересечет опасность R_{oi}^d . Это условие устанавливается зависимостью

$$P_s = P[G \cap R_{oi}^d = 0]. \quad (4)$$

События, заданные условиями (3) и (4), составляют полную группу событий, т. е.

$$P_o + P_s = 1.$$

Алгоритмы вычисления вероятностей (3) и (4) зависят от выбора направления маршрутов G , для которых выполняется оценка «стесненности» акватории. Можно выделить два основных способа задания направлений маршрутов: изотропное и анизотропное. На рис. 1 схематично представлены оба способа направления маршрутов. При изотропном способе маршруты располагаются по всем возможным направлениям (рис. 1, а). При анизотропном — выделяются приоритетное направление маршрутов, например, восток – запад (рис. 1, б). При анизотропном способе направления маршрутов, маршруты, отличные от заданных по направлению, считаются запретными.

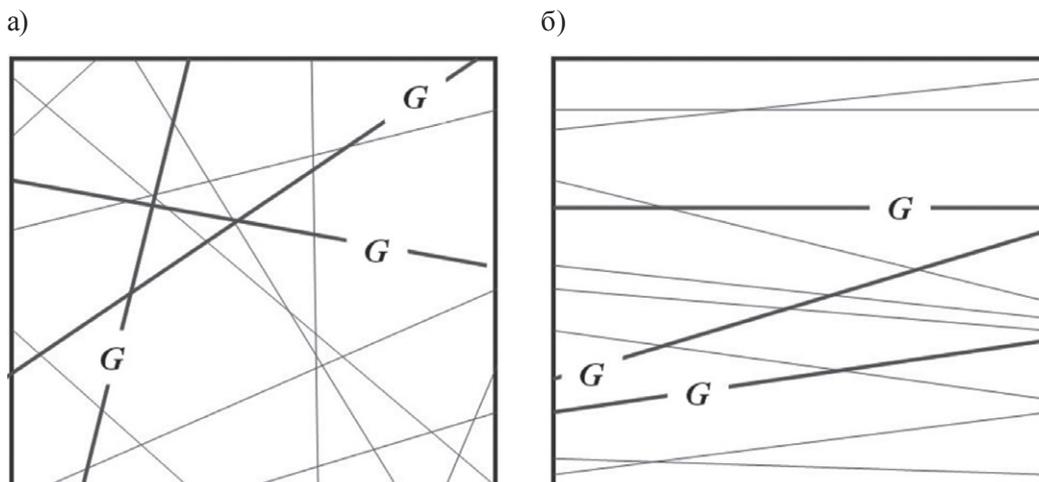


Рис. 1. Схемы маршрутов:
а — изотропная; б — анизотропная

Изотропное множество маршрутов

Рассмотрим часть акватории (рис. 2, а), ограниченную квадратом площадью S и периметром $L(S)$. Будем считать, что на акватории находится одно локальное поднятие дна R_{oi}^d , где $i = 1$.

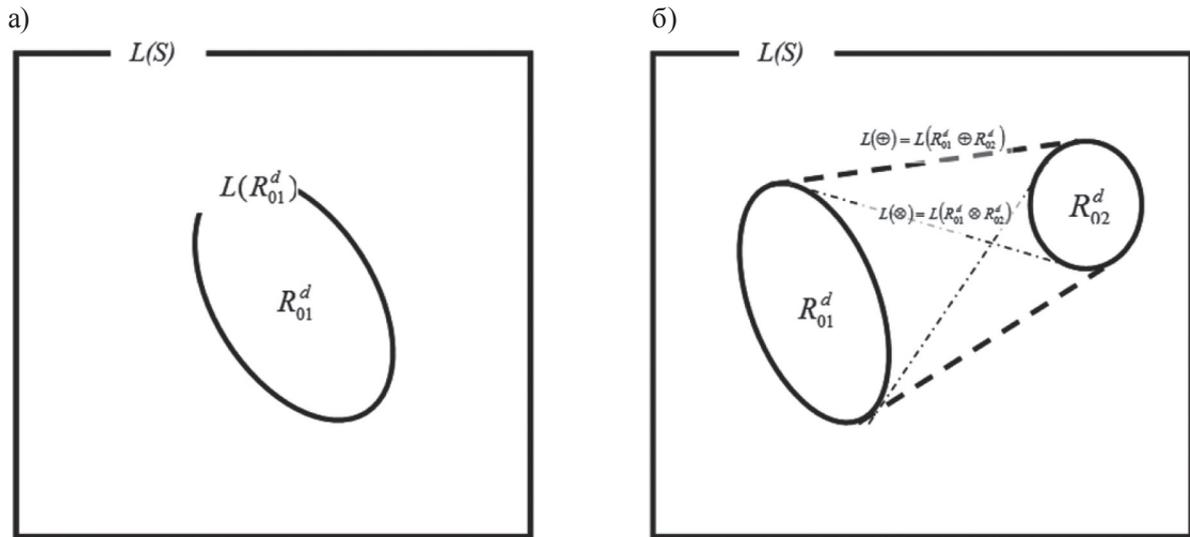


Рис. 2. Схемы акваторий с опасными локальными поднятиями дна:
а — одно локальное поднятие R_{0i}^d ; б — два локальных поднятия R_{01}^d и R_{02}^d

Если допустить, что маршруты G могут пересекать выделенную часть акватории по любому направлению, что соответствует изотропному множеству прямых линий, то вероятность нежелательного события (3), равная мере стесненности акватории M_{CA}^1 , может быть вычислена по формуле

$$P_o = M_{CA}^1 = \frac{L(R_{01}^d)}{L(S)}, \quad (5)$$

где $L(R_{01}^d)$ — периметр контура локального поднятия R_{01}^d ; верхний индекс «1» указывает на количество локальных поднятий на акватории.

Из выражения (5) следует, что вероятность нежелательного события не зависит от положения локального поднятия R_{01}^d внутри выделенной части акватории.

Рассмотрим более общий случай, когда на выделенной части акватории находится два опасных поднятия R_{01}^d и R_{02}^d (рис. 2, б), удаленных друг от друга так, что между ними может быть проложен безопасный маршрут.

Поднятия R_{01}^d и R_{02}^d объединим общим контуром, периметр которого обозначим символом $L(\oplus) = L(R_{01}^d \oplus R_{02}^d)$. На рис. 2, б общий контур обозначен штриховой линией. Вероятность того, что маршруты при их изотропном расположении пересекут общий контур, может быть вычислена по формуле

$$P_o = \frac{L(\oplus)}{L(S)}. \quad (6)$$

Вероятность того, что ни один из маршрутов не пересечет общий контур, будет равна

$$P_s = 1 - P_o. \quad (7)$$

Выражение (7) получено на том основании, что вероятности P_o и P_s образуют полную группу случайных событий.

Маршруты, проходящие через общий контур, делятся на четыре группы:

- $G \cap R_{01}^d \neq 0$ — маршруты, пересекающие поднятие R_{01}^d (неблагоприятное событие);
- $G \cap R_{02}^d \neq 0$ — маршруты, пересекающие поднятие R_{02}^d (неблагоприятное событие);
- $G \cap (R_{01}^d, R_{02}^d) \neq 0$ — маршруты, одновременно пересекающие оба поднятия (неблагоприятное событие);

– $G \cap (R_{o1}^d, R_{o2}^d) = 0$ — маршруты, проходящие между поднятиями R_{o1}^d и R_{o2}^d (благоприятное событие).

Из перечисленных групп маршрутов, четвертая группа характеризует безопасное плавание, тогда как первые три определяют степень стесненности акватории.

Для определения вероятности каждого из перечисленных четырех событий требуется измерить длину «скрученного» контура, охватывающего поднятия R_{o1}^d и R_{o2}^d . Длину такого контура обозначим символом $L(\otimes) = L(R_{o1}^d \otimes R_{o2}^d)$. На рис. 2, б «скрученный» контур обозначен штрихпунктирной линией.

С учетом введённых обозначений, вероятности каждого из перечисленных четырех событий вычисляются по следующим формулам:

$$P(G \cap R_{o1}^d \neq 0) = \frac{L(\oplus) - L(\otimes) + L(R_{o1}^d)}{L(S)}, \quad (8)$$

$$P(G \cap R_{o2}^d \neq 0) = \frac{L(\oplus) - L(\otimes) + L(R_{o2}^d)}{L(S)}, \quad (9)$$

$$P(G \cap (R_{o1}^d, R_{o2}^d) \neq 0) = \frac{L(\otimes) - L(\oplus)}{L(S)}, \quad (10)$$

$$P(G \cap (R_{o1}^d, R_{o2}^d) = 0) = \frac{L(\otimes) - L(R_{o1}^d) - L(R_{o2}^d)}{L(S)}. \quad (11)$$

Сумма вероятностей, рассчитанных по формулам (8) – (11), равна отношению $L(\oplus)/L(S)$, что соответствует вероятности, рассчитанной по формуле (6).

Количественная оценка «стесненности» акватории при изотропном расположении маршрутов на основании формул (6) – (11) для двух локальных разнесенных опасных поднятиях, равная вероятности пересечения хотя бы одной из опасностей, определяется по формуле

$$M_{CA}^2 = \frac{L(R_{o1}^d) + L(R_{o2}^d)}{L(S)}. \quad (12)$$

Обобщая полученный результат на n опасных поднятий дна при изотропном расположении маршрутов, получим выражение для количественной оценки «стесненности» акватории в виде

$$M_{CA}^n = \frac{\sum_{i=1}^n L(R_{oi}^d)}{L(S)}. \quad (13)$$

Из формулы (13) следует, что показатель «стесненности» акватории при отсутствии какого-либо преимущественного направления выбранных маршрутов определяется соотношением размеров акватории и опасностей.

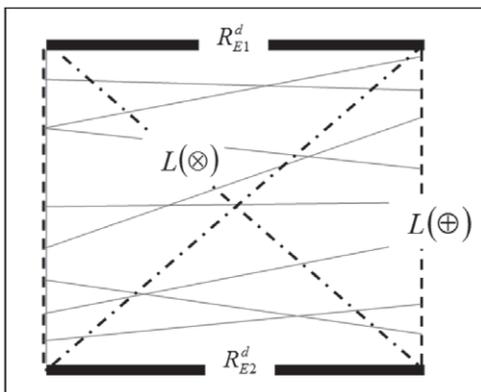


Рис. 3. Схема акватории с «запрещенными» границами

Анизотропное множество маршрутов

Рассмотрим часть акватории (рис. 3), ограниченную прямоугольником площадью S с периметром $L(S)$.

Будем считать, что на акватории нет локальных поднятий дна. Маршруты принадлежат множеству прямых линий, которые одновременно пересекают правую и левую вертикальные рамки района в любой их точке. При этом ни один из них не может пересекать ни верхнюю горизонтальную рамку, ни нижнюю. Каждая из горизонтальных рамок, по аналогии с (1), может трактоваться как некоторый опасный объект, поэтому для их описания используем запись

$$R_{Ei}^d = R_{Ei} \left[x, y, z < z_{\text{пр}}(d) \right], \quad (14)$$

где нижний индекс «E» обозначает границу запретной области; индекс «i» — номер рамки, которую запрещено пересекать.

Замена объекта вида (1) на объект (14) позволяет задачу вычисления показателя «стесненности» акватории для анизотропного множества маршрутов свести к задаче вычисления показателя «стесненности» для изотропного множества маршрутов, рассмотренную ранее.

Полное множество маршрутов G , пересекающих выделенную часть акватории, делится на четыре группы:

- $G \cap R_{E1}^d \neq 0$ — маршруты, пересекающие рамку R_{E1}^d ;
- $G \cap R_{E2}^d \neq 0$ — маршруты, пересекающие рамку R_{E2}^d ;
- $G \cap (R_{E1}^d, R_{E2}^d) \neq 0$ — маршруты, одновременно пересекающие обе горизонтальные рамки;
- $G \cap (R_{E1}^d, R_{E2}^d) = 0$ — маршруты, проходящие между рамками R_{E1}^d и R_{E2}^d .

Из перечисленных групп маршрутов четвертая группа характеризует безопасное плавание, тогда как первые три определяют степень стесненности акватории. Вероятности каждой из перечисленных четырех групп рассчитываются по формулам:

$$P(G \cap R_{E1}^d \neq 0) = \frac{L(\oplus) - L(\otimes) + L(R_{E1}^d)}{L(\oplus)}, \quad (15)$$

$$P(G \cap R_{E2}^d \neq 0) = \frac{L(\oplus) - L(\otimes) + L(R_{E2}^d)}{L(\oplus)}, \quad (16)$$

$$P(G \cap (R_{E1}^d, R_{E2}^d) \neq 0) = \frac{L(\otimes) - L(\oplus)}{L(\oplus)}, \quad (17)$$

$$P(G \cap (R_{E1}^d, R_{E2}^d) = 0) = \frac{L(\otimes) - L(R_{E1}^d) - L(R_{E2}^d)}{L(\oplus)}. \quad (18)$$

В формулах (15), (16) и (18) слагаемые $L(R_{E1}^d)$ и $L(R_{E2}^d)$, представляющие собой периметры отрезков прямых линий, равны удвоенной длине каждого из отрезков.

Исходя из того, что события, связанные с пересечением маршрутами всех четырех границ выделенного района, составляют полную группу

$$P(G \cap R_{E1}^d \neq 0) + P(G \cap R_{E2}^d \neq 0) + P(G \cap (R_{E1}^d, R_{E2}^d) \neq 0) + P(G \cap (R_{E1}^d, R_{E2}^d) = 0) = 1, \quad (19)$$

показатель «стесненности» акватории примет вид

$$M_{CA}^2 = 1 - P(G \cap (R_{E1}^d, R_{E2}^d) = 0). \quad (20)$$

С учетом выражения (18) получим расчетную формулу для показателя акватории, стесненной двумя границами:

$$M_{CA}^2 = 1 - \frac{L(\otimes) - L(R_{E1}^d) - L(R_{E2}^d)}{L(\oplus)}. \quad (21)$$

Анализ формулы (21) показывает, что при анизотропном выборе маршрутов показатель «стесненности» акватории зависит не только от соотношения размеров акватории и опасностей, но и от их взаимного расположения.

Показатель «стесненности» акватории при прочих равных условиях всегда имеет большее численное значение для районов, где выделено приоритетное направление движения судов, по сравнению с районами, где приоритетное направление движения не установлено.

Выводы

1. Количественный показатель «стесненности» акватории может использоваться в ФОб полярного судоходства.
2. Использование теории геометрических вероятностей позволяет получить количественный показатель «стесненности» акватории, имеющий очевидное геометрическое толкование событий, приводящих к столкновению с опасностями.
3. Алгоритм расчёта показателей «стесненности» акватории достаточно прост в реализации, так как основан на измерениях длин линий на навигационных морских картах и вычислении их отношений. Алгоритм характеризуется достаточной простотой.
4. «Стесненность» акватории, по-видимому, должна оцениваться некоторым набором количественных показателей, так как зависит от основных размерений судов, установленных направлений их движения, границ акватории и других факторов. Вопрос о структуре таких показателей нуждается в дополнительном обосновании.
5. Использованный в настоящей работе подход к оценке «стесненности» акватории может быть распространен на динамические объекты, влияющие на риск навигационных происшествий в арктических морях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полярный Кодекс. ИМО. Резолюции MSC/385(94), MEPC.264 (68). Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс). — СПб.: ЦНИИМФ, 2016. — 232 с.
2. IMO Maritime Safety Committee: 'Interim Guidelines for the Application of Formal Safety Assessment' («Временное Руководство по применению формальной оценки безопасности»), MSC Circular 829. — London, 1997.
3. Проблемы Северного морского пути / под ред. А. Г. Гранберга, В. И. Пересыпкина. — М.: Наука, 2006. — 580 с.
4. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rg.ru/2009/03/30/arktika-osnovu-dok.html> (дата обращения: 15.04.2016).
5. Куватов В. И. Потенциал Северного морского пути арктической зоны России. Факторы и стратегия развития / В. И. Куватов, Д. В. Козьмовский, Н. В. Шаталова // Интернет-журнал «Науковедение». — 2014. — № 6 (25). — С. 20.
6. 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.
7. Давыденко А. А. Северный морской путь — комплексный инфраструктурный проект / А. А. Давыденко // Транспортное дело России. — 2010. — № 3. — С. 3–4.
8. Горшков А. Г. Экономические вопросы развития Северного морского пути / А. Г. Горшков // Морские информационно-управляющие системы. — 2014. — № 1 (4). — С. 4–15.
9. Zhao H. Study on Economic Evaluation of Northern Sea Route: Taking Voyage of Yong Sheng as an Example / H. Zhao, H. Hu // Transportation Research Board 95th Annual Meeting. — 2016. — № 16-6420.
10. Збаращенко В. С. Арктическая контейнерная линия Мурманск – Петропавловск – Мурманск / В. С. Збаращенко // Материалы Второй междунар. конф. «Транспорт и логистика в Арктике-2016». — 2016. — С. 61–67.
11. Некрасов С. Н. Оценка и прогнозирование опасных навигационных ситуаций / С. Н. Некрасов, И. В. Капустин, М. С. Старов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 2. — С. 98–100.
12. Пламмер К. Дж. Маневрирование судов в узкостях: пер. с англ. / К. Дж. Пламмер. — Л.: Судостроение, 1986. — 80 с.
13. Решетняк С. В. Гидрографическая изученность подводного рельефа арктических морей России / С. В. Решетняк // Геодезия и картография. — 2006. — № 4. — С. 57–60.
14. ФГУП «Гидрографическое предприятие»: официальный сайт. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.hydro-state.ru/> (дата обращения: 26.07.2016).

15. Баталин Г. А. Навигационно-гидрографическое обеспечение мореплавания в арктическом регионе / Г. А. Баталин, С. В. Решетняк // Морской флот. — 2008. — № 3. — С. 34–38.
16. Сантало Л. Интегральная геометрия и геометрические вероятности: пер. с англ. / Л. Сантало. — М.: Наука, 1983. — 358 с.
17. Амельченко С. Г. Применение вероятностных методов в оценке свойств подводного рельефа / С. Г. Амельченко, А. Л. Тезиков // Эксплуатация морского транспорта. — 2007. — № 4. — С. 30–31.
18. Решетняк С. В. Ранжирование трасс Севморпути по критерию гидрографической обеспеченности / С. В. Решетняк, А. Б. Афонин, А. Л. Тезиков // Эксплуатация морского транспорта. — 2008. — № 3. — С. 55–57.
19. Лутков С. А. Оценка вероятного пропуска опасной глубины по данным навигационных карт арктических морей / С. А. Лутков, С. В. Решетняк, А. Л. Тезиков // Навигация и гидрография. — 2013. — № 36. — С. 69–78.
20. Решетняк С. В. Формализованное представление условий, приводящих к авариям судов / С. В. Решетняк, С. Г. Амельченко // Геодезия и картография. — 2007. — № 12. — С. 36–42.
21. Федотов Н. Г. Триpletные признаки распознавания сложноструктурированных, семантически насыщенных изображений / Н. Г. Федотов, А. С. Кольчугин, О. А. Смолькин, С. В. Романов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. — 2007. — № 1. — С. 43–53.
22. Федотов Н. Г. Анализ свойств признаков распознавания, основанных на стохастической геометрии, при различных вариантах сканирования изображений / Н. Г. Федотов, А. В. Моисеев, Л. А. Шульга, А. С. Кольчугин // Математические методы распознавания образов: сб. докладов XII Всероссийской конф., ноябрь 2005 г. — М.: МАКС Пресс, 2005. — С. 472–475.

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF CONSTRAINT OF THE NORTHERN SEA ROUTE

Article is devoted to a problem of development of quantitative indices and techniques of the formalized safety assessment (FSA) of the water area of the Northern Sea Route (NSR) which principles are formulated in documents of the International Maritime Organization and the Polar code. Features of polar navigation are considered and the main sources of risk of navigation incidents in the Arctic seas are determined. Analysis results of evaluation methods of risk of the navigation incidents based on use of world and regional statistics of sea incidents are given. The representativeness of statistics of navigation incidents relating to the seas of the Arctic basin is estimated. The interrelation between the frequency of navigation incidents and “constraint” of the water area is established. It is offered to use the term “constraint” of the water area which is usually used in relation to navigation of vessels in the uzkostyakh and on shoal as the generalized characteristic of all water area of SMP and its separate parts. For determination of degree of “constraint” of the water area it is offered to use, based on the theory of geometrical probabilities. Examples of effective use of the theory of geometrical probabilities in case of the solution of practical tasks of hydrography and decoding of images are given. Affirms that use of the theory of geometrical probabilities allows reducing a task of a quantitative assessment of “constraint” of the water area to a task about crossing of straight lines with curves on the plane. As a quantitative measure of “constraint” of the water area the author has suggested to use probability of crossing of routes of the vessel with navigational hazards. The basic formulas and ratios allowing to calculate required probability analytically for two options of the direction of the ship flows including an isotropic set of routes and anisotropic are given in work. In the conclusion of article overall assessment of the offered method is given and the directions of its enhancement are determined.

Keywords: “constraint” of the water area, quantitative assessment, geometrical probability, navigational hazard

REFERENCES

1. International code for ships operating in polar waters (Polar code). SPb.: AO «CNIIMF», 2016.
2. IMO Maritime Safety Committee: ‘Interim Guidelines for the Application of Formal Safety Assessment’, MSC Circular 829. London, 1997.
3. *Problemy Severnogo morskogo puti*. Edited by A. G. Granberg, V. I. Peresyepkin. M.: Nauka, 2006.

4. Osnovy gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v Arktike na period do 2020 goda i dal'nejshuju perspektivu. Utverzhden Prezidentom RF 18 sentjabrja 2008 goda.
5. Kuvatov, Valery Il'ich, Dmitry Vasil'evich Kozmovsky, and Natalya Viktorovna Shatalova. "The potential of the Northern Sea Route in the Arctic zone of Russia. Factors and strategy development." *On-line journal "Naukovedenie"* 6(25) (2014): 20.
6. Smirnov, A. A., and S. A. Golovinsky. "55th Anniversary of the Russian Nuclear Icebreaker Fleet and Development of the Northern Sea Route." *Arktika: jekologija i jekonomika* 4(16) (2014): 108–114.
7. Davydenko, A. A. "Severnyj morskoy put — kompleksnyj infrastruktornyj proekt." *Transportnoe delo Rossii* 3 (2010): 3–4.
8. Gorshkov, A. G. "Jekonomicheskie voprosy razvitija Severnogo morskogo puti." *Morskie informacionno-upravljajushhie sistemy* 1(4) (2014): 4–15.
9. Zhao, Hui, and Hao Hu. "Study on Economic Evaluation of Northern Sea Route: Taking Voyage of Yong Sheng as an Example." *Transportation Research Board 95th Annual Meeting*. No. 16-6420. 2016.
10. Zbarashhenko, V. S. "Arkticheskaja kontejnernaja linija Murmansk – Petropavlovsk – Murmansk." *Vtoraja mezhdunarodnaja konferencija «Transport i logistika v Arktike - 2016»*. M., 2016: 61–67.
11. Nekrasov, S. N., I. V. Kapustin, and M. S. Starov. "Assessment and prediction of dangerous navigational situations." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O.Makarova* 2 (2013): 98–100.
12. Plammer, K. Dzh. *Manevrirovanie sudov v uzkostjah*. Trans. L.: Sudostroenie, 1986.
13. Reshetnyak, S. V. "Hydrographic study of the Arctic seas underwater relief of Russia." *Geodesy and Cartography* 4 (2006): 57–60.
14. FGUP «Gidrograficheskoe predpriyatje». Web. 26 July 2016 <<http://www.hydro-state.ru/>>.
15. Batalin, G., and S. Reshetnyak. "The navigational and hydrographic support for shipping in the Arctic region." *Marine Fleet* 3 (2008): 34–38.
16. Santalo, L. *Integralnaja geometrija i geometricheskie verojatnosti*. Trans. M.: Nauka, 1983.
17. Amelchenko, S. G., and A. L. Tezikov. "Application of probabilistic methods in evaluation of the qualities of the underwater relief." *Jekspluatacija morskogo transporta* 4 (2007): 30–31.
18. Reshetnyak, S. V., A. B. Afonin, and A. L. Tezikov. "Ranging of routes of north sea-route on the criterion of hydrographical support." *Jekspluatacija morskogo transporta* 3 (2008): 55–57.
19. Lutkov, S. A., S. V. Reshetnyak, and A. L. Tesikov. "Evaluation of Probable Missing the Dangerous Depth, Using the Navigation Charts Data of the Arctic Seas." *Navigation and Hydrography* 36 (2013): 69–78.
20. Reshetnyak, S. V., and S. G. Amelchenko. "Formalized conception of conditions, causing the shipwrecks." *Geodesy and Cartography* 12 (2007): 36–42.
21. Fedotov, N. G., A. S. Kolchugin, O. A. Smolkin, and S. V. Romanov. "Triplet matching characteristics of complex structured semantically saturated images." *University proceedings. Volga region. Technical sciences* 1 (2007): 43–53.
22. Fedotov, N. G., A. V. Moiseev, L. A. Shulga, and A. S. Kolchugin. "Analiz svojstv priznakov raspoznavanija, osnovannyh na stohasticheskoj geometrii, pri razlichnyh variantah skanirovanija izobrazhenij." *Matematicheskie metody raspoznavanija obrazov: sbornik dokladov XII Vserossijskoj kon-ferencii, nojabr' 2005 g.* M.: MAKS Press, 2005: 472–475.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Клюев Виталий Владимирович
 Минтранс России
klyuevvv@mintrans.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kljuev Vitaly Vladimirovich
 The Ministry of Transport of the Russian Federation
klyuevvv@mintrans.ru

Статья поступила в редакцию 8 августа 2016 г.