



Влияние мелководья на ледовые качества судна



Кирилл САЗОНОВ
Cyril E. SAZONOV

Александр РЫЖКОВ
Alexander V. RYZHKOV



Сазонов Кирилл Евгеньевич — доктор технических наук, начальник лаборатории ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия.

Рыжков Александр Вениаминович — заместитель главного конструктора ОАО «ЦКБ «ОСК-Айсберг», Санкт-Петербург, Россия.

Отечественной практике судоходства привычны плавание во льдах, эксплуатация ледоколов и грузовых судов, способных выдерживать высокие ледовые нагрузки. Причем не только на морском мелководье, типичном для Северного Ледовитого океана в зоне протяженного и очень сложного по своим условиям Северного морского пути, но и на многих маршрутах великих сибирских рек, где при наличии льда мелководье достигает предельных значений. Статья рассматривает конструкционные особенности ледокольной техники и крупнотоннажных судов ледового плавания, результаты экспериментов и натурных испытаний, связанных с расчетами ледовых качеств проектируемых кораблей.

Ключевые слова: морской транспорт, ледокол, судно ледового плавания, мелководье, ледовый бассейн, торосы, ледовые качества, эксперимент, натурные испытания, модельные расчеты.

При нахождении ледоколов и судов ледового плавания во льдах часто приходится сталкиваться с ситуацией, когда их движение осуществляется по мелководным участкам трасс. Хорошо известно, что Северный морской путь является относительно мелководным, аналогичным характером рельефа, вплоть до предельного мелководья, отличаются и многие транспортные маршруты, проходящие по сибирским рекам. По некоторым оценкам, ледоколы и суда ледового плавания эксплуатируются в условиях мелководья 30–50%, а в отдельные годы до 80% от общего времени движения во льдах [1]. Ввиду все более широкого использования крупнотоннажных судов для вывоза углеводородов, добываемых на шельфе замерзающих морей, изучение влияния условий мелководья на ледовые качества транспортных средств становится особо актуальной задачей.

Дополнительным стимулом к рассмотрению влияния мелководья послужило и проектирование нового двухосадочного ледокола мощностью 60 МВт, которое осуществлялось в последние годы [2]. В соответствии с концепцией использования

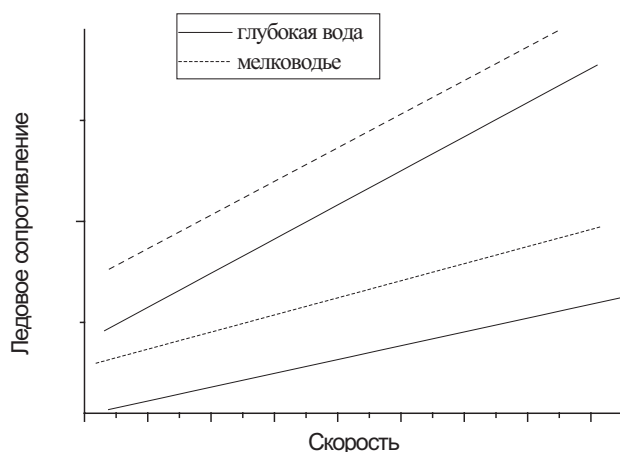


Рис. 1. Результаты экспериментов по определению ледового сопротивления ледокола на предельном мелководье в сплошных льдах.

ледокола ему придана возможность эксплуатироваться на двух осадках, одна из которых отвечает условиям плавания на глубокой воде, другая — на мелководье. В рамках научного обеспечения проекта выполнен большой объем модельных испытаний, основные результаты которых изложены в статье.

ЛЕДОВЫЕ КАЧЕСТВА

Совокупность качеств судна, обеспечивающих ему способность выполнять плавание в ледовых условиях, считаются ледовыми качествами. К ним относят прежде всего ледовую ходкость, прочность, управляемость, остойчивость и т. д.

Под ледовой ходкостью понимают возможность ледокола двигаться с определенной скоростью во льдах заданной толщины. Основным показателем такой ходкости является предельная толщина льда, которую ледокол может преодолевать с минимальной устойчивой скоростью (1,5–2 узла) при использовании полной мощности энергетической установки. Из приведенного определения следует, что ледовая ходкость зависит не только от величины ледового сопротивления корпуса ледокола, но и от работы его движительного комплекса и энергетической установки.

Что касается ледовой прочности, то она обеспечивает возможность эксплуатации корпуса ледокола или судна в ледовых условиях без получения значительных повреждений.

Удовлетворение требованиям ледовой управляемости позволяет ледоколу иметь ожидаемые (желательные) характеристики поворотливости и маневренности при движении транспорта во льдах.

В рамках ледовой остойчивости формулируются параметры и свойства конструкции ледокола при его взаимодействии с ледяными торосами.

ВЛИЯНИЕ НА ХОДКОСТЬ

Как следует из приводившихся научных трактовок, на ледовую ходкость мелководье может оказывать влияние, воздействуя на ледовое сопротивление, движительный комплекс и работу энергетической установки.

Воздействие мелководья на ледовое сопротивление. По программе модельных исследований в ледовом бассейне было выполнено несколько различных экспериментов по определению ледового сопротивления нового атомного ледокола на мелководье при движении носом и кормой вперед. Эксперименты на глубокой воде проводились при осадке ледокола 10,5 м, а на мелководье — 8,5 м. Для исследования влияния мелководья организованы специальные испытания модели, осадка которой в натурных условиях составляла 8,5 м на глубокой воде. Результаты представлены на рис. 1. Аналогичные данные получены и при испытаниях моделей судов, форма корпуса которых существенно отличалась от формы перспективного ледокола.



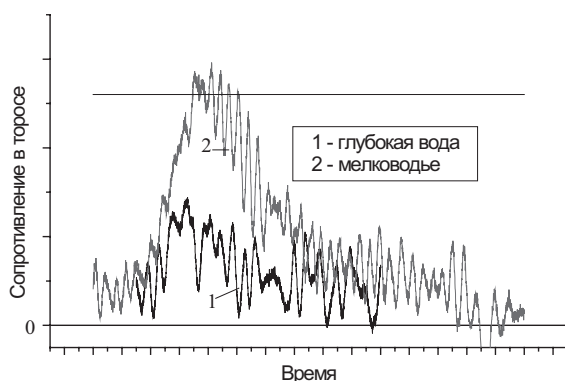


Рис. 2. Сопротивление ледокола в торосе на мелководье. Горизонтальная черта на графике – результат расчетов по формуле (1).

Анализ результатов, приведенных на рис. 1, позволяет сделать вывод о том, что мелководье оказывает влияние на ледовое сопротивление. Можно отметить, что оно наблюдается и при небольших скоростях движения. Это заключение не совпадает с выводом, полученным в работе [3], где утверждается, что влияние мелководья сказывается при относительно высоких скоростях движения ледокола. По-видимому, фиксируемое различие можно объяснить условиями предельного мелководья. Из рис. 1 также следует, что добавочное ледовое сопротивление, вызванное влиянием мелководья, слабо зависит от скорости движения ледокола.

Теоретически можно представить несколько возможных механизмов, приводящих к возрастанию ледового сопротивления судна на предельном мелководье:

- трение днища ледокола о лед, зажатый в зазоре между днищем и дном водоема;
- дополнительное трение, вызванное формированием подводных нагромождений у бортов ледокола, аналогичных нагромождениям у вертикальных бортов цилиндрической вставки крупнотоннажных судов ледового плавания;
- влияние указанного нагромождения на процессы разрушения и притапливания обломков льда корпусом ледокола.

Численные оценки влияния каждого из названных факторов приведены в работе [4]. Они показывают, что наиболее вероятными механизмами формирования дополнительного ледового сопротивления являются два последних из трех теоретически возможных — дополнительное трение

и влияние подводных нагромождений у бортов ледокола.

В ходе модельных исследований нового атомного ледокола был выполнен ряд экспериментов по определению ледового сопротивления ледокола при взаимодействии с торосом на мелководье. На рис. 2 приведена типичная зависимость ледового сопротивления при преодолении моделью торосистой гряды.

Анализ данных показывает, что торосистое образование в условиях мелководья создает значительное сопротивление движению ледокола по сравнению с аналогичным образованием на глубокой воде. По-видимому, увеличение ледового сопротивления можно объяснить следующим образом. При взаимодействии с торосом на глубокой воде корпус ледокола в основном продавливают лед, слагающий торос, вниз. Только на самой последней стадии может произойти глобальный сдвиг остатков тороса в направлении движения ледокола. При взаимодействии ледокола с торосом на предельном мелководье единственной возможностью разрушить торос остается его сдвиг по направлению движения. Такой механизм разрушения торосистых гряд приводит к большим затратам энергии и, как следствие, к высокому уровню сопротивления. Выполним численную оценку усилия, необходимого для сдвига торосистого образования при взаимодействии с ним ледокола в условиях мелководья.

Воспользуемся формулой Кросдайла [5, 6] для определения силы, способной к глобальному разрушению тороса при сдвиге.

Эта формула была разработана для оценки ледовой нагрузки на стационарные морские инженерные сооружения, поэтому ее следует модифицировать для использования применительно к ледоколу, движущемуся на мелководье. При взаимодействии тороса с инженерным сооружением сдвигу подвергается весь киль тороса. В случае движения ледокола киль тороса притапливается его корпусом до момента посадки тороса на дно, а затем сдвигается. При этом смещается лишь часть киля торосистого образования, площадь поперечного сечения которого примерно равна площади мидель-шпангоута ледокола, образуя три поверхности скольжения: две параллельно бортам и одну, совпадающую с основной плоскостью судна. Максимальная ледовая сила F_l тогда может быть рассчитана по формуле:

$$F_l = \gamma \mu W \left[(H_w - T)B + \frac{2}{3}T^2 \right], \quad (1)$$

где $\gamma = (1 - n)(\rho_w - \rho_l)g$ — удельная плавучесть единицы объема киля тороса; $n \approx 0.2$ — пористость киля тороса, ρ_w, ρ_l — плотность воды и льда соответственно; g — ускорение свободного падения; $\mu = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$, $\phi \approx 40^\circ$ — угол внутреннего трения льда в киле тороса; W — протяженность тороса в направлении движения; H_w — глубина воды, B, T — ширина и осадка ледокола.

Данные расчетов по формуле (1) представлены на рис. 2. Они показывают хорошее соответствие с экспериментальными данными.

Результаты модельных экспериментов и расчетных оценок указывают, что при эксплуатации судов на мелководье нужно избегать взаимодействия с торосистыми образованиями.

Влияние мелководья на работу движительного комплекса возникает прежде всего из-за изменения процесса его обтекания жидкостью, связанных с наличием стесненных условий. Подобные вопросы подробно рассмотрены в различных руководствах по теории корабля (см., например, [7]). Влияние мелководья в этом случае учитывается при определении тяговых характери-

стик судна, снижение тяги приводит к ухудшению ледовой ходкости корабля.

Наиболее опасными явлениями, которыми может сопровождаться работа движителей в условиях мелководья, считаются кавитация и «просос» воздуха к гребным винтам. Для борьбы со столь опасными явлениями при проектировании ледоколов и судов ледового плавания, предназначенных к эксплуатации на мелководье, особенно предельном, проводятся модельные испытания в кавитационном бассейне, позволяющие оценить правильность принятых конструктивных решений [2].

Кроме этого, при движении на мелководье в ледовых условиях из-за стеснения потока увеличивается относительное время взаимодействия гребных винтов со льдом. Винты активно фрезируют лед. В результате такого взаимодействия возрастает момент сопротивления вращению движителя и соответственно снижается частота его оборотов. Все это опять же приводит к снижению тяговых характеристик движительного комплекса. Поэтому ледопроходимость ледоколов и судов на мелководье всегда ниже, чем на глубокой воде.

Влияние мелководья на работу энергетической установки. Непосредственной связи между ними быть не может, тем не менее не исключены проблемы, связанные с эксплуатацией агрегата. Для эффективной работы энергетической установки требуется обеспечить ее охлаждение. На всех судах охлаждение двигателя осуществляется забортной морской водой, для чего оборудованы специальные приемные емкости, которые на ледоколах и судах ледового плавания называются «ледовыми ящиками».

При эксплуатации «ледовых ящиков» по ходу движения судна во льдах возникают проблемы, связанные главным образом с действием двух факторов: забиваемостью шугой и мелкими фракциями льда самих приемных емкостей и перекрытием водозаборников, притопленными корпусом ледокола льдинами. В условиях мелководья ситуация с перекрытием приемных водозаборников усугубляется из-за повышения вероятности попадания льдин под корпус. Поэтому расположение решеток «ледовых ящиков» выбирается на днище и бортах (скулах) в тех местах, куда по данным мо-



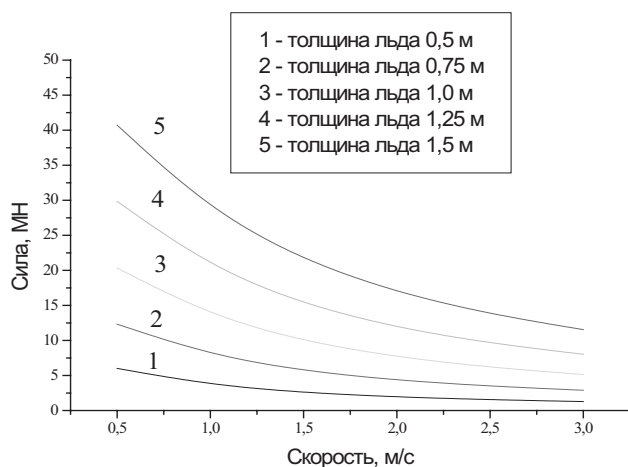


Рис. 3. Величина силы, действующей на днище при расклинивании льдины.

дельного эксперимента попадает наименьшее количество льда. Во время модельных испытаний нового атомного ледокола вопрос о расположении водозаборников специально изучался. Результаты испытаний показали, что в предполагаемые места расположения водозаборников могут попадать притопленные корпусом обломки льдин, особенно много при движении ледокола на мелководье. К сожалению, эффективных мер по борьбе с перекрытием водозаборников притопленными льдинами до сих пор так и не предложено.

Забиваемость «ледовых ящиков» шугой и мелкими фракциями льда также представляет довольно серьезную проблему, однако для ее решения предложены достаточно эффективные способы борьбы. В работе [8] показано, что при организации рециркуляции воды, когда в «ледовый ящик» подается некоторая часть горячей, уже использованной для охлаждения воды, ее тепла хватает для таяния попавших внутрь корпуса шуги и мелкого льда. При использовании этого решения в конструкции «ледового ящика» имеется большая свободная поверхность, к которой всплывают прошедшие сквозь приемные решетки ледовые фракции. Сверху к этой свободной поверхности подается горячая вода для плавления. Отбор воды для охлаждения осуществляется специальным водозаборником, расположенным существенно ниже уровня свободной поверхности. Сечение

его выбирается таким, чтобы обеспечить небольшие скорости всасывания воды и минимизировать возможность захвата шуги и мелких фракций льда.

Основной проблемой при проектировании «ледового ящика» является оптимизация потоков воды внутри емкости. Цель этих усилий — создание такой конструкции, которая позволяла бы исключить внутри нее возникновение застойных зон, а также свести к минимуму попадание льда в забираемую из ящика воду для охлаждения. В настоящее время оптимизацию конструкции обеспечивают методы физического и математического моделирования, которые решают эту задачу в зависимости от заданных расходов воды в устройстве и количества поступающих фракций льда, в том числе с учетом особенностей мелководья.

ОЦЕНКА ЛЕДОВОЙ ПРОЧНОСТИ

При движении ледоколов и судов на мелководье был зафиксирован высокий уровень повреждаемости днищевых конструкций [1]. Основную опасность представляют льдины, которые попадают в пространство между днищем и дном водоема на предельном мелководье. В работе [9] подробно рассмотрен механизм взаимодействия днищевых конструкций с такими льдинами. Там же предложен метод расчета возникающих при этом нагрузок. На рис. 3 представлен график зависимости ледовой силы, действующей на днище, от скорости движе-

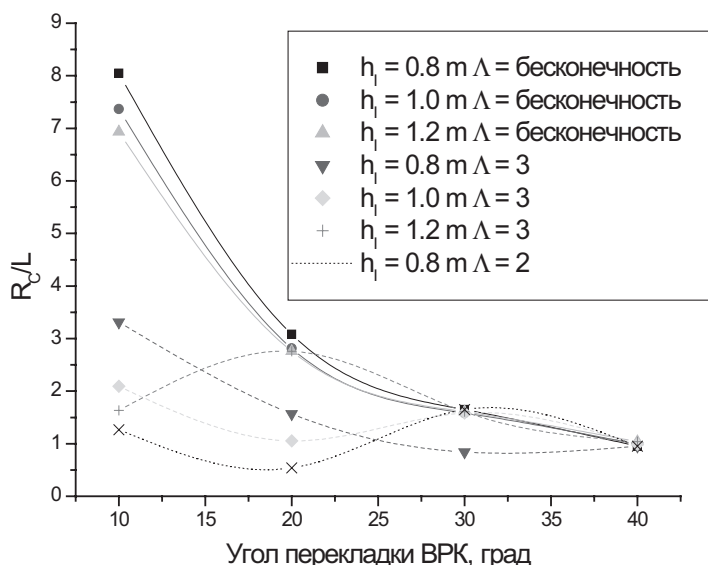


Рис. 4. Влияние мелководья на циркуляцию ледокола, оборудованного ВРК.

ния судна. Из него следует, что сила увеличивается при возрастании толщины льда, попавшего под днище, и уменьшается при увеличении скорости движения.

Последнее утверждение требует пояснений. Дело в том, что под корпус ледокола при его движении в ровных льдах попадают обломки льдин, выломанные корпусом из ледяного покрова. Как показывают результаты экспериментальных и теоретических исследований, размеры этих обломков зависят от толщины льда и скорости движения ледокола [10]. Причем при повышении скорости размеры обломков уменьшаются. С уменьшением льдин, попадающих под днище, связано естественным образом снижение величины ледовой силы, действующей на днищевые конструкции.

Надо отметить, что фиксируемые при этом усилия действуют на относительно большой площади (площади контакта), по которой распределено среднее давление $p = \sigma_c$. Причем касаются расчеты днищевое перекрытия в целом. Можно констатировать, что указанный уровень ледовой нагрузки не является опасным для перекрытий современных судов. При определении же ледовой нагрузки на отдельные элементы перекрытия, имеющие меньшую площадь, есть право воспользоваться зави-

симостями, предложенными в правилах РМРС [11]:

Прочность льда на смятие $\sigma_c = 1.5$ МПа.

ЛЕДОВАЯ УПРАВЛЯЕМОСТЬ

Сегодня отсутствуют стандартные методы расчета параметров управляемости судов, эксплуатируемых в ледовых условиях на мелководье. Учет влияния мелководья на характеристики ледовой управляемости может быть осуществлен с помощью методики, изложенной в работе [12], с использованием данных об изменении ледового сопротивления. Наиболее надежные данные возможны после проведения модельных испытаний судов в ледовом бассейне.

Известно, что влияние мелководья (не предельного) начинает сказываться на величине ледового сопротивления только при относительно высоких скоростях движения (число Фруда, определенное по толщине льда, $Fn_h \geq 0.5$). Условие $Fn_h \geq 0.5$ налагает жесткие требования на скорость движения судна во льдах. Так, для толщины льда 0,8 м скорость судна средних размеров должна быть более 1,4 м/с, для 1 м — 1,57 м/с, а для 1,2 м — 1,71 м/с. Расчеты показывают, что такие скорости редко достижимы при выполнении маневров в сплошных льдах. Поэтому





легко предположить, что влияние мелководья на ледовую управляемость может сказываться в основном только при движении судов в битых льдах. Далее оценка влияния мелководья осуществляется именно для этих условий.

Расчеты проводились применительно к ледоколу, имеющему длину 108 м, ширину 26 м и осадку 8,5 м. Были рассмотрены два случая: в первом ледокол оборудован винто-рулевой колонкой, во втором — обыкновенным рулем. Результаты расчетов представлены на рис. 4.

Из полученных данных следует, что мелководье уменьшает радиус циркуляции. Этот вывод подтверждается и натурными показателями, приведенными в [13]. Однако надо заметить, что влияние мелководья сказывается лишь при достаточно больших значениях относительной глубины водоема. Этот факт объясняется тем, что при малых значениях относительной глубины сопротивление среды движению ледокола возрастает и соответственно скорость ледокола уменьшается и становится ниже критических значений, когда влияние мелководья сказывается. Вариация типа движительно-рулевого комплекса, уставленного на ледоколе, не изменяет качественную картину влияния мелководья на радиус циркуляции.

Следует ожидать, что при выполнении ледоколом или судном маневров в ледовых условиях на мелководье возможна потеря

хода, связанная с резким возрастанием ледового сопротивления. Поэтому при движении на мелководье стоит избегать резких изменений курса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мелководье накладывает целый ряд ограничений на эксплуатацию ледоколов и судов ледового плавания. Показатели почти всех ледовых качеств в этом случае ухудшаются. В ходе проектирования новых образцов морской техники, предназначенных для частого плавания во льдах на мелководных участках, необходимо учитывать возникающие при этом трудности, а при эксплуатации строго следовать рекомендациям специалистов-разработчиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанов Н. В., Бабцев В. А., Иванов Н. А. Ледовые нагрузки на днищевые конструкции судов // Судостроение. — 1982. — № 11. — С.9–11.
2. Апполонов Е. М., Беляшов В. А., Воробьев В. М., Орлов О. П., Симонов Ю. А., Шварев Ю. В. Проблемные вопросы создания универсального атомного ледокола нового поколения // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2008. — Вып. 39. — С.110–128.
3. Зуев В. А., Рыбаков В. К. Особенности плавания ледоколов в условиях мелководья // Проектирование, теория и прочность судов, плавающих во льдах. — Н. Новгород, 1992. — С.34–39.
4. Клементьева Н. Ю., Рыжков А. В., Сазонов К. Е. Модельные исследования ледового сопротивления перспективного ледокола на предельном мелководье // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2010. — Вып. 51. — С.5–12.
5. Алексеев Ю. Н., Астафьев В. Н., Литонов О. Е., Мансуров М. Н., Панов В. В., Тру-

сков П. А. Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа. — СПб.: Гидрометеиздат, 2001. — 360 с.

6. Лосет С., Шхинек К. Н., Гудмestad О., Хойланд К. Воздействие льда на морские и береговые сооружения. — СПб.: Лань, 2010. — 272 с.

7. Басин А. М., Веледницкий И. О., Ляховитский А. Г. Гидродинамика судов на мелководье. — Л.: Судостроение, 1976. — 320 с.

8. Аксельрод С. Б., Коваленко В. К., Левин Б. М., Следзюк А. К. Улучшение работы системы охлаждения главного конденсатора в ледовых условиях. — Судостроение. — 1978. — № 3 — С.21–23.

9. Апполонов Е. М., Рыжков А. В., Сазо-

нов К. Е. Расчет ледовой нагрузки на днище ледокола на предельном мелководье. //Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2011. — Вып. 63. — С.5–10.

10. Сазонов К. Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. — СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2010. — 274 с.

11. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. — СПб.: РМРС, 2008. — 481 с.

12. Сазонов К. Е. Ледовая управляемость судов. — СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2006. — 252 с.

13. Зуев В. А. Средства продления навигации на внутренних водных путях. — Л.: Судостроение, 1986. — 207 с.

SHALLOW WATER IMPACT ON ICE PERFORMANCE OF THE SHIPS

Sazonov, Cyril E. — D. Sc. (Tech), head of the laboratory of federal state unitary enterprise Krylov state research center, Saint-Petersburg, Russia.

Ryzhkov, Alexander V. — deputy senior designer of JSC Central designing bureau OSK- Iceberg, Saint-Petersburg, Russia.

Russian practices of navigation are familiar with ice shipping, operation of icebreakers and freight ships capable to resist to high ice load. Those conditions are frequent not only in sea shallow waters typical of Arctic seas along long and difficult Northern sea route but also of many Siberian great rivers, where in

presence of ice the shallow waters are achieving limit values admissible for navigation.

The article studies design features of icebreakers and large-capacity vessels of ice shipping, results of experiments and full-scale testing referring to engineering of ice performance of designed ships.

Key words: sea transport, icebreaker, ice-shipping vessel, shallow water, ice area, ice-hummock, ice performance, experiment, full scale testing, simulation.

REFERENCES

Barabanov N. V., Babtsev V. A., Ivanov N. A. Ice load on the bilge units of vessels [Ledovye nagruzki na dnischevye konstruktii sudov]. Sudostroenie, 1982, № 11, pp.9–11.

2. Appolonov E. M., Belyashov V. A., Vorob'ev V. M., Orlov O. P., Simonov Yu. A., Shvarev Yu. V. Problem issues of engineering of universal nuclear icebreaker of a new generation [Problemye voprosy sozdaniya universal'nogo atomnogo ledokola novogo pokoleniya]. Trudy TsNII im. akad. A. N. Krylova, 2008, Iss. 39, pp.110–128.

3. Zuev V. A., Rybakov V. K. Features of icebreakers navigation in shallow waters [Osobennosti plavaniya ledokolov v usloviyakh melkovod'ya]. In: Designing, theory and strength of ships navigating in ice conditions [Proektirovanie, teoriya i prochnost' sudov, plavayuschih vo l'dah]. N. Novgorod, 1992, pp.34–39.

4. Klement'eva N. Yu., Ryzhkov A. V., Sazonov K. E. Simulation studies of ice resistance of new icebreaker in utmost conditions of shallow waters [Model'nye issledovaniya ledovogo soprotivleniya perspektivnogo ledokola na predel'nom melkovod'e]. Trudy TsNII im. akad. A. N. Krylova, 2010, Vol. 51, pp.5–12.

5. Alekseev Yu. N., Astaf'ev V. N., Litonov O. E., Mansurov M. N., Panov V. V., Truskov P. A. Ice and technology aspects of exploration of sea oil and gas fields [Ledotekhnicheskie aspekty osvoeniya morskikh mestorozhdeniy nefi i gaza]. Saint-Petersburg, Gidrometeizdat publ., 2001, 360 p.

6. Loset, S.; Shkhinek, K. N.; Gudmestad, O. T.; Hoyland, K. V. Actions from Ice on Arctic Offshore and Coastal Structures [Vozdeystvie l'da na morskii i beregovyye sooruzheniya], St. Petersburg, Lan publ., 2010, 272 p.

7. Basin A. M., Velednitskiy I. O., Lyahovitskiy A. G. Hydrodynamics of ships in shallow waters [Gidrodinamika sudov na melkovod'e]. Leningrad, Sudostroenie publ., 1976, 320 p.

8. Aksel'rod S. B., Kovalenko V. K., Levin B. M., Sledzyuk A. K. Amelioration of operation of the system of cooling of main condenser in ice conditions [Uluchshenie raboty sistemy ohlazhdeniya glavnogo kondensatora v l'dovykh usloviyakh]. Sudostroenie, 1978, № 3, pp.21–23

9. Appolonov E. M., Ryzhkov A. V., Sazonov C. E. Computation of ice load on the bottom of icebreaker at utmost conditions of shallow waters [Raschet ledovoy nagruzki na dnische ledokola na predel'nom melkovod'e]. Trudy TsNII im. akad. A. N. Krylova, 2011, Vol. 63, pp.5–10.

10. Sazonov C. E. Theoretical fundamentals of shipping in ice [Teoreticheskie osnovy plavaniya sudov vo l'dah]. St. Petersburg, TsNII im. akad. A. N. Krylova, 2010, 274 p.

11. Regulations on classification, building and equipment of floating drilling rigs and sea stationary platforms [Pravila klassifikatsii, postroyki i oborudovaniya plavuchih burovyykh ustanovok i morskikh statsionarnyykh platform]. St. Petersburg, RMRS publ., 2008, 481 p.

12. Sazonov C. E. Ice manoeuvrability of ships [Ledovaya upravlyaemost' sudov]. St. Petersburg, TsNII im. akad. A. N. Krylova, 2006, 252 p.

13. Zuev V. A. Means of prolongation of navigation period for inland waterways [Sredstva prodleniya navigatsii na vnutrennikh vodnykh putyakh]. Leningrad, Sudostroenie, 1986, 207 p.

Координаты авторов (contact information): Сазонов К. Е. (Sazonov C. E.) — kirsaz@rambler.ru, Рыжков А. В. (Ryzhkov A. V.) — main@iceberg.sp.ru

Статья поступила в редакцию / article received 07.03.2013
Принята к публикации / article accepted 21.03.2013

