

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-805-814

THE DIAGRAMS OF SHIPS ICE PROPULSIVE QUALITY

G. I. Kanevskii¹, A. M. Klubnichkin¹, K. E. Sazonov^{1,2}

¹ — Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russian Federation

² — St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russian Federation

The diagrams of ships ice propulsive quality allowing to determine all relevant parameters (power consumption, propeller RPM, movement speed and propulsion thrust) are described in the paper. These diagrams can be used to calculate above-mentioned ice propulsive quality parameters for the scenarios of high loads on propulsion system at low advance coefficients, like ice navigation and towing operations. It is pointed out that previously this calculation was impossible because of wake fractions tend to “minus infinity”. To overcome this challenge, an alternative (mooring) system of interaction coefficients briefly presented in this paper and enabling all required calculations, is developed and applied. The results of these calculations are presented in the form of ice propulsive quality diagrams that clearly and conveniently display the entire volume of the calculation data. It has been shown that ice propulsive quality diagrams can be easily added with the environmental data for usability. In the diagram given in this paper, the environmental parameter is the thickness of ice that the ship has to overcome. The possible practical applications for these diagrams, for instance ice resistance assessment during full-scale trials, are discussed in the paper. It is highlighted that the data contained in the ice propulsive quality diagrams are approximate. The possibility of using other environmental parameters is also discussed in the paper.

Keywords: icebreaker, ice-class ship, interaction coefficients, ice resistance, wake fraction.

For citation:

Kanevskii, Grigorii I., Alexandr M. Klubnichkin, and Kirill E. Sazonov. “The diagrams of ships ice propulsive quality.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.6 (2022): 805–814. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-805-814.

УДК 623.828:532.5

ДИАГРАММЫ ЛЕДОВОЙ ХОДКОСТИ СУДНА

Г. И. Каневский¹, А. М. Клубничкин¹, К. Е. Сазонов^{1,2}

¹ — ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Государственный морской технический университет», Санкт-Петербург, Российская Федерация

В работе описаны диаграммы ледовой ходкости судов, позволяющие определять все характеристики ходкости судна (потребляемую мощность, частоту вращения движителей, скорость движения и тягу движительного комплекса). Показано, что особенностью этих диаграмм является возможность расчета указанных ходовых характеристик для случаев движения судна, характеризующихся большой нагрузкой на движительный комплекс при малых значениях поступи (движение судов во льдах, буксиры). Отмечается, что ранее такой расчет выполнить было невозможно из-за стремящихся к минус бесконечности значений коэффициента попутного потока. Для преодоления указанной трудности была использована разработанная в ходе проведения исследования альтернативная (швартовная) система коэффициентов взаимодействия, кратко представленная в работе, которая позволяет проводить все необходимые расчеты. Для представления результатов таких расчетов были разработаны диаграммы ледовой ходкости судов, наглядно и в удобной форме представить весь массив расчетных данных. В работе показано, что указанные диаграммы могут быть легко изменены для внесения в них параметров внешней среды для удобства использования. В работе приведена диаграмма, на которой в качестве параметра среды представлена толщина ледяного покрова, преодолеваемого судном. Рассмотрены возможные приложения указанных диаграмм для практического использования, например, для оценки ледового сопротивления

судна при проведении натурных испытаний. Отмечается приближенный характер информации, содержащейся в диаграммах. Также обсуждается возможность использования других параметров внешней среды.

Ключевые слова: ледокол, судно ледового плавания, коэффициенты взаимодействия, ледовое сопротивление, коэффициент попутного потока.

Для цитирования:

Каневский Г. И. Диаграммы ледовой ходкости судна / Г. И. Каневский, А. М. Клубничкин, К. Е. Сазонов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 6. — С. 805–814. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-805-814.

Введение (Introduction)

Ходовые характеристики судна на чистой воде определяются двумя факторами: сопротивлением воды движению и тяговыми характеристиками движительного комплекса. При проектировании такого судна указанные характеристики обычно определяют для нескольких режимов движения, например, движения полным ходом или режима движения «порт». Результаты традиционных модельных испытаний [1] позволяют определить для этих режимов все показатели ходкости: потребляемую мощность, частоту вращения движителей и их тягу, скорость движения. Этих данных обычно достаточно не только для обеспечения процесса проектирования, но и для решения различных эксплуатационных задач.

Ледовая ходкость судна также определяется двумя факторами: полным ледовым сопротивлением, включающим сопротивление воды, и тягой движителей. Особенность движения судна во льдах заключается в том, что оно осуществляется при относительно низкой, по сравнению с чистой водой, скорости движения. Кроме этого, ледовое плавание возможно лишь при более высоком уровне потребляемой мощности, что приводит к возрастанию частоты вращения движителей. По указанным причинам диапазон изменения поступи J движителей при движении в ледовых условиях обычно находится в пределах $J \leq 0,3$.

Данное обстоятельство приводит к тому, что традиционными методами расчетов определить характеристики ходкости судна во льдах не представляется возможным. Тяговое усилие и другие характеристики, развиваемые движительным комплексом, могут быть легко определены расчетным и экспериментальным путем только для швартовного режима. Необходимо отметить, что определяющим здесь является не наличие льда, а относительно малые значения поступи. Можно указать ряд специализированных судов, эксплуатируемых исключительно в условиях чистой воды, которые периодически оказываются в таких эксплуатационных условиях. Это, в первую очередь, буксиры, траулеры и некоторые суда технического флота.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Невозможность расчета характеристик ходкости при малых значениях поступи связана с тем, что для большинства судов в этих условиях коэффициент попутного потока w становится отрицательным. В качестве примера на рис. 1 приведены коэффициенты взаимодействия движителя с корпусом для канадского ледокола класса «R» [2], имеющего традиционный движительный комплекс, и одного из современных буксиров, оборудованного винто-рулевыми колонками. На рисунке хорошо видны области отрицательных значений коэффициента попутного потока.

Следует отметить, что для буксира при любых значениях коэффициента нагрузки движителя по тяге коэффициент попутного потока отрицательный:

$$K_{DE} = DV \sqrt{\frac{\rho_w}{T_E}} = \frac{J}{\sqrt{K_E}}, \quad (1)$$

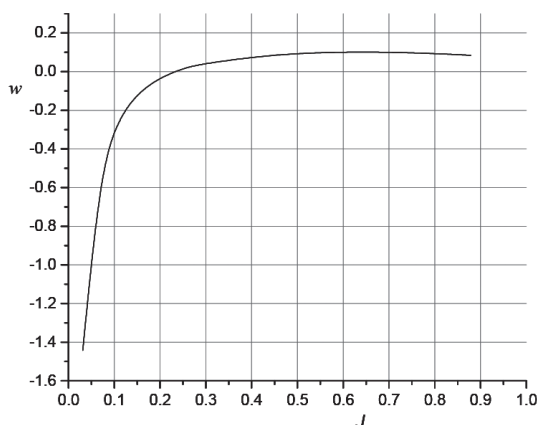
где D — диаметр движителя;

V — скорость движения судна;

ρ_w — плотность воды;

T_E — тяга.

а)



б)

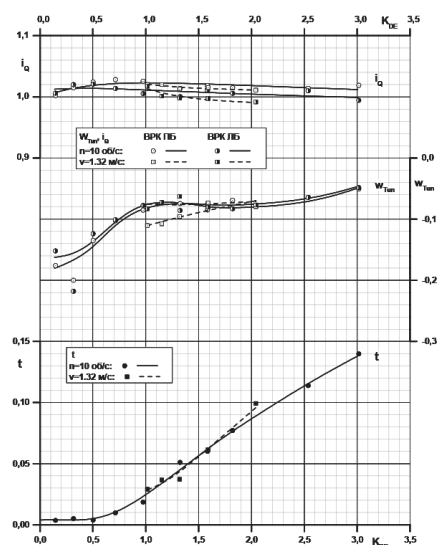


Рис. 1. Зависимость коэффициента попутного потока от поступи для ледокола класса «R» (а) и коэффициентов взаимодействия современного буксира (б)

Поэтому для определения тяги ледоколов и судов ледового плавания при движении в ледовых условиях, которое характеризуется небольшими значениями поступи, применялись различные аппроксимационные формулы. Например, в работе [3] тяга аппроксимирована квадратичной параболой:

$$T_E = T_E^{boll} \left[1 - \frac{1}{3} \frac{V_S}{V_{ow}} - \frac{2}{3} \left(\frac{V_S}{V_{ow}} \right)^2 \right]. \quad (2)$$

Здесь T_E^{boll} — тяга движительного комплекса на швартовном режиме;

V_{ow} — максимальная скорость хода судна на чистой воде при заданном уровне мощности.

Аналогичные формулы используются также зарубежными авторами [4].

Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время традиционные подходы позволяют достоверно оценивать только предельную ледопроемкость ледоколов и судов ледового плавания, т. е. максимальную толщину ледового поля, в котором судно может непрерывно двигаться при заданной мощности главных двигателей. При этом отсутствует информация о характеристиках ледовой ходкости, т. е. нет возможности прогнозировать упор, момент, частоту вращения движителей и эффективность гребных винтов в широком диапазоне режимов движения судов во льдах.

Решение этой задачи недавно было получено специалистами Крыловского государственного научного центра (далее — КГНЦ) с использованием альтернативной (швартовной) системы коэффициентов взаимодействия движителя с корпусом судна [5]. В указанной работе подробно описана альтернативная система коэффициентов взаимодействия, а также алгоритмы расчетов ходовых характеристик ледоколов и судов ледового плавания, включая определения тяги движительного комплекса в широком диапазоне скоростей, характерных для движения в ледовых условиях. В данной работе основное внимание уделяется описанию методов построения диаграмм ледовой ходкости, которые могут быть полезными в процессе эксплуатации указанных типов судов.

В качестве примера для иллюстрации новых методов, позволяющих рассчитать характеристики ходкости во льдах, был выбран ледокол пр. 21900М типа «Владивосток», построенный в 2016 г. на ПАО «Выборгский судостроительный завод» для ФГУП «Росморпорт». Ледокол в основном предназначен для эксплуатации в неарктических морях России (Балтийском море и др.) и имеет ледовый класс Российского морского регистра судоходства Icebreaker 6. Ледокол оборудован двумя винто-рулевыми колонками производства финской компании STEERPROP, мощностью по 9 МВт каждая.

Большой объем экспериментальных данных, полученных во время проведения модельных испытаний, выполненных в КГНЦ в гидродинамическом и ледовом бассейнах, а также результаты натурных испытаний в ледовых условиях, позволили не только определить все ходовые характеристики ледокола, но и разработать форму представления результатов. По мнению авторов исследования, разработанные ими диаграммы параметров ходкости, а также их модификации могут быть полезны для судоводителей и разработчиков новой морской техники.

Коэффициенты взаимодействия движителя с корпусом, используемые в швартовной схеме, определяются на основании традиционно получаемых экспериментальных данных из гидродинамического бассейна. Значения коэффициентов по опытным данным вычисляются при заданном постоянном значении поступи движителя J . Для этого с экспериментальных графиков снимаются значения коэффициентов упора и момента движителя в «свободной воде» — K_{T_0}, K_{Q_0} и за корпусом модели K_T, K_Q , а также коэффициент тяги K_E . Коэффициенты взаимодействия задаются следующими выражениями:

– коэффициент влияния корпуса на упор определяется в виде

$$i_{TB} = \frac{K_T(J)}{K_{T_0}(J)}; \quad (3)$$

– коэффициент влияния корпуса на момент —

$$i_{QB} = \frac{K_Q(J)}{K_{Q_0}(J)}; \quad (4)$$

– коэффициент засасывания —

$$t = 1 - \frac{K_E(J)}{K_T(J)}. \quad (5)$$

При этом определение коэффициента засасывания винта не отличается от традиционного. На рис. 2 представлены значения коэффициентов взаимодействия, определенные по швартовной схеме для ледокола типа «Владивосток» в функции от коэффициента нагрузки движителя по тяге.

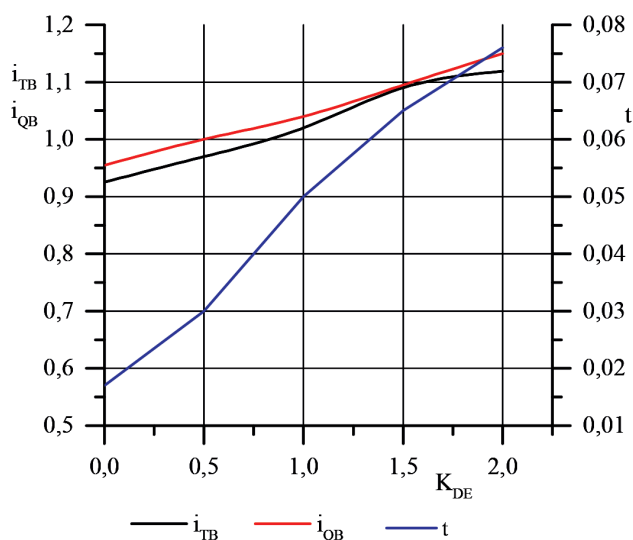


Рис. 2. Швартовная система коэффициентов взаимодействия винторулевых колонок ледокола с корпусом ледокола «Владивосток»

Коэффициенты взаимодействия, заданные формулами (3)–(5), позволяют полностью выполнить расчеты всех характеристик ходкости для любого режима движения судна. Необходимо отметить, что использование этих коэффициентов требует применения нетрадиционных расчетных схем, которые подробно описаны в монографии [5].

При проведении расчетов ходкости во льдах необходимо знать ледовое сопротивление судна. Традиционно это сопротивление определяется экспериментальным [6] или расчетным путем [7]. Для выбранного в качестве примера ледокола были использованы экспериментальные данные, полученные в ледовом бассейне КГНЦ.

Результаты (Results)

После выполнения расчетов характеристик ходкости ледокола авторами предлагаемого исследования была найдена удобная форма представления полученных результатов в виде диаграммы, приведенной на рис. 3. Как следует из рисунка, на диаграмме отражена взаимосвязь четырех важнейших показателей ледовой ходкости ледокола: потребляемой мощности, скорости движения, частоты вращения движителей и тяги. Вход в диаграмму возможен любой парой из перечисленных показателей. Обычно судоводитель имеет информацию о потребляемой мощности, частоте вращения движителей и скорости движения. Содержащаяся в расчете информация может быть использована для контроля. Так, отклонение частоты вращения движителей может свидетельствовать о повышенной частоте взаимодействия гребных винтов со льдом.

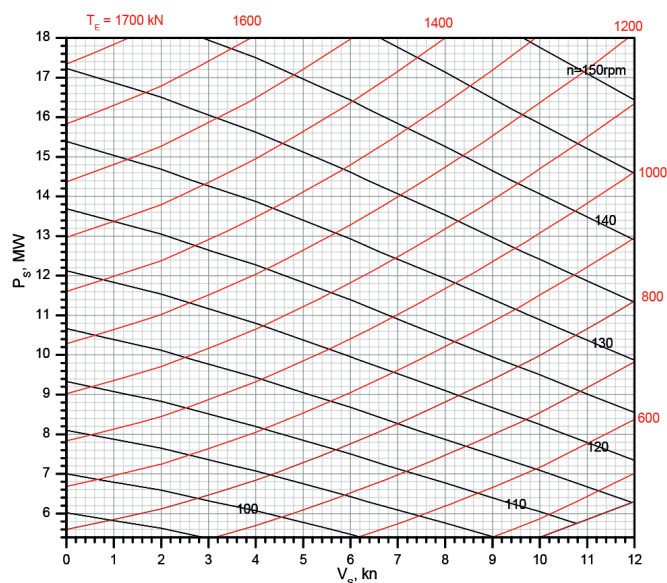


Диаграмма тяговых характеристик ледокола 21900М

Рис. 3. Диаграмма характеристик ходкости ледокола типа «Владивосток»

Опыт использования диаграммы, аналогичной приведенной на рис. 3, построенной для нового атомного ледокола «Арктика», показал, что для судоводителей информация о тяге движительного комплекса не является актуальной. Поэтому диаграмма была несколько изменена. В качестве одного из параметров вместо значений тяги движительного комплекса на ней были отражены значения толщины ровного льда, преодолеваемой ледоколом.

Операция замены тяги движительного комплекса на толщину льда может быть легко выполнена, учитывая, что при установившемся движении тяга T_E равна полному ледовому сопротивлению $R_{\text{ТОТ}}$:

$$R_{\text{ТОТ}}(V, h_l, \sigma_f) = T_E(V), \quad (6)$$

где h_l — толщина ровного льда;

$\sigma_f = 500 \text{ кПа}$ — прочность льда на изгиб.

Измененная диаграмма приведена на рис. 4. Она обладает определенными преимуществами по сравнению с исходным вариантом. В частности, с ее помощью представляется возможным

не только легко прогнозировать скорость движения судна в заданных ледовых условиях, но и оценивать необходимую для этого мощность.

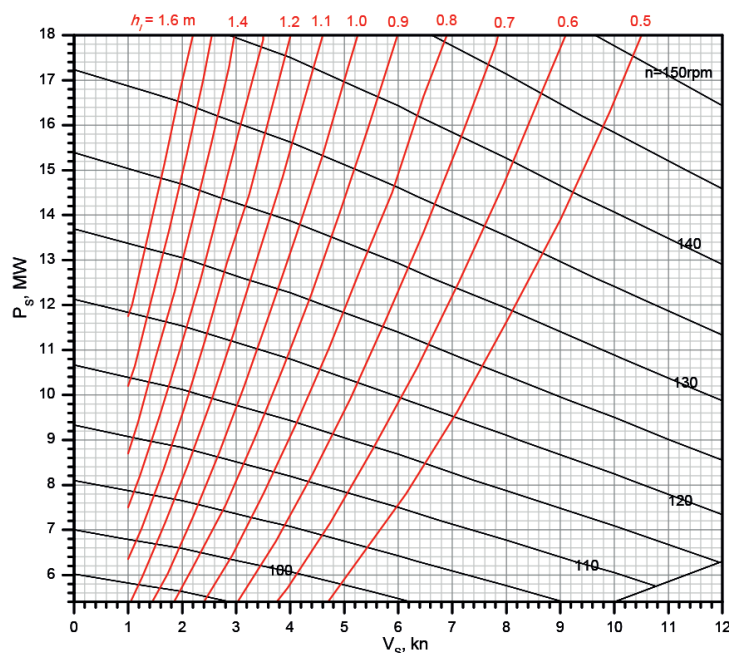


Рис. 4. Измененная диаграмма характеристик ходкости ледокола типа «Владивосток»

Обсуждение (Discussion)

В работе представлены различные варианты диаграмм ледовой ходкости судна, которые в наглядной форме дают представление обо всей совокупности ходовых характеристик судна при его движении во льдах. Возможность расчета появилась благодаря разработке и внедрению альтернативного набора коэффициентов взаимодействия движительного комплекса с корпусом судна. Эта альтернативная система коэффициентов взаимодействия позволила избежать трудностей, возникающих при использовании традиционной системы коэффициентов при поступях, для которых коэффициенты упора и момента движителя за корпусом оказываются меньше, чем в свободной воде. В работе [5] показано, что альтернативная (швартовная) система коэффициентов по возможности использования эквивалентна традиционной системе.

Указанная эквивалентность традиционной и альтернативной систем коэффициентов взаимодействия верна для условий модельного эксперимента. Это объясняется тем, что при пересчете результатов эксперимента на натурные условия в экспериментальные значения коэффициента попутного потока вводится поправка, учитывающая *масштабный эффект* [1]. Данная поправка основана на результатах обработки довольно большого массива статистических данных по одновальным судам. Корректность ее применения к современным, в том числе многовальным судам, у некоторых специалистов вызывает сомнение [8]. Однако наличие самого масштабного эффекта является бесспорным.

В настоящее время основная трудность в использовании альтернативной системы коэффициентов взаимодействия заключается в том, что пока не совсем еще ясно, каким образом в эту систему необходимо вводить масштабный эффект. Поэтому в настоящее время швартовная система коэффициентов взаимодействия используется для расчета ходовых характеристик судов при относительно малых скоростях движения, при которых влиянием масштабного эффекта можно пренебречь. Для более высоких скоростей движения (более 10–12 уз) расчеты выполняются с использованием традиционной системы. Случай движения судна в ледовых условиях полностью удовлетворяет указанным условиям. Кроме того, из-за наличия на подводной поверхности корпуса притопленных

им льдин, можно считать, что в этом случае не происходит формирования традиционного пограничного слоя.

Трудностью, связанной с определением показателей ходкости судна, движущегося как на чистой воде, так и во льдах, является *многовальность*, которая характерна для современных крупнотоннажных судов ледового плавания и мощных ледоколов. Наличие на судне более чем двух валов всегда вызывало определенные затруднения при расчете их ходовых характеристик. Пропульсивным комитетом Международной конференции опытовых бассейнов даже была предпринята неудачная попытка внедрения рекомендаций по экспериментально-расчетному определению ходовых характеристик трехвального судна [9]. Расчет ходовых характеристик многовальных судов требует применения специальных расчетных схем, которые подробно изложены в работах авторов [5], [10]. Как отмечалось ранее, эти схемы были успешно применены при расчете диаграмм ледовой ходкости нового атомного ледокола «Арктика».

При использовании предложенных диаграмм ледовой ходкости судов необходимо понимать, что они носят *приближенный характер*. В самом деле, при их построении используются данные модельного эксперимента по определению ледового сопротивления или результаты расчетов по той или иной математической модели. Очевидно, что такое определение ледового сопротивления является приближенным, так как и экспериментальные методы [11], и расчетные процедуры имеют погрешности. Однако наибольшую погрешность вносит в описании ледовой среды *неопределенность*.

Экспериментальные и расчетные методы определения ледового сопротивления базируются на некотором идеальном представлении о ледяном покрове. Так, сплошной ледяной покров при исследованиях представляется ледяной пластиной, лежащей на упругом основании, толщина и физико-механические свойства которой считаются постоянными и неизменными. С большой долей вероятности таким условиям может соответствовать бесснежный припайный лед, в котором, как правило, проводятся сдаточные натурные испытания вновь построенных ледоколов и судов ледового плавания. В реальных условиях лед имеет переменную толщину и характеризуется большой изменчивостью своих физико-механических свойств [12], [13]. Кроме того, на ледяном покрове практически всегда имеется слой снега, который может оказывать существенное влияние на изменение ледового сопротивления судна [14].

По способу построения предложенные на рис. 3 и 4 диаграммы отвечают указанным ранее идеальным ледовым условиям. Тем не менее, по мнению авторов работы, они могут быть полезны во многих случаях. С точки зрения дальнейшего развития исследований особенностей движения судов во льдах указанные диаграммы существенно увеличивают возможность получения новой информации о натурном поведении судна. Главным их достоинством является возможность получения оценки тяги движительного комплекса по легко измеряемым в процессе эксплуатации судна параметрам: потребляемой мощности, скорости движения и частоте вращения движителей. Это дает возможность оценивать ледовое сопротивление судна в тех или иных условиях и, соответственно, открывает возможности прямого сравнения натурных данных с данными модельного эксперимента или расчета. Ранее такой возможности не было, так как натурные данные могли быть получены только в формате «мощность – скорость».

Еще одним важным свойством предложенных диаграмм является то, что они задают «точку сравнения». Диаграммы показывают, какие характеристики ледовой ходкости судна должны быть в идеальных условиях. Любое отклонение от значений, указанных в диаграммах, должно иметь объяснение. Подобные отклонения дают новую информацию, необходимую для дальнейшего развития науки о ледовой ходкости судов.

Возможности предложенных диаграмм не исчерпываются только изучением ледовой ходкости судов. Не существует препятствий для построения аналогичных диаграмм для других условий, в которых могут эксплуатироваться суда (например, при движении судов в условиях мелководья, на волнении и др.).

Выводы (Summary)

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. В работе предложены диаграммы для описания всех характеристик ледовой ходкости ледоколов и судов ледового плавания. Построение диаграмм стало возможным благодаря разработке специалистами КГНЦ альтернативной (швартовой) системы коэффициентов взаимодействия движителей судна с его корпусом, а также разработке вычислительных процедур, обеспечивающих возможность расчета всех показателей ходкости на основании предложенной системы. Достоинством данных процедур является предусмотренная в них возможность расчета ходовых характеристик для судов с любым количеством валов.

2. Альтернативная система коэффициентов взаимодействия позволила преодолеть трудности, возникающие при проведении традиционных расчетов из-за отрицательного значения коэффициента попутного потока при малых значениях поступи. Это позволяет выполнять расчеты тяговых характеристик ледоколов и судов ледового плавания при их движении во льдах, что ранее было невозможно.

3. Результаты расчетов показателей ледовой ходкости удалось представить в форме наглядных и удобных для использования диаграмм. Было показано, что исходная диаграмма может быть легко изменена с учетом различных параметров, имеющих важное значение для мореплавания. В работе приведено одно из возможных изменений диаграммы толщины ровного ледяного покрова, преодолеваемого судном.

4. В процессе обсуждения полученных результатов были подробно рассмотрены достоинства предлагаемых диаграмм, а также указаны основные причины, которые заставляют относиться к ним как важным, но тем не менее приближенным источникам информации.

5. В работе указана возможность изменения диаграмм для учета также других факторов, кроме ледяного покрова, которые могут оказывать влияние на судоходство (например, мелководья и волнения).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ITTC — Recommended Procedures and Guidelines. 1978 ITTC Performance Prediction Method. 7.5–02–03–01.4 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.ittc.info/media/8017/75–02–03–014.pdf> (дата обращения: 01.08.2022).

2. Michailidis M. Performance of CCGS Franklin in Lake Melville / M. Michailidis, D. C. Murdey // Sixth Ship Technology and Research (STAR) Symposium, Proceedings SNAME, Ottawa. — 1981. — Pp. 311–322.

3. Рывлин А. Я. Испытания судов во льдах / А. Я. Рывлин, Д. Е. Хейсин. — Л.: Судостроение, 1980. — 208 с.

4. Su B. A numerical method for the prediction of ship performance in level ice / B. Su, K. Riska, T. Moan // Cold Regions Science and Technology. — 2010. — Vol. 60. — Is. 3. — Pp. 177–188. DOI: 10.1016/j.coldregions.2009.11.006.

5. Каневский Г. И. Прогнозирование характеристик ходкости многовальных судов / Г. И. Каневский, А. М. Клубничкин, К. Е. Сазонов. — СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2019. — 160 с.

6. Сазонов К. Е. Модельный и натурный эксперимент в морской ледотехнике / К. Е. Сазонов. — СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2021. — 306 с.

7. Ионов Б. П. Ледовая ходкость судов / Б. П. Ионов, Е. М. Грамузов. — 2-е изд. — СПб.: Судостроение, 2013. — 504 с.

8. Боруевич В. О. Развитие методов прогнозирования ходовых качеств транспортных судов / В. О. Боруевич, Г. И. Каневский, С. В. Капранцев, А. М. Клубничкин, М. П. Лобачев // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2017. — № 4 (382). — С. 21–28. DOI: 10.24937/2542-2324-2017-4-382-21-28.

9. ITTC — Recommended Procedures and Guidelines. Performance Prediction Method for Triple Shaft Vessels. 7.5–02–03–01.7 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.ittc.info/media/8023/75–02–03–017.pdf> (дата обращения: 01.08.2022).

10. Kanevskii G. Propulsion performance prediction method for multi shaft vessels / G. Kanevskii, A. Klubnichkin, K. Sazonov // *Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike*. — 2020. — Vol. 71. — No. 3. — Pp. 27–36. DOI: 10.21278/brod71303.

11. Добродеев А. А. Изменчивость физико-механических свойств моделированного льда гранулированного типа в ходе эксперимента / А. А. Добродеев // *Морские интеллектуальные технологии*. — 2022. — № 2–2 (56). — С. 29–36. DOI: 10.37220/MIT.2022.56.2.038.

12. Беккер А. Т. Неоднородность ледяных полей / А. Т. Беккер, А. Э. Фарафонов, Е. Е. Помников // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. — 2017. — № 3 (32). — С. 64–71. DOI: 10.5281/zenodo.897000.

13. Епифанов В. П. Влияние стационарных периодических волновых структур на локальную прочность ледяного поля / В. П. Епифанов, К. Е. Сазонов // *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки*. — 2020. — Т. 495. — № 1. — С. 18–25. DOI: 10.31857/S2686740020060085.

14. Грамузов Е. М. Учет снега при определении приведенной толщины ледяного покрова / Е. М. Грамузов, Б. П. Ионов, Н. Е. Тихонова // *Морской вестник*. — 2017. — № 2 (62). — С. 112–113.

REFERENCES

1. ITTC — Recommended Procedures and Guidelines. 1978 ITTC Performance Prediction Method. 7.5–02–03–01.4. Web. 1 Aug. 2022 <<https://www.ittc.info/media/8017/75–02–03–014.pdf>>.

2. Michailidis, M., and D. C. Murdey. “Performance of CCGS Franklin in Lake Melville.” *Sixth Ship Technology and Research (STAR) Symposium, Proceedings SNAME*. 1981. 311–322.

3. Ryvlin, A. Ya., and D. E. Kheisin. *Ispytaniya sudov vo l'dakh*. L.: Sudostroenie, 1980.

4. Su, Biao, Kaj Riska, and Torgeir Moan. “A numerical method for the prediction of ship performance in level ice.” *Cold Regions Science and Technology* 60.3 (2010): 177–188. DOI: 10.1016/j.coldregions.2009.11.006.

5. Kanevskii, G. I., A. M. Klubnichkin, and K. E. Sazonov. *Prognostirovanie kharakteristik khodkosti mnogoval'nykh sudov*. SPb.: FGUP «Krylovskii gosudarstvennyi nauchnyi tsentr», 2019.

6. Sazonov, K. E. *Model'nyi i naturnyi eksperiment v morskoi ledotekhnike*. SPb.: FGUP «Krylovskii gosudarstvennyi nauchnyi tsentr», 2021.

7. Ionov, B. P., and E. M. Gramuzov. *Ledovaya khodkost' sudov*. 2nd ed. SPb.: Sudostroenie, 2013.

8. Borusevich, Valery O., Grigory I. Kanevsky, Sergey V. Kaprantsev, Aleksandr M. Klubnichkin, and Mikhail P. Lobachev. “Developing prediction methods for propulsion performance of carrier ships.” *Transactions of the Krylov State Research Centre* 4(382) (2017): 21–28. DOI: 10.24937/2542-2324-2017-4-382-21-28.

9. ITTC — Recommended Procedures and Guidelines. Performance Prediction Method for Triple Shaft Vessels. 7.5–02–03–01.7. Web. 1 Aug. 2022 <<https://www.ittc.info/media/8023/75–02–03–017.pdf>>.

10. Kanevskii, Grigorii, Aleksandr Klubnichkin, and Kirill Sazonov. “Propulsion performance prediction method for multi shaft vessels.” *Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike* 71.3 (2020): 27–36. DOI: 10.21278/brod71303.

11. Dobrodeev, Aleksei A. “Variations in physical and mechanical properties of model fine-grained ice during experiment.” *Marine intellectual technologies* 2–2(56) (2022): 29–36. DOI: 10.37220/MIT.2022.56.2.038.

12. Bekker, Alexander, Alexander Farafonov, and Egor Pomnikov. “Heterogeneity of ice fields.” *FEFU: School of Engineering Bulletin* 3(32) (2017): 64–71. DOI: 10.5281/zenodo.897000.

13. Epifanov, V. P., and K. E. Sazonov. “Influence of stationary periodic wave structures on the local strength of the ice field.” *Doklady Physics* 495.1 (2020): 18–25. DOI: 10.31857/S2686740020060085.

14. Gramuzov, E. M., B. P. Ionov, and N. E. Tikhonova. “Uchet snega pri opredelenii privedennoi tolshchiny ledyanogo pokrova.” *Morskoi vestnik* 2(62) (2017): 112–113.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Каневский Григорий Ильич —
доктор технических наук, руководитель проектов
ФГУП «Крыловский государственный
научный центр»
196158, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Московское шоссе, д. 44
e-mail: gikanev@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kanevskii, Grigorii I. —
Dr. of Technical Sciences, Project Manager
Krylov State Research Centre
44 Moscow highway,
St. Petersburg, 196158,
Russian Federation
e-mail: gikanev@mail.ru

Клубничкин Александр Михайлович —
начальник сектора
ФГУП «Крыловский государственный
научный центр»
196158, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Московское шоссе, д. 44
e-mail: amklub@yandex.ru

Сазонов Кирилл Евгеньевич —
доктор технических наук, начальник лаборатории
ФГУП «Крыловский государственный
научный центр»
196158, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Московское шоссе, д. 44,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
Государственный морской технический
университет»
190121, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Лоцманская ул., д. 3.
e-mail: K_Sazonov@ksrc.ru, kirsaz@rambler.ru

Klubnichkin, Alexandr M. —
Head of Sector
Krylov State Research Centre
44 Moscow highway,
St. Petersburg, 196158,
Russian Federation
e-mail: amklub@yandex.ru

Sazonov, Kirill E. —
Dr. of Technical Sciences, Ice Lab Head
Krylov State Research Centre
44 Moscow highway,
St. Petersburg, 196158,
Russian Federation
St. Petersburg State Marine
Technical University
3 Lotsmanskaya Str.,
St. Petersburg, 190121,
Russian Federation
e-mail: K_Sazonov@ksrc.ru, kirsaz@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 17 августа 2022 г.

Received: August 17, 2022.