

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-27-36

DETERMINATION OF THE ICEBREAKERS' SPEED IN ICE FREE WATER OPERATED IN THE NORTHERN CASPIAN SEA

A. A. Temnikova, A. R. Ruban

Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation

While designing icebreakers and icegoing vessels' propulsion systems it is important to consider the speed in ice-free water, which is known to be one of the main ship's characteristics. In the article, the method was developed for determining the rate of open water at the given calculations, the movement of the ship in ice, having a set of initial data points. The standard practice to determine the rate in the "clean" water for icebreakers is to define the curve crossing of the ship's towing capacity in a "clean" water with a maximum towing capacity of the line, made by a vessel in the ice. The given article deals with the method, which does not deviate from the standard one, but explains how to use this standard procedure working with a set of initial data for the further design of this range of values that can be useful for selecting the optimal ship's characteristics for different conditions. Such steps are considered: determination the area of the calculated values of the ice resistance, icebreaker's calculation towing capacity in ice conditions, determination bandwidth reduction of speed range in ice free on the ship-prototype, calculation of ship's resistance in ice free for the selected speed range, the towing vessel capacity range calculation in ice free and bandwidth reduction of speed range, the definition of the intersection of the ranges and the determination in ice free water of vessel's speed range. Also it is confirmed and checked the correctness of the calculations by the given method of the characteristics of prototype ships operating in the fixed area of navigation. The error is revealed, it is less than ten percent, which is acceptable in the early stages of design. In conclusion, the article shows the structure of the method that is applicable for the design of both icebreakers and icegoing vessels.

Keywords: ice resistance, propulsion complex, icebreaker, speed in ice, speed in ice free, tow-rope horsepower, ship-prototype.

For citation:

Temnikova, Alena A., and Anatoliy R. Ruban. "Determination of the icebreakers' speed in ice free water operated in the Northern Caspian sea." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.1 (2017): 27–36. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-27-36.

УДК [629.5.016.5/.018.713:629.561.5]:656.61.052.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЛЕДОКОЛОВ НА «ЧИСТОЙ» ВОДЕ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА СЕВЕРНОМ КАСПИИ

А. А. Темникова, А. Р. Рубан

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,
Астрахань, Российская Федерация

При проектировании пропульсивных комплексов ледоколов и судов ледового плавания важное значение имеет скорость на «чистой» воде, которая является одной из основных характеристик судна. В статье разработана методика определения скорости ледоколов на «чистой» воде при заданных расчетных показателях движения судна во льдах для совокупности множества точек исходных данных. Стандартная методика определения скорости на «чистой» воде для ледоколов представляет собой определение пересечения кривой буксировочной мощности судна на «чистой» воде с прямой максимальной буксировочной мощности, достигаемой судном во льдах. Приведенная в статье методика не отходит от стандартной, но объясняет, как использовать стандартную методику при работе со множеством исходных данных, чтобы при дальнейшем проектировании из этого диапазона значений можно было выбрать оптимальные характеристики судна для различных условий. Рассмотрены такие этапы, как определение области расчетных значений ледового сопротивления, расчет буксировочной мощности ледокола в ледовых условиях, определение диапазона скоростей на тихой воде по судам-прототипам, расчет сопротивления судна на «чистой» воде для выбранного диапазона скоростей, расчет диапазона буксировочных мощностей суд-

на на «чистой» воде и сужение диапазона скоростей, определение пересечения диапазонов и определение диапазона скоростей судна на «чистой» воде. Также в подтверждение корректности расчетов по предложенной методике осуществляется проверка значений по характеристикам судов-прототипов, которые эксплуатируются в рассматриваемом районе плавания. Выявлена погрешность меньше десяти процентов, которая допустима на начальных этапах проектирования. В заключение статьи приведена структура методики, которая применима для проектирования как ледоколов, так и судов ледового плавания.

Ключевые слова: ледовое сопротивление, пропульсивный комплекс, ледокол, скорость во льдах, скорость на «чистой» воде, буксировочная мощность, судно-прототип.

Для цитирования:

Темникова А. А. Определение скорости ледоколов на «чистой» воде, эксплуатируемых на Северном Каспии / А. А. Темникова, А. Р. Рубан // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 27–36. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-27-36.

Введение

Основным расчетным режимом работы главного двигателя на ледоколах в большинстве случаев является работа в тяжелых условиях, когда скорость движения судна составляет 2 ... 5 уз, т. е. примерно 15 ... 20 % от скорости хода на «чистой» воде. Существует множество методов определения ледового сопротивления ледоколов, предложенных В. И. Каштеляном [1], Ю. Н. Алексеевым и К. Е. Сазоновым [2], [3], А. А. Добродеевым [4], [5], Е. М. Грамузовым [6] и И. Н. Шкановым [7], О. С. Тестовой [8] и др. Помимо отечественных специалистов разработки в данном направлении предлагали и зарубежные исследователи, среди которых Е. Энквист, Х. Доргелох, Г. Линдквист [9] и др. На основании этих методов была выполнена работа [10] и выбран расчетный случай ледового сопротивления ледоколов для рассматриваемого района плавания (Северный Каспий и Волго-Каспийский морской судоходный канал).

При проектировании энергетических комплексов ледоколов и судов ледового плавания также важное значение имеет скорость на «чистой» воде, которая является одной из основных характеристик судна. Определение этой величины производится по мощности энергетической установки, рассчитанной для основного режима работы ледокола, т. е. во льдах.

В случае, когда исходные характеристики судна заданы не конкретными значениями, а областью значений, возникают сложности определения достижимой скорости хода из-за разброса этих величин. В настоящее время разработаны общие методики проектирования и способы оптимизации, известные под названиями «метод вариаций», «метод сопоставления вариантов» и др., рассмотренные в работах В. В. Ашика [11], В. М. Пашина [12], А. В. Бронникова [13] и др., в частности, в методику, где рассматривается вопрос, связанный с неопределенностью исходных данных и использованием баз данных, вклад внесли М. Г. Шайдуллин [14] и М. Э. Францев [15]. Однако все эти методы рассматриваются для начальных этапов проектирования и в результате дают один расчетный вариант исходных данных (например, главные размерения) или несколько вариантов для сравнения, при этом остальные отбрасываются и не участвуют на дальнейших этапах проектирования.

Для выбора проектных решений используют критерии оптимизации, и при отбрасывании вариантов на начальных этапах проектирования существует вероятность исключить из рассмотрения проектные решения, оптимальность которых выявляется на последующих этапах проектирования. Таким образом, появляется необходимость рассматривать множество проектных решений на всех этапах проектирования, уменьшая рассматриваемую область значений ступенчато в зависимости от последовательно вводимых критериев оптимизации. Следовательно, на стадии определения скорости судна на «чистой» воде, в данном случае ледоколов, исходные данные для расчета могут быть заданы областью с бесконечным множеством значений. В этом случае появляется необходимость в разработке методики определения скорости хода не для одного судна с конкретными размерениями, а для совокупности множества точек исходных данных (главных размерений ледоколов). Данная методика рассмотрена на примере ледоколов, эксплуатируемых в Волго-Каспийском морском судоходном канале и на Северном Каспии.

Основная часть

1. Определение области расчетных значений ледового сопротивления

Перед тем как приступить к расчету скорости на «чистой» воде, необходимо определиться с совокупностью множества точек исходных данных. При определении скорости ледоколов и судов ледового плавания как во льду, так и на «чистой» воде необходимо уделять особое место выбору оптимальных решений. Для оптимизации проектных решений рассматривается диапазон значений ледового сопротивления согласно работе [10], который соответствует следующим пределам главных размерений: длина судна между перпендикулярами $L_{\text{ин}} = (71 \dots 94)$ м; ширина судна $B = (16 \dots 20)$ м; осадка судна $T \leq 4,2$ м. С учетом особенностей района эксплуатации в указанной работе рассчитываются значения сопротивления ледоколов в сплошном льду, в мелкобитом льду и на мелководье для заданного диапазона значений главных размерений с оптимальными характеристиками формы корпуса судна.

При определении сопротивления в мелкобитом льду учтена различная балльность сплоченности льда. С целью определения буксировочной мощности судна были выбраны расчетные значения ледового сопротивления путем сравнения всех видов сопротивления судна во льду. Расчетный диапазон ледового сопротивления, согласно работе [10], соответствует сопротивлению в мелкобитых льдах при сплоченности льда 8 баллов. Данный выбор обоснован с практической и эксплуатационной точки зрения, расчетные значения сопоставлены со значениями ледового сопротивления ледоколов, эксплуатируемых в заданном районе плавания.

2. Расчет буксировочной мощности ледокола в ледовых условиях, исходя из скорости движения судна во льдах

Принятая скорость движения судна во льдах $v_{\text{л}}$ равна 2 уз. На основании этих данных можно построить расчетный диапазон значений буксировочной мощности ледоколов (рис. 1). Также на рисунке указаны проекции расчетного диапазона на плоскости системы координат.

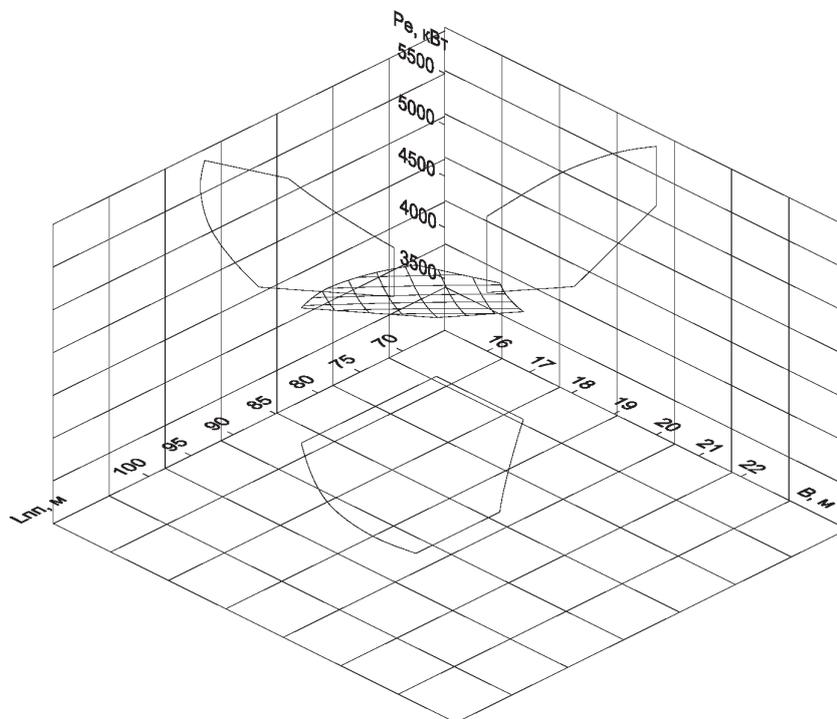


Рис. 1. Расчетная буксировочная мощность ледокола при движении во льду $P_e(L_{\text{ин}}, B)$

3. Определение диапазона скоростей на «чистой» воде по судам-прототипам

Для определения скорости ледокола на «чистой» воде v необходимо задаться диапазоном скоростей, в пределах которых лежат искомые значения. Если рассматривать близкие по главным

размерениям прототипы судов, то ориентировочные скорости ледоколов должны составлять от 12 до 15 уз (см. таблицу). Для расчета сопротивления на «чистой» воде принимается диапазон скоростей от 10 до 20 уз с шагом 1 уз.

Скорости на «чистой» воде ледоколов-прототипов

№ п/п.	Год ввода судна в эксплуатацию	Название судна	Длина судна $L_{\text{ин}}$, м	Ширина судна B , м	Осадка судна T , м	Скорость на «чистой» воде v , уз
1	1959	Camsell	62,36	14,19	4,88	13,50
2	1959	Sir Humphrey Gilbert	65,00	14,60	4,90	13,50
3	1970	Griffon	65,43	14,49	4,73	13,50
4	1976	Профессор Водяницкий	63,03	12,40	4,20	12,00
5	1977	Капитан Плахин	70,89	16,00	3,89	14,00
6	1978	Капитан Букаев	71,00	16,00	3,50	14,00
7	1979	Профессор Штокман	63,18	12,40	4,21	13,50
8	1984	Капитан Мецайк	73,73	16,30	2,44	13,51
9	1988	Hesperides	75,69	13,87	4,42	14,70
10	2004	Arkona	63,35	14,07	4,50	13,00
11	2011	Louhi	65,50	14,07	5,00	15,00

4. Расчет сопротивления судна на «чистой» воде для выбранного диапазона скоростей

Сопротивление судна в «чистой» воде находится по методике, представленной в источнике [16]:

$$R = C \frac{\rho v^2}{2} \Omega, \quad (1)$$

где C — безразмерный коэффициент буксировочного сопротивления; $\rho = 1,013$ — плотность воды, т/м³; v — скорость движения судна, м/с; Ω — площадь смоченной поверхности судна, м² (принимается из работы [10]).

Коэффициент буксировочного сопротивления C является функцией формы корпуса судна, чисел Рейнольдса и Фруда [16]:

$$C = C_{F0} + C_R + C_{AP} + C_A + C_{AA}, \quad (2)$$

где $C_{F0} = 0,455 / \lg \text{Re}^{2,85}$ — коэффициент сопротивления трения эквивалентной гладкой пластины; C_R — коэффициент остаточного сопротивления; C_{AP} — коэффициент сопротивления шероховатости, изменяется в диапазоне $(0,3 - 0,4) \cdot 10^{-3}$ при длине судна 50 – 150 м; $C_A = 0,45 \cdot 10^{-3}$ — коэффициент выступающих частей; C_{AA} — коэффициент воздушного сопротивления (составляет 2 % от общего коэффициента сопротивления судна).

Коэффициент остаточного сопротивления рассчитывается по методике Дубровина, изложенной в работе [1]. Определение коэффициента остаточного сопротивления проектируемого судна выполняется по формуле

$$C_R = C_{R0} k_{L/B} k_{B/T} k_{\delta}, \quad (3)$$

где C_{R0} — коэффициент остаточного сопротивления судна-прототипа, характеристики которого указаны в источнике [1]; $k_{L/B}$; $k_{B/T}$; k_{δ} — коэффициенты влияния, учитывающие отличие величин L/B , B/T и δ рассматриваемого судна и судна-прототипа.

Коэффициенты $k_{L/B}$; $k_{B/T}$; k_{δ} находятся по отношениям:

$$k_{L/B} = \frac{x_{L/B}}{(x_{L/B})_0}; \quad k_{B/T} = \frac{x_{B/T}}{(x_{B/T})_0}; \quad k_{\delta} = \frac{x_{\delta}}{(x_{\delta})_0}. \quad (4)$$

Значения $x_{L/B}$; $x_{B/T}$ и x_{δ} определяются с помощью графиков, приведенных в источнике [1].

При расчете сопротивления учитывается наличие носовых винтов (остаточное сопротивление ледокола, из-за наличия в носу двух выкружек гребных валов, увеличивается на 25 % согласно [1]). Диапазоны значений коэффициента сопротивления рассчитываются по формуле (2), сопротивление судна определяется по формуле (1).

5. Расчет диапазона буксировочных мощностей судна на «чистой» воде и сужение диапазона скоростей

Как видно из источника [10], осадка практически не влияет на изменение ледового сопротивления. Так как основным расчетным режимом главного двигателя является работа ледокола во льдах, поверхность значений ледового сопротивления будет использоваться для определения значений буксировочной мощности.

Буксировочная мощность равна произведению сопротивления судна и скорости судна на «чистой» воде. При расчете буксировочной мощности для каждого значения диапазона скоростей было выявлено, что часть данных значительно превышает или, наоборот, они слишком малы для расчетной совокупности множества значений буксировочной мощности при движении судна во льдах. Опираясь на значения, приведенные на рис. 1, можно уменьшить интервал скорости на «чистой» воде с 10 ... 20 уз до 14 ... 17 уз.

6. Определение пересечения диапазонов

Для нахождения скорости на «чистой» воде необходимо найти пересечение диапазона значений буксировочных мощностей при движении судна во льду с диапазонами значений буксировочных мощностей при движении в «чистой» воде. На рис. 2, а

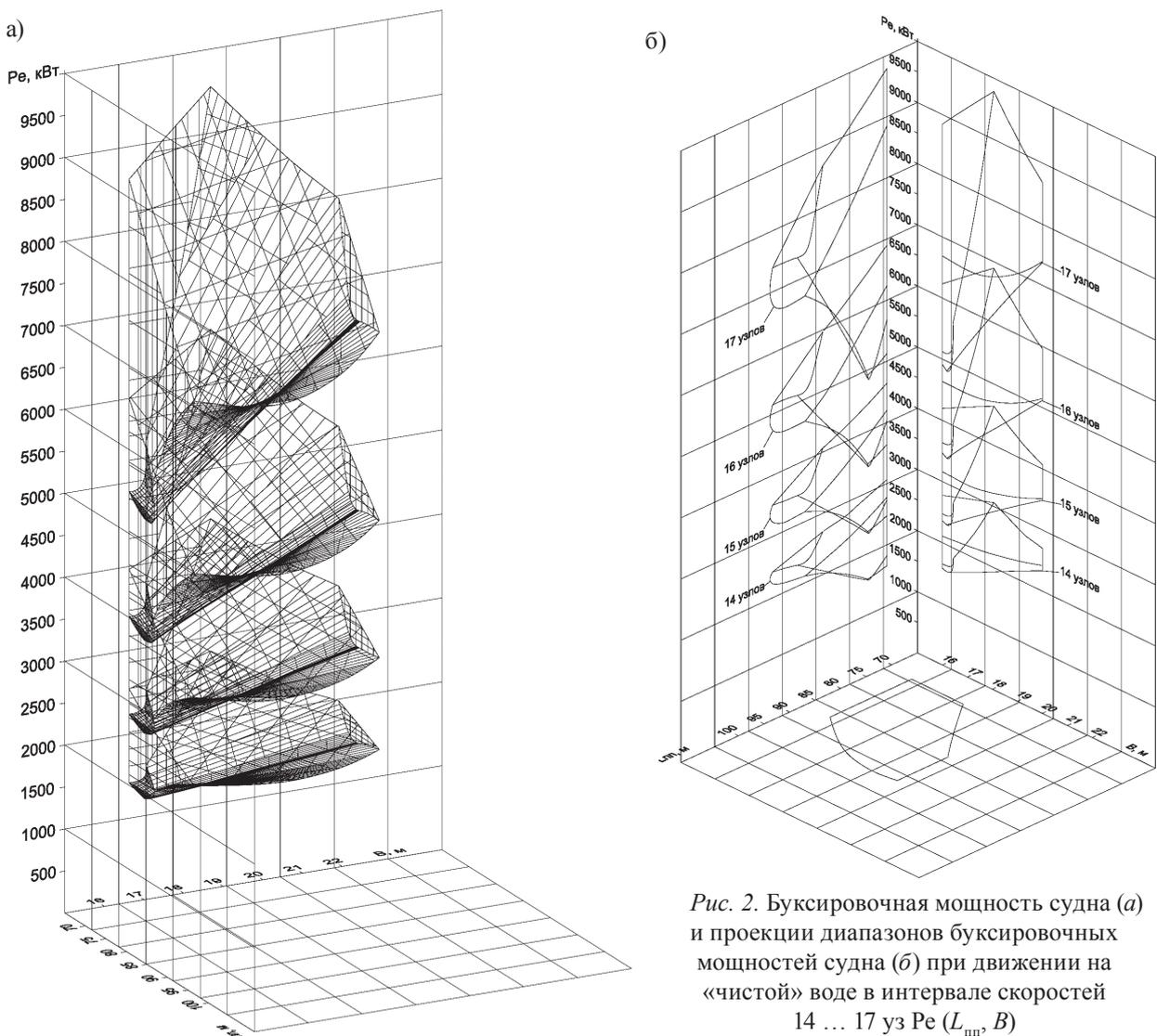


Рис. 2. Буксировочная мощность судна (а) и проекции диапазонов буксировочных мощностей судна (б) при движении на «чистой» воде в интервале скоростей 14 ... 17 уз $P_e(L_{III}, V)$

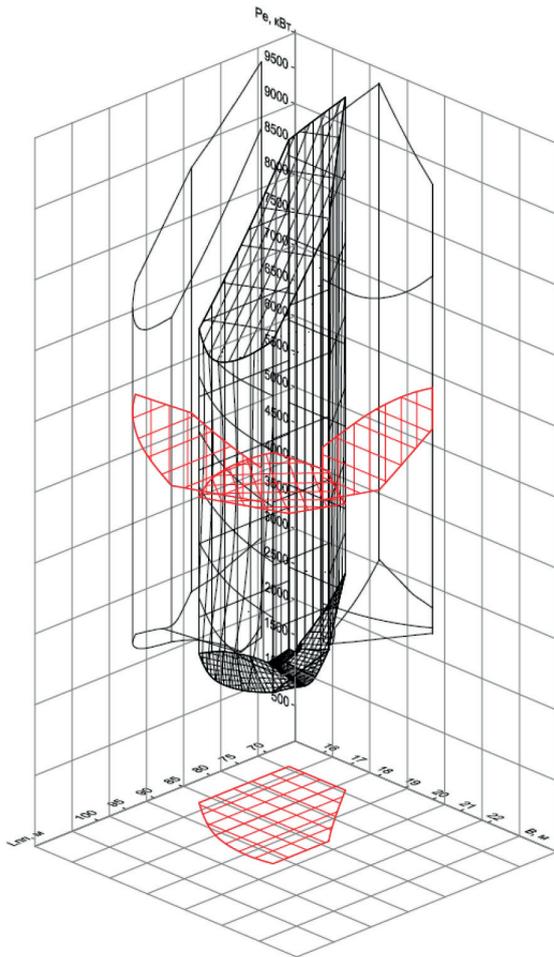


Рис. 3. Пересечение диапазонов значений буксировочных мощностей при движении на «чистой» воде и во льдах $Pe(L_{пн}, B)$

(«Капитан Чечкин», «Капитан Букаев») и ледокол пр. 1105 («Капитан Мецайк»).

При рассмотрении пр. 1105 после подставления значений главных размерений (из таблицы на с. 30) в функцию $f(v, L_{пн}, B, T)$, сегмент которой показан на рис. 4, получен полином:

$$0,17v^5 - 1,14v^4 + 3,16v^3 - 2523,02 = 0. \quad (5)$$

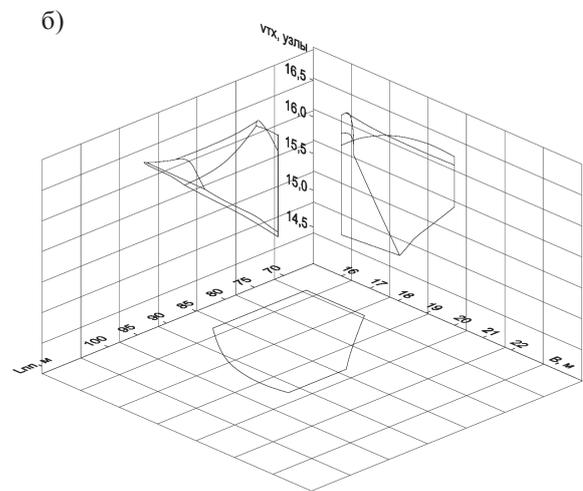
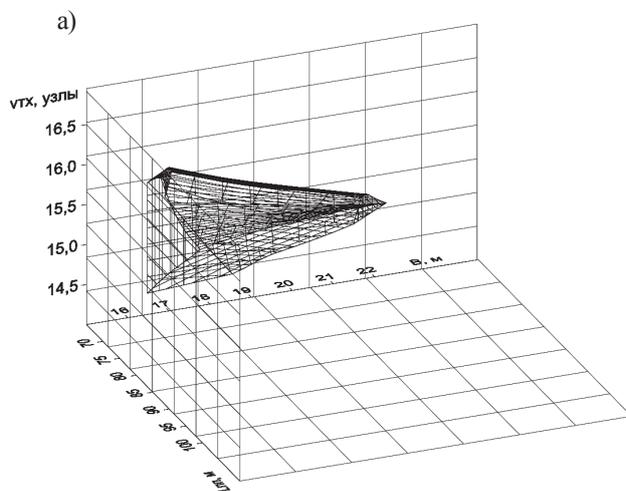


Рис. 4. Расчетная область скоростей судна на тихой воде $v_{тх}(L_{пн}, B)$:
а — трехмерная область; б — проекции на плоскости координат

сировочных мощностей судна при движении на «чистой» воде для скоростей 14 ... 17 уз. Для наглядности на рис. 2, б приведены проекции расчетных диапазонов значений буксировочных мощностей судна при движении на «чистой» воде на плоскости системы координат.

Диапазоны значений буксировочных мощностей при движении на «чистой» воде для скоростей 14 ... 17 уз представляются в виде общего расчетного диапазона, в котором определяется пересечение плоскости значений буксировочных мощностей судна при движении во льдах (рис. 3).

7. Определение диапазона скоростей судна на «чистой» воде

По полученным значениям пересечения диапазонов можно построить расчетную область скоростей судна на «чистой» воде (рис. 4).

Проверка полученных данных.

Для проверки объективности данных, полученных из расчетов по предложенной методике, необходимо подставить реальные эксплуатационные данные судов-прототипов в функцию зависимости скорости на «чистой» воде от главных размерений судна ($L_{пн}, B, T$). В данном случае выбираются наиболее близкие суда-прототипы, которые эксплуатируются в выбранном районе плавания. К таким судам относятся ледоколы проекта 1105

Для определения корней полинома в диапазоне значений $0 \dots 10$ м/с, строится график (рис. 5) функции $f(v) = 0,17v^5 - 1,14v^4 + 3,16v^3 - 2523,02$.

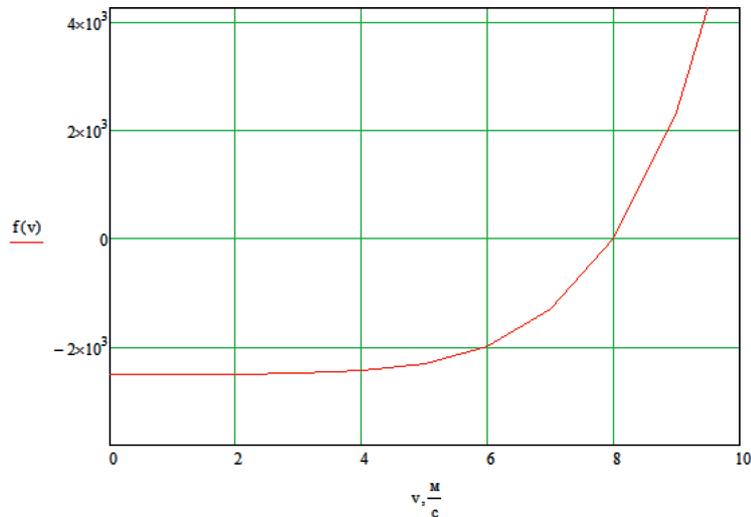


Рис. 5. Определение скорости судна пр. 1105 на «чистой» воде

Из рис. 5 видно, что корень уравнения (5) соответствует скорости 7,98 м/с, или 15,26 уз. Данное значение на 9 % отличается от спецификационной скорости, равной 14 уз.

При рассмотрении пр. 1191 после подстановки значений главных размерений, выбранных из таблицы, в функцию $f(v, L_{\text{нп}}, B, T)$ получен полином:

$$0,13v^5 - 0,93v^4 + 2,72v^3 - 3238,2 = 0. \quad (6)$$

Для определения корней полинома в диапазоне значений $0 \dots 10$ м/с строится график (рис. 6) функции $f(v) = 0,13v^5 - 0,93v^4 + 2,72v^3 - 3238,2$, откуда видно, что корень уравнения (6) соответствует скорости 8,81 м/с, или 17,14 уз. Данное значение почти на 27 % отличается от спецификационной скорости 13,51 уз.

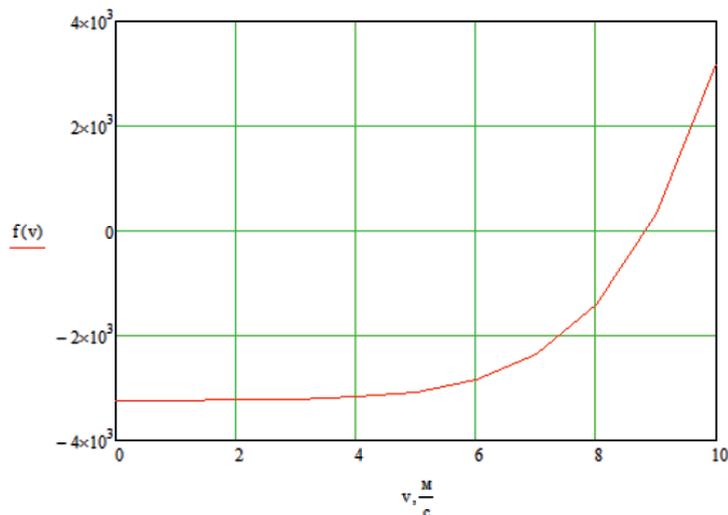


Рис. 6. Определение скорости судна пр. 1191 на «чистой» воде

Данные отклонения обусловлены использованием, во-первых, различных прототипов в расчетах, а во-вторых, различных коэффициентов обводов корпуса судна. Причем меньшая погрешность для пр. 1105 (традиционная форма обводов носовой оконечности) по сравнению с пр. 1191 («ложкообразная» форма носовой оконечности) связана с формой обводов носовой оконечности,

характеристики которой близки к рассматриваемому судну (усовершенствованная традиционная форма) в отличие от пр. 1191. Корректировки по форме носовой оконечности также при необходимости можно внести в расчет. В целом погрешность меньше десяти процентов допустима на начальных этапах проектирования.

Заключение

Таким образом, на примере ледоколов, эксплуатируемых в Северном Каспии и Водно-Каспийском морском судоходном канале, была разработана методика для определения скорости на «чистой» воде, которая имеет следующую структуру:

- определение области расчетных значений ледового сопротивления;
- расчет буксировочной мощности ледокола в ледовых условиях, исходя из скорости движения судна во льдах;
- определение диапазона скоростей на «чистой» воде по судам-прототипам;
- расчет сопротивления судна на «чистой» воде для выбранного диапазона скоростей;
- расчет диапазона буксировочных мощностей судна на «чистой» воде и сужение диапазона скоростей;
- определение пересечения диапазонов;
- определение диапазона скоростей судна на «чистой» воде.

В данной методике главным образом отображается сложность работы с трехмерными диапазонами значений, для которых нельзя построить двухмерный график и найти пересечение между двумя кривыми, как в классической методике. Одним из преимуществ данного метода является графический способ отображения результатов расчета, что делает расчет более наглядным по сравнению с использованием множества чисел, получаемых в ходе расчетов.

Представленная методика определения скорости хода судна позволяет произвести расчеты не для одного судна с конкретными размерениями, а для совокупности множества точек исходных данных. Это позволяет выполнить дальнейшее проектирование без ущерба задаче оптимизации. При этом появляется возможность учитывать все возможные варианты проектных решений и вводить критерии оптимизации ступенчато по ходу проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каштелян В. И.* Ледоколы / В. И. Каштелян, А. Я. Рывлин, О. В. Фадеев, В. Я. Ягодкин. — Л.: Судостроение, 1972. — 287 с.
2. *Апполонов Е. М.* Особенности эксплуатации ледоколов на мелководье / Е. М. Апполонов, К. Е. Сазонов, А. В. Рыжков // Мореходство и морские науки-2011: избр. докл. Третьей Сахалинской региональной морской науч.-техн. конф. (15 – 16 февраля 2011 г.) / под ред. В. Н. Храмушина. — Южно-Сахалинск: СахГУ, 2011. — С. 103–108.
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. — С. 43–46.
4. *Добродеев А. А.* Разработка метода расчета ледового сопротивления судна при движении в крупнобитых льдах и обломках ледяных полей и его применение для оценки различных способов проводки крупнотоннажных судов: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.01 / А. А. Добродеев. — СПб., 2016. — 114 с.
5. *Добродеев А. А.* Механика движения судна в крупнобитых льдах и обломках ледяных полей / А. А. Добродеев, К. Е. Сазонов // Сибирский журнал чистой и прикладной математики. — 2012. — Т. 12. — № 4. — С. 53–58.
6. *Грамузов Е. М.* Метод учета влияния снега на сопротивление ледокола за счет приведенной толщины сплошного ледяного покрова / Е. М. Грамузов, Н. Е. Тихонова // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. — 2011. — № 4 (89). — С. 178–183.
7. *Шканов И. Н.* Прогнозирование влияния мелководья на сопротивление льда при проектировании формы корпуса речного ледокола: дис. ... канд. техн. наук / спец. 05.08.01 и 05.08.03 / И. Н. Шканов. — Нижний Новгород, 2003. — 269 с.

8. Тестова О. С. Исследование влияния мелководья на движение ледокола / О. С. Тестова // Сб. материалов XIII Межд. молодежной науч.-техн. конф. «Будущее технической науки». — Н.Новгород: НГТУ им. П. Е. Алексеева, 2012. — С. 250–251.

9. Lindqvist G. A Straightforward Method for Calculation of Ice Resistance of Ships / G. Lindqvist // 10th Intl Conference, Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, 12-16 June 1989. — POAC, 1989. — Vol. 2. — Pp. 722–735.

10. Темникова А. А. Определение расчетного диапазона значений ледового сопротивления ледоколов, эксплуатируемых в Волго-Каспийском морском судоходном канале и на Северном Каспии / А. А. Темникова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2015. — № 4. — С. 45–57.

11. Ашик В. В. Проектирование судов / В. В. Ашик. — Л.: Судостроение, 1985. — 320 с.

12. Пашин В. М. Оптимизация судов / В. М. Пашин. — Л.: Судостроение, 1983. — 296 с.

13. Бронникова А. В. Проектирование судов / А. В. Бронников. — Л.: Судостроение, 1991. — 320 с.

14. Шайдуллин М. Г. Решение задачи внешнего проектирования судна в условиях неопределенности / М. Г. Шайдуллин, В. С. Булаткин // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. — 2013. — № 4 (101). — С. 214–221.

15. Францев М. Э. Использование параметрических методов на ранних этапах разработки проекта судна из композитных материалов / М. Э. Францев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2014. — № 1. — С. 33–42.

16. Слижевский Н. Б. Расчет ходкости надводных водоизмещающих судов: учебное пособие / Н. Б. Слижевский, Ю. М. Король, М. Г. Соколин, В. Ф. Тимошенко; под общ. ред. проф. Н. Б. Слижевского. — Николаев: НУК, 2004. — 192 с.

REFERENCES

1. Kashteljan, V. I., A. Ja. Ryvlin, O. V. Fadeev, and V. Ja. Jagodkin. *Ledokoly*. L.: Sudostroenie, 1972.

2. Appolonov, E. M., K. E. Sazonov, and A. V. Ryzhkov. “Osobennosti jekspluatacii ledokolov na melkovod’e.” *Morehodstvo i morskije nauki – 2011: izbrannye doklady Tret’ej Sahalinskoj regional’noj morskoi nauchno-tehnicheskoi konferencii (15–16 fevralja 2011 g.)*. Edited by V. N. Hramushin. Juzhno-Sahalinsk: SahGU, 2011: 103–108.

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 (2012): 43–46.

4. Dobrodeev, A. A. Razrabotka metoda rascheta ledovogo soprotivleniya sudna pri dvizhenii v krupnobytkh l’dakh i oblomkakh ledyanykh polei i ego primenenie dlya otsenki razlichnykh sposobov provodki krupnotonnazhnykh sudov. PhD diss. (Tech.). SPb., 2016.

5. Dobrodeev, A. A., and K. E. Sazonov. “Mechanics of ships movement in small and medium floes.” *Sibirskii zhurnal chistoi i prikladnoi matematiki* 12.4 (2012): 53–58.

6. Gramuzov, E. M., and N. E. Tihonova. “Method of accounting for the influence of snow on the resistance icebreaker due reduced thickness solid ice cover.” *Transactions of NNSTU n.a. R. E. Alekseev* 4(89) (2011): 178–183.

7. Shkanov, I. N. Prognozirovaniye vliyaniya melkovod’ya na soprotivlenie l’da pri pro-ektirovanii formy korpusa rechnogo ledokola. PhD diss. (Tech.). Nizhnii Novgorod, 2003.

8. Testova, O. S. “Issledovanie vliyaniya melkovod’ya na dvizhenie ledokola.” *Sbornik materialov XIII Mezh-dunarodnoi molodezhnoi nauchno-tekh. konf. “Budushchee tekhnicheskoi nauki”*. Nizhnii Novgorod: NGTU im. R. E. Alekseeva, 2012: 250–251.

9. Lindqvist, G. “A Straightforward Method for Calculation of Ice Resistance of Ships.” *10th Intl Conference, Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, 12-16 June 1989*. POAC, 1989. Vol. 2. 722–735.

10. Temnikova, Alyona Aleksandrovna. “Determination of the calculated range of the values of ice resistance of the icebreakers operated in the Volga-Caspian seaway canal and in the Northern Caspian.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 4 (2015): 45–57.

11. Ashik, V. V. *Proektirovaniye sudov*. L.: Sudostroenie, 1985.

12. Pashin, V. M. *Optimizatsiya sudov*. L.: Sudostroenie, 1983.

13. Bronnikova, A. V. *Proektirovaniye sudov*. L.: Sudostroenie, 1991.

14. Shaydullin, M. G., and V. S. Bulatkin. “Vessel external design solution under conditions of uncertainty.” *Transactions of NNSTU n.a. R. E. Alekseev* 4(101) (2013): 214–221.

15. Frantsev, Mikhail Ernstovich. "The use of the parametric methods at the early stages of development of the vessel project from composites." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 1 (2014): 33–42.

16. Slizhevskii, N. B., Yu. M. Korol', M. G. Sokolin, and V. F. Timoshenko. *Raschet khodkosti nadvodnykh vodoizmeshchayushchikh sudov: uchebnoe posobie*. Edited by N. B. Slizhevskii. Nikolaev.: NUK, 2004.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Темникова Алена Александровна —
старший преподаватель
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
технический университет»
414056, Российская Федерация, Астрахань,
ул. Татищева 16
e-mail: awe_12@mail.ru
Рубан Анатолий Рашидович —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
технический университет»
414056, Российская Федерация, Астрахань,
ул. Татищева 16
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Temnikova, Alena A. —
Senior lecturer
Astrakhan State Technical University
16 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056,
Russian Federation
e-mail: awe_12@mail.ru
Ruban, Anatoliy R. —
PhD, associate professor
Astrakhan State Technical University
16 Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056,
Russian Federation
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 23 декабря 2016 г.
Received: December 23, 2016.*