

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-81-87

THE CONCEPT OF DEVELOPMENT OF SHIPPING ROUTES ALONG THE NORTHERN SEA ROUTE

A. B. Afonin, A. L. Tezikov

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

The work seeks to develop general approaches to determine areas along the Northern sea route (NSR), suitable for navigation of vessels with draught up to 15, 18, 20 and more meters, and also for the design and development of a network of sea routes. It is noted the strategic importance of the NSR for current and prospective development of the Russian Federation, its role in ensuring the defense of the interests of the Arctic Region. In the waters of the NSR is expected to increase in the intensity of shipping, the increase in the proportion of large vessels with category of ice class, the extension of navigation, the construction of icebreakers new generation. There are new objects, including underwater pipelines, cables, fixed and floating oil and gas installations, floating power plant. Development of existing and construction of new ports and other transport infrastructure. The presence of branched and equipped network of shipping routes in waters of the NSR is required to the conditions of implementation of these projects. Observed unique features of Arctic shipping. Provides basic information about the structure of the existing trails, their length, and limiting the depths of the waters of the largest ports in the NSR. The proposed approach to the design and development of shipping routes in waters of the NSR, based on the solution of multicriteria problem of optimal choice. A generalized mathematical model of the water area, which includes a model of obstacles in the form of shoals, dangerous ice formations and areas with a lack of hydrographic knowledge. The model is also used three-component model routes depending on the limiting depths of ice conditions and the dimensions and categories of ice class of a ship. The proposed approach contributes to the strategic objective of identifying promising areas of the sea route suitable for navigation of vessels with draught up to 15 meters and more.

Keywords: The Northern sea route water area, shipping routes, numerous, optimization, model, criteria, design.

For citation:

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.

УДК 528.47

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ СУДОХОДНЫХ ТРАСС АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

А. Б. Афонин, А. Л. Тезиков

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

В статье ставится задача разработки общих подходов для определения районов акватории Северного морского пути (СМП), пригодных для плавания судов с осадкой до 15, 18, 20 м и более, а также для проектирования и развития сети судоходных трасс. Отмечается важное стратегическое значение СМП для современного и перспективного развития РФ, ее роли в обеспечении оборонных интересов приарктических государств. В акватории СМП ожидается возрастание интенсивности судоходства, увеличение доли крупнотоннажных судов, имеющих высокие категории ледовых усилений, продление сроков навигации, строительство ледоколов нового поколения. Появляются новые объекты, в том числе подводные трубопроводы, кабели, стационарные и плавучие нефтегазопромысловые установки, плавучие электростанции. Модернизируются существующие и строятся новые порты и другие объекты

транспортной инфраструктуры. Наличие разветвлённой и оборудованной сети судоходных трасс в акватории СМП служит необходимым условием реализации этих проектов. Отмечаются уникальные особенности арктического судоходства. Приводятся основные сведения о структуре существующих трасс, их протяженности и лимитирующих глубинах акваторий крупнейших портов СМП. Предложен подход к проектированию и развитию судоходных трасс в акватории СМП, основанный на решении многокритериальной задачи оптимального выбора. Предложена обобщённая математическая модель акватории, в которую входят модели препятствий в виде отмелей, опасных ледовых образований и районов с недостаточной гидрографической изученностью. В модели также используется трёхкомпонентная модель маршрутов, зависящих от лимитирующих глубин, состояния льда и размеров и категорий ледовых усилений судна. Предложенный подход способствует решению стратегической задачи определения перспективных участков акватории СМП, пригодных для плавания судов с осадкой до 15 м и более.

Ключевые слова: Северный морской путь, акватория, судоходные трассы, множество, оптимизация, модель, критерии, проектирование.

Для цитирования:

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.

Введение

Северный морской путь (СМП) является важнейшей частью инфраструктуры экономического комплекса арктического региона. Он объединяет морские пути, внутренние водные пути Сибири, воздушные и трубопроводные линии в единую транспортную сеть. СМП имеет важное стратегическое значение для современного и перспективного развития Российской Федерации, а также ее роли в обеспечении оборонных интересов приарктических территорий. Особое значение СМП заключается в обеспечении жизнедеятельности Арктической зоны РФ (АЗРФ) [1] и северного завоза. Это кратчайший водный путь от европейских государств до стран Азиатско-Тихоокеанского региона.

Перед Российской Федерацией стоит задача использовать географическое преимущество СМП, превратив его в конкурентоспособную транспортную систему на новой технической и технологической базе, отвечающей требованиям современности. Решение этой задачи сопряжено с реализацией масштабных и долгосрочных проектов. В ближайшие годы в акватории СМП ожидается возрастание интенсивности судоходства, увеличение доли крупнотоннажных судов, имеющих высокие категории ледовых усилений, продление сроков навигации и строительство ледоколов нового поколения [2]. В акватории СМП появляются новые объекты, в том числе подводные трубопроводы, кабели, стационарные и плавучие нефтегазопромысловые установки, плавучие электростанции. Модернизируются существующие и строятся новые порты и другие объекты транспортной инфраструктуры [3].

Наличие разветвлённой и оборудованной сети судоходных трасс в акватории СМП служит необходимым условием реализации этих проектов. Существующая сеть судоходных трасс СМП обеспечивает навигацию судов с ограниченной до 6 м осадкой, преимущественно в летне-осеннюю навигацию [4]. Работа ледоколов на этих трассах затруднена, возможности продления навигации ограничены. Выход на акваторию СМП крупнотоннажных судов с большой осадкой, имеющих высокие категории ледовых усилений, в том числе мощных атомных ледоколов, делает задачу изучения акватории СМП с целью определения районов, пригодных для обустройства новых глубоководных путей, актуальной.

Постановка задачи исследования

С 2013 г. эксплуатируется единственная высокоширотная трасса, предназначенная для судов с осадкой до 15 м [5]. Трасса проложена в районах с недостаточной гидрографической изученностью и обследована в полосе 2 км. При этих условиях отклонение за пределы полосы является опасным [6]. Задача заключается в разработке общих подходов для определения районов акватории СМП, пригодных для плавания судов с осадкой до 15, 18, 20 м и более, а также для проекти-

рования и развития сети судоходных трасс. Такая задача ранее не ставилась, но при современной тенденции увеличения как осадки, так и грузоподъемности судов является наиболее актуальной. До настоящего времени обследование акватории СМП и проектирование судоходных трасс было связано с решением отдельных тактических задач. Задача в общей постановке ориентирована в большей степени на получение стратегических решений.

Обоснование концепции развития судоходных трасс акватории СМП

Судоходные трассы на акватории СМП должны обеспечивать транзитное плавание судов, хозяйственную деятельность в акватории и жизнедеятельность Арктической зоны Российской Федерации. При проектировании судоходных трасс должны учитываться характеристики акватории и судов.

Характеристики акватории:

- гидрографическая изученность и картографическое обеспечение акватории;
- лимитирующие глубины на акваториях портов и на подходах к ним;
- контроль надёжности определения места судна;
- стеснённость акватории;
- ледовая обстановка с её сезонными и климатическими изменениями;
- удалённость от Морского спасательного координационного центра, морских спасательных подцентров и пунктов передового базирования;
- протяжённость трассы и связанные с ней показатели эффективности.

Характеристики судов:

- категория ледового усиления;
- осадка;
- ширина безопасной полосы маневрирования;
- способ ледового плавания (самостоятельное плавание или плавание под проводкой ледокола).

СМП пролегает через Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря, а также северо-восточную часть Баренцева и северную часть Берингова морей.

Протяжённость трасс СМП колеблется от 2700 миль для околополюсных до 3500 миль для прибрежной трассы. Общая протяжённость трасс СМП превышает 14 тыс. миль. Протяжённость прибрежных трасс по морям составляет:

- Карское море — 4640 км;
- Море Лаптевых — 5590 км;
- Восточно-Сибирское море — 1745 км;
- Чукотское море — 1890 км;
- Проливы СМП — 1450 км.

Плотность сети судоходных прибрежных трасс по морям составляет:

- Карское море — 0,0053 км/км²;
- Море Лаптевых — 0,0083 км/км²;
- Восточно-Сибирское море — 0,0019 км/км²;
- Чукотское море — 0,0032 км/км².

Вход на трассы СМП с запада осуществляется через пролив Карские Ворота или с севера от мыса Желания.

Расстояние от порта Мурманск до пролива Карские Ворота составляет 528 морских миль.

Расстояние от порта Мурманск до мыса Желания 758 морских миль.

Вход на трассы СМП с востока осуществляется через пролив Дежнёва.

Картографическое обеспечение акватории определяется коллекцией морских навигационных карт, насчитывающей по состоянию на 2016 г. 680 экз. (масштаб крупнее 1:500000) и 440 экз. электронных навигационных карт [5]. Распределение общего количества карт и планов по морям акватории СМП приведено в следующей таблице:

Количество морских навигационных карт и планов на акваторию СМП

Знаменатель масштабa	Количество номеров карт и планов				
	Карское море	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море	Чукотское море	Всего
500000	13	11	10	5	39
200000	39	12	20	10	81
100000	68	24	45	16	153
50000	144	27	22	14	207
25000	49	21	40	21	131
10000	25	8	11	4	48
5000	11	2	6	2	21
<i>Итого</i>	349	105	154	72	680

Анализ картографических материалов акватории СМП позволяет отметить следующее.

В Карском море севернее 77 параллели имеются обширные необследованные области. В море Лаптевых слабо изучена область, расположенная к северо-востоку от полуострова Таймыр. Практически не изучена северная часть моря Лаптевых и Чукотского моря.

В основе существующей коллекции морских навигационных карт на акваторию СМП лежат материалы гидрографической съемки рельефа дна, выполненной системой параллельных галсов однолучевыми эхолотами (83 % обследованной акватории) и ледовым промером (17 % обследованной акватории) [7].

К практически необследованным участкам акватории можно отнести те из них, где съемки выполнены с подробностью 4 км и более. Доля площади таких участков составляет [8]:

- Карское море — 18 %;
- Море Лаптевых — 15 %;
- Восточно-Сибирское море — 51 %;
- Чукотское море — около 40 %.

В гидрографическом отношении недостаточно изучены в основном северные части морей, в которых из-за тяжелых ледовых условий даже в летнюю навигацию проводить измерение глубин было практически невозможно.

Мелководье в сочетании со сложными ледовыми условиями Арктики являются основными факторами, оказывающими влияние на структуру сети маршрутов. В зимне-весенний период с декабря по июнь вся акватория СМП покрыта льдами различной степени сплоченности и толщины. В летне-осенний период (с июля по ноябрь включительно) акватория освобождается ото льда за исключением площадей, занятых ледяными массивами, схема которых приведена на рисунке [9].

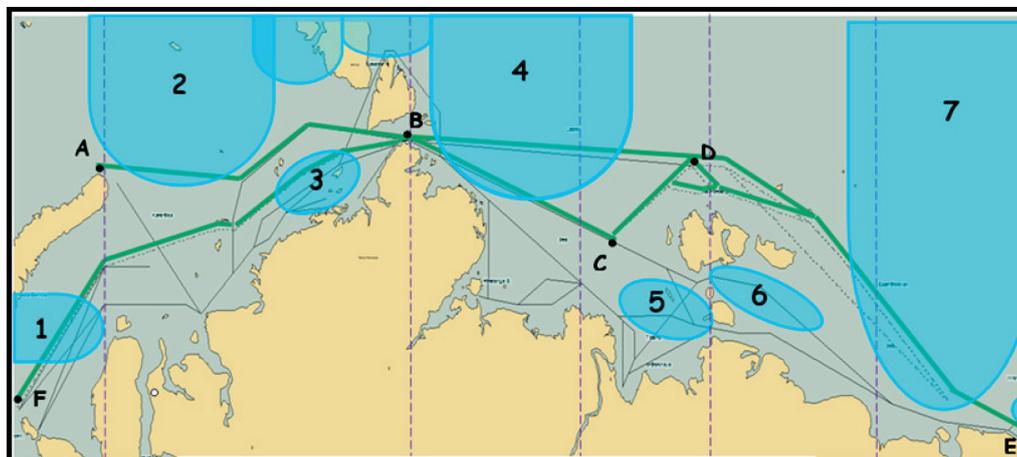


Схема расположения ледяных массивов арктических морей

Условные обозначения: A, B, ... , F — поворотные точки высокоширотных трасс (показаны зелёным цветом);
1 – 9 — ледяные массивы

На рисунке позициям 1–9 соответствуют следующие ледяные массивы: 1 — Новоземельский; 2 — Карский северный; 3 — Североземельский; 4 — Таймырский; 5 — Янский; 6 — Новосибирский; 7 — Айонский; 8 — Врангелевский. Чукотский северный (находится в северной части Чукотского моря на значительном удалении от судоходных трасс, на схеме не показан). Существующие трассы сформировались с учётом расположения ледяных массивов.

В течение последних 15 лет произошло значительное уменьшение средней ледовитости арктических морей в летне-осенний период навигации. В среднем уменьшение составило от 14 до 20 % площади. Площадь ледяных массивов в летне-осенний период также сократилась на 18 – 37 %. В зимний период ледовые условия также стали более лёгкими [10]. В результате потепления площадь акватории, свободной ото льда в летне-осенний период, увеличилась, что позволяет расширить зоны проектирования маршрутов, ранее ограниченных льдами, и продлить сроки навигации.

На акватории СМП расположены порты со следующими лимитирующими глубинами [11]: Амдерма — 1,6 м; порты Обской губы — 12,0 м; Диксон — 8,0 м; Дудинка — 11,8 м; Хатанга — 4,2 м; Тикси — 3,9 м; Певек — 9,0 м.

Морские спасательные подцентры и пункты передового базирования находятся в портах Диксон, Тикси, Певек и Провидения.

Проектирование судоходных трасс начинается с определения участков акватории, пригодных для плавания судов. Акватория характеризуется множеством препятствий $\{R(h, W, b)\}$ [12]:

$$\{R(h, W, b)\} \subset \{R_h\} \cup \{R_W\} \cup \{R_b\},$$

где $\{R_h\}$ — множество отмелей, ограниченных лимитирующими глубинами h для судов с осадкой d ; $\{R_W\}$ — множество опасных ледовых образований; $\{R_b\}$ — множество областей с недостаточной гидрографической изученностью.

Множество судоходных трасс $\{G(d, I, B)\}$ объединяет три подмножества:

$$\{G(d, I, B)\} \subset \{G_d\} \cup \{G_I\} \cup \{G_B\},$$

где $\{G_d\}$ — множество маршрутов для судов с осадкой d ; $\{G_I\}$ — множество маршрутов для судов с категорией ледовых усилений I ; $\{G_B\}$ — множество маршрутов для судов с шириной полосы безопасного маневрирования B .

Количество элементов множества маршрутов зависит от осадки судна, категории ледового усиления и ширины полосы безопасного маневрирования. Для судов с одинаковыми ледовой категорией I и шириной B , но с разными осадками, например, 6, 8 и 15 м, справедливы следующие соотношения:

$$\{G(d = 6, I, B)\} \geq \{G(d = 8, I, B)\} \geq \{G(d = 15, I, B)\}.$$

Для судов с одинаковой осадкой d и шириной B , но с разными и ледовыми категориями I осадками, например, Arc 9, Arc 6 и Arc 4, справедливы следующие соотношения:

$$\{G(d, I = 9, B)\} \geq \{G(d, I = 6, B)\} \geq \{G(d, I = 4, B)\}.$$

Для судов с одинаковой осадкой d и ледовой категорией I , но с разной шириной B , например, 50, 100 и 200 м, справедливы следующие соотношения:

$$\{G(d, I, B = 50)\} \geq \{G(d, I, B = 100)\} \geq \{G(d, I, B = 200)\}.$$

Таким образом, самая широкая сеть маршрутов будет пригодна для судна, имеющего минимальную осадку, максимальную категорию ледовых усилений и минимальную ширину полосы безопасного маневрирования.

Множество участков акватории $\{F(d, I, B)\}$, по которым могут пройти маршруты $\{G(d, I, B)\}$, устанавливается соотношениями:

$$\{G(d, I, B)\} \cap \{R(h, W, b)\} = 0; \quad (1)$$

$$\{G(d, I, B)\} \cap \{F(d, I, B)\} \neq 0. \quad (2)$$

Равенство (1) показывает, что ни один из проектируемых маршрутов $\{G\}$ не должен пересекать ни одно из препятствий $\{R\}$. Неравенство (2) соответствует условию, в соответствии с которым любой из маршрутов $\{G\}$, по крайней мере, должен иметь вход в акваторию $\{F\}$.

Множество $\{G\}$ в пределах акватории $\{F\}$ бесконечно и несчётно. Среди элементов этого множества необходимо отобрать конечное подмножество маршрутов. Эта процедура выполняется с использованием критериев. Среди основных критериев используются:

$C_1\{G\}$ — удалённость маршрута от морских спасательных подцентров и пунктов передового базирования;

$C_2\{G\}$ — возможность контроля определения места судна;

$C_3\{G\}$ — стеснённость акватории;

$C_4\{G\}$ — гидрографическая изученность акватории;

$C_5\{G\}$ — протяжённость маршрута и отдельных его прямолинейных участков.

Сформированное подмножество маршрутов представляет собой основу для проектирования и обустройства судоходных путей на акватории.

Выводы

1. Задача развития судоходных трасс акватории СМП является актуальной.
2. Акватория СМП имеет уникальные природно-климатические и географические свойства, которые существенным образом влияют на подходы к проектированию развития сети судоходных трасс.
3. Развитие сети судоходных трасс относится к многокритериальным задачам выбора оптимального решения.
4. Предложен подход к решению стратегической задачи определения перспективных участков акватории СМП, пригодных для плавания судов с осадкой до 15 м и более.
5. Определены принципы формирования перспективных маршрутов в акватории СМП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу / Утв. Президентом РФ 18 сентября 2008 года.
2. 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.
3. Олерский В. А. Комплексный проект развития Северного морского пути / В. А. Олерский // Транспортная стратегия. — XXI век. — 2015. — № 29 (2). — С. 8–9.
4. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане. ЕСИМО [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.russianports.ru/> (дата обращения: 02.01.17).
5. ФГУП «Гидрографическое предприятие» [Электронный ресурс]: офиц. сайт. — Режим доступа: <http://www.hydro-state.ru/> (дата обращения: 02.01.17).
6. Королёв И. Ю. Оценка допустимого отклонения пути судна от обследованной полосы / И. Ю. Королёв // 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.
7. Алеева С. В. 70 лет полярной гидрографии / С. В. Алеева. — СПб: ООО «Фортекс групп», 2003. — 248 с.
8. Решетняк С. В. Гидрографическая изученность подводного рельефа арктических морей России / С. В. Решетняк // Геодезия и картография. — 2006. — № 4. — С. 57–60.
9. 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 [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2010. — № 2 (85). — С. 16–28.

10. Думанская И. О. Некоторые тенденции в изменении ледовых характеристик арктических морей в XXI веке / И. О. Думанская // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. — 2016. — № 362. — С. 129–154.

11. Проблемы Северного морского пути / под ред. А. Г. Гранберга, В. И. Пересыпкина. — М.: Наука, 2006. — 580 с.

12. Клюев В. В. Формализация оценки безопасности акватории Северного морского пути / В. В. Клюев // 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.

REFERENCES

1. 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.

2. 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.

3. Olerskii, V. "Kompleksnyi proekt razvitiya Severnogo morskogo puti." *Transportnaya strategiya - XXI vek* 29(2) (2015): 8–9.

4. The unified state information system about the situation in the World ocean. ESIMO. Web. 2 Jan. 2017 <<http://www.russianports.ru/>>.

5. FGUP «Gidrograficheskoe predpriyatie». Web. 2 Jan. 2017 <<http://www.hydro-state.ru/>>.

6. Korolev, Ivan Jurevich. "Evaluation of the tolerance path of the vessel from the surveyed strip." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 6(40) (2016): 105–112. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-105-112.

7. Aleeva, S. V. *70 let polyarnoi gidrografii*. SPb: OOO «Forteks grupp», 2003.

8. Reshetnyak, S. V. "Hydrographic study of the Arctic sees underwater relief of Russia." *Geodesy and Cartography* 4 (2006): 57–60.

9. Mironov, Ye. U., I. M. Ashik, V. I. Dymov, M. Yu. Kulakov, and S. V. Klyachkin. "Models and methods of calculations and forecasts of ice and oceanographic conditions in the Arctic Seas." *Problemy Arktiki i Antarktiki* 2(85) (2010): 16–28.

10. Dumanskaya, I. O. "Some tendencies in change of ice parameters of the Arctic seas in the 21st century." *Proceedings of the Hydrometeorological Research Centre of the Russian Federation* 362 (2016): 129–154.

11. Granberg, A. G., and V. I. Peresypkin, eds. *Problemy Severnogo morskogo puti*. M.: Nauka, 2006.

12. 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.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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, kaf_gm@gumrf.ru

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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, kaf_gm@gumrf.ru

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