

Особенности эксплуатации ледоколов на мелководье

*Е. М. Апполонов, К. Е. Сазонов, А. В. Рыжков*¹

Изучение влияния мелководья на ледовые качества ледоколов является актуальной задачей. Ее актуальность связана с необходимостью выполнения транспортных операций в шельфовой зоне арктических морей. Особую актуальность исследования влияния мелководья на ледовые качества приобрели благодаря плану создания атомного ледокола нового поколения. В соответствии с концепцией создания этого ледокола предполагается обеспечить ему возможность одинаково эффективно использоваться как на глубокой воде, так и на мелководье. Для этого новый ледокол предполагается создать «двухосадочным», т. е. имеющим две эксплуатационные осадки, одна из которых, равная 10,5 м, используется при движении на глубокой воде, а другая – 8,5 м – для прохождения мелководных участков трассы. Переход от одной осадки к другой осуществляется с помощью приема водяного балласта [1].

Features of operation of ice breakers on shoaliness. *Konstantin E. Sazonov, Eugene M. Appolonov, Alexander V. Ryzhkov, Saint-Petersburg.*

Studying of influence of shoaliness on ice qualities of icebreakers is an actual problem. Its urgency is connected with an indispensability of performance of transport operations in a shelf zone of the Arctic seas. Special urgency of research of influence of shoaliness on ice qualities have got owing to plans of creation of the nuclear ice breaker of new generation. According to the concept of creation of this ice breaker it supposed provide to it a possibility equally to be used both on deep water, and on shoaliness. For this purpose the new ice breaker it supposed create “two-sedimentary”, i.e. having two operational deposits, one of which equal 10,5 m it is used at movement on deep water, and another of 8,5 m for passage of shallow sites of a line. Transition from one deposits to another is carried out by means of reception of a water ballast [1].

Введение

Движение судов в ледовых условиях на мелководье до сих пор является одним из наименее изученных разделов теории ледокольного корабля. Разрозненные экспериментальные данные показывают, что мелководье оказыва-

¹ *Апполонов Евгений Михайлович* – заместитель директора Центрального научно-исследовательского института им. А. Н. Крылова, доктор технических наук; *Сазонов Кирилл Евгеньевич* – начальник сектора – ледового опытового бассейна, старший научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института им. А. Н. Крылова, доктор технических наук; *Рыжков Александр Вениаминович* – заместитель главного конструктора ОАО «Айсберг», г. Санкт-Петербург.

ет влияние на показатели ледовой ходкости и управляемости ледокола, а также на его ледовую прочность. Особый интерес представляет рассмотрение движения ледокола на предельном мелководье, когда зазор между осадкой ледокола и глубиной водоема сопоставим с толщиной преодолеваемого им льда. Именно в этой ситуации влияние мелководья в наибольшей степени сказывается на ледовых качествах ледокола.

Для выявления основных особенностей влияния мелководья на ледовые качества ледокола ФГУП ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова и ОАО «Айсберг» выполнили ряд экспериментальных и расчетных работ, основные результаты которых приводятся ниже.

Влияние мелководья

Влияние мелководья на ледовую ходкость исследовалось экспериментально в ледовом опытовом бассейне ФГУП ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. Для проведения этих исследований в бассейне было разработано и изготовлено специальное имитатор дна, позволяющее создавать не только заданную глубину участка акватории, но и наклон дна, заданный в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Перед испытаниями имитатор дна был смонтирован в чаше бассейна.

В ходе проведения исследований было выполнено несколько различных экспериментов по определению ледового сопротивления ледокола на мелководье при движении носом и кормой вперед. Эксперименты на глубокой воде проводились при осадке ледокола, равной 10,5 м, испытания же на мелководье проводились при осадке 8,5 м. Для исследования влияния мелководья были проведены специальные испытания модели, осадка которой в натуральных условиях составляла 8,5 м, на глубокой воде. Результаты этих испытаний представлены на рис. 2.

Анализ результатов, приведенных на рис. 2, позволяет сделать вывод о том, что мелководье оказывает влияние на ледовое сопротивление. Можно отметить, что это влияние сказывается и при небольших скоростях движения. Этот вывод не совпадает с выводом, полученным в работе [2], в которой утверждается, что влияние мелководья сказывается при относительно высоких скоростях движения ледокола. По-видимому, это различие можно объяснить влиянием предельного мелководья. При движении ледокола не на предельном мелководье влияние последнего сказывается в основном за счет изменений, связанных с гидродинамикой обтекания. Именно поэтому влияние мелководья проявляется при относительно больших скоростях движения

$$Fn_h = \frac{v}{\sqrt{gh_1}} \geq 0,5$$
, где v – скорость ледокола; h_1 – толщина льда. При движе-

нии ледокола на предельном мелководье возрастание ледового сопротивления обуславливается другими причинами, указанными ниже.

Из рис. 2 также следует, что добавочное ледовое сопротивление, вызванное влиянием мелководья, слабо зависит от скорости движения ледокола. Величина этого добавочного сопротивления по данным эксперимента составляет примерно 700–800 кН.

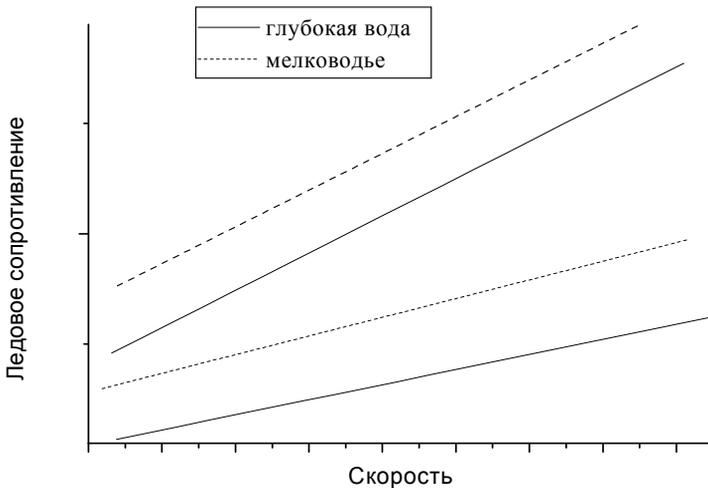


Рис. 2. Результаты экспериментов по определению ледового сопротивления ледокола на предельном мелководье в сплошных льдах

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;
- дополнительное трение, вызванное формированием подводных нагромождений у бортов ледокола, аналогичных нагромождениям, возникающим у вертикальных бортов цилиндрической вставки крупнотоннажных судов ледового плавания;
- влияние указанного нагромождения на процессы разрушения и притапливания обломков льда корпусом ледокола.

Численная оценка влияния каждого из указанных выше факторов, выполненная в работе [3], показала, что все из указанных выше факторов могут реализоваться при движении ледокола на предельном мелководье. По мнению авторов указанной работы, наиболее вероятными механизмами, приводящими к увеличению ледового сопротивления, являются два последних. Тем не менее, отвергать первый из указанных механизмов также нельзя.

В ходе проведения модельных исследований был выполнен ряд экспериментов по определению ледового сопротивления ледокола при взаимодействии с торосом на мелководье. На рис. 3 приведена типичная зависимость ледового сопротивления при преодолении моделью торосистой гряды. Анализ приведенных 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 продавливает лед, слагающий торос, вниз. Только на самой последней стадии может произойти глобальный сдвиг остатков тороса в направлении движения ледокола. Усилия глобального сдвига на начальной стадии взаимодействия существенно превышают силы, возникающие при продавливании тороса. При взаимодействии ледокола с торосом на предельном мелководье единственной возможностью разрушить торос является сдвиг его по направлению движения. Такой механизм разрушения торосистых гряд приводит к большим затратам энергии и, как следствие, к высокому уровню сопротивления. Результаты модельных экспериментов показывают, что при эксплуатации ледоколов на мелководье необходимо избегать их взаимодействия с торосистыми образованиями.

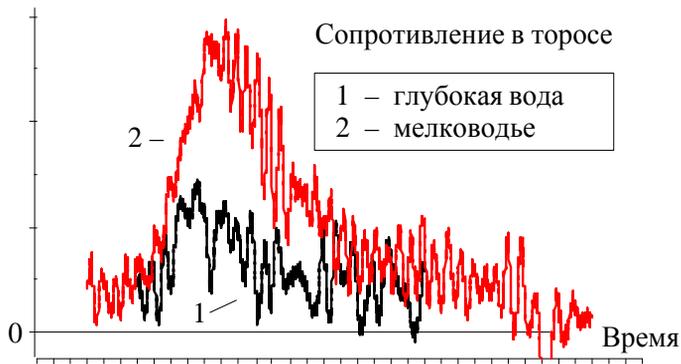


Рис. 3. Сопротивление ледокола в торосе на мелководье

Управляемость ледокола во льдах

Изучение влияния мелководья на показатели ледовой управляемости изучались путем проведения численного эксперимента [4]. Исследование проводилось для случая движения ледокола в битых льдах, т. е. для предельного мелководья. Для предельного мелководья расчеты не проводились. Однако можно ожидать, что движение ледокола на циркуляции в этом случае будет неустойчивым, при этом будет проявляться второй тип неустойчивости, характерный для движения во льдах. Эта неустойчивость связана с резким возрастанием сопротивления при движении судна на циркуляции и, соответственно, с существенным уменьшением скорости движения ледокола. Неустойчивость проявляется в возможности остановки ледокола при выполнении маневра.

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 и 5.

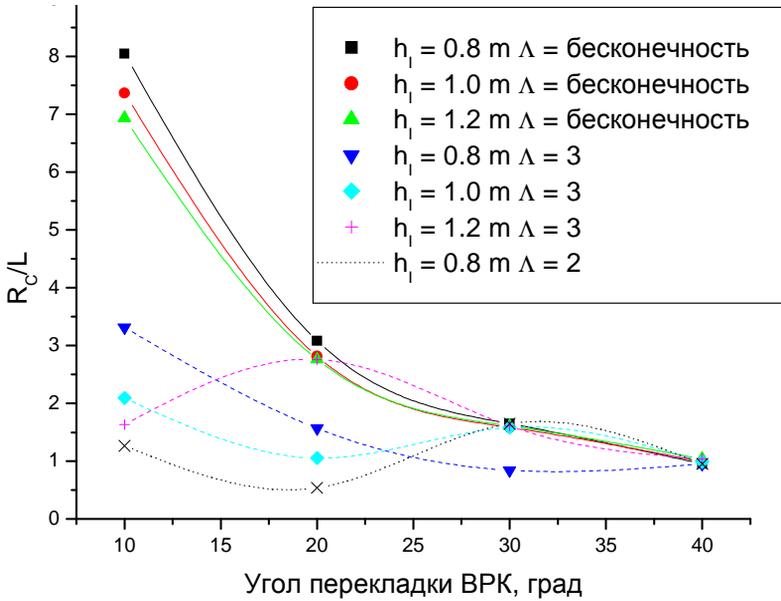


Рис. 4. Влияние мелководья на циркуляцию ледокола, оборудованного ВРК

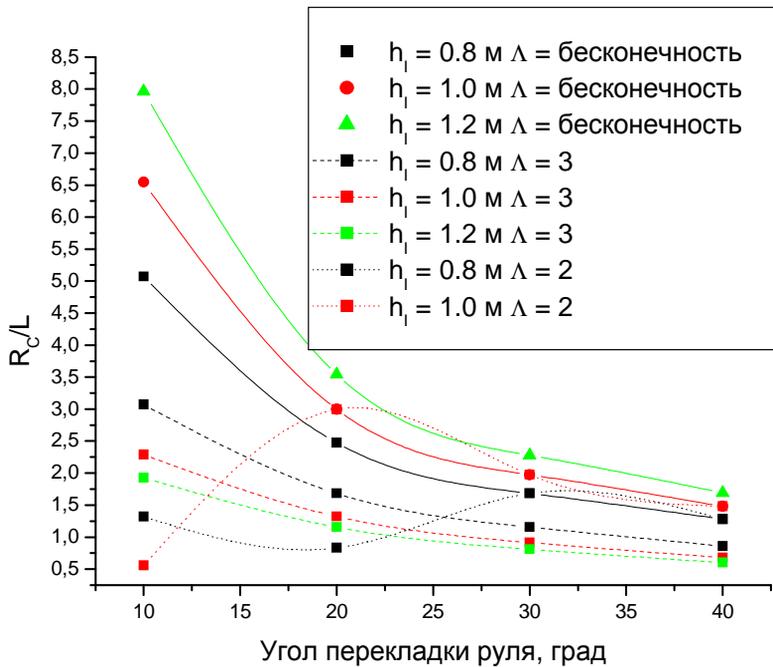


Рис. 5. Влияние мелководья на циркуляцию ледокола, оборудованного рулем

Анализ данных, приведенных на этих рисунках, позволяет сделать следующие выводы. Мелководье уменьшает радиус циркуляции. Этот вывод подтверждается натурными данными, приведенными в работе [5]. Однако следует заметить, что влияние мелководья сказывается только при достаточно больших значениях относительной глубины водоема. Этот факт объясняется тем, что при малых значениях относительной глубины сопротивление среды движению ледокола возрастает и, следовательно, скорость ледокола уменьшается и становится меньше критических значений, при которых влияние мелководья сказывается.

Вариация типа движительно-рулевого комплекса, уставленного на ледоколе, не изменяет качественную картину влияния мелководья на радиус циркуляции.

При эксплуатации ледоколов и судов ледового плавания во льдах были отмечены случаи получения ими повреждений днищевых участков корпуса. Такие повреждения встречаются при эксплуатации судов во всех замерзающих морях России. Одной из возможных причин появления этих повреждений можно считать их эксплуатацию на предельном мелководье. Лдины, попавшие в зазор между днищем ледокола и дном, могут не только приводить к увеличению ледового сопротивления, но и вызывать локальные повреждения корпуса. Когда льдина по тем или иным причинам (движение ледокола с дифферентом на корму, локальное возвышение дна и т. п.) распирается между дном и днищем, происходит внедрение корпуса в льдину. Как показывают оценочные расчеты, при этом могут возникать значительные ледовые усилия и давления. Так, величина ледового усилия при смятии может превышать 15–20 МН.

Литература

1. 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. – Вып. 39 (323). – СПб., 2008. – С. 110–128.
2. 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.
3. 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. – Вып. 51 (335). – СПб., 2010. – С. 5–12.
4. Сазонов К. Е. Ледовая управляемость судов. – СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2006. – 252 с.
5. Зуев В. А. Средства продления навигации на внутренних водных путях. – Л.: Судостроение, 1986. – 207 с.