

О ЛЕДОВОЙ ХОДКОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДОВ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ В АРКТИКЕ

д-р техн. наук К.Е. САЗОНОВ

*ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (КГНЦ), Санкт-Петербург,
e-mail: kirsaz@rambler.ru*

В работе приведен краткий обзор работ, посвященных исследованиям движения судов во льдах кормой вперед, которые предшествовали созданию технологии судов двойного действия. Проанализирована эволюция концепции двойного действия с момента ее появления до настоящего времени. Выполнен критический анализ широко рекламируемых характеристик ледовой ходкости и управляемости крупнотоннажных судов двойного действия. Описан возможный источник возникновения ошибок при проведении испытаний самоходных моделей в ледовых бассейнах на режиме движения задним ходом.

Ключевые слова: крупнотоннажное судно, концепция двойного действия, ледовая ходкость, ледовая управляемость, ледовый бассейн.

ВВЕДЕНИЕ

Многочисленные исследования показывают, что экономически эффективную транспортную морскую транспортную систему в арктических морях возможно создать при использовании в ней крупнотоннажных судов ледового плавания (Дехтярук и др., 2013). Современные крупнотоннажные суда ледового плавания от ранее используемых отличаются резким увеличением главных размерений, и в первую очередь длины и ширины корпуса. При этом ширина корпуса крупнотоннажных судов в 1,5–2 раза превышает ширину существующих ныне, в том числе и строящихся ледоколов. Это обстоятельство делает практически невозможным использование традиционной тактики плавания судов во льдах, которая базируется на лидирующем положении ледокола, прокладывающего во льдах канал для движения судов. При использовании традиционной схемы проводки крупнотоннажное судно вынуждено доламывать неразрушенный ледоколом ледяной покров, что требует существенного увеличения мощности энергетической установки судна, а также обеспечения достаточной прочности корпуса. Эти показатели оказываются сравнимыми с соответствующими показателями судна, осуществляющего одиночное плавание.

В настоящее время во всем мире ведутся активные поиски технологий, которые могли бы обеспечить безопасное плавание крупнотоннажных судов в ледовых условиях. Многие специалисты полагают, что решение этой проблемы может быть найдено с помощью использования судов двойного действия. Рассмотрению эффективности применения судов двойного действия при их эксплуатации в Арктике посвящена данная работа.

ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСКУРС

Идея применения на ледоколах и судах ледового плавания носовых гребных винтов, или, что практически то же самое, движения кормой вперед, не нова. Впервые носовые гребные винты появились во второй половине XIX в. в Северной Америке, положив начало развитию ледоколов так называемого «американского типа» (Андрейченко, 2009). Ряд преимуществ подобной конструкции был вполне очевиден, это в первую очередь возможность размыва несмерзшихся торосистых образований. Именно для этой цели носовой винт был использован С.О. Макаровым в первом варианте конструкции корпуса ледокола «Ермак». Недостатки носового расположения гребных винтов были выявлены достаточно быстро: это невозможность в то время обеспечить достаточную прочность лопастей гребных винтов и гребного валопровода. Этот важнейший фактор вынудил судостроителей с осторожностью относиться к применению носовых гребных винтов на ледоколах. Тем не менее во второй половине XX в. был построен и успешно эксплуатировался целый ряд ледоколов, оснащенных носовыми движителями. Это ледоколы типа «Капитан Белоусов» и «Василий Прончищев» в СССР, типа «Войма», «Карху» и «Тармо» в Финляндии, «Эльбьерн» и «Данбьерн» в Дании (Каштелян и др., 1972). Необходимо отметить, что все указанные ледоколы предназначались для работы в неарктических замерзающих морях. Ледоколы типа «Капитан Белоусов» и «Василий Прончищев» использовались также для работы в арктических портах, причем в этом случае на ледоколах типа «Василий Прончищев» носовой винт не использовался (Каштелян и др., 1972). Опыт эксплуатации таких ледоколов показал, что они наиболее эффективны в условиях стесненных фарватеров, набитых тертым льдом и шугой.

Во второй половине XX в. изучалась ледовая ходкость ледоколов и судов при движении кормой вперед. Результаты этих исследований показали, что при этом режиме движения наблюдается снижение ледового сопротивления (Игнатьев, 1966). Причем это снижение ледового сопротивления было довольно значительным, потому что показатели ледовой ходкости при движении кормой вперед часто оказывались лучше, чем на передний ход, хотя тяговые характеристики заднего хода у судов с традиционным движительным комплексом всегда хуже.

Возрождение интереса к движению ледоколов задним ходом во льдах и, соответственно, к применению носовых винтов произошло в конце XX в. благодаря деятельности капитана а/л «Арктика» Ю.С. Кучиева. К этому времени многие проблемы, связанные с обеспечением прочности движительного комплекса ледоколов, были успешно решены, поэтому он стал активно применять при эксплуатации «Арктики» движение задним ходом, продемонстрировав при этом повышение ледопроеходимости. Он также выступал за применение носовых винтов на арктических ледоколах (Кучиев, 1993). В качестве причины эффективности носовых гребных винтов Ю.С. Кучиев называет:

- размыв подводной части торосов, менее подверженной смерзанию;
- обмыв корпуса ледокола, уменьшающий силы трения и предотвращающий облипание бортов и заклинивание ледокола.

В работе (Сазонов, 2010) содержится теоретическое объяснение эффекта снижения сопротивления при движении задним ходом, основанное на учете влияния на различные составляющие ледового сопротивления мощных струй воды, отбрасываемых движителем и омывающих корпус. На рис. 1 приведены результаты расчетов

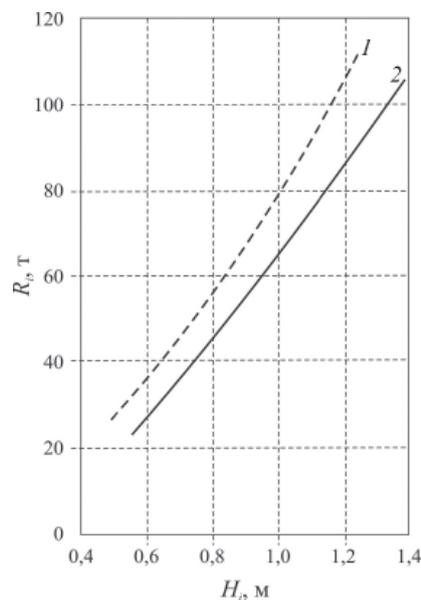


Рис. 1. Сопротивление ледокола при движении передним (1) и задним (2) ходом.

ледового сопротивления традиционного ледокола при движении передним и задним ходом. Из анализа результатов следует, что ледовое сопротивление при работе носовых движителей (движение задним ходом) снижается в 1,6–1,8 раза.

Также стали появляться работы, в которых предлагалось использовать эффект снижения ледового сопротивления при движении задним ходом для решения различных задач морской ледотехники. Одним из первых было предложение российских специалистов использовать этот режим для проведения сейсмической разведки в ледовых условиях (Буравцев, Сазонов, 1992; Буравцев и др., 1995). Это предложение было поддержано финскими специалистами (Салми, 1995). К сожалению, оно до настоящего времени еще не реализовано.

В 1995 г. финскими специалистами была предложена концепция судна двойного действия (DAS) (Backstrom et al., 1995), которая заключалась в том, что носовая и кормовая оконечности судна проектировались на совершенно различные режимы движения: нос судна оптимизировался для получения хороших показателей ходкости на чистой воде (предполагалось, что он может иметь бульб), а форма кормовой оконечности обеспечивала движение во льдах.

ЭВОЛЮЦИЯ КОНЦЕПЦИИ СУДНА ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

Концепция судна двойного действия могла появиться только после разработки новых движительно-рулевых комплексов типа «Азипод», предложенных также финскими специалистами. Дело в том, что движение задним ходом традиционных ледоколов и судов ледового плавания лимитируется конструктивными особенностями их движительно-рулевого комплекса. Обычные гребные винты фиксированного шага при реверсе развивают не более 70 % тяги переднего хода. И только использование винто-рулевых колонок, реверс которых осуществляется поворотом колонки на 180° , позволяет развивать на заднем ходу тяговые усилия, сравнимые по величине с тягой переднего хода. Кроме этого использование винто-рулевых колонок позволило по-

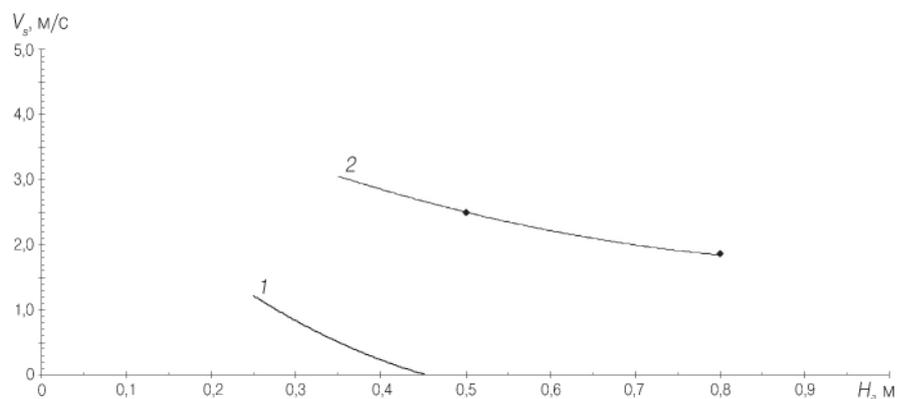


Рис. 2. Ледопроходимость танкера двойного действия:
1 — движение носом вперед, 2 — движение кормой вперед.

высить тяговые характеристики движительного комплекса и на передний ход за счет использования профилей лопастей гребного винта с повышенной кривизной. В традиционном движительном комплексе использование таких профилей невозможно из-за резкого снижения тяговых характеристик заднего хода.

Финскими специалистами был выполнен большой объем модельных испытаний в ледовом бассейне в подтверждение эффективности и работоспособности предложенной концепции. В качестве примера можно привести результаты исследований, опубликованных в (Juugmaa et al., 2001). В этой работе приведены результаты испытаний танкера двойного действия, предназначенного для эксплуатации в Балтийском море. Эти исследования проводились в обеспечение проектирования танкеров типа «Мастера». На рис. 2 представлены полученные в результате проведения эксперимента кривые ледопроходимости при движении носом и кормой вперед.

Первоначальная идея судна двойного действия была реализована в небольшом количестве проектов, например, танкера дедвейтом 106 100 т «Мастера» и «Темпера», эксплуатирующиеся во льдах Финского залива. Эти суда достаточно хорошо себя зарекомендовали при движении в набитых и слегка смерзшихся ледяных каналах. В арктических условиях эти суда не применялись.

Суда двойного действия стали предметом активного изучения во многих ледовых бассейнах мира. В результате выполненных исследований было установлено, что крупнотоннажные суда с бульбовой носовой оконечностью практически не могут передвигаться передним ходом в сплошных льдах. Их предельная ледопроходимость обычно не превышает 20–25 см. Полная невозможность движения передним ходом в сплошных льдах еще допустима при эксплуатации судна на акваториях с относительно тонким ледяным покровом и при движении по каналам, проложенным во льдах. Для самостоятельного плавания в арктических условиях такие ограничения не приемлемы. По-видимому, это обстоятельство послужило причиной отказа от использования бульбовой носовой оконечности на судах двойного действия, предназначенных для эксплуатации в Арктике.

У судов двойного действия современной постройки (например, типа «Норильский никель» и типа «Василий Динков») носовая оконечность имеет ледокольную или умеренно ледокольную форму. Такая форма носовой оконечности позволяет этим судам работать во льдах как носом, так и кормой вперед. Указанные суда уже

несколько лет эксплуатируются в полярных морях, и этот факт является для многих обоснованием возможности применения технологии двойного действия в Арктике. В настоящее время существует целый ряд проектов крупнотоннажных судов двойного действия для арктического региона, которые должны обеспечить вывоз углеводородного сырья из мест его добычи, а также осуществлять транзитные перевозки в Арктике. Эти суда должны иметь ледокольную или умеренно ледокольную форму носовой оконечности. При этом предполагается, что в относительно тонких льдах толщиной до 1 м для достижения наилучших показателей ледовой ходкости судно должно двигаться носом вперед, а в более толстых — задним ходом (Цой и др., 2013).

Таким образом, можно констатировать, что за прошедшие 20 лет концепция судна двойного действия эволюционировала в сторону отказа от обеспечения хороших показателей ходкости судна на чистой воде. В ней осталось лишь обеспечение возможности движения задним ходом во льдах.

Ледовая ходкость и управляемость судов двойного действия. Одной из главных причин привлекательности судов двойного действия в качестве основного типа транспортного судна для Арктики, несомненно, являются высокие показатели их ледопроеходимости, которые усиленно пропагандируются на различных конференциях и симпозиумах. Хорошие характеристики ледовой ходкости подтверждаются обычно данными модельных экспериментов в ледовых бассейнах. Кроме этого, эксплуатация в Арктике судов двойного действия типа «Норильский никель» и «Василий Динков» создала иллюзию «ледокольной независимости» судов двойного действия (Смирнов, Головинский, 2014), т.е. возможности их успешного плавания в суровых ледовых условиях без ледокольной поддержки.

Также привлекательной является пропагандируемая повышенная маневренность судов двойного действия во льдах. В подтверждение этого тезиса обычно также ссылаются на данные натурных испытаний и модельный эксперимент.

Ледовое сопротивление. Результаты многочисленных модельных испытаний, выполненных в зарубежных ледовых бассейнах, показывают, что крупнотоннажные суда имеют очень хорошие показатели ледовой ходкости при движении кормой вперед. Эти показатели зачастую превышают соответствующие показатели атомных ледоколов. Например, по данным испытаний одного из ледовых бассейнов, крупнотоннажное судно, имеющее ширину корпуса около 50 м и мощность 45 МВт, может двигаться задним ходом со скоростью 2,4 узла во льдах толщиной 2,1 м. Атомный ледокол типа «Арктика», имеющий ширину корпуса 28 м и мощность 55 МВт, имеет предельную ледопроежимость 2,1–2,2 м на скорости 2 узла. Для сравнения этих двух судов можно использовать показатель N/B , где N — мощность, B — ширина корпуса, который часто применяется для этой цели. Его значения, определенные примерно для одинаковых толщин льда и скорости движения, составляют для крупнотоннажного судна 0,9 МВт/м, а для ледокола 1,96 МВт/м. Таким образом, получается, что на разрушение одного погонного метра льда ледокол затрачивает в 2 раза большую мощность.

Можно указать две возможные причины, благодаря которым может наблюдаться снижение ледового сопротивления крупнотоннажного судна по сравнению с ледоколом:

– лыжеобразная, вплоть до понтонообразной, форма кормовой оконечности, включающая уменьшенный угол наклона ахтерштевня по сравнению с углом наклона форштевня ледокола;

– омывание корпуса судна струями от движителей, которое приводит к очистке подводной части корпуса от притопленного им льда. При этом уменьшаются трение льда об обшивку корпуса, эффекты «подпора», связанные с увеличением разрушающего лед усилия из-за противодействия ему силы плавучести притопленных обломков, взаимодействующих с неразрушенным ледяным покровом.

Использование винто-рулевых колонок в качестве основного движительного комплекса потребовало внесения изменений в форму кормовой оконечности судов. Традиционная клинообразная корма с ярко выраженным ахтерштевнем не допускает размещение на ней поворотных колонок. В то же время лыжеобразная корма позволяет легко разместить на ней колонки таким образом, чтобы они не препятствовали поворотам. Эта же форма кормы допускает минимальный наклон ахтерштевня вплоть до 15–16°.

В ледоколостроении достаточно хорошо известно, что уменьшение угла наклона форштевня приводит к заметному снижению ледового сопротивления ледокола. Можно ожидать, что снижение угла наклона форштевня с 25 до 20° приведет к снижению ледового сопротивления примерно на 15 % (Сазонов, 2010).

Необходимо отметить, что картина разрушения ледяного покрова лыжеобразной формой отличается от таковой для традиционной клинообразной. Основное отличие заключается в том, что в районе диаметральной плоскости (под ахтерштевнем) образуется довольно большой сектор льда, который затем поворачивается и притапливается кормой. На рис. 3 представлена фотография такого сектора, полученная в одном из экспериментов в ледовом бассейне КГНЦ. Аналогичные образования наблюдаются и в других ледовых бассейнах (см., например, (Su et al., 2014)). Образование подобных обломков льда несколько снижает эффект от уменьшения угла наклона ахтерштевня.

Влияние на ледовое сопротивление омывающего действия струй от движителей уже давно и хорошо известно. На рис. 1 уже были представлены результаты расчетов движения ледокола с традиционной клинообразной формой корпуса носом и кормой вперед. На основании данных, представленных на этом рисунке, можно определить выигрыш, возникающий при омывании корпуса струями от винтов. Это результат получен для традиционного ледокола, длина которого составляет примерно 100 м.

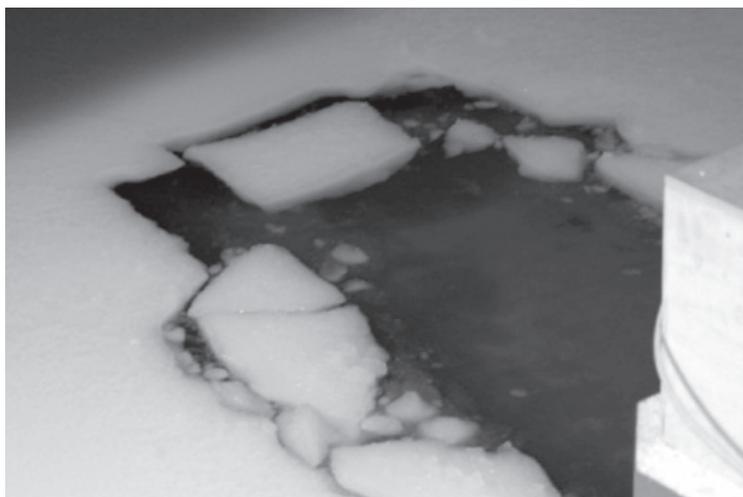


Рис. 3. Сектор льда, выламываемый кормовой оконечностью.

Возникает естественный вопрос: будет ли эффективен обмыв струями для судна, длина которого превышает 300 м? Соответствующие расчеты выполнялись в КГНЦ (Лобачев, Сазонов, 2005). Их результаты показали, что скорости в струе довольно быстро уменьшаются, поэтому эффект смыва обломков льда с подводной части корпуса может быть реализован только в непосредственной близости от места расположения движителей. Это означает, что эффективность обмыва корпуса струями для крупнотоннажного судна меньше, чем для относительно небольшого ледокола.

Подводя итог, можно констатировать, что указанные выше причины, несомненно, приводят к снижению ледового сопротивления при движении судна кормой вперед. Тем не менее если выполнить верхнюю оценку возможного снижения из-за них ледового сопротивления крупнотоннажного судна, движущегося задним ходом, то оно не может превысить 50–60 %. Указанного значения явно недостаточно для объяснения расхождения в показателях ледовой ходкости, которые были приведены выше.

Выше уже отмечалось, что высокие показатели ледовой ходкости были получены в основном на основании результатов экспериментов, выполненных в зарубежных ледовых бассейнах. Аналогичные эксперименты, проведенные в ледовых бассейнах КГНЦ, не подтверждают эти данные. По-видимому, расхождение в результатах объясняется различием применяемых в отечественных и зарубежных бассейнах экспериментальных методик определения ледового сопротивления с помощью моделей, оборудованных движителем. Модельные испытания на заднем ходу всегда проводят с работающими гребными винтами для имитации эффекта омывания корпуса струями от винтов. По мнению автора, одна из возможных причин, приводящих к неправильной оценке ледового сопротивления крупнотоннажного судна, движущегося кормой вперед, заключается в следующем. При движении судна задним ходом практически постоянно происходит взаимодействие гребных винтов со льдом. В ходе этого взаимодействия изменяются тяговые характеристики движительного комплекса, при условии постоянства подводимой мощности в натуральных условиях происходит неизбежное снижение частоты вращения гребного винта n . При этом характер изменения упора движителя не столь очевиден. При снижении частоты вращения гидродинамический упор уменьшается пропорционально n^2 , в то же время может возрастать ледовый упор, возникающий при взаимодействии гребного винта с притопленными льдинами. При проведении же модельного эксперимента обычно выполняется требование $n = const$, поэтому тяга движительного комплекса модели может увеличиваться.

Результаты расчетов для случая $n = const$, выполненных по методике, изложенной в работе (Сазонов, 2015), представлены на рис. 4. На этом рисунке показан характер изменения скорости движения самоходной модели судна в случае поддержания частоты вращения движителя постоянной. Из рисунка следует, что при любом уровне ледовой нагрузки на движитель происходит возрастание его тяговых характеристик, что, соответственно, приводит к увеличению скорости движения. Это обстоятельство необходимо учитывать при анализе данных модельных самоходных испытаний, особенно тех, в которых основной измеряемой величиной для определения ледового сопротивления является скорость движения модели.

Для исключения влияния этого эффекта при проведении испытаний в ледовом бассейне самоходных или буксируемых моделей с работающими гребными винтами необходимо проводить измерения упора движителей и вносить эти данные в схему обработки экспериментальной информации. Такая практика постоянно применяется в ледовом бассейне КГНЦ (Клементьева и др., 2010).

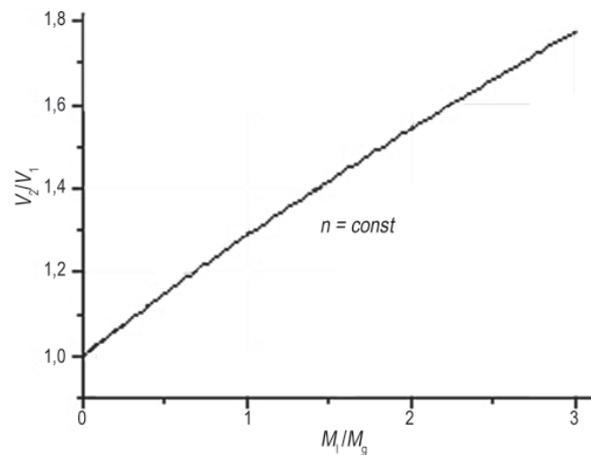


Рис. 4. Возрастание относительной скорости движения судна при наличии взаимодействия движителя со льдом и поддержании постоянной частоты его вращения: M_1, M_g — ледовый и гидродинамический моменты на движителе соответственно; V_1, V_2 — скорость движения модели при отсутствии взаимодействия движителей со льдом и при взаимодействии соответственно.

Ледовая управляемость. Повышенные характеристики ледовой управляемости крупнотоннажных судов двойного действия также часто приводятся в качестве аргумента в пользу их применения. Эти аргументы основываются на данных натурных и модельных испытаний. Обычно приводят график из работы финских специалистов (Wilkman et al, 2004), на котором ледовая поворотливость крупно-

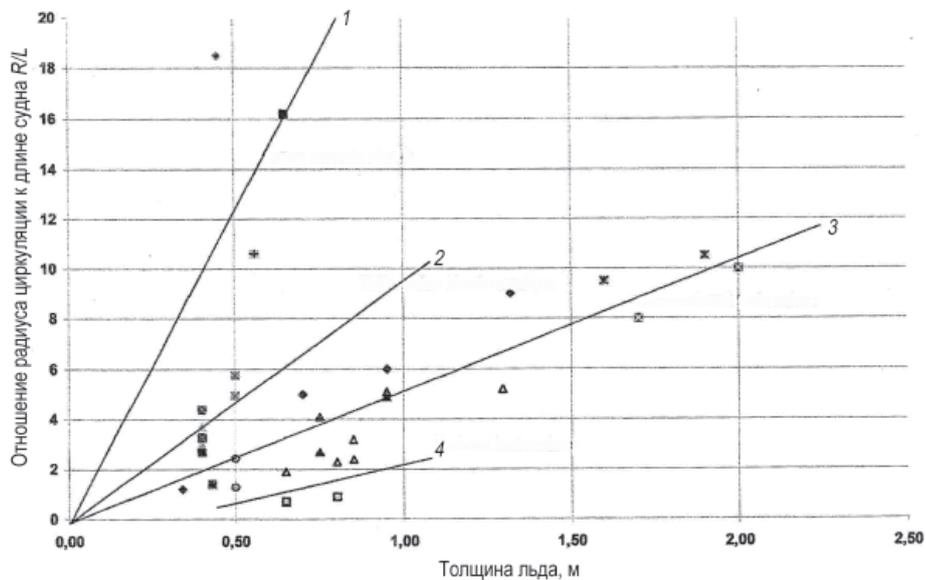


Рис. 5. Сравнение поворотливости ледоколов и судов, оснащенных винто-рулевыми колонками, с традиционными ледоколами и судами: 1 — грузовое судно при движении носом вперед; 2 — танкер двойного действия «Mastera» при движении кормой вперед; 3 — традиционные ледоколы; 4 — ледоколы с винто-рулевыми колонками.

тоннажных танкеров двойного действия сравнивается с ледовой поворотливостью ледоколов и других судов (рис. 5). На этом рисунке по оси абсцисс отложена толщина ровного льда, а по оси ординат относительный радиус циркуляции судна. На графике приведено четыре кривых, характеризующих поворотливость ледоколов, оснащенных винто-рулевыми колонками, обычных ледоколов, танкеров двойного действия и обычных судов ледового плавания. При беглом взгляде на этот график создается впечатление, что суда, оснащенные винто-рулевыми колонками, имеют существенно лучшие показатели поворотливости, чем традиционные ледоколы и суда. Однако более детальный анализ этого графика показывает, что все результаты, относящиеся к судам с винто-рулевыми колонками, получены в относительно тонких льдах. Насколько хорошо этот новый перспективный тип движителя функционирует в тяжелых ледовых условиях, остается загадкой. Очевидно, что информация, содержащаяся на рис. 5, явно недостаточна для выполнения серьезного анализа характеристик ледовой управляемости судов.

Результаты модельных испытаний, выполненных в ледовом бассейне Гамбурга и приведенные в работе (Цой и др., 2013), вызывают сомнения. В соответствии с ними газозов шириной около 50 м и длиной более 300 м, оборудованный тремя винто-рулевыми колонками, имеет относительный радиус циркуляции $R/L = 4$ во льдах толщиной, несколько превышающей 1,5 м. По утверждению авторов статьи, это значение «находится на уровне маневренности во льдах ледоколов, оборудованных двумя ВРК» (нижняя прямая на рис. 5). Результаты теоретических и экспериментальных исследований (Сазонов, 2006) показывают, что увеличение длины корпуса и, особенно, цилиндрической вставки приводит к существенному увеличению радиуса циркуляции, поэтому столь низкое его значение, полученное для относительно толстого льда, следует считать некорректным. Более разумные, на наш взгляд, результаты получены в том же эксперименте для модели газозова, имеющего другой винто-рулевой комплекс (два бортовых ВРК и средний традиционный винт), его относительный радиус циркуляции составляет $R/L = 12$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрение ледовой ходкости и управляемости судов двойного действия, выполненное в данной статье, позволяет сделать следующие выводы.

1. Со времени своего появления в 90-х гг. прошлого века технология использования судов двойного действия претерпела существенные изменения. К настоящему времени практически оставлены попытки создания классических судов двойного действия, имеющих предназначенную для движения на чистой воде носовую оконечность, оснащенную бульбом. Все эксплуатируемые в Арктике и проектирующиеся суда имеют умеренную или усиленную ледокольную форму носовой оконечности. Таким образом, можно констатировать, что идея создания универсального транспортного судна, обладающего одинаково хорошими характеристиками ходкости как на чистой воде, так и в ледовых условиях потерпела крах.

2. Тем не менее до сих пор многие специалисты считают, что движение крупнотоннажного судна кормой вперед позволит ему не только совершать самостоятельные плавания во льдах без ледокольного обеспечения, но и позволит преодолевать льды, которые зачастую неподвластны ледоколам. По нашему мнению, это довольно опасное заблуждение, аналогичное мнение высказывают и специалисты «Атомфлота» (Смирнов, Головинский, 2014).

3. В работе показано, что при движении кормой вперед может достигаться эффект снижения ледового сопротивления. Указаны также причины, приводящие к этому снижению. Выполненный анализ показывает, что все эти причины не могут привести к анонсируемым показателям ледовой ходкости крупнотоннажных судов.

4. В работе указана возможная причина завышения показателей ледовой ходкости судов на основании анализа данных модельного эксперимента в ледовом бассейне.

5. В работе показано, что пропагандируемые повышенные характеристики ледовой управляемости крупнотоннажных судов при движении задним ходом также вызывают большие сомнения. Эти данные основываются исключительно на результатах модельных экспериментов в ледовых бассейнах. Ни одного подтверждающего эти выводы натурального эксперимента пока не существует.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андрюченко В.Г. Ледокольный флот России, 1860-е – 1918 гг. М.: Европейские издания, 2009. 536 с.

Буравцев В.Ю., Сазонов К.Е. Способ сейсмической разведки на акваториях с ледяным покровом. А.С. № 1835938, СССР/ Гос. Реестр изобр. 13.10.1992.

Буравцев В.Ю., Гагельганц А.А., Майзель А.Б., Сазонов К.Е. Геофизический ледокол для поиска нефти и газа // Разведка и охрана недр. 1995. № 12. С. 26–29.

Дехтярук Ю.Д., Добродеев А.А., Сазонов К.Е. Некоторые вопросы создания морских транспортных систем для вывоза углеводородов из Арктики // Арктика: экология и экономика. 2013. № 2 (10). С. 84–91.

Игнатъев М.А. Гребные винты судов ледового плавания. Л.: Судостроение, 1966. 114 с.

Каשתелян В.И., Рывлин А.Я., Фаддеев О.В., Ягодкин В.Я. Ледоколы. Л.: Судостроение, 1972. 286 с.

Клементьева Н.Ю., Сазонов К.Е., Тарица Г.В., Штрамбранд В.И., Щербаков И.В. Сопоставление результатов модельных исследований различных вариантов перспективного ледокола мощностью 25 МВт // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2010. Вып. 51 (335). С. 207–218.

Кучиев Ю.С. Носовая оконечность ледокола со встроенным в корпус гребным винтом // Сб. тезисов III Международной выставки и симпозиума по судостроению, судоходству и разработке шельфа «Нева-93». СПб., 1993. С. 34.

Лобачев М.П., Сазонов К.Е. Исследование некоторых аспектов гидромеханики судов двойного действия // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2005. Вып. 24 (308). С. 89–98.

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

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

Сазонов К.Е. Оценка изменений тяговых характеристик движительного комплекса судна, двигающегося задним ходом во льдах // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2015. № 38–39. С. 97–100.

Салми П. Геофизическое судно для ледовых условий чистой воды // Разведка и охрана недр. 1995. № 12. С. 29.

Смирнов А.А., Головинский С.А. Перспективы развития Северного морского пути (к 55-летию атомного ледокольного флота) // Арктика: экология и экономика. 2014. № 4 (16). С. 108–113.

Цой Л.Г., Андрюшин А.В., Штрек А.А. Обоснование основных параметров перспективных крупнотоннажных газозовозов для Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 3 (97). С. 46–56.

Backstrom M., Juurma K., Wilkman G. New Icebreaking Tanker Concept for the Arctic (DAT). Proceeding of POAC 95, Murmansk, Russia. St. Petersburg, 1995. Vol. 4. P. 52–71.

Juurmaa K., Mattsson T., Wilkman G. The development of the new double acting ships for ice operation. Proceeding of POAC 01, Ottawa, Canada, 2001. Vol. 2. URL: <http://www.poac.com/PapersOnline.html> [дата обращения 20.09.2015].

Su B., Skjetne R., Berg T.E. Numerical assessment of a double-acting offshore vessel's performance in level ice with experimental comparison // Cold Regions Science and Technology. 2014. № 106–107. P. 96–109.

Wilkman G. et al. Full scale experience of double acting tankers (DAT) Mastera and Tempera // Proc. 17th Int. Symp. on Ice. St.-Petersburg, Russia, 2004. Vol. 1. P. 488–497.

K.E. SAZONOV

ON PROPULSION AND MANEUVERING PERFORMANCE OF LARGE-SIZE DOUBLE-ACTING VESSELS IN ARCTIC WATERS

The paper gives a brief overview of studies on ship operation in ice under the stern-first mode that preceded the development of double-acting ship technologies. The evolution of the double-acting concept from its inception till present time is analyzed. The paper provides a critical analysis of the claimed propulsion and maneuvering performance of large-size double-acting vessels. A possible source of errors in self-propulsion astern model tests in ice basins is described.

Keywords: large-size vessel, double-acting concept, propulsion in ice, maneuverability in ice, ice basin.