

УДК 659.62

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.136>

ЛЕДОВАЯ ХОДКОСТЬ СУДОВ С НЕТРАДИЦИОННЫМ ФОРМООБРАЗОВАНИЕМ

В.А. Лобанов

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

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

Аннотация. В статье констатирован факт значимого увеличения состава ледовока-тегорийного флота внутреннего и смешанного река-море плавания с нетрадиционны-ми обводами судовых корпусов. С использованием САЕ-технологий изучен и проанали-зирован характер взаимодействия таких судов с мелкобитыми и тёртыми льдами различной толщины и сплочённости в ледовом канале. Основное внимание уделено ис-следованию влияния бульбообразных носовых оконечностей различных форм на изме-нение уровня ледового сопротивления судна. Отмечены качественные особенности такого контакта бульбоносых судов с водоледающей средой. Проведён статистиче-ский анализ полученных экспериментальных данных по оценке влияния конструктив-ных, динамических и ледовых факторов на ледовую ходкость судов с нетрадиционным формообразованием. Дан количественный прогноз такого влияния в виде многофак-торного эмпирического уравнения регрессии.

Ключевые слова: ледовые условия, ледовые транспортные операции, судно, носовой бульб, ледовые качества, ледовое сопротивление, ледовая ходкость, САЕ-система, ко-нечноэлементное моделирование

Введение

Многолетний опыт планирования, организации и реализации ледовых операций с участием водного транспорта выявил комплекс проблем в этой сфере производствен-ной деятельности. По степени адекватности научно-методических и технических спо-собов решения всю совокупность этих проблем допустимо разделить на два уровня. К первому уровню относятся частные ледовые задачи, требующие «специального экс-пертного рассмотрения». Это – оперативные задачи обеспечения безопасности ледо-вого судоходства; планирование и проведение «ненормированных» (разовых) ледо-вых транспортных, ледокольных, ледозащитных операций; прогноз ледовых качеств специальных водных объектов или судов с индивидуальными конструктивными осо-бенностями; ликвидация последствий техногенных происшествий в ледовых условиях акваторий и др.

Корректность экспертного решения, в первую очередь, определяется объёмом и репрезентативностью эмпирической базы данных по исследуемому процессу. В со-временных интенсивно изменяющихся условиях (и, в первую очередь, качественного состава флота) это требует постоянной актуализации подобных баз данных. Однако этот процесс, использующий в качестве источника информации регулярные натурные ледовые испытания судов, по экономическим соображениям потребителей (судоход-ных компаний, различных государственных ведомств) к настоящему времени сведён до уровня «неприемлемости» [1]. В ряде случаев пополнение ледовых баз данных до-пустимо производить по результатам экспериментов в ледовых бассейнах [2-7]. При этом следует учитывать, что несовершенство модельной ледяной среды не обеспечи-вает полное подобие природы и модели. Раздельный анализ ледовых и гидродинамиче-

ских нагрузок на корпус и движительно-рулевой комплекс (ДРК) судна также невозможен в экспериментальных методах.

Второй уровень ледовых воднотранспортных проблем объединяет в себе задачи эксплуатационного характера. В основном, это - планирование различной заблаговременности ледовых транспортных операций. Этот уровень отличается «пониженными» требованиями к оправдываемости прогнозных мероприятий. Нередко запросы на корректность решения допускают «прикидочные» оценки. Поэтому для данного уровня вполне оправдано использование традиционных аналитических и полумпирических методик расчёта [6-9].

Научные изыскания автора сосредоточены на проблематике, связанной с расчётами ледовых качеств судов речного и прибрежного плавания. Их основная масса нормирована классификационными обществами (в РФ – Регистрами судоходства) на ледовый уровень «Ice1» («Лёд40»). Безопасные условия ледовой работы такого флота обеспечиваются лишь в мелкобитом, тёртом льду и в ледяной каше. К настоящему времени флот внутреннего и смешанного плавания пополнился судами с новыми обводами. В качестве новизны у некоторых проектов следует отметить повышенную ширину (до 17 м) и длину цилиндрических частей (до 75% расчётной длины), полные обводы с коэффициентом полноты водоизмещения выше 0,93 (пр. 19614, RSD44, RST27), бульбоносые образования (пр. RST07, RST22, RST27). Регистрами судоходства такие корпуса отмечены как нетрадиционные. Эти суда имеют свои особенности взаимодействия со льдами. Характер их «обтекания» исследуемой водоледяной средой пока недостаточно изучен, что снижает надёжность прогноза их ледовых качеств.

Авторский опыт последнего десятилетия показал, что практически любые задачи речной и морской ледотехники разрешимы с применением современных САЕ-технологий при высокой степени адекватности моделирования [10]. Результаты САЕ-анализа также можно рекомендовать как альтернативу натуре и эксперименту в качестве репрезентативного источника ледовых данных [11-17]. Однако следует отметить, что стремление к «точным» решениям проблем в этом случае сопряжено с формулировкой гиперресурсозатратных виртуальных моделей и требует высокопроизводительных ресурсоёмких вычислительных комплексов, а также квалифицированного ИТ-персонала для анализа результатов. При этом всегда сохраняется возможность разумного компромисса по критерию «ресурсозатраты/оправдываемость».

В настоящей работе автором проведена и статистически проанализирована очередная серия САЕ-испытаний в мелкобитых и тёртых льдах транспортных судов с нетрадиционными обводами. Цель работы – адаптация нормативных методик оценки ледовой ходкости судов внутреннего и смешанного плавания к обновлённым конструктивным особенностям этого флота при решении ледовых задач уровня эксплуатации [9, 18].

Моделирование

Теоретическая база САЕ-симулирования контакта конструкций корпуса судна и его ДРК с водоледяной средой (типы и формулировки конечных элементов, особенности реологического поведения материалов, алгоритмы взаимодействия контактных границ, способы описания геометрии конструкций и приёмы формирования конечно-элементных сеток для них, начальные и граничные условия, подходы к снижению ресурсозатратности моделей) сформулированы и апробированы автором в предыдущих работах, посвящённых решению ряда проблем судоходства во льдах [1, 15-17]. Для существенного ускорения моделирования геометрии обводов судовых корпусов с требуемыми параметрами автором использована MATHCAD-среда в соответствии с рекомендациями работы [17].

Выполненный в данной работе анализ базировался на статистическом ряде нескольких десятков САЕ-прогонов судов при варьировании их формы, габаритов и осадки в различных динамических, кинематических и ледовых условиях (Табл. 1).

Примеры исходного состояния моделей приведены на рис. 1.

Таблица 1

Расчётные параметры судов и ледяной среды

Параметр	Величина и интервал варьирования, характеристика
Форма корпуса судна	*Традиционная **Носовой бульб типа «таран» ***Носовой бульб типа «плуг» Килевая
Длина × Ширина × Осадка судна (L×B×T), м	80,0-140,0 × 10,0-16,5 × 1,5-4,0
Коэффициент полноты носовой части судна (δ)	0,62-0,93
Наклон форштевня к вертикали на действующей ватерлинии (φ), градус	****(-60)-(+56)
Наклон действующей ватерлинии к диаметральному ба-току на первом теоретическом шпангоуте (α), градус	20-40
Относительные длина × Ширина ледового канала, длина и ширина судна соответственно	3,0-3,5 × 2,5-3,0
Толщина льда, м	0,2-0,5
Относительная сплочённость льда	0,9-1,0
Раздробленность льда	Мелкобитый и тёртый
Скорость судна, м/с	1,0-3,5

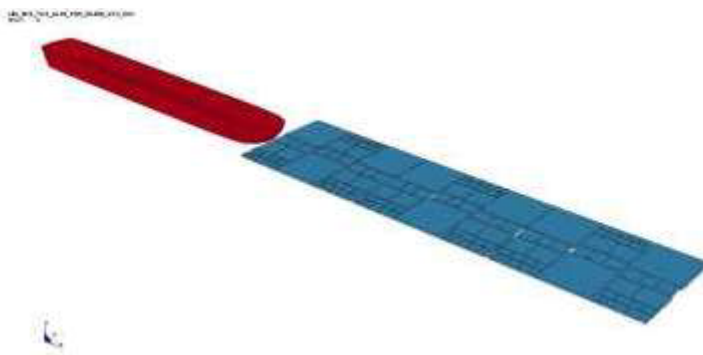
Примечания.

* Традиционную форму корпуса судна характеризует наличие плоскодонной цилиндрической вставки с вертикальными бортами, U-V-образные шпангоуты в носовой оконечности, коэффициент полноты носовой половины судна ~ 0,75-0,90

** Носовой бульб типа «таран» – удлинённый цилиндрический, диаметр которого значительно меньше ширины судна;

*** Носовой бульб типа «плуг» – короткий по всей ширине судна, имеющий форму близкую к тупому «плугу-окучнику» («двухотвальному» плугу);

**** Отрицательные значения наклона форштевня применимы только для судна с носовым бульбом типа «плуг» при минимальной расчётной осадке.



а

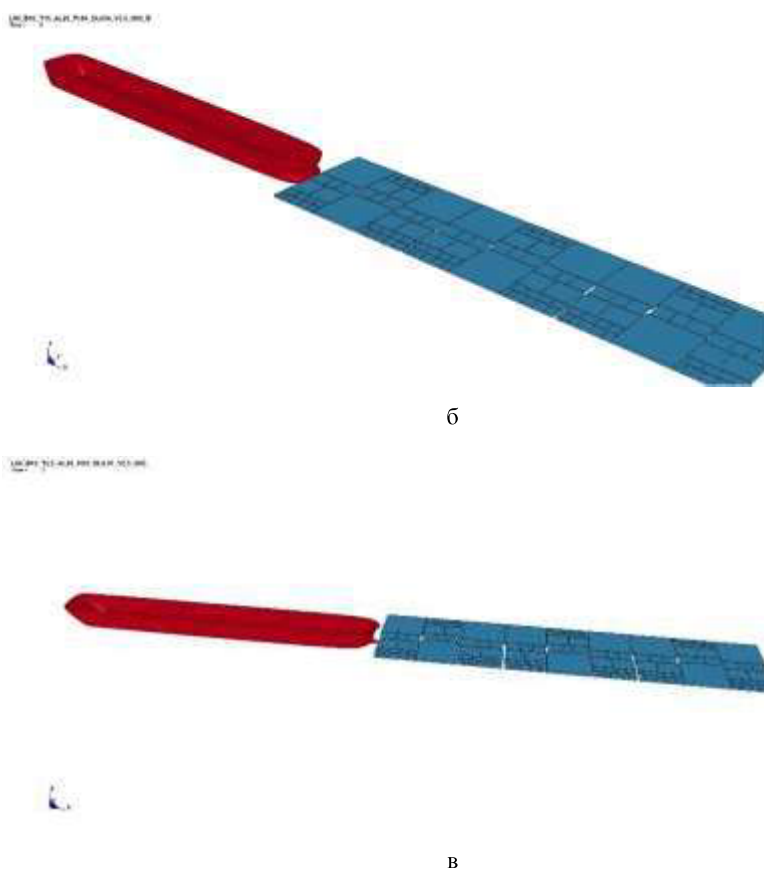


Рис. 1. Примеры исходной модели: а – судно традиционной формы; б – судно с носовым бульбом типа «плуг»; в – судно с носовым бульбом типа «таран»

Работа ДРК, гидродинамика корпуса судна и льда были описаны узловыми силами по аналогии с работами [1, 15-17].

Характер ледового «обтекания» и ледовое сопротивление

Уже на этапе качественного анализа результатов САЕ-моделирования этой серии испытаний была подтверждена первоначальная гипотеза о преобладающем влиянии судовых обводов (и, в первую очередь, носовых заострений) на характер «обтекания» корпусов мелкобитыми и тёртыми льдами и, вероятно, на величину их ледового сопротивления. Это убедительно иллюстрирует ряд характерных фрагментов визуализации САЕ-моделей, полученных в данной работе (Рис. 2).

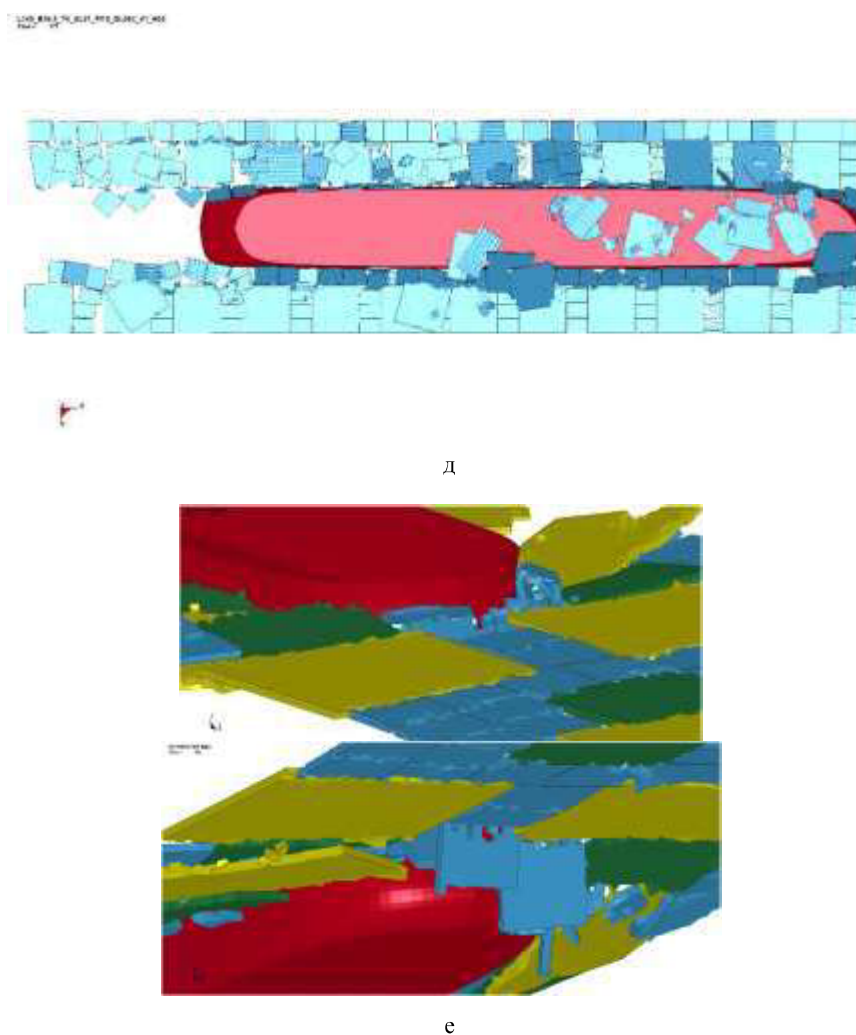


Рис. 2. Характер «обтекания» льдами корпусов судов (вид снизу)
 а – килевое судно; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,62$; $\varphi = 16^\circ$; $\alpha = 30^\circ$
 б – традиционная форма судна; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,91$; $\varphi = 16^\circ$; $\alpha = 38^\circ$
 в – судно с носовым бульбом типа «плуг»; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,94$; $\varphi = -64^\circ$; $\alpha = 29^\circ$
 г – судно с носовым бульбом типа «таран»; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 2,5$; $\delta = 0,91$; $\varphi = 19^\circ$; $\alpha = 38^\circ$
 д – традиционная форма судна; $L \times B \times T = 140,0 \times 16,5 \times 4,0$; $\delta = 0,93$; $\varphi = 10^\circ$; $\alpha = 21^\circ$
 е – танкер проекта RST27

Так, например, суда с классическими обводами (и, особенно, с малыми коэффициентами общей полноты) очень интенсивно пропускают исследуемую ледяную среду «под себя», способствуя минимизации уровня продольных корпусных ледовых нагрузок (Рис. 2а, б). Суда с носовым бульбом типа «плуг» с очевидностью «вспахивают» (приподнимают, переворачивают и раздвигают) ледяной покров, незначимо пропуская его «под себя», что провоцирует значительный прирост их ледового сопротивления (Рис. 2б, е). Также можно предположить, что суда с носовым бульбом типа «таран» по величине ледового сопротивления занимают промежуточное положение между предыдущими (Рис. 2г).

Вышеотмеченные особенности ледового контакта исследуемой группы флота удовлетворительно согласуются с данными количественного анализа САЕ-

буксировок судов во льдах. Так, на рис. 3 приведены характерные примеры осциллограмм (линии А-Д) и их сглаженных кривых (линии Е-Н) ледового сопротивления четырёх судов.

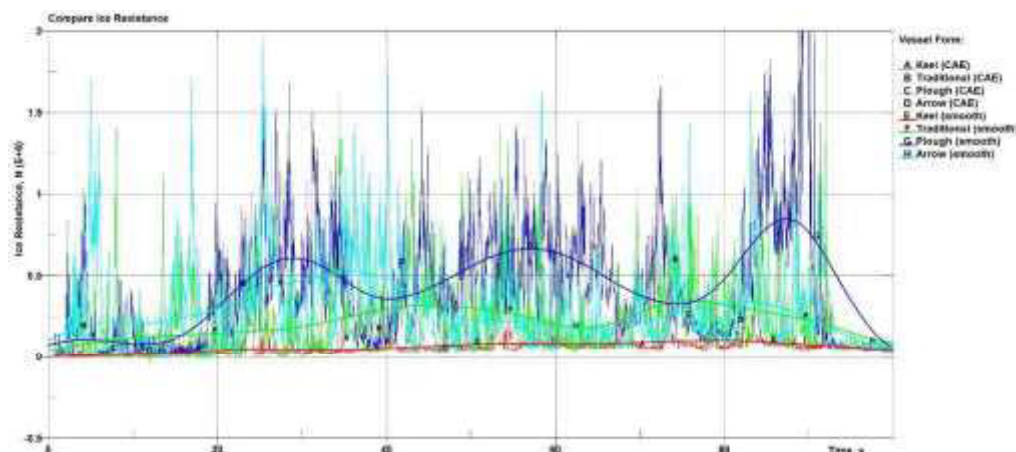


Рис. 3. Сравнительный анализ буксировочных ледовых сопротивлений судов

А, Е – килевое судно; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,62$; $\varphi = 16^\circ$; $\alpha = 30^\circ$

В, F – традиционная форма судна; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,91$; $\varphi = 16^\circ$; $\alpha = 38^\circ$

С, G – судно с носовым бульбом типа «плуг»; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,94$; $\varphi = -64^\circ$; $\alpha = 29^\circ$

Д, Н – судно с носовым бульбом типа «таран»; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,91$; $\varphi = 16^\circ$; $\alpha = 38^\circ$

Суда (рис. 3), имея одинаковые габариты (длину, ширину, осадку), отличаются формой корпуса. При этом их буксировка проходила в одинаковых кинематических (скорость 1,0 м/с) и ледовых (мелкобитые и тёртые льды толщиной 0,5 м и сплочённостью 9-10 баллов) условиях.

Как следует из анализа кривых рис. 3, разница в уровне ледового сопротивления судов в зависимости от «ледовой обтекаемости» их корпусов может достигать почти порядка (сравнение кривых Е и G у килевого и «плугообразного» бульбоносого судна соответственно). Промежуточные значения сопротивления свойственны судам с традиционной формой корпуса и с носовым бульбом типа «таран». При этом отмечается некоторое превышение уровня ледовых нагрузок на корпусе бульбоносого судна по отношению к традиционному (сравнение кривых F и H у традиционного и «таранообразного» бульбоносого судна соответственно).

Очевиден также тот факт, что три последние осциллограммы (Рис. 3, линии В, С, D) демонстрируют резкое падение величины ледовых нагрузок в момент времени $\approx 1,5$ мин, которому соответствует выход из зоны контакта со льдом носового заострения судна. Последнее явно свидетельствует о преобладающем вкладе носовой части в суммарное ледовое сопротивление у судов с «полными» передними обводами. Для судов с «пологими» носовыми обводами такой эффект сильно сглажен (Рис. 3, линия А).

Значимый разброс уровней ледового сопротивления таких судов, бесспорно, будет порождать ощутимые различия в их ледовой ходкости даже при наличии однотипных ДРК и энергетических установок.

Ледовая ходкость

Обработка результатов численных экспериментов и натурных испытаний флота [8, 18] позволила скорректировать нормативную методику оценки ледовой ходкости судов внутреннего и смешанного плавания [9] к следующему виду:

$$V = V_0(\sqrt{u^2 - 0,016K_{me}K_{br}hs^4b_h + d_h} - u), \quad (1)$$

где V – достижимая скорость движения судна в ледовом канале, м/с;

V_0 – скорость полного хода судна на чистой воде, м/с;

u – эмпирический коэффициент:

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

где h – толщина льда, м;

s – сплочённость льда, балл;

a_h – эмпирический коэффициент:

$$a_h = \frac{3,6BV_0}{1000P_{g0}}, \quad (3)$$

где B – расчётная ширина судна, м;

P_{g0} – тяга движителей на полном ходу в чистой воде, кН;

d_h – эмпирический коэффициент:

$$d_h = K_f \frac{P_{r0}}{P_{g0}}, \quad (4)$$

где K_f – коэффициент формы судна, определяемый по графику рис. 4.

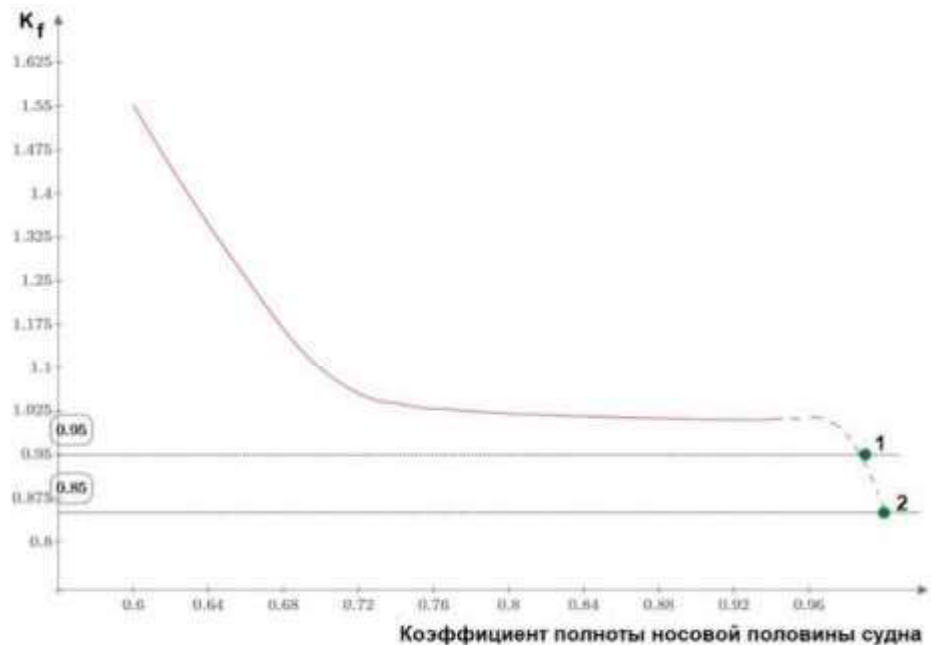


Рис. 4. Влияние формы носовой оконечности на ходкость судна

(Ордината точки 1 на кривой соответствует значению коэффициента формы для судна с бульбообразным носом типа «таран», ордината точки 2 - для судна с бульбообразным носом типа «пług»)

P_{r0} – упор движителей «на швартовах», кН;

K_{me} – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние разрушенности льда на ходкость судна. Определяется по графику рис. 5.

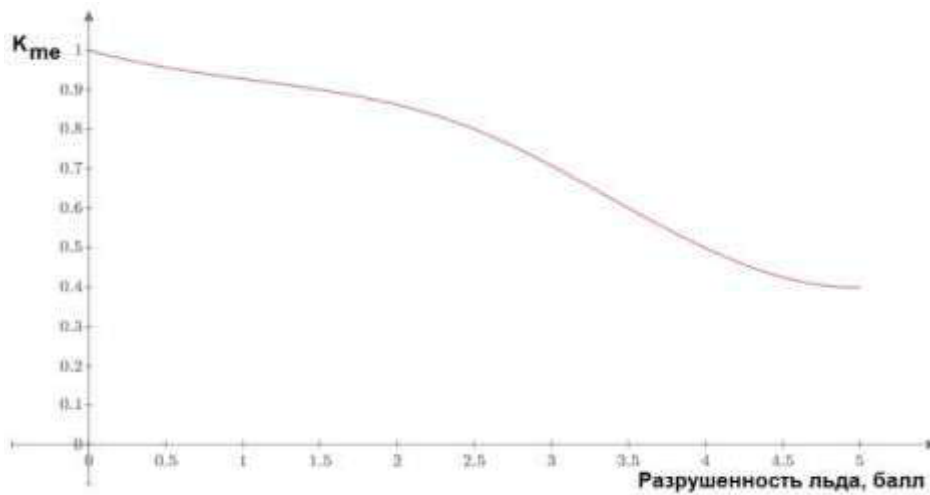


Рис. 5. Влияние разрушенности льда на ходкость судна

K_{br} – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние ширины ледового канала на ходкость судна. Определяется по графику рис. 6, учитывая, что аргументом является отношение ширины канала к расчётной ширине судна. При этом ширину «свежего» канала за ледоколом допустимо рассчитывать по графику рис. 7, ординатой на котором является отношение ширины проложенного канала к расчётной ширине ледокола.

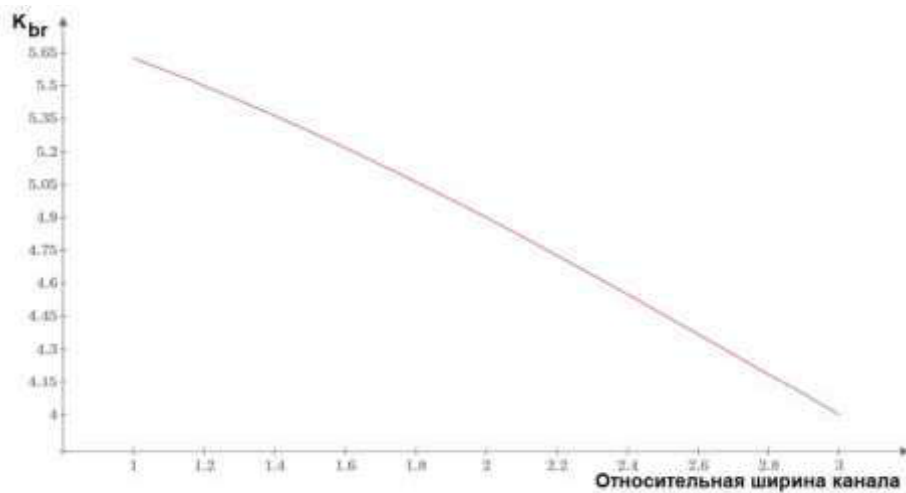


Рис. 6. Влияние ширины канала на ходкость судна

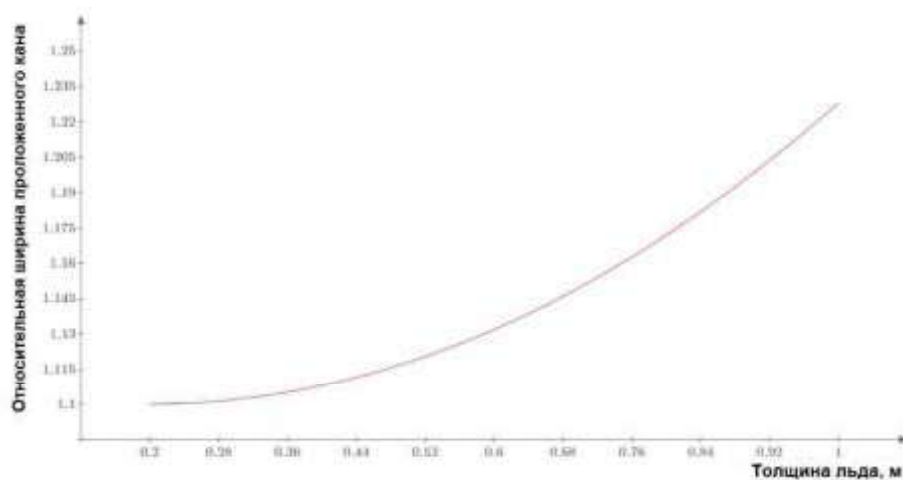


Рис. 7. Относительная ширина «свежего» канала

b_h – эмпирический коэффициент:

$$b_h = \frac{B\sqrt{BL}}{1000P_{g0}}, \quad (5)$$

где L – расчётная длина судна, м.

В качестве примера на рис. 8 показана график ходкости танкера проекта RST27 в ледовом канале за ледоколом проекта 1191.

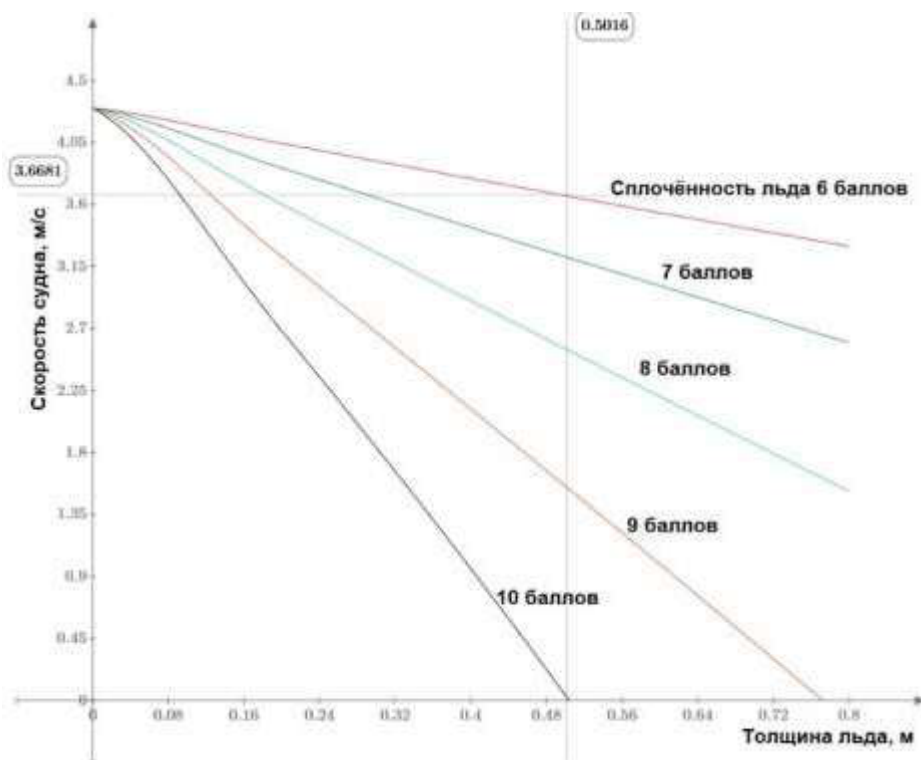


Рис. 8. Ледовая ходкость танкера проекта RST27 в мелкобитых и тёртых льдах

Методика расчёта ледовой ходкости исследованной группы флота (1) базируется на обработке совокупности данных различных источников, имеющих значительную дисперсию. При статистической значимости она не претендует на уровень повышенной точности, ограничиваясь применением лишь в задачах эксплуатационного характера – планировании ледовых транспортных операций.

Выводы

При невозможности реализации натуральных ледовых испытаний флота и экспериментов в бассейнах как альтернативу им можно рекомендовать CAE-симуляцию в качестве репрезентативного источника ледовых данных.

Преобладающее влияние на суммарное ледовое сопротивление судов с нетрадиционными обводами оказывает носовая часть.

Предложенная методика расчёта ледовой ходкости ограничена применением в задачах эксплуатационного характера – планировании ледовых транспортных операций.

Список литературы:

1. Лобанов В.А. Разработка с применением CAE-систем нормативных документов по безопасности ледового плавания судна //Интернет-журнал «Науковедение». 2013 №4 (17) [Электронный ресурс]. – М. 2013. – с. 1-14. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/71tvn413.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
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. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_031_Dobrodeev.pdf>
3. 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. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_125_Michael.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. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_111_Hyoil.pdf>
5. 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. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_151_Eun-Jee.pdf>
6. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов. 2 издание, исправленное. – СПб.: Судостроение, 2014. – 504 с., ил.
7. Каштелян В.И., Позняк И.И., Рывлин А.Я. Сопротивление льда движению судна. – Л.: Судостроение, 1968. – 238 с.
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.
9. Инструкция. Требования к транспортным судам, предназначенным для эксплуатации в ледовых условиях и при отрицательных температурах воздуха. РД 212.0148-87. Руководящий документ по стандартизации, группа Т50. Утверждён и введён в действие МРФ РСФСР 27.11.1987 г. – Л.: Транспорт, 1989. – 20 с.
10. Livermore Software Technology Corporation. LS-DYNA. <<https://www.lstc.com/products/ls-dyna>>
11. 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. <http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_143.pdf>

12. 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. <http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_037.pdf>
13. 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. <<http://www.poac.com/PapersOnline.html>>
14. 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. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_064_Kyung-Duk.pdf>
15. V. A. Lobanov, V. S. Pershina. Visualization of CAE-solutions of partial problems of ice navigation. Vessels passing. Scientific Visualization, 2018, volume 10, number 1, pages 89 - 98, DOI: 10.26583/sv.10.1.07 <<http://sv-journal.org/2018-1/07/?lang=en>>
16. 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
17. 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. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v61.pdf
18. 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.

ICE PROPULSION ABILITY OF VESSELS WITH NONTRADITIONAL FORM

Vasily A. Lobanov

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. In article the fact related to the significant increase in structure of the ice category fleet internal and mixed a river sea operation with non-traditional ship hulls forms is stated. With the CAE technologies use such vessels interaction nature with ice cakes and small ice cakes of different thickness and concentration in the ice channel is studied and analyzed. The main attention is paid to a research concerning the influence of different forms bulbous fore ends on change of the vessel ice resistance level. Qualitative features of such bulbous vessels contact with the water ice environment are noted. The statistical analysis concerning the obtained experimental data on the impact assessment related to constructive, dynamic and ice factors on ice propulsion ability of vessels with non-traditional forms is carried out. The quantitative forecast of such influence in the form of the multifactorial regression empirical equation is given.

Keywords: ice conditions, ice transport operations, vessel, nasal bulb, ice performances, ice resistance, ice propulsion ability, CAE-system, finite element modeling

References:

1. Lobanov V.A. «Razrabotka s primeneniem CAE-sistem normativnyh dokumentov po bezopasnosti ledovogo plavaniya sudna» //Internet-zhurnal «Naukovedenie» (17) 2013: 1-14. <<http://naukovedenie.ru/PDF/71tvn413.pdf>>
2. Alexey Dobrodeev, Kirill Sazonov, Alexander Andryushin, Sergey Fedoseev, Sergey Gavrilov. Experimental Studies of Ice Loads on Pod Propulsors of IceGoing Support Shipp Proceedings of the

- 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_031_Dobrodeev.pdf>
3. 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. http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_125_Michael.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. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_111_Hyoil.pdf>
5. Seong-Yeob Jeong, Jeong-Gil Yum, Eun-Jee Cheon, Kyungsik Choi. Ice Load Characteristics on a Model Ship Hull Installed with Tactile Sensor Panel Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_151_Eun-Jee.pdf>
6. Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaya hodkost' sudov. 2 izdanie, ispravlennoe. – SPb.: Sudostroenie, 2014. – 504 p
7. Kashtelyan V.I., Poznyak I.I., Ryvlin A.YA. Soprotivlenie l'da dvizheniyu sudna. – L.: Sudostroenie, 1968. – 238 p
8. Tronin V.A. Povyshenie bezopasnosti i effektivnosti ledovogo plavaniya sudov na vnutrennih vodnyh putyakh: dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk: special'nost' 05.22.16 – Sudovozhdenie / Gor'kij, 1990. – 414 p
9. Instrukciya. Trebovaniya k transportnym sudam, prednaznachennym dlya ekspluatatsii v ledovykh usloviyah i pri otricatel'nykh temperaturah vozduha. RD 212.0148-87. Rukovodyashchij dokument po standartizatsii, gruppa T50. Utverzhdyon i vvedyon v dejstvie MRF RSFSR 27.11.1987 g. – L.: Transport, 1989. – 20 p
10. Livermore Software Technology Corporation. LS-DYNA. <<https://www.lstc.com/products/ls-dyna>>
11. 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. <http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_143.pdf>
12. 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. <http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_037.pdf>
13. 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. <<http://www.poac.com/PapersOnline.html>>
14. 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. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_064_Kyung-Duk.pdf>
15. V. A. Lobanov, V. P. Pershina. Visualization of CAE-solutions of partial problems of ice navigation. Vessels passing. Scientific Visualization, 2018, volume 10, number 1, pages 89 - 98, DOI: 10.26583/sv.10.1.07 <<http://sv-journal.org/2018-1/07/?lang=en>>
16. 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
17. Lobanov V.A. «Vliyanie formy i posadki sudna na raspredelenie l'dov v zone ego dvizhitel'no-rulevogo kompleksa». Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. (61) 2019: 176-182. <http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v61.pdf>
18. Ekspluatatsionno-tekhnicheskie ispytaniya transportnyh i ledokol'nyh sudov v ledovykh usloviyah s razrabotkoy 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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лобанов Василий Алексеевич, д.т.н., доцент, доцент кафедры «Судовождение и безопасности судоходства», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, Россия, Нижний Новгород, Нестерова 5,
e-mail: lobbas@mail.ru

Vasily A. Lobanov, Professor of Ship Handling and Navigation Safety Department, Associate Professor, Doctor of Technical Sciencies, Volga State University of Water Transport, 603950, Russia, Nizhny Novgorod, 5 Nesterov str

Статья поступила в редакцию 05.10.2020 г.