

УДК 659.62

DOI: 10.37890/jwt.v68.210

## **Ледовые инерционные характеристики судов с нетрадиционным формообразованием**

**В.А. Лобанов**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0931-7317>

*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

**Аннотация.** В работе отмечен факт существенного прироста состава грузового флота внутреннего и смешанного (река-море) плавания судами с нетрадиционными формами корпусов. На основе данных САЕ-испытаний проведён анализ характера контакта таких судов с водо-ледяной средой при движении в ледовом канале. Отмечены качественные особенности такого контакта бульбоносных судов с мелкобитыми и тёртыми льдами. Особое внимание уделено исследованию влияния бульбообразных носовых заострений различных видов на изменение уровня продольных ледовых корпусных нагрузок и распределения льдов в зоне их движительных комплексов. Проведена статистическая обработка полученных экспериментальных данных по оценке влияния ледовых, динамических и конструктивных факторов на инерционные характеристики судов с нетрадиционным формообразованием. Дан количественный прогноз такого влияния в виде эмпирической методики оценки ледовых инерционных качеств исследованного флота.

**Ключевые слова:** судно, носовой бульб, ледовые условия, ледовые качества, инерционные характеристики, САЕ-система, конечноэлементное моделирование.

## **Ice inertial characteristics of vessels with nontraditional form**

**Vasily A. Lobanov**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0931-7317>

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** The fact of the essential increase of the structure of cargo internal and mixed (river- sea) fleet by the vessels with nonconventional forms hulls is noted in the article. On the basis of these CAE tests nature analyses of contact of such vessels with the water ice environment at the movement in the ice channel are carried out. Qualitative features of such contact of bulbous vessels with ice cakes and small ice cakes are noted. Special attention is paid to the research of influence of bulbous nasal points of different types on the change of level of longitudinal ice hull loads and distribution of ices in a zone of their propeller systems. Statistical processing of the obtained experimental data on impact assessment of ice, dynamic and constructive factors on inertial characteristics of vessels with nonconventional forms hulls is carried out. The quantitative predict of such influence in the form of an empirical method of assessment of ice inertial characteristics of the studied fleet is given.

**Keywords:** vessel, nasal bulb, ice conditions, ice performances, inertial characteristics, CAE-system, finite element modeling.

### **Введение**

За прошедшие два десятилетия состав флота внутреннего и смешанного (река – море) плавания существенно обновился судами с нетрадиционным формообразованием [1]. Под нетрадиционным формообразованием автор понимает

наличие плуго- и таранообразных носовых бульбов, значительно удлиненных цилиндрических вставок и увеличенных коэффициентов полноты водоизмещения корпусов.

Многие проекты судов этого флота предусматривают круглогодичную эксплуатацию, в том числе в ледовых условиях неарктических судоходных путей. Ледовые категории (ледовые классы), присвоенные классификационными обществами таким судам, допускают их безопасную эксплуатацию лишь в условиях мелкобитых, тёртых льдов и ледяной каши при толщинах ледяной среды не более полуметра. Однако регламентированные условия ледового плавания допустимы к корректировке при наличии на судне Ледового паспорта [2].

Одним из обязательных разделов Ледового паспорта являются рекомендации по безопасным дистанциям между судами при их движении в караване по ледовому каналу. Безопасные дистанции, в свою очередь, непосредственно определяются инерционными качествами судов во льдах. Следует отметить, что для исследуемого флота в допустимых условиях его эксплуатации автором не обнаружены какие-либо методики по оценкам названных ледовых качеств. Поэтому в данной работе предложен чисто эмпирический метод их расчёта, основанный на статистической обработке данных многочисленных САЕ-испытаний судов во льдах, частично дополненных результатами натуральных наблюдений [3-9].

### Моделирование

Теоретические основы САЕ-моделирования взаимодействия корпуса судна и его движительно-рулевого комплекса с водо-ледяной средой (типы и модели конечных элементов, особенности реакции материалов на нагрузку, алгоритмы поведения контактных границ, приёмы формирования геометрии конструкций и конечноэлементных сеток для них, начальные и граничные условия, способы понижения ресурсоёмкости моделей) сформулированы и апробированы автором в монографии [10]. Для ускорения описания геометрии обводов судов и движителей с требуемыми параметрами в САЕ-системе LS-DYNA [11], а также для статистической обработки больших объёмов данных автором применена MathCAD-среда [12].

### Разгон

Расчёт пути и времени разгона до скорости, достижимой в заданных ледовых условиях, требует численного решения дифференциального уравнения движения судна в этот период:

$$m_s \frac{dv}{dt} = T_i(v) - R_i(v), \quad (1)$$

где  $m_s$  – масса судна с присоединённой водой и льдами, т:

$$m_s = \delta VT \left( L + \frac{T}{2} \right) + 6,37\delta LBT \left( \frac{h}{T} \right)^{1,23} \bar{c}^{1,33} \left( \frac{L}{B} \right)^{-1,34}, \quad (2)$$

где  $L, B, T$  – расчётные размерения судна, м

$\delta$  – коэффициент полноты водоизмещения судна;

$h$  – толщина ледяного покрова, м;

$\bar{c}$  – относительная сплочённость ледяного покрова.

$v$  – скорость хода судна, м/с;

$t$  – текущее время, с;

$T_i(v)$  – полезная ледовая тяга движителей как функция скорости, кН:

$$T_i(v) = T_w(v) - [T_w(v) - R_w(v)]K_{td}(v), \quad (3)$$

где  $T_w(v)$  – тяга движителей в чистой воде как функция скорости;

$R_w(v)$  – гидродинамическое сопротивление судна в чистой воде как функция скорости;

$K_{td}(v)$  – эмпирический коэффициент, представленный десятифакторной зависимостью с коэффициентом корреляции около 0,95 по результатам статистической обработки данных САЕ-экспериментов в среде MathCAD (Рис. 1):

$$K_{td} = f(L, B, T, \delta, \varphi, \alpha, v, h, \bar{c}, m), \quad (4)$$

где  $\varphi$  – угол наклона форштевня к вертикали на расчётной ватерлинии, градус;  
 $\alpha$  – угол наклона расчётной ватерлинии на первом теоретическом шпангоуте к ДП судна, градус;

$m$  – разрушенность ледяного покрова, балл.

Коэффициент  $K_{td}(v)$  в зависимости (3) применяется как скоростная функция при прочих фиксированных аргументах (для конкретного судна и его посадки в заданных ледовых условиях).

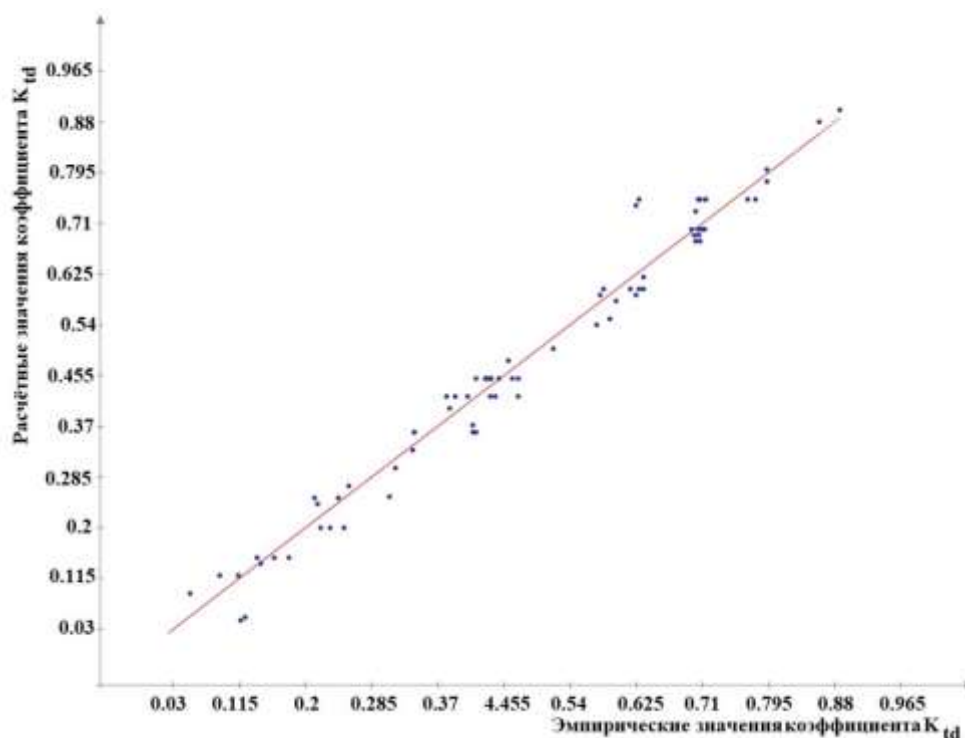


Рис. 1. Диагональная диаграмма статистической связи эмпирических и расчётных значений коэффициента  $K_{td}$

Fig. 1. Diagonal diagram of correlation of empirical and calculated values of coefficient  $K_{td}$

$R_i(v)$  – полное ледовое сопротивление судна как функция скорости, кН:

$$R_i(v) = \frac{T_{im}}{v_{im}^2} v^2, \quad (5)$$

где  $T_{im}$  – полезная ледовая тяга двигателей при достижимой скорости, определяемая по зависимости (3);

$v_{im}$  – достижимая скорость судна в заданных ледовых условиях, м/с [5]:

$$v_{im} = v_0(\sqrt{u^2 - 0,016K_{me}K_{br}hc^4b_h + d_h} - u), \quad (6)$$

где  $v_0$  – скорость полного хода судна в чистой воде, м/с;  
 $u$  – эмпирический коэффициент:

$$u = 2,5hc^2a_h + 0,5(d_h - 1), \quad (7)$$

где  $c$  – сплочённость льдов, балл;  
 $a_h$  – эмпирический коэффициент:

$$a_h = \frac{3,6Bv_0}{1000T_{w0}}, \quad (8)$$

где  $T_{w0}$  – тяга движителей на полном ходу в чистой воде, кН;  
 $d_h$  – эмпирический коэффициент:

$$d_h = K_f \frac{T_{rf}}{T_{w0}}, \quad (9)$$

где  $K_f$  – коэффициент формы судна (Рис. 2);

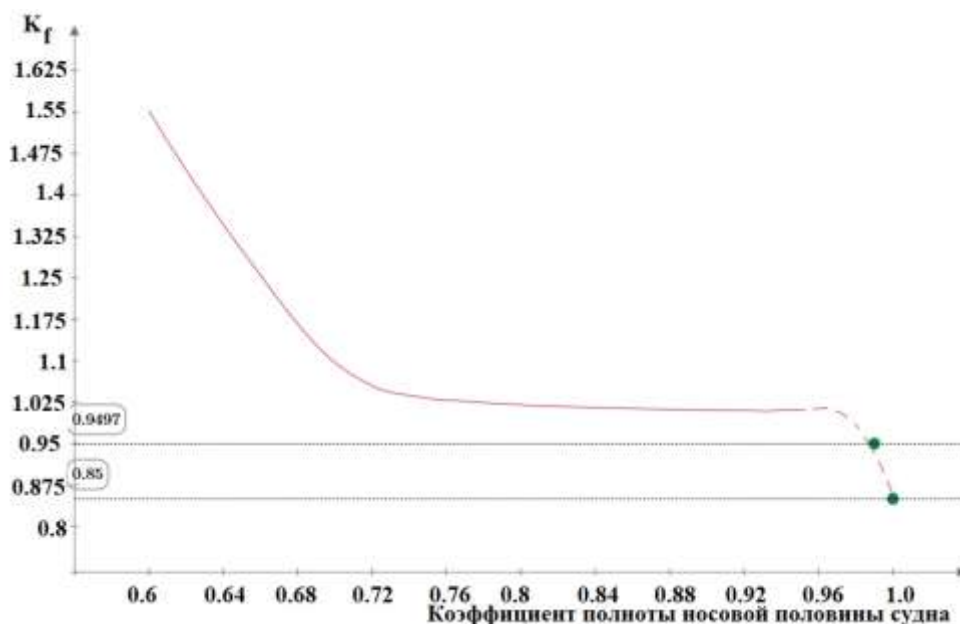


Рис. 2. Влияние вида носовой оконечности на ледовую ходкость судна  
 (Ордината точки 1 равна значению коэффициента  $K_f$  для судна с бульбообразным носом типа «таран», ордината точки 2 – для судна с бульбообразным носом типа «плуг»)

Fig. 2. Influence of the bow form on ice propulsion ability of the vessel  
 (The ordinate of a point 1 is equal to value of coefficient  $K_f$  for the vessel with a bulbous bow like «ram», ordinate of a point 2 – for the vessel with a bulbous bow like «plow»)

$T_{rf}$  – упор движителей «на швартовах» переднего хода в чистой воде, кН;  
 $K_{me}$  – коэффициент влияния разрушенности льда на ходкость судна (рис. 3).

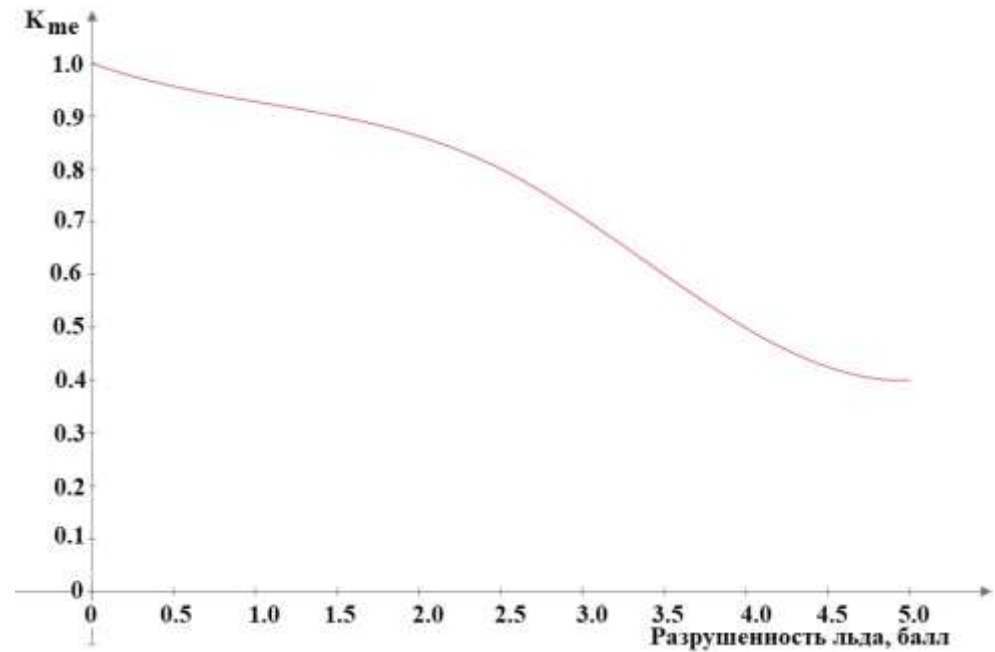


Рис. 3. Влияние разрушенности льда на ходкость судна

Fig. 3. Influence of an extent of ice destruction on ice propulsion ability of the vessel

$K_{br}$  – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние ширины ледового канала на ходкость судна. Определяется по графику рис. 4. При этом аргументом является отношение ширины канала к расчётной ширине судна.

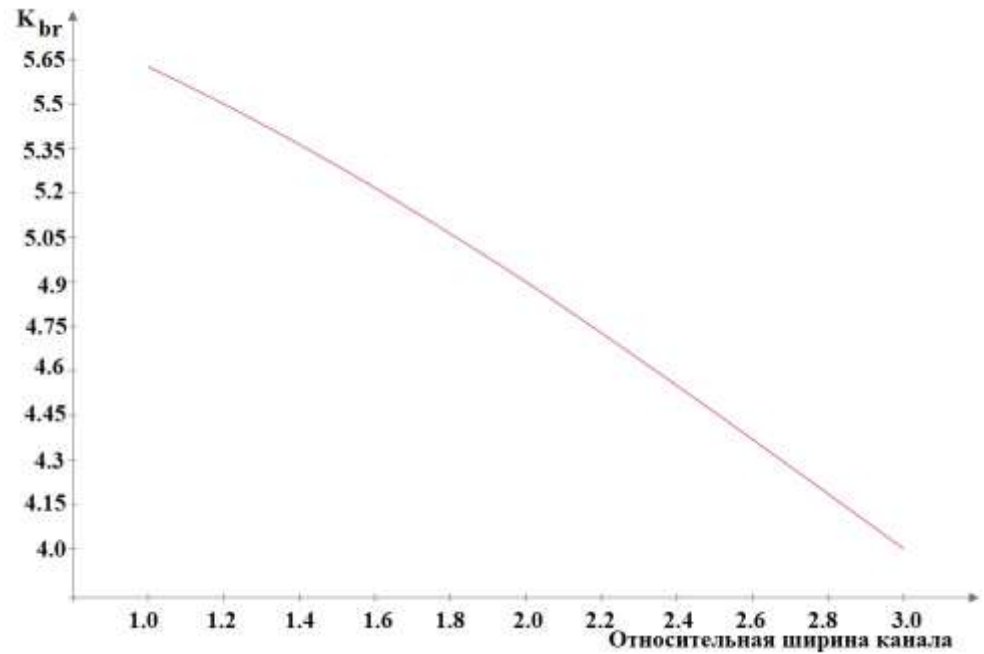


Рис. 4. Влияние ширины канала на ходкость судна

Fig. 4. Influence of the width of the ice channel on ice propulsion ability of the vessel

$b_h$  – эмпирический коэффициент:

$$b_h = \frac{B\sqrt{BL}}{1000T_{w0}}, \quad (10)$$

В качестве примера на рис. 5 показаны кривые разгона танкера проекта 19614 в ледовом канале, покрытом неразрушенными мелкобитыми льдами толщиной 0,5 м и сплочённостью 8 баллов.

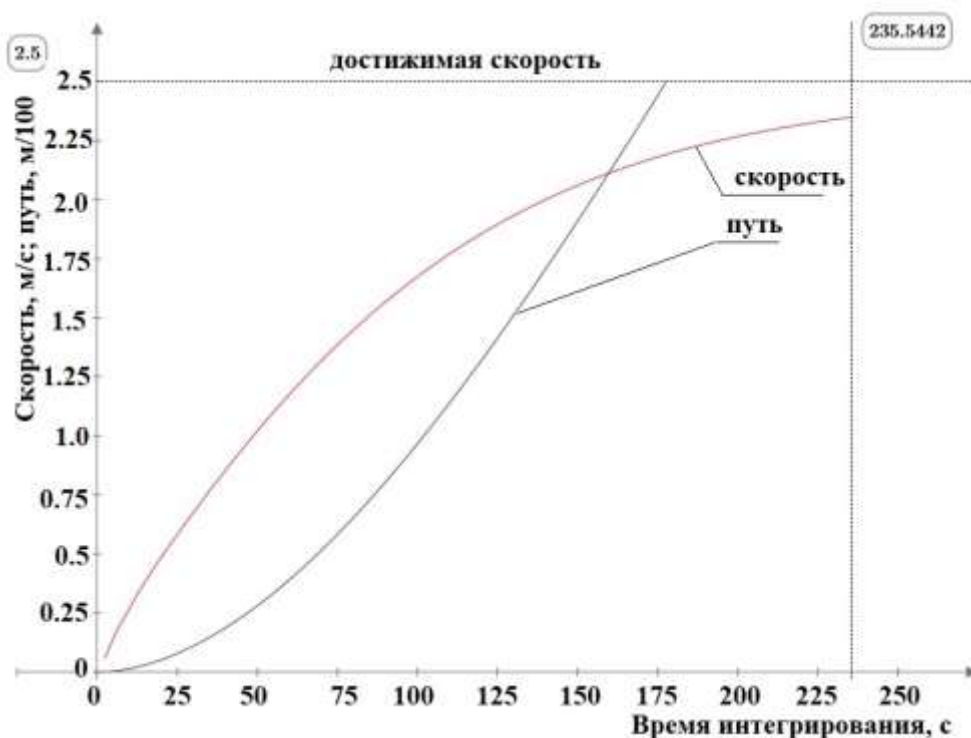


Рис. 5. Кривые разгона танкера проекта 19614 в ледовом канале

Fig. 5. Acceleration curves of the tanker of the project 19614 in the ice channel

Численное нахождение корня уравнения, описывающего кривую скорости (Рис. 5), в итоге даст искомое время разгона судна до заданной скорости в данных ледовых условиях. При этом заданную скорость рекомендуется устанавливать на уровне не ниже 95 % обеспеченности от достижимой, определяемой по зависимости (6). Найденное время разгона, в свою очередь, является аргументом уравнения пути разгона для расчёта последнего.

### Торможение

Нахождение пути и времени торможения судна во льдах до полной остановки выполняется в два этапа. На первом этапе численно решается дифференциальное уравнение его движения за период реверса движителей:

$$m_s \frac{dv}{dt} = T_i(t) - R_i(v), \quad (11)$$

где  $T_i(t)$  – полезная ледовая тяга движителей как функция времени, кН. На данном этапе исследований автором использована следующая зависимость для её описания:

$$T_i(t) = T_{im} - \frac{T_{im}}{0,5t_{re}} t, \quad (12)$$

где  $t_{re}$  – время реверса движителей, с.

Второй этап связан с решением дифференциального уравнения движения судна за оставшийся период торможения (от момента завершения реверса движителей до остановки судна):

$$m_s \frac{dv}{dt} = -T_{ir}(v) - R_i(v), \quad (13)$$

где  $T_{ir}(v)$  – полезная ледовая реверсивная тяга движителей как функция скорости, кН:

$$T_{ir}(v) = T_{rr}[1 + K_{td}(v)], \quad (14)$$

где  $T_{rr}$  – упор движителей «на швартовах» заднего хода в чистой воде, кН.

В качестве примера рис. 6 иллюстрирует расчёт кривых торможения танкера проекта 19614 в ледовом канале, покрытом неразрушенными мелкобитыми льдами толщиной 0,5 м и сплочённостью 8 баллов.

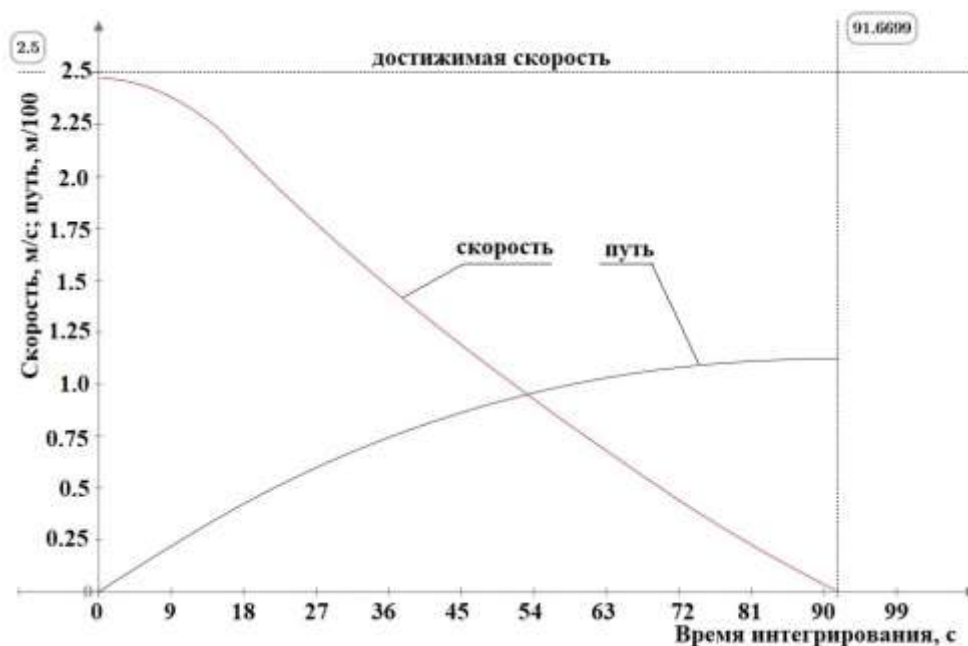


Рис. 6. Кривые торможения танкера проекта 19614 в ледовом канале

Fig. 6. Deceleration curves of the tanker of the project 19614 in the ice channel

Непосредственное определение времени и пути торможения по кривым рис. 6 аналогично описанному в предыдущем параграфе. Отличием является заданный уровень скорости – здесь он нулевой.

### Заключение

Предложенная в настоящей работе методика расчёта ледовых инерционных качеств исследованной группы флота, безусловно, носит оценочный характер. Поэтому применимость её ограничена задачами эксплуатационного характера. В данном случае – это оперативное планирование формирования ледовых караванов судов для их проводки ледоколом (или самостоятельного группового плавания).

В статье не приведено описание расчётов гидродинамических параметров судна в условиях чистой воды, требуемых данной методикой (упоры «на швартовах», кривые буксировочного сопротивления и тяги движителей). Это сделано умышленно, ибо к настоящему времени разработано, апробировано и опубликовано как в отечественной, так и в международной литературе большое количество методов оценки этих параметров [8,13,14]. При явной избыточности подобных методик у автора нет предпочтений в отношении их использования. Однако при этом следует отметить, что имеют место ощутимые расхождения в результатах расчётов названных характеристик по различным методикам. Поэтому при доступности репрезентативных натуральных данных по гидродинамическим характеристикам судна предпочтение следует отдать им.

Скоростная кривая полного ледового сопротивления судна (5) представлена в первом приближении, что требует её корректировки. Это уточнение достижимо только по результатам натурных испытаний судов, реальных или виртуальных модельных экспериментов [15-24].

### Список литературы

1. Морское инженерное бюро. – URL: <http://www.meb.com.ua/projects.html>. – Текст: электронный.
2. Свидетельство о допустимых условиях ледового плавания. Циркулярное письмо главного управления Российского морского регистра судоходства от 19 декабря 2011 г. № 314-2.2-547ц. – Текст: непосредственный.
3. *V. A. Lobanov*. Visualization of CAE-solutions of partial problems of ice navigation. Icebreaker sitting and propulsion ability. Scientific Visualization, 2020, volume 12, number 1, pages 48 – 60, DOI: 10.26583/sv.12.1.04. – URL: <http://sv-journal.org/2020-1/04>. – Text: electronic.
4. *Лобанов В.А.* Влияние формы и посадки судна на распределение льдов в зоне его движительно-рулевого комплекса. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 61. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2019. – с. 176-182. – URL: [http://journal.vsuwt.ru/public/v\\_arc/v61.pdf](http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v61.pdf). – Текст: электронный.
5. *Лобанов В.А.* Ледовая ходкость судов с нетрадиционным формообразованием. Научные проблемы водного транспорта (Вестник ВГАВТ). Выпуск 65. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – с. 143-156. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.136>. – Текст: электронный.
6. *Лобанов В.А.* Пропульсивные качества комплекса винт-насадка во льдах // Интернет-журнал «Наукоедение» Том 7, №1 (2015). – с. 1-18. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN115.pdf>. DOI: 10.15862/36TVN115. – Текст: электронный.
7. Эксплуатационно-технические испытания транспортных и ледокольных судов в ледовых условиях с разработкой предложений, обеспечивающих их круглогодичную эксплуатацию. Отчёт о научно-исследовательской работе по теме №XV-3.2/794147. Научные рук. – Тронин В.А., Богданов Б.В. – Горький.: ГИИВТ, 1981. – 262 с. – Текст: непосредственный.
8. *Тронин В.А.* Повышение безопасности и эффективности ледового плавания судов на внутренних водных путях: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: специальность 05.22.16 – Судовождение / Горький, 1990. – 414 с. – Текст: непосредственный.
9. *Ионов Б.П., Грамузов Е.М.* Ледовая ходкость судов. 2 издание, исправленное. – СПб.: Судостроение, 2014. – 504 с., ил. – Текст: непосредственный.
10. *Лобанов В.А.* Оценки ледовых качеств судов с применением CAE-систем: монография / В.А. Лобанов. – Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. – 296 с. – Текст: непосредственный.



11. Livermore Software Technology Corporation. LS-DYNA. – URL: <https://www.lstc.com/products/ls-dyna>. – Text: electronic.
12. PTC MathCAD. – URL: <https://www.ptc.com/en/products/MathCAD>. – Text: electronic.
13. Басин А.М., Анфимов В.Н. Гидродинамика судна. – Л.: «Речной транспорт», 1961. – 684 с., ил. – Текст: непосредственный.
14. Lothar Birk. Fundamentals of Ship Hydrodynamics: Fluid Mechanics, Ship Resistance and Propulsion. – Wiley, 2019. – 693 p. – Текст: непосредственный.
15. Alexey Dobrodeev, Kirill Sazonov, Alexander Andryushin, Sergey Fedoseev, Sergey Gavrilov. Experimental Studies of Ice Loads on Pod Propulsors of Ice-Going Support Ships. Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_031\\_Dobrodeev.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_031_Dobrodeev.pdf). – Text: electronic.
16. Akihisa Konno, Akihiro Nakane, Satoshi Kanamori. Validation of numerical estimation of brash ice channel resistance with model test. Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. June 9-13, 2013, Espoo, Finland. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13\\_143.pdf](http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_143.pdf). – Text: electronic.
17. Michael Lau. Friction Correction for Model Ship Resistance and Propulsion Tests in Ice. Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_125\\_Michael.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_125_Michael.pdf). – Text: electronic.
18. Hyoil Kim, Namkyun Im, Junji Sawamura. Experimental and Numerical Investigation of Ship-Ice Interactions in Pack Ice. Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_111\\_Hyoil.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_111_Hyoil.pdf). – Text: electronic.
19. Seong-Yeob Jeong, Jeong-Gil Yum, Eun-Jee Cheon, Kyungsik Choi. Ice Load Characteristics on a Model Ship Hull Installed with Tactile Sensor Panels. Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_151\\_Eun-Jee.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_151_Eun-Jee.pdf). – Text: electronic.
20. Cheol ho Ryu, Hyun Soo Kim, Kyung Duk Park, Chun Ju Lee, Jae-Moon Lew. Development of ice resistance estimation system using empirical formula. Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 9-13, 2013, Espoo, Finland. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13\\_037.pdf](http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_037.pdf). – Text: electronic.
21. Junji Sawamura, Ryouhei Kikuzawa, Takashi Tachibana, Masaya Kunigita. Numerical investigation of the ice Force Distribution around the Ship Hull in level Ice. Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. July 10-14, 2011, Montreal, Canada. – URL: <http://www.poac.com/PapersOnline.html>. – Text: electronic.
22. Kyung-Duk Park, Donghyeong Ko. New Ice Resistance Evaluation Technique Considering Hull form and Icebreaking Pattern for Arctic Vessels. Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_064\\_Kyung-Duk.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_064_Kyung-Duk.pdf). – Text: electronic.
23. Ji S., Kong S. Interaction between Level Ice and Ship Hull based on DEM simulations // Proceedings of the 23<sup>rd</sup> IAHR International Symposium on Ice. 2016. – Text: direct.
24. Tan X. Numerical investigation of ship's continuous mode icebreaking in level ice (Doctoral thesis). Norway, Norwegian University of Science and Technology, Department of Marine Technology, 2014. – Text: direct.

#### References

1. Morskoe inzhenernoe byuro. – URL: <http://www.meb.com.ua/projects.html>. – Текст: электронный.
2. Svidetel'stvo o dopustimyykh usloviyakh ledovogo plavaniya. Tsirkulyarnoe pis'mo glavnogo upravleniya Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva ot 19 dekabrya 2011 g. № 314-2.2-547ts. – Текст: непосредственный.
3. V. A. Lobanov. Visualization of CAE-solutions of partial problems of ice navigation. Icebreaker sitting and propulsion ability. Scientific Visualization, 2020, volume 12, number 1, pages 48 - 60, DOI: 10.26583/sv.12.1.04. – URL: <http://sv-journal.org/2020-1/04>. – Text: electronic.
4. Lobanov V.A. Vliyaniye formy i posadki sudna na raspredeleniye l'dov v zone ego dvizhitel'no-rulevogo kompleksa. Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. (61) 2019: 176-182. – URL: [http://journal.vsuwt.ru/public/v\\_arc/v61.pdf](http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v61.pdf). – Текст: электронный.

5. Lobanov V.A. Ledovaya khodkost' sudov s netraditsionnym formoobrazovaniem. Nauchnye problemy vodnogo transporta (Vestnik VGAVT). Vypusk 65. – N. Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2020. – s. 143-156. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.136>. – Tekst: ehlektronnyi.
6. Lobanov V.A. Propul'sivnye kachestva kompleksa vint-nasadka vo l'dakh // Internet-zhurnal «Naukovedenie» Tom 7, №1 (2015). – s. 1-18. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN115.pdf>. DOI: 10.15862/36TVN115. – Tekst: ehlektronnyi.
7. Ekspluatatsionno-tehnicheskie ispytaniya transportnyh i ledokol'nyh sudov v ledovyh usloviyah s razrabotkoj predlozhenij, obespechivayushchih ih kruglogodovuyu ekspluatatsiyu. Otchyot o nauchno-issledovatel'skoj rabote po teme №XV-3.2/794147. Nauchnye ruk. – Tronin V.A., Bogdanov B.V. - Gor'kij.: GIIVT, 1981. – 262 p. – Tekst: neposredstvennyi.
8. Tronin V.A. Povyshenie bezopasnosti i effektivnosti ledovogo plavaniya sudov na vnutrennih vodnyh putyah: dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk: special'nost' 05.22.16 – Sudovozhdenie / Gor'kij, 1990. – 414 p. – Tekst: neposredstvennyi.
9. Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaya hodkost' sudov. 2 izdanie, ispravlennoe. – SPb.: Sudostroenie, 2014. – 504 p. – Tekst: neposredstvennyi.
10. Lobanov V.A. Otsenki ledovykh kachestv sudov s primeneniem CAE-sistem: monografiya / V.A. Lobanov. – N. Novgorod: Izd-vo FBOU VPO «VGAVT», 2013. – 296 s. – Tekst: neposredstvennyi.
11. Livermore Software Technology Corporation. LS-DYNA. – URL: <https://www.lstc.com/products/ls-dyna>. – Text: electronic.
12. PTC MathCAD. – URL: <https://www.ptc.com/en/products/MathCAD>. – Text: electronic.
13. Basin A.M., Anfimov V.N. Gidrodinamika sudna. – L.: «Rechnoi transport», 1961. – 684 p., il. – Tekst: neposredstvennyi.
14. Lothar Birk. Fundamentals of Ship Hydrodynamics: Fluid Mechanics, Ship Resistance and Propulsion. – Wiley, 2019. – 693 p. – Text: direct.
15. Alexey Dobrodeev, Kirill Sazonov, Alexander Andryushin, Sergey Fedoseev, Sergey Gavrilov. Experimental Studies of Ice Loads on Pod Propulsors of Ice-Going Support Ships. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_031\\_Dobrodeev.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_031_Dobrodeev.pdf). – Text: electronic.
16. Akihisa Konno, Akihiro Nakane, Satoshi Kanamori. Validation of numerical estimation of brash ice channel resistance with model test. Proceedings of the 22 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. June 9-13, 2013, Espoo, Finland. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13\\_143.pdf](http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_143.pdf). – Text: electronic.
17. Michael Lau. Friction Correction for Model Ship Resistance and Propulsion Tests in Ice. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_125\\_Michael.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_125_Michael.pdf). – Text: electronic.
18. Hyoil Kim, Namkyun Im, Junji Sawamura. Experimental and Numerical Investigation of Ship-Ice Interactions in Pack Ice. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_111\\_Hyoil.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_111_Hyoil.pdf). – Text: electronic.
19. Seong-Yeob Jeong, Jeong-Gil Yum, Eun-Jee Cheon, Kyungsik Choi. Ice Load Characteristics on a Model Ship Hull Installed with Tactile Sensor Panels. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_151\\_Eun-Jee.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_151_Eun-Jee.pdf). – Text: electronic.
20. Cheol ho Ryu, Hyun Soo Kim, Kyung Duk Park, Chun Ju Lee, Jae-Moon Lew. Development of ice resistance estimation system using empirical formula. Proceedings of the 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 9-13, 2013, Espoo, Finland. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13\\_037.pdf](http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_037.pdf). – Text: electronic.
21. Junji Sawamura, Ryouhei Kikuzawa, Takashi Tachibana, Masaya Kunigita. Numerical investigation of the ice Force Distribution around the Ship Hull in level Ice. Proceedings of the 21 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. July 10-14, 2011, Montreal, Canada. – URL: <http://www.poac.com/PapersOnline.html>. – Text: electronic.
22. Kyung-Duk Park, Donghyeong Ko. New Ice Resistance Evaluation Technique Considering Hull form and Icebreaking Pattern for Arctic Vessels. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – URL: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_064\\_Kyung-Duk.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_064_Kyung-Duk.pdf). – Text: electronic.
23. Ji S., Kong S. Interaction between Level Ice and Ship Hull based on DEM simulations // Proceedings of the 23rd IAHR International Symposium on Ice. 2016. – Text: direct.

24. *Tan X.* Numerical investigation of ship's continuous mode icebreaking in level ice (Doctoral thesis). Norway, Norwegian University of Science and Technology, Department of Marine Technology, 2014. – Text: direct.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Лобанов Василий Алексеевич**, профессор кафедры Судовождения и безопасности судоходства, доцент, д.т.н., кафедра Судовождения и безопасности судоходства, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Россия, Нижний Новгород, Нестерова 5, e-mail: [lobbas@mail.ru](mailto:lobbas@mail.ru)

**Vasily A. Lobanov**, Professor of department of Navigation and safety of navigation, associate professor, Dr. Sci. Tech., department of Navigation and safety of navigation, Volga State University of Water Transport, 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Nesterova 5, e-mail: [lobbas@mail.ru](mailto:lobbas@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021  
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021