ВЕСТНИК
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-705-712

RESEARCH THE CHANGE OF SHIP'S SPEED WITH LARGE-CAPACITY IN ICE CONDITIONS ON AREA OF THE NORTHERN SEA ROUTE

E. O. Ol'khovik

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

The increase in cargo turnover along the Northern Sea routes will require the use of large-capacity vessels of high ice class with a high commercial speed. To ensure the safety of Arctic shipping, it is necessary to have objective data on the effect of ice on the speed and maneuverability of vessels. The paper suggests using a geoinformation system whose layers include data on speeds and routes of vessels of various capacities and data of remote sensing of the earth on ice conditions. Two sections of traditional routes in the western part of the Russian Arctic were considered: the sea crossing from the Barents Sea to the Kara Sea through the Kara Gate, the transition from the Barents Sea to the Kara Sea through the Cape of Desire. A joint study of these layers on the example of winter navigation in 2018 provides detailed information on the trends in reducing the speed of ships in fully consolidated ice. Based on the results of the study, the results are presented for four groups of vessels with different gross tonnage, capacity, ice pass and draft. To compare the results, the measured velocities were normalized to relative, which allowed us to identify common dependencies and trends. The availability of archival data on measurements of ice thickness in the geographic area under study and predictive models for increasing ice thickness in winter allows us to develop adequate methods for estimating the change in the properties of ice by varying the speed of vessels of various classes on the routes of traffic in the water area of the Northern Sea Route. Statistical processing of vessel speeds in ice fields has made it possible to identify the monotony of the rate-reduction trends for the main groups of vessels and the distinctive features associated with the vessel's power, the use of icebreaker support.

Keywords: Northern Sea Route, ice conditions, geoinformation system, ice properties, vessel speed.

For citation:
Ol'khovik, Evgeniy O. "Research the change of ship's speed with large-capacity in ice conditions on area of the Northern Sea Route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.4 (2018): 705–712. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-705-712.

УДК 528.47

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ КРУПНОТАЖНЫХ СУДОВ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Е. О. Ольховик

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

Увеличение грузооборота по трассам Северного морского пути потребует использования крупнотоннажных судов высокого ледового класса с большой коммерческой скоростью. Для обеспечения безопасности арктического судоходства необходимо располагать объективными данными о влиянии льда на скорость и маневренные характеристики судов.

Предложено использовать геоинформационную систему, в состав слоев которой включены данные о скоростях и маршрутах движения судов различной вместимости и данные дистанционного зондирования Земли для мониторинга ледовой обстановки. Рассматривались операции на двух участках традиционных маршрутов в Западном секторе российской Арктики: морской переход из Баренцева в Карское море через пролив Карские ворота и переход из Баренцева в Карское море через мыс Желания. Совместное исследование данных слоев на примере зимней навигации 2018 г. позволяет получить подробные сведения о трендах снижения скорости судов в условиях полностью сплоченного льда. По результатам исследования приводятся скоростные режимы для четырех групп судов с различной валовой вместимостью, мощностью, ледопроходимостью и осадкой. Для сравнения измеренные скорости были нормированы в относительную скорость, что позволило выявить общие зависимости и тренды. Наличие архивных данных об измерени-

ях толщины льда в исследуемой географической области и прогнозных моделей увеличения толщины льда в зимний период позволяют разработать адекватные методы оценки изменения свойств льда по изменению скорости судов различного класса на маршрутах движения в акватории Северного морского пути. Статистическая обработка скоростей судов в ледовых полях позволила выявить однообразие трендов снижения скорости для основных групп судов и отличительные особенности, связанные с мощностью судна и использованием ледокольного сопровождения.

Ключевые слова: Северный морской путь, ледовая обстановка, геоинформационная система, свойства льда, скорость судов.

Для цитирования:
Ольховик Е. О. Исследование изменения скорости крупнотажных судов в ледовых условиях акватории Северного морского пути / Е. О. Ольховик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 4. — С. 705–712. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-705-712.

Введение (Introduction)

Существенное увеличение грузооборота в акватории Северного морского пути (СМП) в ближайшие годы потребует организации движения судов в составе морских транспортных потоков с высокой коммерческой скоростью. Основным фактором, оказывающим влияние на снижение скорости судна, является ледовая обстановка. Для оценки влияния льда на скорость и маневренные характеристики судов используются теоретические методы [1], [2], а также модельные [3] и натурные испытания [4]. При этом возможности натурных испытаний в ряде случаев имеют существенные ограничения, связанные с невозможностью активно влиять на ледовые условия при проведении исследований на выбранном полигоне в течение заданного времени [5]. Последнее существенно влияет на репрезентативность полученных экспериментальных данных. Для преодоления этого недостатка предлагается расширить базу экспериментальных данных за счет штатной оперативной навигационной и гидрометеорологической информации. В работе [6] для обеспечения безопасности ледового плавания было предложено совместное использование данных, получаемых от автоматизированной информационной системы движения судов, и прогноза ледовой обстановки.

Рассматриваемый метод имеет особенности, связанные с синхронизацией поступающей информации. Данные о ледовой обстановке, как правило, имеют задержку в три – пять дней, которая приводит к несоответствию результатов измерения скорости судов параметрам льда на маршруте. С учетом того, что выполнение прямых непрерывных измерений свойств льда по пути движения судна выполнить практически невозможно, предложено изменить традиционный подход исследования влияния льда на скоростные режимы судов. При прямолинейном движении однотипных судов во льдах при фиксированной мощности судовой энергетической установки (СЭУ) на изменение скорости судов на маршруте главным образом влияет изменение ледового сопротивления, которое зависит от толщины льда, его упругих свойств и других характеристик льда. Таким образом, исследуя характер изменения скорости на маршруте, можно получить некоторую интегральную оценку характера изменения ледового сопротивления и изменения основных свойств льда, например — толщины льда или его сплоченности. Полученные оценки в дальнейшем могут использоваться для уточнения ледовых карт и корректировки скорости судов других типов.

В работах [7], [8] для анализа скоростных режимов судов в акватории СМП предложено использовать геоинформационную систему (ГИС), позволяющую обеспечить подробную визуализацию морских транспортных потоков и выделить прямолинейные участки маршрутов однотипных судов, движение которых осуществляется при фиксированной мощности СЭУ.

Целью работы является обоснование метода оценки изменения свойств льда по изменению скорости крупнотоннажных судов на маршрутах движения в акватории СМП.

Методы и материалы (Methods and materials)

Для решения поставленной задачи использовалась ГИС СМП, которая содержит сведения о местоположении всех судов, работающих в акватории арктических морей, а также параметрах

их движения. Из всего множества судов, получивших разрешение для работы в акватории СМП, было отобрано 25 судов, работающих в Западном секторе Арктики (Карское море) круглогодично. Все суда разбиты на четыре группы:

1-я группа — газовозы проекта Yamalmax (Arc7), предназначенные для транспортировки сжиженного природного газа;

2-я группа — танкеры проекта 42К (Arc7), предназначенные для перевозки сырой нефти;

3-я группа — контейнеровозы проекта «Норильский никель» (Arc7), предназначенные для перевозки руды;

4-я группа — суда класса Arc5, предназначенные для перевозки генеральных грузов и работающие с ледокольной проводкой.

Основные характеристики судов, входящих в каждую группу:

1-я группа — ледовый класс Arc7, вместимость 128,8 тыс. т, лёдопроходимость 2,1 м, мощность 45 МВт, осадка 12 м;

2-я группа — ледовый класс Arc7, вместимость 44,3 тыс. т, лёдопроходимость 1,8 м, мощность 32 МВт, осадка 9,5 м;

3-я группа — ледовый класс Arc7, вместимость 17 тыс. т, лёдопроходимость 1,5 м, мощность 18 МВт, осадка 10 м;

4-я группа — ледовый класс Arc5, вместимость 7 – 13,8 тыс. т, мощность 8,5 МВт, осадка 7 м.

Наблюдения были отнесены к началу зимней навигации (первая декада февраля 2018 г.) и к окончанию зимней навигации (первая декада июня 2018 г.). Ледовые условия в период наблюдения характеризовались как легкие и средние, что позволяло судам с категорией ледового усиления Arc 7 совершать в Западном секторе российской Арктики самостоятельное плавание, а судам с категорией ледового усиления Arc 5 совершать плавание только под проводкой ледоколов.

Рассматривались два участка: морской переход из Баренцева в Карское море через пролив Карские ворота и переход из Баренцева в Карское море через мыс Желания. Выбор участков был обусловлен тем, что в рассматриваемый временной период Баренцево море было полностью освобождено ото льда, что позволяло определить скорость судна на чистой воде, тогда как акватория Карского моря была практически полностью покрыта сплоченным льдом. В обработку включались данные о движении однотипных групп судов в ледовых полях. В качестве вспомогательной информации использовались оперативные данные о ледовой обстановке, размещенные в открытом доступе на сайтах Администрации СМП [9], Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) [10], Национального центра данных по снегу и льду (National Snow and Ice Data Center — NSIDC) [11], а также данные, содержащиеся в монографии [12]. Следует отметить, что оперативные данные NSIDC поступают в открытый доступ с задержкой не менее трое суток. Прогнозы ААНИИ по ледовой обстановке даются с заблаговременностью на период от трех до 30 сут. По архивным данным [9] – [12], в начале зимней навигации акватория Карского моря практически полностью была покрыта однолетним льдом толщиной 0,4 – 0,7 м при сплоченности в 7 баллов. В конце зимнего навигационного периода акватория была покрыта сплоченным льдом 7 – 10 баллов и толщиной до 1,5 м с торосами, многолетний лед отсутствовал. При обработке данных учитывались результаты теоретических исследований, посвященных взаимодействию корпуса судна со льдом, обзор которых приведен в работе [13].

Все разрабатываемые модели условно подразделялись на группы в зависимости от их назначения. К первой группе отнесены модели, которые используются при проектировании новых типов судов, способных на определенной скорости преодолевать льды заданной толщины. Такие модели, как правило, включают в себя значительное количество параметров, что затрудняет их использование и интерпретацию результатов вычислений [14] – [17]. Ко второй группе отнесены модели, которые используются для составления ледовых паспортов судов. Модели используются также при расчете скорости судов, безопасной для плавания в заданных ледовых условиях [18], [19]. К третьей группе отнесены упрощенные математические модели, которые используются при оперативном планировании перехода во льдах. Модели удобны для выполнения расчетов,

однако точность полученных с их использованием результатов нуждается в дополнительном обосновании [20], [21].

При построении всех моделей использовался ряд допущений и упрощений, касающихся структуры и физических свойств льда и ледовых полей. Принятые допущения, безусловно, оказывают влияние на точность вычислений, но несмотря на это, не оказывают существенного влияния на правильность описываемых моделями взаимодействий.

Результаты (Results)

Результаты измерения скорости крупнотоннажных судов на маршрутах в акватории СМП представлены на рис. 1 и 2. По вертикальной оси на графиках, приведенных на этих рисунках, отложена нормированная скорость движения судна. В качестве нормировки использовалась максимальная скорость на открытой воде для каждого типа судна. На рис. 1 приведены данные о скоростях судов всех групп за период с 09.02.2018 г. по 10.06.2018 г. Сплошной линией на графике показана линия тренда изменения скорости, показывающая ее снижение. Тренд объясняется увеличением толщины льда за период наблюдения. За отмеченный период скорость ежемесячно снижалась на 6,5 %.

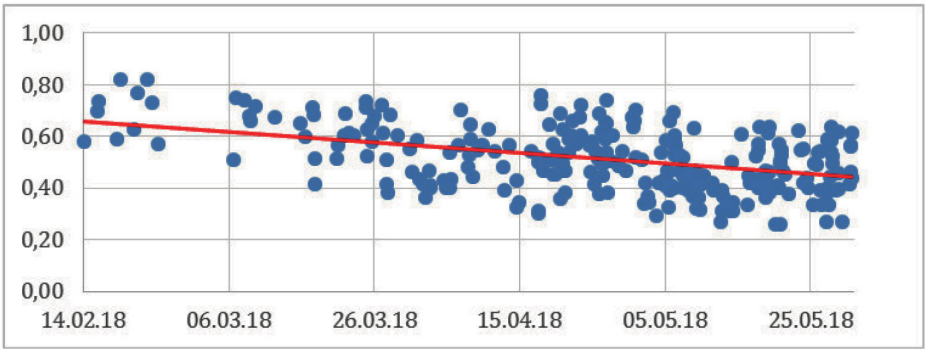
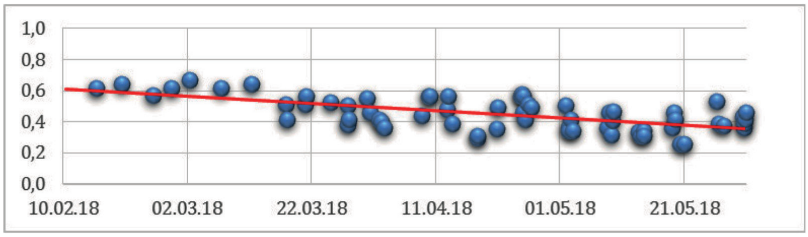


Рис. 1. Скорости судов всех групп

На рис. 2 приведены данные об изменении скорости различных групп судов. На рис. 2, *а* приведены данные об изменении скорости судов типа YamalMax. Сплошной линией показана линия тренда изменения скорости, которая соответствует уменьшению скорости по линейной зависимости. Для судов YamalMax максимальная скорость на чистой воде составляет 20 уз, ледопроходимость — 2,1 м. За отмеченный период скорость ежемесячно снижалась на 7,2 %.

а)



б)

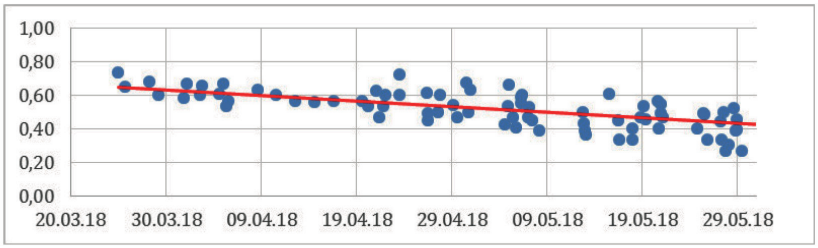
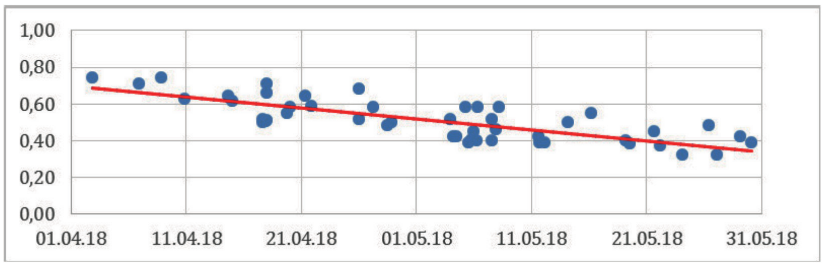


Рис. 2. Изменение скорости различных групп судов

в)



г)

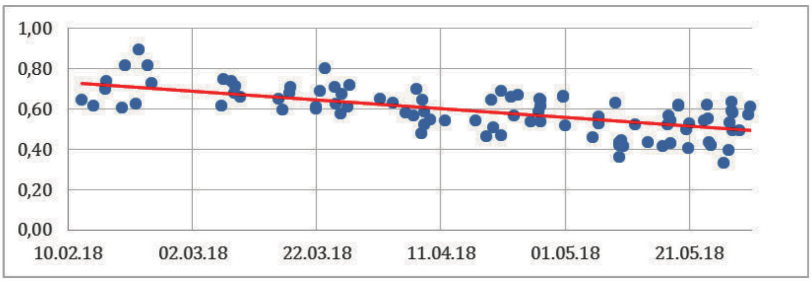


Рис. 2. Изменение скорости различных групп судов:
а — типа YamalMax; *б* — типа 42К; *в* — типа «Норильский никель»;
г — Arc5 при плавании под ледокольной проводкой

На рис. 2, *б* приведены данные о скоростях группы судов типа 42К. За период наблюдения относительная скорость уменьшалась на 6,5 % ежемесячно. Для судов 42К максимальная скорость на чистой воде составляет 14,5 уз, ледопроходимость — 1,8 м. На рис. 2, *в* приведены данные о скоростях группы судов типа «Норильский никель». За период наблюдения относительная скорость уменьшалась на 9,5 % ежемесячно. Для судов типа «Норильский никель» максимальная скорость на чистой воде составляет 15 уз, ледопроходимость — 1,5 м. На рис. 2, *г* приведены данные о скоростях группы судов ледового класса Arc5 при плавании под проводкой атомных ледоколов. За период наблюдения относительная скорость уменьшалась на 6,3 % ежемесячно.

Обсуждение (Discussion)

Приведенные результаты показывают, что в период зимней навигации отмечается устойчивое снижение относительной скорости движения крупнотоннажных судов во льдах от 6,3 до 9,5 %. По данным ледовых наблюдений, за отмеченный период на рассматриваемых маршрутах СМП толщина льда изменялась от 0,5 до 1,5 м. Графики изменения скорости рассмотренных типов судов сохраняют общую тенденцию, но каждый имеет свои особенности изменения скоростного режима в ледовых полях. Суда с высокой мощностью и суда под проводкой ледокола воспринимают максимальное сопротивление только в конце зимней навигации, когда толщина льда превышает 1 м. Полученные результаты согласуются с данными, полученными в работе [22]. Следует отметить, что при скоростях движения до 4 – 6 уз, когда суда теряют свои маневренные характеристики, проведение наблюдений, связанных с изучением влияния льда на скорость судна, имеет существенные ограничения.

Заключение (Conclusion)

Полученные результаты согласуются с теоретическими моделями [1], [2] и физическими процессами [4], [5]. Подтверждено превалирующее влияние изменения ледовых условий на снижение скорости крупнотоннажных судов. Анализ показал, что в период наблюдений на мелководье скорость течения и ветра на уменьшение скорости судов не оказывают существенного влияния.

Полученные результаты являются предварительными, так как базируются на ограниченном объеме статистических данных за 2018 г. В дальнейшем предполагается расширить период для исследований и уточнить структуру и вид функциональной зависимости, позволяющей по измерению изменения скорости судов производить оценку изменения ледовых условий по маршруту движения судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сазонов К. Е.* Теоретические основы плавания судов во льдах / К. Е. Сазонов. — СПб.: Изд-во ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2010. — 274 с.

2. *Костылев А. И.* Разработка методов расчета параметров судов при нестационарном движении в ледовых условиях: автореф. дисс. … канд. техн. наук / А. И. Костылев. — СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2017. — 22 с.

3. *Бокатова Е. А.* Расчет скорости движения судна по ледяному каналу в условиях сжатия при частичном взаимодействии бортов с его кромками / Е. А. Бокатова, К. Е. Сазонов // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2012. — № 66 (350). — С. 43–46.

4. *Апполонов Е. М.* Исследование ледовой ходкости ледокола «Санкт-Петербург» в Карском море / Е. М. Апполонов, В. А. Беляшов, К. Е. Сазонов [и др.] // Судостроение. — 2011. — № 4. — С. 9–12.

5. *Лопашев К. А.* Ледовые натурные испытания ледокола «Новороссийск» в Карском море / К. А. Лопашев, К. Е. Сазонов, О. Я. Тимофеев // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2017. — № 3 (381). — С. 35–42. DOI: 10.24937/2542-2324-2017-3-381-35-42.

6. *Goerlandt F.* An analysis of ship escort and convoy operations in ice conditions / F. Goerlandt, J. Montewka, W. Zhang, P. Kujala // Safety science. — 2017. — Vol. 95. — Pp. 198–209. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.01.004.

7. *Ольховик Е. О.* Информационная модель морских транспортных потоков Северного морского пути / Е. О. Ольховик, А. Б. Афонин, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 1. — С. 97–105. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-97-105.

8. *Ольховик Е. О.* Анализ скоростных режимов СПГ-танкеров в акватории Северного морского пути в период зимней навигации 2017 – 2018 гг. / Е. О. Ольховик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 300–308. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-300-308.

9. Администрация Северного морского пути. Карты ледовой обстановки. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.nsra.ru/ru/navigatsionnaya_i_gidrometinformatsiya/chart_ice_kara_sea.html (дата обращения: 01.07.2018).

10. Генерализованные карты состояния ледяного покрова в арктических и замерзающих морях России и Гренландского моря. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.aari.ru/odata/_d0004.php?mod=0&m=Kar (дата обращения: 01.07.2018).

11. National Snow and Ice Data Center (NSIDC). Arctic Sea Ice News & Analysis. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://nsidc.org/arcticseaicenews/ (дата обращения: 01.07.2018).

12. *Думанская И. О.* Ледовые условия морей европейской части России / И. О. Думанская. — М.: Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2014. — 605 с.

13. *Jones S. J.* Ships in ice-a review / S. J. Jones // 25th Symposium on Naval Hydrodynamics. — St. John's, Newfoundland and Labrador, Canada, 2004.

14. *Jansson J-E.* Ice-breakers and their design, Pt.I / J-E. Jansson // European Shipbuilding. — 1956. — No. 5. — Pp. 112–128.

15. *Jansson J-E.* Ice-breakers and their design, Pt.II / J-E. Jansson // European Shipbuilding. — 1956. — No. 6. — Pp. 143–151.

16. *Каштелян В. И.* Сопротивление льда движению судна / В. И. Каштелян, И. И. Позняк, А. Я. Рывлин. — Л.: Судостроение, 1968. — 238 с.

17. *Lewis J.W.* Methods for predicting icebreaking and ice resistance characteristics of icebreakers / J.W. Lewis, R.Y. Edwards // Trans. SNAME. — 1970. — Vol. 78. — Pp. 213–249.

18. *Кулеш В. А.* Ледовая сертификация судов на условия арктических категорий / В. А. Кулеш, С. В. Каленчук // Морские интеллектуальные технологии. — 2016. — Т. 1. — № 3 (33). — С. 52–56.

19. *Голиков В. В.* Определение ледопроходимости судов для плавания в неарктических морях / В. В. Голиков, П. А. Костенко, О. Н. Мазур // Судовые энергетические установки. — 2014. — № 33. — С. 183–190.

20. *Снопков В. И.* Управление судном / В. И. Снопков. — СПб.: Профессионал, 2004. — 536 с.

21. *Цой Л. Г.* Формула для определения ледопроходимости и рекомендации по выбору формы обводов корпуса ледоколов и транспортных судов ледового плавания / Л. Г. Цой // Перспективные типы морских транспортных судов, их мореходных и ледовых качеств: сб. науч. тр. ЦНИИМФ. — М: Транспорт, 1990. — С. 141–144.

22. *Löptien U.* Ice and AIS: ship speed data and sea ice forecasts in the Baltic Sea / U. Löptien, L. Axell // The Cryosphere. — 2014. — Vol. 8. — No. 6. — Pp. 2409–2418. DOI: 10.5194/tc-8-2409-2014.

REFERENCES

1. Sazonov, K.E. *Teoreticheskie osnovy plavaniya sudov vo l'dakh*. SPb.: TsNII im. akad. A.N. Krylova, 2010.

2. Kostylev, A.I. Razrabotka metodov rascheta parametrov sudov pri nestatsionarnom dvizhenii v ledovykh usloviyakh. Abstract of PhD diss. SPb.: FGUP «Krylovskii gosudarstvennyi nauchnyi tsentr», 2017.

3. Bokatova, E.A., and K.E. Sazonov. "Raschet skorosti dvizheniya sudna po ledyanomu kanalu v usloviyakh szhatiya pri chastichnom vzaimodeistvii bortov s ego kromkami." *Trudy TsNII im. akad. A.N. Krylova* 66(350) (2012): 43–46.

4. Appolonov, E.M., V.A. Belyashov, K.E. Sazonov, D.S. Skryabin, and E.V. Igoshin. "Investigation of ice performance of "SaintPetersburg" icebreaker in Kara sea." *Shipbuilding* 4 (2011): 9–12.

5. Lopashev, Kirill A., Kiril Ye. Sazonov, and Oleg Ya. Timofeev. "Full-scale ice trials of Novorossiysk ice-breaker in the Kara sea." *Transactions of the Krylov State Research Centre* 3(381) (2017): 35–42 DOI: 10.24937/2542-2324-2017-3-381-35-42.

6. Goerlandt, Floris, J. Montewka, W. Zhang, and P. Kujala. "An analysis of ship escort and convoy operations in ice conditions." *Safety science* 95 (2017): 198–209. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.01.004.

7. Olhovik, Evgeniy O., Andrej B. Afonin, and Aleksandr L. Tezikov. "Information model of maritime transport flows of the North sea route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.1 (2018): 97–105. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-97-105.

8. Ol'khovik, Evgeniy O. "Analysis of speed regime LNG-tankers in the Northern sea route in period of winter navigation 2017-18." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.2 (2018): 300–308. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-300-308.

9. Administratsiya Severnogo morskogo puti. Karty ledovoi obstanovki. Web. 1 July 2018 <http://www.nsra.ru/ru/navigatsionnaya_i_gidrometinformatsiya/chart_ice_kara_sea.html>.

10. Generalizovannye karty sostoyaniya ledyanogo pokrova v arkticheskikh i zamerzayushchikh moryakh Rossii i Grenlandskogo moray. Web. 1 July 2018 <http://www.aari.ru/odata/_d0004.php?mod=0&m=Kar>.

11. National Snow and Ice Data Center (NSIDC). Arctic Sea Ice News & Analysis. Web. 1 July 2018 <https://nsidc.org/arcticseaicenews/>.

12. Dumanskaya, I.O. *Ledovye usloviya morei evropeiskoi chasti Rossii*. M.; Obninsk: IG-SOTsIN, 2014.

13. Jones, Stephen J. "Ships In Ice - A Review." *25th Symposium on Naval Hydrodynamics*. St. John's, Newfoundland and Labrador, Canada, 2004.

14. Jansson, J-E. "Ice-breakers and their design, Pt.I." *European Shipbuilding* 5 (1956): 112–128.

15. Jansson, J-E. "Ice-breakers and their design, Pt.II." *European Shipbuilding* 6 (1956): 143–151.

16. Kashtelyan, V.I., I.I. Poznyak, and A.Ya. Ryvlin. *Soprotivlenie l'da dvizheniyu sudna*. L.: Sudostroenie, 1968.

17. Lewis, Jack W., and Roderick Y. Edwards Jr. "Methods for predicting icebreaking and ice resistance characteristics of icebreakers." *Trans. SNAME* 78 (1970): 213–249.

18. Kulesh, V.A., and S.V. Kalenchuk. "Ledovaya sertifikatsiya sudov na usloviya arkticheskikh kategorii." *Morskie intellektual'nye tekhnologii* 1.3(33) (2016): 52–56.

19. Golikov, V.V., P.A. Kostenko, and O.N. Mazur. "Opredelenie ledoprokhodimosti sudov dlya plavaniya v nearkticheskikh moryakh." *Sudovye energeticheskie ustanovki* 33 (2014): 183–190.

20. Snopkov, V.I. *Upravlenie sudnom*. SPb.: Professional, 2004.

21. Tsoi, L.G. "Formula dlya opredeleniya ledoprokhodimosti i rekomendatsii po vyboru formy obvodov korpusa ledokolov i transportnykh sudov ledovogo plavaniya." *Perspektivnye tipy morskikh transportnykh sudov, ikh morekhodnykh i ledovykh kachestv: sb. nauch. tr. TsNIIMF.* M: Transport, 1990. 141–144.

22. Löptien, Ulrike, and Lars Axell. "Ice and AIS: ship speed data and sea ice forecasts in the Baltic Sea." *The Cryosphere* 8.6 (2014): 2409–2418. DOI: 10.5194/tc-8-2409-2014.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ольховик Евгений Олегович —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: *olhovikeo@gumrf.ru*

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ol'khovik, Evgeniy O. —
PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: *olhovikeo@gumrf.ru*

Статья поступила в редакцию 16 июля 2018 г.
Received: July 16, 2018.