

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-3-405-81-88

УДК 629.5.018.75:629.561.5

EDN: MLJLOQ

А.А. Добродеев^{1, 2} , К.Е. Сазонов^{1, 2} 

¹ ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», Санкт-Петербург, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ДИАГРАММ ЛЕДОВОЙ ХОДКОСТИ СУДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Объект и цель научной работы. Объектом исследования является методика обработки данных натуральных ледовых испытаний ледоколов и судов ледового плавания. Основные цели – демонстрация и обоснование дополнительных возможностей, которые открываются в процессе использования при анализе натуральных данных диаграмм ледовой ходкости судов.

Материалы и методы. Материалами являются данные натуральных ледовых испытаний ледоколов и судов, а также диаграммы ледовой ходкости, построенные на основании проведения модельных испытаний в гидродинамическом и ледовом опытовых бассейнах.

Основные результаты. Показано, что использование диаграмм ледовой ходкости позволяет повысить эффективность процесса обработки данных натуральных испытаний, а также проводить их в ледяном поле одной толщины вместо обычно требуемых как минимум двух.

Заключение. Предложена новая методика обработки данных натуральных испытаний судов во льдах, позволяющая существенно расширить объем информации, получаемой в ходе выполнения экспериментов. Методика основана на использовании диаграмм ледовой ходкости судов, построение которых базируется на результатах модельных испытаний в гидродинамическом и ледовом опытовых бассейнах.

Ключевые слова: судно, ледокол, натурные ледовые испытания, ледопроеходимость, диаграмма ледовой ходкости, прочность и толщина льда, скорость, мощность.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-3-405-81-88

UDC 629.5.018.75:629.561.5

EDN: MLJLOQ

A.A. Dobrodeev^{1, 2} , K.E. Sazonov^{1, 2} 

¹ Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

ICE PROPULSION PERFORMANCE DIAGRAMS IN ANALYSIS OF FULL-SCALE SHIP TRIALS

Object and purpose of research. This paper discusses the procedure of full-scale ice trial data processing for icebreakers and ice-going ships. The purpose of the study was to demonstrate and justify additional capabilities offered by the consideration of full-scale ice propulsion performance diagrams in the analysis.

Materials and methods. The study relies on the results of full-scale ice trials for icebreakers and ice-class ships, as well as on ice propulsion performance diagrams yielded by the model tests in Krylov State Research Centre Hydrodynamic Test Tank and Ice Basin.

Main results. The study demonstrates that consideration of ice propulsion performance diagrams increases the efficiency of full-scale trial data processing, also making it possible to perform the tests in just one ice thickness, instead of at least two typically required.

Для цитирования: Добродеев А.А., Сазонов К.Е. Применение диаграмм ледовой ходкости судов для анализа натуральных испытаний. Труды Крыловского государственного научного центра. 2023; 3(405): 81–88.

For citations: Dobrodeev A.A., Sazonov K.E. Ice propulsion performance diagrams in analysis of full-scale ship trials. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2023; 3(405): 81–88 (in Russian).

Conclusion. The new procedure of full-scale ice trial data processing for icebreakers and ice-going ships allows to significantly expand the amount of information obtained during the experiments. The methodology is based on the use of ice propulsion performance diagrams yielded by the model tests in Krylov State Research Centre Hydrodynamic Test Tank and Ice Basin.

Keywords: ship, icebreaker, full-scale ice trials, ice-breaking capability, ice propulsion performance diagram, ice strength and thickness, speed, power.

The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Натурные испытания являются завершающим этапом проектирования и строительства любого судна. Их основная цель – подтверждение спецификационных характеристик построенного судна. Не представляют исключения и ледоколы, и суда ледового плавания, для подтверждения ледовых качеств которых, прежде всего ледоходности, проводятся ледовые натурные испытания [1, 2 и др.].

Обычно исследование ледоходности судна в натуральных условиях заключается в построении зависимости $V=f(h_l)$, где V – скорость судна во льдах, h_l – толщина льда [3]. Как правило, указанная зависимость строится для случая использования 100 % мощности энергетической установки. Результаты сопоставления полученной по результатам натурных испытаний кривой ледоходности с ранее выполненным прогнозом является основой для решения о том, удовлетворяет ледоходность судна спецификации или нет.

Чтобы построить натурную кривую ледоходности, необходимо провести испытания судна в нескольких отличающихся толщиной ледяных полях (как минимум в двух), что оказывается не всегда возможным по гидрометеорологическим и ледовым условиям. В принципе, существуют скейлинговые соотношения, которые позволяют пересчитать результаты при меньшей мощности энергетической установки на 100 % [4]. Связь между толщиной преодолеваемого ледоколом льда и его мощностью в соответствии с этими соотношениями задается формулой:

$$\frac{h_{l1}}{h_{l2}} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^{\frac{2}{3} f(v)}, \quad (1)$$

где h_{l1} , h_{l2} – толщины ровного льда, преодолеваемого ледоколом при потреблении мощности N_1 и N_2 соответственно, а $f(v)$ – функция, учитывающая изменение тяги от скорости движения.

К сожалению, приведенная формула имеет ряд существенных ограничений, не позволяющих ее широко использовать. Формула дает приемлемые ре-

зультаты только для очень небольших скоростей движения (не более 1,5–2,0 уз), а также при относительно небольшой разнице в пересчитываемых мощностях (не более 20 %). Это обстоятельство не дает возможности учитывать при построении натурной кривой ледоходности результаты замеров, полученных при парциальных мощностях.

Недавно специалисты Крыловского государственного научного центра разработали диаграммы ледовой ходкости [5, 6], которые основываются на данных модельных испытаний ледоколов и судов ледового плавания в гидродинамическом и ледовом опытовых бассейнах. Полученные диаграммы фиксируют связь между основными показателями ходкости судна: мощностью, скоростью движения, частотой вращения движителей и тягой движительного комплекса. Указанные параметры соответствуют основному виду диаграммы ледовой ходкости.

При необходимости диаграмма может быть перестроена и для других значимых параметров. Например, в работе [6] приведен возможный ее вид, где вместо тяги движительного комплекса указана толщина льда, преодолеваемого судном. Использование этих диаграмм позволяет предложить другую методику обработки данных натурального эксперимента, а также снизить объем выполняемых при натурных испытаниях измерений. Описанию методики использования таких диаграмм при анализе результатов натурных испытаний посвящена данная статья.

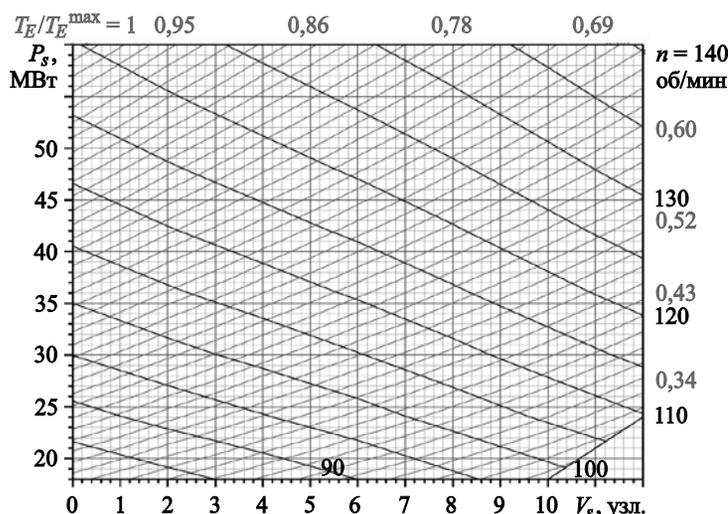
Общая схема использования диаграммы

General scheme of the diagram application

Наиболее просто диаграммы ледовой ходкости (рис. 1) можно использовать в том случае, когда данные натурального эксперимента не требуют внесения поправок (например, на несовпадение прочности ледяного покрова и прочности, заданной спецификацией судна), или когда измеренные значения частоты вращения движителей искажены постоянным взаимодействием со льдом. Возможные способы учета этих факторов рассмотрены ниже.

Рис. 1. Диаграмма тяговых характеристик ледокола проекта 22220 (глубокая вода). Тяга и мощность суммарные, частота вращения – для бортовых винтов

Fig. 1. Thrust performance diagram for Project 22220 icebreaker: deep water. Thrust and power are given as total values; RPM is given for side propellers only



Традиционная схема проведения натурных испытаний по ледовой ходкости заключается в следующем. После нахождения подходящего полигона припайного льда в нем проводят испытания судна, движущегося прямым курсом носом вперед. При этом энергетическая установка работает на парциальных режимах kN , где k – некий процент от полной мощности N . Обычно $k \in (40; 100)\%$. При этом, как правило, по судовым приборам измеряют скорость движения судна, мощность и частоту вращения движителей. В результате для каждого значения парциальной мощности получают набор чисел, где индекс i означает номер парциального режима, а индекс j – номер движителя, причем только один набор соответствует требуемому значению 100 % мощности.

Диаграммы ледовой ходкости позволяют привести оставшиеся зарегистрированные значения параметров к значению 100 % мощности. Для большего удобства в использовании необходимо внести в ныне существующий вид диаграммы небольшие изменения. Сейчас для трехвального судна, например, строятся две диаграммы, на одной из которых приведены частоты вращения бортовых винтов, а на другой – среднего винта. При этом на обеих диаграммах нанесена суммарная тяга движительного комплекса и суммарная мощность, подводимая к движителям. Для анализа натурных испытаний удобнее иметь диаграммы, на которых тяга и мощность отнесены к каждому валу.

Процедура приведения заключается в следующем. Для каждого набора зарегистрированных значений по параметрам (V_i, N_{ij}) определяется тяга T_{Eij} ,

развиваемая каждым валом. Контроль осуществляется по зарегистрированной частоте вращения движителей, которая не должна отличаться от указанной в диаграмме больше, чем на 1–2 об/мин. Сумма $\sum_j T_{Eij}$ при установившемся движении судна равна

его полному ледовому сопротивлению R_{IT}^{meas} . По значению скорости V_i определяем величину тяги при 100 % мощности, которая также равна полному ледовому сопротивлению R_{IT}^{cal} . Для дальнейшего анализа от величин полного ледового сопротивления необходимо перейти к чистому ледовому сопротивлению R_I^{meas} и R_I^{cal} , исключив сопротивление воды. Методы расчета сопротивления воды описаны в работах [3, 7].

Хорошо известно, что чистое ледовое сопротивление связано с толщиной ледяного покрова следующей зависимостью [3, 4]:

$$\frac{R_I^{cal}}{R_I^{meas}} = \left(\frac{h_I^{cal}}{h_I^{meas}} \right)^x \Rightarrow h_I^{cal} = h_I^{meas} \left(\frac{R_I^{cal}}{R_I^{meas}} \right)^{\frac{1}{x}}, \quad (2)$$

где показатель степени зависит от скорости движения и задается формулой [3, 8]:

$$x = 1,5 - 0,4 \frac{V_i}{\sqrt{gh_I^{meas}}}. \quad (3)$$

Таким образом, используя описанную процедуру, получаем значение толщины льда, в которой судно могло бы двигаться со скоростью V_i , используя 100 % мощности.

Учет поправки на несовпадение измеренных и требуемых значений прочности льда на изгиб

Including the correction for discrepancies between measured and as-required values of ice bending strength

Наиболее просто поправку на несовпадение измеренных и требуемых значений прочности льда на изгиб можно ввести, используя данные о чистом ледовом сопротивлении.

Корректировка чистого ледового сопротивления в натуральных условиях может быть осуществлена теми же методами, что и при проведении модельного эксперимента. Здесь допустимо применять как российско-финский подход [3], так и методику немецких специалистов [8]. В соответствии с рекомендациями исследователей из Германии:

$$R_I^{corr} = mR_I^{meas}, \quad (4)$$

$$m = \frac{\frac{\sigma_f^{target}}{B_f} - 1}{\frac{\sigma_f^{meas}}{B_f} - 1}, \quad B_f = 2,3 + 2 \frac{V_i}{\sqrt{gh_I}}. \quad (5)$$

Обычно пересчет осуществляется для приведения измеренных значений к стандартной прочности

льда на изгиб, которая равна 500 кПа. В этом случае формула (5) упрощается:

$$m = \frac{1}{1 + \frac{500}{B_f}}. \quad (6)$$

После выполнения этой процедуры в формуле (2) вместо R_I^{meas} необходимо использовать R_I^{corr} .

Учет влияния уменьшения частоты вращения движителей

Including the effect of reduction in propeller revolution speed

Модельные и натурные эксперименты показывают, что для каждого судна, начиная с преодолеваемой им некоторой толщины льда, наблюдается практически постоянное взаимодействие движителей со льдом. Это приводит к снижению частоты вращения гребных винтов из-за постоянного действия на них дополнительного ледового момента сопротивления вращению. Можно предположить, что толщина льда, с которой фиксируется постоянное снижение частоты вращения, связана с величиной зазора между концом лопасти и обшивкой корпуса.

Этот случай наиболее сложный для анализа данных натурального эксперимента, т.к. возникает некоторая неопределенность в определении тяги дви-

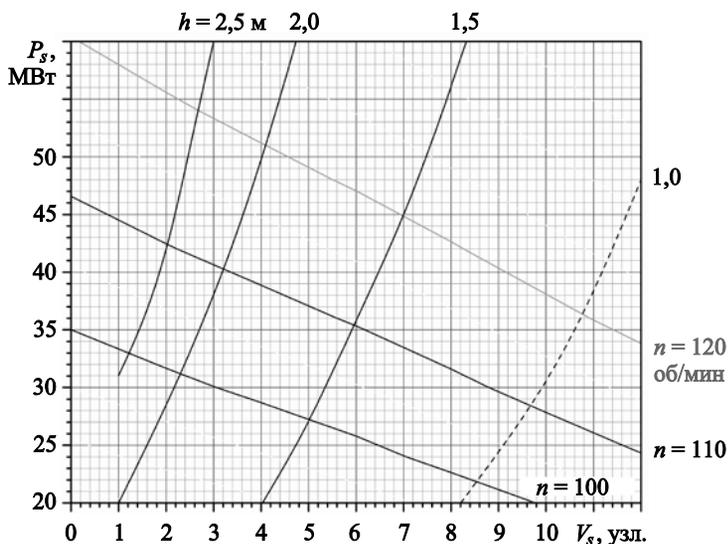


Рис. 2. Модифицированная диаграмма ледовой ходкости

Fig. 2. Modified ice propulsion performance diagram

жительного комплекса. Очевидно, что при снижении частоты вращения гребного винта уменьшается гидродинамическая составляющая тяги. Однако при активных процессах фрезерования льда может наблюдаться «ледовая» тяга, величину которой достаточно трудно определить.

Для определения тяги движительного комплекса в рассматриваемом случае удобно использовать одну из возможных модификаций диаграммы ледовой ходкости, а именно диаграмму (рис. 2), на которой вместо тяги приведена толщина преодолеваемого судном льда [6]. Если в процессе замера параметров движения судна при заданном уровне мощности толщина ледяного покрова существенно не меняется, то точка, отвечающая заданным условиям, должна лежать на кривой $h_l = \text{const}$. Этой точке будет соответствовать развиваемая движительным комплексом тяга (ледовое сопротивление) T_E^* , величину которой можно определить по диаграмме в ее исходной форме.

Необходимо отметить, что получаемые с помощью модифицированной диаграммы значения

тяги движительного комплекса относятся к прочности льда на изгиб, равной 500 кПа. Поэтому эти значения не нуждаются в дополнительной корректировке по прочности льда. Далее применяется описанная выше процедура (2).

Пример использования методики

Example of the procedure application

В качестве примера использования методики рассмотрим обработку некоторых результатов натуральных испытаний атомного ледокола «Сибирь» проекта 22220 [9], которые были выполнены в юго-восточной части Карского моря. Толщина бесснежного ледяного покрова составляла 1,8 м, а его прочность на изгиб – 283 кПа. Результаты испытаний и их обработка представлены в таблице.

Первые четыре строки таблицы представляют собой параметры движения ледокола, измеренные во время проведения натуральных испытаний. Частота вращения гребных винтов (строка 4) существенно

Таблица. Обработка данных испытаний атомного ледокола «Сибирь»

Table. Processing of ice trial data results: *Sibir* icebreaker

| № | Характеристика | ЛВ | Ср. В | ПВ | ЛВ | Ср. В | ПВ |
|----|--|------|-------|------|-------|-------|-------|
| 1 | Установочная мощность ЭУ, % | 60 | | | 80 | | |
| 2 | Скорость, уз | 4,6 | | | 5,8 | | |
| 3 | Измеренная мощность на ГЭД, МВт | 12,2 | 12,2 | 11,4 | 16,0 | 16,3 | 16,0 |
| 4 | Измеренная частота вращения валов, об/мин | 100 | 103,5 | 97,3 | 108,2 | 117 | 108,2 |
| 5 | Кажущаяся мощность, определенная по частоте вращения, МВт | 9,3 | 11,0 | 9,0 | 12,0 | 13,0 | 12,0 |
| 6 | Тяга, определенная по измеренной мощности, кН | 3500 | | | 4200 | | |
| 7 | Тяга, определенная по кажущейся мощности, кН | 2900 | | | 3300 | | |
| 8 | Пересчитанная на изменение прочности тяга, определенная по измеренной мощности, кН | 4025 | | | 4830 | | |
| 9 | Пересчитанная на изменение прочности тяга, определенная по кажущейся мощности, кН | 3335 | | | 3795 | | |
| 10 | Тяга, определенная по модифицированной диаграмме, кН | 3800 | | | 4450 | | |
| 11 | Толщина льда, в которой ледокол мог двигаться с зарегистрированной скоростью при использовании 100 % ЭУ, м | 2,27 | | | 1,95 | | |

Здесь: ЭУ – энергетическая установка; ГЭД – главный электродвигатель.



Рис. 3. Результаты обработки данных
 Fig. 3. Data processing results

отличается от частоты вращения, которую предсказывает диаграмма ледовой ходкости (рис. 1) для зарегистрированных значений мощности и скорости движения. Это означает, что во время проведения испытаний гребные винты ледокола постоянно взаимодействовали со льдом, что привело к снижению частоты их вращения.

В строке 5 приведена кажущаяся мощность ГЭД, т.е. такая мощность, при которой при заданной скорости движения гребные винты вращались бы с наблюдаемой частотой. Строки 6 и 7 показывают величину тяги движительного комплекса при использовании измеренной и кажущейся мощностей. В строках 8 и 9 приведены те же значения тяги, пересчитанные на величину прочности льда на изгиб, равную 500 кПа (6). Очевидно, что приведенные значения тяги имеют существенные различия и из их анализа невозможно определить реальную величину тяги движительного комплекса. Для нахождения реального значения тяги необходимо воспользоваться модифицированной диаграммой ледовой ходкости (рис. 2).

Как уже отмечалось выше, при постоянной толщине ледяного покрова искомое значение должно находиться на кривой $h_I = \text{const}$. По известному значению скорости движения ледокола по модифицированной диаграмме определяется значение мощности N^* , которое соответствует реальной тяге движительного комплекса. По этому значению мощности и величине скорости движения с обычной диаграммы ледовой ходкости (рис. 1) определяется реальное значение тяги. Это значение затем используется для расчета толщины льда, в которой

ледокол мог бы двигаться с зарегистрированной скоростью, используя 100 % мощности (2).

Результаты обработки представлены на рис. 3.

Обсуждение полученных результатов

Discussion of results

Изложенная в данной работе методика обработки данных натурных испытаний судов во льдах существенно расширяет возможность получения важной для их проектирования и эксплуатации информации.

Основным достоинством методики является возможность использования данных по показателям ледовой ходкости судов, полученных при частичных значениях мощности энергетической установки, для построения натурной кривой ледопроеходимости, которая соответствует 100% использованию мощности. Этот выигрыш достигается благодаря использованию диаграмм ледовой ходкости судов, построение которых осуществляется на основании стандартных испытаний моделей в гидродинамическом и ледовом бассейнах.

Представленная методика открывает возможность для регистрации и последующего анализа среднего ледового момента и упора на гребном винте при его взаимодействии со льдом. В самом деле, в случае, когда зарегистрированная частота вращения меньше расчетной по гидродинамическим испытаниям, мы можем зафиксировать два значения мощности: измеренная мощность (по судовым приборам) N^{meas} и кажущаяся мощность N^* . Кажущаяся мощность определяется по диаграммам ледовой ходкости по измеренной частоте вращения винта n^{meas} . Тогда можно записать очевидные соотношения:

$$N^{meas} = (M_{hyd} + M_I) n^{meas}, \quad (7)$$

$$N^* = M_{hyd} n^{meas}, \quad (8)$$

где M_{hyd} , M_I – гидродинамический и ледовый моменты на гребном винте соответственно.

Комбинируя выражения (7) и (8), можно получить формулу для определения ледового момента:

$$M_I = \frac{N^{meas} - N^*}{n^{meas}}. \quad (9)$$

Ледовая тяга гребного винта T_{EI} также легко определяется с помощью диаграмм ледовой ходкости:

$$T_{EI} = T_E^* - T_E(n^{meas}). \quad (10)$$

Необходимо отметить, что для вычисления ледовых момента и тяги по формулам (9) и (10) не требуется организации специальных измерений на валопинии судна. Все необходимые для расчета данные можно получить на основании показаний штатных судовых приборов. Это обстоятельство открывает возможность планомерного изучения указанных характеристик движителя.

При использовании описанной методики в случае существенного отклонения зафиксированной частоты вращения движителей от гидродинамического предсказания необходимо учитывать, что использование модифицированной диаграммы ледовой ходкости может быть источником некоторой погрешности.

Дело в том, что положение линий $h_l = \text{const}$ на этой диаграмме нанесено на основании пересчета на натурные условия результатов модельных испытаний в ледовом бассейне. Эти данные могут, скорее всего, незначительно отличаться от реального натурального ледового сопротивления судна. Данное различие может быть источником некоторой ошибки при обработке данных натурального эксперимента. Этот вопрос требует дальнейшего изучения и уточнения.

Выводы

Conclusion

Разработана новая методика обработки данных натурных испытаний судов во льдах, позволяющая существенно расширить объем информации, получаемой в ходе выполнения этих экспериментов. Методика основана на использовании диаграмм ледовой ходкости судов, построение которых базируется на результатах модельных испытаний в гидродинамическом и ледовом опытовых бассейнах. Предложенная методика позволяет получать необходимое количество данных для построения натурной кривой ледопроеходимости даже при проведении испытаний судна в одном поле ровного льда постоянной толщины.

Описанная в работе методика позволяет определять величины ледовых момента и тяги на гребном винте на основании показаний только судовых приборов, что открывает новые возможности для изучения этих важных характеристик ледовой ходкости.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00039 «Теоретические основы и прикладные инструменты для создания системы интеллектуального планирования работы флота и поддержки принятия решений в арктиче-

ском судоходстве». Авторы выражают благодарность д.т.н. Г.И. Каневскому и А.М. Клубничкину за построение диаграмм ледовой ходкости судна.

Список использованной литературы

1. 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.
2. Ледовые натурные испытания ледокола «Владивосток» / *А.И. Костылев, К.Е. Сазонов, О.Я. Тимофеев* [и др.] // Судостроение. 2016. № 6. С. 9–12.
3. *Сазонов К.Е.* Модельный и натурный эксперимент в морской ледотехнике. Санкт-Петербург : ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2021. 306 с.
4. *Сазонов К.Е.* Скейлинговые соотношения в ледовой ходкости судов / *Морской вестник*. 2010. № 3(35). С. 104–105.
5. *Каневский Г.И., Клубничкин А.М., Сазонов К.Е.* Прогнозирование характеристик ходкости многовальных судов. Санкт-Петербург : ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2019. 160 с.
6. *Каневский Г.И., Клубничкин А.М., Сазонов К.Е.* Диаграммы ледовой ходкости судна // *Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2022. Т. 14, № 6. С. 805–814. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-805-814.
7. *Сазонов К.Е., Каневский Г.И., Лобачев М.П.* Влияние сопротивления воды на прогноз ледового сопротивления судна по данным буксировочных испытаний в ледовом бассейне // *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2021. Вып. 4(398). С. 43–52. DOI: 10.24937/2542-2324-2021-4-398-43-52.
8. *Reimer N., Schröder C.* Ice trial correction methods for an Arc 7 LNG Carrier. Hamburg, 2015. 27 p. (HSVA Report ; No. AT 591/15).
9. Ледовые натурные испытания атомных ледоколов «Арктика» и «Сибирь» / *Е.А. Бокатова, А.А. Добродеев, К.Е. Сазонов, Бабич Е.М., Крутина Н.А.* // *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2023. Вып. 3(405). С. 71–80. DOI: 10.24937/2542-2324-2023-3-405-71-80.

References

1. Investigation of ice propulsion performance of Sankt-Peterburg icebreaker in the Kara Sea / *E.M. Appolonov, V.A. Belyashov, K.E. Sazonov* [et al.] // *Sudostroenie (Shipbuilding)*. 2011. No. 4. P. 9–12 (in Russian).
2. Full-scale ice trials of Vladivostok icebreaker / *A.I. Kostylev, K.E. Sazonov, O.Ya. Timofeev* [et al.] // *Sudostroyeniye (Shipbuilding)*. 2016. No. 6. P. 9–12 (in Russian).

3. *Sazonov K.E.* Model and full-scale experiment in marine ice engineering. St. Petersburg : Krylov State Research Centre, 2021. 306 p. (in Russian).
4. *Sazonov K.E.* Scaling relationships in ice propulsion performance of ships // *Morskoy Vestnik (Maritime Messenger)*. 2010. No. 3(35). P. 104–105 (in Russian).
5. *Kanevsky G.I., Klubnichkin A.M., Sazonov K.E.* Propulsion predictions for multi-shafters. St. Petersburg : Krylov State Research Centre, 2019. 160 p. (in Russian).
6. *Kanevsky G.I., Klubnichkin A.M., Sazonov K.E.* Ice propulsion performance diagrams for ships // *Bulletin of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping*. 2022. Vol. 14, No. 6. P. 805–814. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-805-814 (in Russian).
7. *Sazonov K.E., Kanevsky G.I., Lobachev M.P.* Hydrodynamic resistance effect upon ice resistance estimates as per the results of towing tests in Ice Basin // *Transactions of Krylov State Research Centre*. 2021. Vol. 4(398). P. 43–52. DOI: 10.24937/2542-2324-2021-4-398-43-52 (in Russian).
8. *Reimer N., Schröder C.* Ice trial correction methods for an Arc 7 LNG Carrier. Hamburg, 2015. 27 p. (HSVA Report ; No. AT 591/15).
9. Full-scale ice trials of Arktika and Sibir nuclear icebreakers / *E.A. Bokatova, A.A. Dobrodeev, K.E. Sazonov, E.M. Babich, N.A. Krupina* // *Transactions of Krylov State Research Centre*. 2023. Vol. 3(405). P. 71–80. DOI: 10.24937/2542-2324-2023-3-405-71-80 (in Russian).

Сведения об авторах

Добродеев Алексей Алексеевич, к.т.н., заместитель начальника лаборатории – начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр»; доцент ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 386-69-78. E-mail: A_Dobrodeev@ksrc.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6305-5090>.

Сазонов Кирилл Евгеньевич, д.т.н., начальник лаборатории ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-45-23. E-mail: kirsaz@rambler.ru. <https://orcid.org/0000-0003-3364-1309>.

About the authors

Aleksey A. Dobrodeev, Cand. Sci. (Eng.), Head of Sector, Krylov State Research Centre, Associate Professor St. Petersburg State Marine Technical University. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 386-69-78. E-mail: A_Dobrodeev@ksrc.ru. <https://orcid.org/0000-0001-6305-5090>.

Kirill E. Sazonov, Dr. Sci. (Eng.), Head of Laboratory, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-45-23. E-mail: kirsaz@rambler.ru. <https://orcid.org/0000-0003-3364-1309>.

Поступила / Received: 03.07.23
Принята в печать / Accepted: 31.08.23
© Добродеев А.А., Сазонов К.Е., 2023