

*Лобанов Василий Алексеевич, д.т.н., профессор кафедры Судовождения и безопасности судоходства, доцент, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.*

## **ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И ПОСАДКИ СУДНА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЬДОВ В ЗОНЕ ЕГО ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВОГО КОМПЛЕКСА**

*Ключевые слова: форма корпуса судна, посадка судна, движительно-рулевой комплекс, ледовые условия, ледовый канал, САЕ-система, конечноэлементное моделирование.*

*Аннотация. В статье с применением САЕ-технологий исследован характер взаимодействия корпуса подвижного судна с мелкобитыми и тёртыми льдами различной толщины и сплочённости в ледовом канале. Основное внимание уделено изучению распределения льдов в районе традиционного расположения движительно-рулевого комплекса при варьировании габаритов, обводов корпуса и вариантов посадки судна. Отмечены качественные особенности такого взаимодействия судна с водолеяной средой. Проведён статистический анализ полученных экспериментальных данных по оценке влияния конструктивных, динамических и ледовых факторов на сплочённость льдов в зоне их контакта с движительно-рулевым комплексом. Дан количественный прогноз такого влияния в виде многофакторного уравнения регрессии.*

### **Введение**

Пропульсивный потенциал движительно-рулевого комплекса (ДРК) определяет ходовые и маневренные качества судна. Его корректная оценка для ледовых условий эксплуатации требует учёта состояния водолеяной среды в районе потенциального контакта с ней судового ДРК. Как показывают натурные ледовые испытания флота и модельные эксперименты, это состояние (толщина, сплочённость и раздробленность льдов) зависит от множества факторов. В их ряду следует выделить наиболее значимые: характеристики преодолеваемого ледяного покрова; размеры, форма, посадка и скорость хода судна; расположение его ДРК [1–15].

Научно-техническая деятельность автора связана с оценками ледовых качеств судов внутреннего и смешанного река-море плавания. Подавляющая часть ледовокатегорийного флота данной группы в соответствии с требованиями классификационных обществ имеет неарктический уровень «Ice-1» («Лёд-40»). Выполнение этих требований подразумевает безопасную ледовую эксплуатацию таких судов лишь в мелкобитых и тёртых льдах толщиной до полуметра. Современный состав этого флота отличает многообразие форм обводов и главных размерений при традиционном (кормовом) расположении ДРК. В качестве последнего активно применяются комплексы «винт-руль», «винт-поворотная насадка», сочетания «винт-руль-насадка», винторулевые колонки (ВРК, азимутальные комплексы) как с открытыми винтами, так и с винтами в насадках. Характер «обтекания» корпусов судов *исследуемой* водолеяной средой и её последующего взаимодействия с упомянутыми ДРК индивидуален и к настоящему времени недостаточно изучен, что ограничивает степень достоверности прогноза их ледовых качеств.

Сохраняющейся потребности в решении частных задач ледового судоходства препятствует невозможность постановки в настоящее время полномасштабных натурных испытаний флота. В ряде случаев как альтернативу натуре в качестве репрезентативного источника данных можно рекомендовать модельный эксперимент в опытовых ледовых бассейнах. Однако один из основных недостатков реального моделирования – несовершенство модельного ледяного покрова не позволяет обеспечить эффект «полного подобия» модели и природы (и, особенно, при изучении контакта гребных винтов со льдом). Невозможность разделения гидродинамического и ледового воздействия на корпус судна и его ДРК, выявления составляющих ледовых нагрузок (на корпусе, движителях, рулях, насадках) также является значимым ограничением получения достоверной информации в обоих вышеупомянутых случаях.

Опыт автора продемонстрировал, что недостаток надёжных натуральных или эмпирических данных во многих случаях восполним реализацией виртуального эксперимента с использованием САЕ-технологий [11–13, 16]. Ниже это проиллюстрировано итогами очередной серии САЕ-ледовых буксировочных испытаний судов различного формообразования и вариантов их посадки.

### **Моделирование**

Теоретические основы САЕ-моделирования ледовогидродинамического воздействия на конструкции судового корпуса и ДРК (формулировки и типы конечных элементов, реология материалов, алгоритмы контактных взаимодействий, приёмы формирования геометрии конструкций и генерация

конечноэлементных сеток для них, начальные и граничные условия, способы уменьшения ресурсозатратности задач) разработаны и апробированы автором в серии публикаций, посвящённых решению ряда проблем ледового судоходства [11–13]. Для значительного ускорения построения обводов судовых корпусов с заданными характеристиками автором использована MATHCAD-среда согласно рекомендациям работы [17].

Приведённый ниже анализ выполнен по результатам САЕ-испытаний судов при варьировании их формы и посадки в различных динамических и ледовых условиях (Табл. 1).

Таблица 1

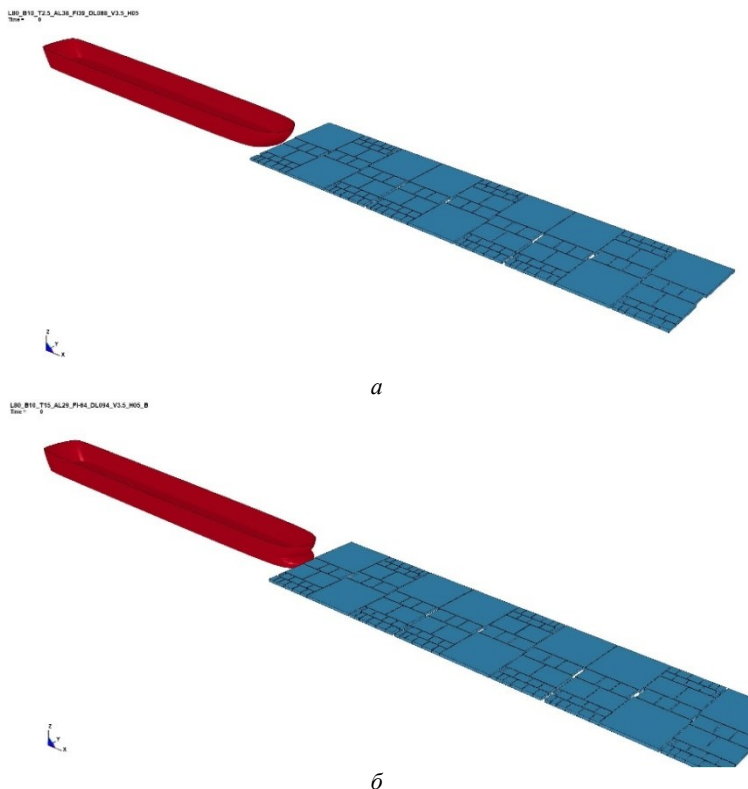
Расчётные характеристики судна и ледяного покрова

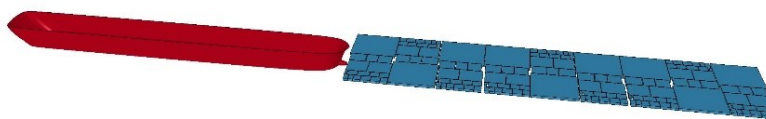
Параметр	Единица измерения	Интервал варьирования
Длина судна	м	80-140
Ширина судна	м	10,0-16,5
Осадка судна	м	1,5-4,0
Коэффициент полноты водоизмещения носовой половины судна		0,62-0,93
*Наклон форштевня к вертикали на действующей ватерлинии	градус	(-10)-(+56)
Наклон действующей ватерлинии к диаметральной плоскости (ДП) судна на первом теоретическом шпангоуте	градус	20-40
Форма корпуса судна		Традиционная, острый носовой бульб, тупой носовой бульб
Относительная длина ледового канала	Длина судна	3,0-3,5
Относительная ширина ледового канала	Ширина судна	2,5-3,0
Толщина льда	м	0,2-0,5
Сплочённость льда		0,9-1,0
Раздробленность льда		Мелкобитый и тёртый
Скорость движения судна	м/с	1,0-3,5

*Примечание.*

\* – отрицательные значения наклона форштевня к вертикали актуальны только для судна с тупым носовым бульбом.

Примеры начального состояния модели показаны на рис. 1.





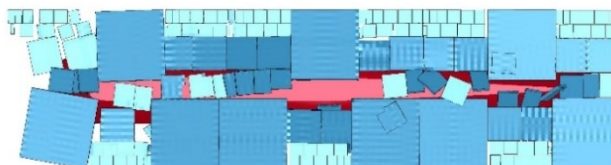
6

Рис. 1. Примеры исходной модели: а – традиционная форма судна, б – судно с тупым носовым бульбом, в – судно с острым носовым бульбом

Действие судового ДРК и гидродинамические нагрузки на корпус судна и ледяной покров были заданы узловыми силами в соответствии с рекомендациями работ [11–13].

### Анализ характера ледового «обтекания»

В ряде предыдущих публикаций автором был проведён САЕ-анализ пропульсивных и рулевых качеств основных видов ДРК исследуемой группы флота в условиях мелкобитых и тёртых льдов [11–13]. При этом статистическая обработка полученных данных выявила значимую корреляцию между результирующим ледовым упором (рулевой силой) любого ДРК и основными характеристиками ледяной среды – толщиной, раздробленностью и сплочённостью льдов в зоне контакта. И, если два первых ледовых параметра *зоны контакта* допустимо принять эквивалентными соответствующим характеристикам *преодолеваемого ледяного покрова*, то последний будет полностью определяться характером «обтекания» корпуса судна водоледяной средой. Это убедительно иллюстрируют результаты САЕ-моделирования, полученные в рамках настоящей работы (Рис. 2).



а



б

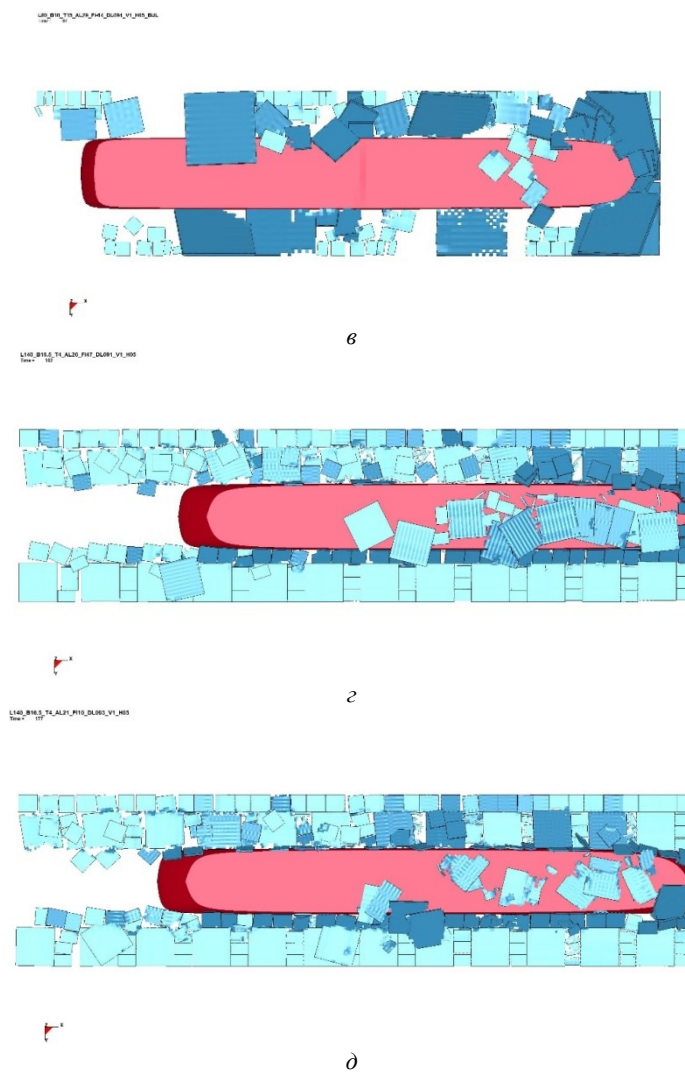


Рис. 2. Характер «обтекания» ледяной средой судовых корпусов различных габаритов и форм: а – V-U-образная форма судна; длина 80 м; ширина 10 м; осадка 1,5 м; коэффициент носовой полноты водоизмещения 0,62; угол наклона форштевня 16 градусов; угол наклона ватерлинии 30 градусов; б – традиционная форма судна; длина 80 м; ширина 10 м; осадка 1,5 м; коэффициент носовой полноты водоизмещения 0,91; угол наклона форштевня 16 градусов; угол наклона ватерлинии 38 градусов; в – судно с тупым носовым бульбом; длина 80 м; ширина 10 м; осадка 1,5 м; коэффициент носовой полноты водоизмещения 0,94; угол наклона форштевня – 64 градуса; угол наклона ватерлинии 29 градусов; г – традиционная форма судна; длина 140 м; ширина 16,5 м; осадка 4 м; коэффициент носовой полноты водоизмещения 0,91; угол наклона форштевня 47 градусов; угол наклона ватерлинии 20 градусов; д – традиционная форма судна; длина 140 м; ширина 16,5 м; осадка 4 м; коэффициент носовой полноты водоизмещения 0,93; угол наклона форштевня 10 градусов; угол наклона ватерлинии 21 градус

Первичный качественный анализ результатов САЕ-симуляции (Рис. 2) позволяет сделать предположение о преобладающем влиянии формообразования судна (и, в первую очередь, носовых обводов) на характер «обтекания» корпуса мелкобитыми и тёртыми льдами и, следовательно, на количество льда, попадающего в зону его возможного контакта с ДРК.

Последующая статистическая обработка данных САЕ-экспериментов проводилась для выявления адекватного многофакторного уравнения регрессии. При этом в качестве *отклика* целевой математической модели была установлена степень сплочённости льдов в зоне расположения ДРК судна (кормовая часть). В перечне *факторов* первоначально рассматривались следующие аргументы: длина, ширина, осадка судна; коэффициент полноты водоизмещения носовой половины судна; наклон форштевня к вертикали; наклон ватерлинии к ДП судна на первом теоретическом шпангоуте; толщина, сплочённость и раздробленность преодолеваемого ледяного покрова; характеристики ледового канала; скорость движения судна.

Регрессионный анализ с использованием пошагового метода включения/исключения факторов и их взаимодействий (метод Ефроймсона [18]) обнаружил в качестве значимой следующую статистическую связь:

$$C(L, B, T, \delta, \varphi, \alpha, V) = 4,824 \cdot 10^{-2} \cdot \varphi + 5,654 \cdot 10^{-4} \cdot L \cdot V - 5,0754 \cdot 10^{-2} \cdot B \cdot \delta - 5,499 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot \varphi - 3,544 \cdot 10^{-4} \cdot \varphi^2 - 3,44 \cdot 10^{-4} \cdot \varphi \cdot \alpha - 1,17 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha \cdot V + 0,818 \quad (1)$$

где  $C(L, B, T, \delta, \varphi, \alpha, V)$  – сплочённость льдов в зоне их контакта с ДРК как многофакторная функция;

$L$  – длина судна по действующей ватерлинии, м;

$B$  – ширина судна по действующей ватерлинии, м;

$T$  – действующая осадка судна, м;

$\delta$  – коэффициент полноты действующего водоизмещения носовой части судна (от миделя в нос);

$\varphi$  – угол наклона форштевня к вертикали на действующей ватерлинии, градус;

$\alpha$  – угол наклона действующей ватерлинии в точке первого теоретического шпангоута к ДП судна, градус;

$V$  – скорость движения судна, м/с.

На уровне значимости 0,05 зависимость (1) обеспечила коэффициент множественной корреляции 0,96. Качественно это иллюстрирует диагональная диаграмма статистической связи эмпирических и расчётных значений сплочённости льда в зоне нахождения судового ДРК (Рис. 3).

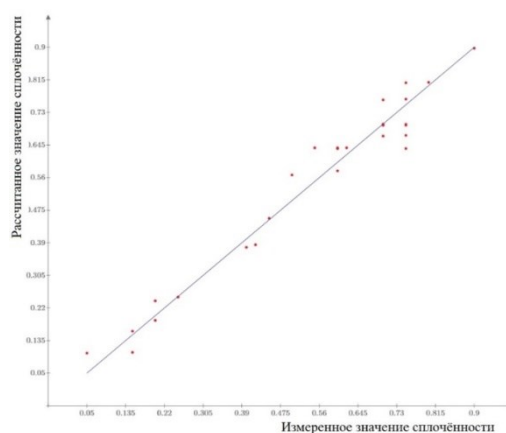


Рис. 3. Диагональная диаграмма статистической связи эмпирических и расчётных значений сплочённости льда

Анализ составляющих формулы (1) показывает, что подавляющее большинство значимых факторов (шесть из семи включённых) относимы к описанию формообразования судна. Это дополнительно подтверждает сделанное выше предположение о преобладающем влиянии обводов корпуса на распределение мелкобитых и тёртых льдов в зоне кормового расположения ДРК судна. Следует отметить, что большая часть этих факторов функционально выражена в их взаимодействиях. В «чистом» виде присутствует только угол наклона форштевня к вертикали на действующей ватерлинии. Он же в качестве единственного придаёт нелинейность зависимости (1).

При этом необходимо указать на то, что факторы формы нельзя признать независимыми переменными, так как в уравнении (1) они характеризуют *погружённую* часть судна (*действующее* водоизмещение). Изменение любого параметра из этого перечня влечёт за собой корректировку ряда других (а, возможно, и всех). В данном случае в качестве комплексного независимого переменного формы выступает случайная совокупность факторов формы в их исследованных вариационных интервалах.

Единственным значимым «внешним» фактором (во взаимодействии с некоторыми параметрами формы) оставлена скорость движения судна, обеспечивающая в реальном диапазоне её значений линейное изменение сплочённости льдов в районе ДРК в интервале не более 1,5 баллов.

Параметры ледяного покрова (в том числе толщина и сплочённость) не вошли в перечень значимых факторов зависимости (1). Объяснением тому, по-видимому, служит относительно узкий диапазон их варьирования (в пределах допустимых величин по условиям безопасности плавания и реальных размеров ледового канала).

## Выводы

1. При невозможности проведения натуральных ледовых испытаний судов надёжной альтернативой оценки их ледовых качеств остаётся модельный эксперимент (в том числе и виртуальный).

2. Преобладающее влияние на распределение мелкобитых и тёртых льдов в зоне кормового расположения ДРК судна оказывает форма обводов корпуса.

3. Единственным значимым «внешним» фактором этого распределения является скорость движения судна.

#### Список литературы:

- [1] 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. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13\\_143.pdf](http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_143.pdf)
- [2] Alexey Dobrodeev, Kirill Sazonov, Alexander Andryushin, Sergey Fedoseev, Sergey Gavrilov. Experimental Studies of Ice Loads on Pod Propulsors of IceGoing Support Ships. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_031\\_Dobrodeev.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_031_Dobrodeev.pdf)
- [3] Cheol ho Ryu, Hyun Soo Kim, Kyung Duk Park, Chun Ju Lee, Jae-Moon Lew4. 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. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13\\_037.pdf](http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_037.pdf)
- [4] 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. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_111\\_Hyoil.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_111_Hyoil.pdf)
- [5] 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. – Access mode: <http://www.poac.com/PapersOnline.html>
- [6] 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. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_064\\_Kyung-Duk.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_064_Kyung-Duk.pdf)
- [7] 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. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_125\\_Michael.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_125_Michael.pdf)
- [8] 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. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_151\\_Eun-Jee.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_151_Eun-Jee.pdf)
- [9] Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов. 2 издание, исправленное. – СПб.: Судостроение, 2014. – 504 с., ил.
- [10] Каштелян В.И., Позняк И.И., Рывлин А.Я. Сопротивление льда движению судна. – Л.: Судостроение, 1968. – 238 с.
- [11] Лобанов В.А. Пропульсивные качества комплекса винт-насадка во льдах // Интернет-журнал «Науковедение» Том 7, №1 (2015). – с. 1–18. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN115.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/36TVN115
- [12] Лобанов В.А. Рулевая сила комплекса винт-руль во льдах // Интернет-журнал «Науковедение» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/189TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/189TVN515
- [13] Лобанов В.А., Тихонов В.И. Влияние посадки судна на его ледовое сопротивление. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 56. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2018. – с. 187–197. – Режим доступа: [http://www.vsuwt.ru/newsite/departments/science\\_innovation/vestnik-vgavt/spisok-opublikovannykh-statey.php](http://www.vsuwt.ru/newsite/departments/science_innovation/vestnik-vgavt/spisok-opublikovannykh-statey.php)
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Hallquist J.O. LS-DYNA 950. Theoretical Manual. Livermore Software Technology Corporation. LSTC Report 1018. Rev. 2. USA, 2001. – 498 p.
- [17] Лобанов В.А. Моделирование судовых движителей в CAD и CAE-системах. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 54. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2018. – с. 134–142. – Режим доступа: [http://www.vsuwt.ru/newsite/departments/science\\_innovation/vestnik-vgavt/spisok-opublikovannykh-statey.php](http://www.vsuwt.ru/newsite/departments/science_innovation/vestnik-vgavt/spisok-opublikovannykh-statey.php)
- [18] Справочник по теплообменным аппаратам / П.И. Бажан, Г.Е. Каневец, В.М. Селивёрстов. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с. – Режим доступа: <http://bookre.org/reader?file=633245&pg=1>

## THE IMPACT OF THE SHIP SHAPE AND DRAUGHT ON ICES DISTRIBUTION IN THE ZONE OF ITS PROPULSION-STEERING COMPLEX

*Lobanov Vasily A., 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*

Keywords: *vessel's hull shape, ship draught, propulsion-steering complex, ice conditions, ice channel, CAE-system, finite element modeling.*

*The article deals with the study of the nature of interaction of a travelling vessel's hull with ice cakes and small ice cakes of different thickness and concentration in the ice channel with the use of CAE technologies. The focus is on studying the distribution of ices in the area of traditional propulsion-steering complex location at variation of dimensions, hull shapes and ship draught. Qualitative features of such interaction of the vessel with the water ice environment are noted. The statistical analysis of the obtained experimental data on the assessment of design, dynamic and ice factors impact on ices concentration in the area of their contact with a propulsion-steering complex was carried out. The quantitative forecast of such an impact in the form of the multifactorial regression equation is given.*

#### References:

- [1] 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. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13\\_143.pdf](http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_143.pdf)
- [2] Alexey Dobrodeev, Kirill Sazonov, Alexander Andryushin, Sergey Fedoseev, Sergey Gavrilov. Experimental Studies of Ice Loads on Pod Propulsors of IceGoing Support Ships. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_031\\_Dobrodeev.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_031_Dobrodeev.pdf)
- [3] Cheol ho Ryu, Hyun Soo Kim, Kyung Duk Park, Chun Ju Lee, Jae-Moon Lew4. 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. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13\\_037.pdf](http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_037.pdf)
- [4] 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. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_111\\_Hyoil.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_111_Hyoil.pdf)
- [5] 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. – Access mode: <http://www.poac.com/PapersOnline.html>
- [6] 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. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_064\\_Kyung-Duk.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_064_Kyung-Duk.pdf)
- [7] 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. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_125\\_Michael.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_125_Michael.pdf)
- [8] 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. – Access mode: [http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17\\_151\\_Eun-Jee.pdf](http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_151_Eun-Jee.pdf)
- [9] Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaya xodkost` sudov. 2 izdanie, ispravlennoe. – SPb.: Sudostroenie, 2014. – 504 s., il.
- [10] Kashtelyan V.I., Poznyak I.I., Ry`vlin A.Ya. Soprotivlenie l`da dvizheniyu sudna. – L.: Sudostroenie, 1968. – 238 s.
- [11] Lobanov V.A. Propul`sivny`e kachestva kompleksa vint-nasadka vo l`dax // Internet-zhurnal «Naukovedenie» Tom 7, №1 (2015). – s. 1-18. – Access mode: <http://naukovedenie.ru/PDF/36TVN115.pdf>. DOI: 10.15862/36TVN115
- [12] Lobanov V.A. Rulevaya sila kompleksa vint-rul` vo l`dax // Internet-zhurnal «Naukovedenie» Tom 7, №5 (2015). – Access mode: <http://naukovedenie.ru/PDF/189TVN515.pdf>. DOI: 10.15862/189TVN515
- [13] Lobanov V.A., Tixonov V.I. Vliyanie posadki sudna na ego ledovoe soprotivlenie. Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. Vy`pusk 56. – N. Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2018. – s. 187–197. – Access mode: [http://www.vsuwt.ru/newsite/departments/science\\_innovation/vestnik-vgavt/spisok-opublikovannykh-statey.php](http://www.vsuwt.ru/newsite/departments/science_innovation/vestnik-vgavt/spisok-opublikovannykh-statey.php)
- [14] Tronin V.A. Povy`shenie bezopasnosti i e`ffektivnosti ledovogo plavaniya sudov na vnutrennix vodny`x putyax: dissertaciya na soiskanie uchyonoj stepeni doktora texnicheskix nauk: special`nost` 05.22.16 – Sudovozhdenie / Gor`kij, 1990. – 414 s.
- [15] E`kspluatacionno-texnicheskie ispy`taniya transportny`x i ledokol`ny`x sudov v ledovy`x usloviyax s razrabotkoj predlozhenij, obespechivayushhix ix kruglogodovuyu e`kspluatatsiyu. Otchyot o nauchno-issledovatel`skoj rabote po teme №XV-3.2/794147. Nauchny`e ruk. – Tronin V.A., Bogdanov B.V. – Gor`kij.: GIIVT, 1981. – 262 s.
- [16] Hallquist J.O. LS-DYNA 950. Theoretical Manual. Livermore Software Technology Corporation. LSTC Report 1018. Rev. 2. USA, 2001. – 498 p.
- [17] Lobanov V.A. Modelirovanie sudovy`x dvizhitelej v CAD i CAE-sistemax. Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. Vy`pusk 54. – N. Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2018. – s. 134-142. – Access mode: [http://www.vsuwt.ru/newsite/departments/science\\_innovation/vestnik-vgavt/spisok-opublikovannykh-statey.php](http://www.vsuwt.ru/newsite/departments/science_innovation/vestnik-vgavt/spisok-opublikovannykh-statey.php)
- [18] Spravochnik po teploobmenny`m apparatam / P.I. Bazhan, G.E. Kanevecz, V.M. Selivyorstov. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 368 s. – Access mode: <http://bookre.org/reader?file=633245&pg=1>

Статья поступила в редакцию 28.08.2019 г.