

ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С УВЕЛИЧЕНИЕМ СКОРОСТИ КРУГЛОГОДИЧНОЙ РАБОТЫ КРУПНОТОННАЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ В АРКТИКЕ

А. В. Пустошный, К. Е. Сазонов

ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 2 июня 2017 г.

Представлены и обсуждены новые технические проблемы, связанные с созданием в российской Арктике скоростной круглогодичной трассы для проводки крупнотоннажных судов. Показано, что трудности при создании такой трассы связаны с обеспечением надлежащих ледовых качеств крупнотоннажных судов ледового плавания.

Ключевые слова: ледокол, крупнотоннажное судно, скорость, мощность, ледовая прочность, движители, винторулевая колонка.

Введение

Опыт показывает, что в каждый исторический период развитие техники, предназначенной для эксплуатации в ледовых условиях, определяется не только технологическим уровнем, достигнутым к рассматриваемому времени, но и долгосрочными стратегическими целями и задачами страны [1]. В советский период основной транспортной задачей являлось жизнеобеспечение относительно небольшого населения северных районов через «северный завоз», и эта задача решалась с помощью сравнительно небольших судов ледового плавания. Опыт эксплуатации этих судов основывался на необходимости принципиального решения задачи доставки грузов в арктические порты. При этом экономические соображения отодвигались на второй план.

Принятый в последние годы курс на коммерческое освоение Арктики и переориентацию грузовых потоков на круглогодичную транспортировку из арктических регионов не только традиционно в Европу и США, но прежде всего в страны Тихоокеанского региона — Китай, Корею и Японию [2], уже послужил толчком к разработке новых ледовых судов. Для этих целей разрабатывается сверхмощный ледокол «Лидер» [3], созданы и создаются крупнотоннажные транспортные суда высоких ледовых классов (в классификации Российского морского регистра судоходства (РМРС) — Arc7). Примером может служить газозов «Кристоф де Маржери» (рис. 1), построенный в рамках выполнения проекта «Ямал-СПГ» для ПАО «Совкомфлот». Правительство ставит цель осуществлять вывоз добываемых в Арктике ресурсов судами исключительно под российским

флагом, даже если такие суда строятся за границей. При этом при их строительстве используются опыт и нормативы, разработанные на базе предыдущего поколения судов ледовых классов, которые отличались существенно меньшими размерами (как правило, до 5000 т) и эксплуатировались во льдах с относительно небольшими скоростями (как правило, 5—6 узлов) [4].

Однако коммерческое освоение Арктики подразумевает, что арктические перевозки грузов, например в страны Дальнего Востока, должны быть коммерчески конкурентоспособны с перевозками грузов вокруг Евразии по южным морям. Экономические исследования послужили основанием для формулирования требований к арктическим перевозкам: чтобы быть конкурентоспособными, эти перевозки должны осуществляться со скоростью до 12—14 узлов, в том числе и при прохождении ледовых участков с толщиной льда, достигающей 2 м.

Исследования, направленные на повышение эффективности морских транспортных систем, выполнялись и раньше, среди прочих и авторами настоящей работы [6—8]. В данной статье рассматриваются технические аспекты и проблемы, связанные с увеличением скоростей круглогодичной транспортировки грузов в Арктике, в том числе в тяжелых ледовых условиях восточных морей Северного Ледовитого океана.

Новые задачи, связанные с увеличением скорости работы судов в Арктике

Постановка задачи о работе ледоколов и судов ледового плавания в толстых льдах на скорости до 12—14 узлов является принципиально новой, требующей всестороннего рассмотрения и выработки

технических решений, которые могут отличаться от применяемых на традиционных ледовых судах. Следует также понимать, что данная задача распадается на две — работа судов с большими скоростями за ледоколом, и самостоятельное движение ледовых судов в достаточно толстых льдах, что в принципе допускается для строящихся сейчас судов высоких ледовых классов (Arc7), обладающих значительной собственной ледопродоимостью (до 2 м).

Предварительный анализ показал, что новые технические проблемы, связанные с увеличением скорости работы судов в Арктике, от решения которых во многом зависит возможность создания эффективной и безопасной круглогодичной скоростной арктической транспортной системы и которые требуют безотлагательных исследований, могут быть сформулированы следующим образом:

- Изменение динамики разрушения толстого льда (толщиной 1,5—2 м) при автономном движении ледоколов и ледовых транспортных судов со скоростью 12—14 узлов. Выявление необходимости дополнительной оптимизации обводов корпуса ледоколов и ледовых судов, предназначенных для скоростной работы в толстых льдах.
- Изучение баланса ледового и гидродинамического сопротивления при скоростной работе судов во льдах. Разработка уточненной методики расчета ходкости ледовых судов при их работе во льдах со скоростью 12—14 узлов с учетом гидродинамических и ледовых сил.
- Выбор величины необходимого ледового запаса мощности на борту для обеспечения скоростной работы ледового судна в толстых льдах, в том числе с учетом действия ледовых сжатий и взаимодействия судна с торосистыми образованиями.
- Разработка рекомендаций по корректированию требований Российского морского регистра судоходства к ледовой прочности корпуса при скоростной работе крупнотоннажных судов класса Arc7 и выше в толстых льдах.
- Исследование взаимодействия движителей с толстым льдом при высокой скорости движения ледового судна как при автономной работе во льдах на скорости 12—14 узлов, так и при ледокольной проводке с теми же скоростями. Разработка рекомендаций для корректировки методов расчета прочности лопастей и винторулевых колонок, в том числе с учетом маневрирования во льдах.

Указанные задачи более подробно рассмотрены ниже.



Рис. 1. Газовоз «Кристоф де Маржери» в порту Мурманска [5]

Динамика разрушения толстого льда

Характер разрушения ледяного покрова (картина разрушения) играет важнейшую роль в формировании различных составляющих ледового сопротивления. От размера обломанных корпусом льдин зависит не только составляющая сопротивления, связанная с разрушением ледяного покрова, но и составляющие, связанные с поворотом и притапливанием льдин, а также размеры и динамика «ледовой рубашки», формирующейся на подводной части корпуса и оказывающей существенное влияние на процессы взаимодействия движителей со льдом. Начиная с исследований Э. Энквиста [9] создателям ледоколов и судов ледового плавания хорошо известно, что при превалирующем механизме разрушения льда изгибом размеры образующихся обломков льда зависят не только от его толщины и формы корпуса, но и от скорости движения. Зависимость величины характерного размера обломка льда b_c от числа Фруда и толщины льда, полученная на основании данных Э. Энквиста и других сведений, может быть аппроксимирована следующим выражением [10]:

$$b_c = \left[\frac{1,462}{(Fn_h + 0,3)^{1,213}} + 1 \right] \sqrt[4]{Eh^3},$$

где $Fn_h = V_z / \sqrt{gh}$ — число Фруда, вычисленное по толщине льда; V_z — скорость вертикального перемещения кромки льда в точке контакта корпуса судна со льдом; h — толщина льда.

Из приведенной формулы следует, что при увеличении скорости движения судна характерный размер обломка заметно уменьшается. Следствием этого обстоятельства являются увеличение числа ломаемых корпусом фрагментов льда, необходимых для создания прохода во льдах для движения судна,

а также уменьшение ширины канала за ним. При этом необходимо учитывать, что рассматриваемая формула получена на материале, соответствующем скорости движения судна не более 5—6 узлов и, по-видимому, не может быть использована при более высоких скоростях.

При высоких скоростях движения ледокола или судна ледового плавания в толстых льдах возможно изменение основного механизма разрушения льда, например переход от разрушения изгибом к разрушению при сдвиговых деформациях. Такой процесс иногда наблюдается при движении судов в относительно тонких молодых осенне-зимних льдах [11]. Статический анализ процессов изгиба и сдвига показывает, что первый из них зависит от толщины льда как h^2 , а второй — как h . Из этого следует, что начиная с некоторой критической толщины льда процесс разрушения сдвигом будет требовать для реализации меньших усилий, чем изгиб, и, следовательно, будет реализовываться. В какой степени динамика процесса разрушения, обусловленная высокой скоростью движения судна, будет оказывать влияние на смену механизмов разрушения, пока неясно.

Еще одной не до конца решенной задачей, связанной с разрушением ледяного покрова, является движение крупнотоннажного судна по ледяному каналу, ширина которого незначительно меньше ширины судна. В этом случае крупнотоннажное судно вынуждено доламывать кромки канала своим корпусом. Проведенные ранее исследования разрушения льда при относительно невысоких скоростях движения показали, что при взаимодействии корпуса со льдом растрескивание ледяного покрова происходит не только у борта, но и на довольно значительных расстояниях от него. Причем отламывание обломка происходит в основном по ближайшей к борту трещине [12]. Сплошность кромок оставшегося после прохождения ледокола канала оказывается нарушенной многочисленными трещинами, которые облегчают их дальнейшее разрушение. Распространяется ли последнее утверждение на условия скоростной проводки судов в толстых льдах при возможном изменении механизма его разрушения, пока неизвестно.

Возможное изменение основного механизма разрушения ледяного покрова корпусом может потребовать локальной оптимизации его формы. Такая оптимизация может быть необходима для снижения уровня ледового сопротивления и для создания оптимального канала за ледоколом. Последний вопрос требует отдельного рассмотрения. Хорошо известно, что за ледоколом традиционной клинообразной формы образуется канал переменной ширины, заполненный обломками льда, сплоченность которых составляет 4—6 баллов. Наличие мелкобитого льда в канале при движении каравана судов в относительно тонких льдах, с одной стороны, не оказывает существенного влияния на характеристики их движения, а с другой — служит повышению

безопасности проводок, обеспечивая более эффективное торможение проводимого судна при резкой остановке ледокола. При скоростных движениях в толстых льдах (как показывают результаты пока еще немногочисленных модельных испытаний) сплоченность льда за ледоколом в канале повышается, причем битый лед состоит из обломков толщиной до 2 м. При движении по такому каналу крупнотоннажного судна, когда ширина канала незначительно превышает ширину судна, возможно накопление льда перед носом судна, а также попадание обломков льда под его днище и воздействие на движительно-рулевой комплекс. Даже если попадание битого льда к движителям судна не будет происходить, формирование перед носом ледяного нагромождения может существенно увеличивать сопротивление проводимого судна. В связи с этим встает вопрос о более эффективной очистке канала ледоколом. Наблюдения показывают, что одним из действенных средств очистки канала ледоколом является наличие у него цилиндрической вставки с прямыми бортами. В то же время наличие такого конструктивного элемента приводит к возрастанию ледового сопротивления ледокола и, следовательно, к снижению его способности прокладывать ледяной канал в толстых льдах, двигаясь с высокой скоростью. По-видимому, необходимы исследования по оптимизации этого элемента корпуса.

Гидродинамическое сопротивление судна в сплошных льдах

В морской ледотехнике полное сопротивление ледокола $R_{\text{лот}}$ при его движении в сплошных ровных льдах определяется как сумма чистого ледового сопротивления R_l и сопротивления воды R_w . При движении ледокола во льдах, близких к предельным, со скоростью, не превышающей 2—3 узла, сопротивление воды пренебрежимо мало по сравнению с чистым ледовым сопротивлением. Поэтому обычно сопротивление воды в ледовой ходкости судов определяются традиционными для теории корабля методами: предполагается, что оно во льдах равно сопротивлению движению судна на чистой воде без учета волнообразования [13]. При этом некоторые исследователи (например В. А. Зуев [14]) указывают, что из-за изменений обтекания корпуса при частичном его облегании притопленными льдинами (рис. 2) величина сопротивления воды при движении во льдах может отличаться от аналогичной величины на чистой воде. В настоящее время принято считать, что для небольших скоростей движения ледокола в толстых льдах принятые относительно сопротивления воды допущения не влияют на точность определения ледового сопротивления.

Такое положение вещей до недавнего времени полностью устраивало практику проектирования ледоколов и судов ледового плавания, так как описанный выше подход обеспечивал достаточно точное прогнозирование их ледопрободимости. В настоящее время ситуация начинает существенно

образом изменяться. Сформулированное для обеспечения экономических показателей перевозок в Северном Ледовитом океане требование о необходимости движения судна в ледовых условиях со средней скоростью до 10—12 узлов означает, что к перспективным ледоколам и судам ледового плавания в технических заданиях на их проектирование начинают предъявлять жесткие требования достижения указанных скоростей во льдах заданной толщины [15; 16]. При указанных скоростях движения сопротивление воды может составлять 10—12% полного ледового сопротивления, поэтому его определение по результатам модельных испытаний должно быть достаточно точным. При изучении ледовой ходкости проектируемых ледоколов и судов ранее применявшийся подход к учету сопротивления воды их движению уже не может быть признан достаточным, необходимо более детальное изучение этого вопроса с учетом возможности проявления масштабного эффекта.

Необходимый уровень мощности судна ледового плавания

Вопрос о назначении научно обоснованного уровня мощности для судов, эксплуатируемых во льдах, обсуждается достаточно долго. Различные классификационные общества предлагают весьма разнообразные формулы для определения минимальной мощности судов высоких ледовых классов, причем для аналогичных ледовых классов величина минимальной мощности может различаться очень существенно. В правилах Polar Code до настоящего времени не сформулированы требования по минимальной мощности. Российский морской регистр судоходства занимает весьма сдержанную реалистичную позицию в этом вопросе. Однако требования, содержащиеся в правилах Российского регистра, в ряде случаев могут не соответствовать современной практике, особенно применительно к крупнотоннажным судам, завышая минимальный уровень [17].

Одним из возможных решений проблемы назначения минимальной мощности для судов ледового плавания является практический отказ от такого назначения с использованием одной расчетной зависимости, применяемой для всех ледокольно-транспортных судов, имеющих класс РМРС Arc4 и выше [18]. В качестве альтернативы может быть предложен подход, базирующийся на рассмотрении характерных для каждого рассматриваемого судна сценариев его эксплуатации, при этом назначение минимальной мощности будет осуществляться исходя из требования выполнения судном основных



Рис. 2 «Ледовая рубашка» на подводной части модели ледокола

функций. Применительно к рассматриваемым в данной работе скоростным проводкам крупнотоннажных судов в толстых льдах можно в первом приближении указать набор сценариев, на основании рассмотрения которых должна определяться минимальная мощность:

- самостоятельное движение судна носом или кормой вперед во льдах толщиной 1,5—2 м со скоростью 12—14 узлов;
- движение по «узкому» каналу за ледоколом носом или кормой вперед во льдах той же толщины и при тех же значениях скорости;
- движение в мелко- и крупнобитых льдах по широкому каналу или каналу, проложенному двумя ледоколами при тех же условиях.

В зависимости от того, какой способ эксплуатации крупнотоннажного судна во льдах планируется при его эксплуатации, выбирается наиболее подходящий сценарий и в соответствии с ним проводятся модельные эксперименты и расчеты, которые позволяют назначить необходимый уровень мощности. При этом открытым остается вопрос об учете торосистых образований и ледовых сжатий: необходимо ли устанавливать дополнительный запас мощности на преодоление этих условий и, если необходимо, каким по величине должен быть такой запас?

Отдельным предметом рассмотрения должны быть суда двойного действия, основным режимом движения которых во льдах является движение кормой вперед. В настоящее время имеются различные точки зрения на эффективность движения крупнотоннажного судна кормой вперед в толстых льдах [16; 18]. Тем не менее в случае, если движение кормой вперед в толстых льдах будет продолжаться рассматриваться как один из альтернативных способов выполнения транспортных операций в ледовых условиях, для этого режима должны быть уточнены сценарии взаимодействия со льдом, которые

обязательно должны учитывать влияние льда на работу движителей.

Ледовый запас мощности, особенно для судов высоких ледовых классов, очень высок. Запас судов Arc7 даже по скромным требованиям РМРС составляет по сравнению с судами Arc5 около 50% мощности, а по сравнению с судами без ледового класса — 80—100%. Поскольку стоимость энергетической установки определяется ее мощностью и составляет до трети стоимости судна, вопрос ледового запаса является чувствительным для экономики. В то же время опыт испытаний и эксплуатации крупных транспортных судов высоких ледовых классов показывает, что даже при столь высоких значениях мощности на борту суда двойного действия при самостоятельном ходе во льдах кормой назад с использованием полной мощности достигают в предельных для своего класса льдах скоростей 7—9 узлов, а при движении носом вперед эти достижимые скорости примерно вдвое ниже. Насколько оправданным будет дальнейшее увеличение мощности, необходимо определить совместно судостроителям и экономистам морского флота. Не исключено, что мощность, потребная для преодоления ледового сопротивления на указанных скоростях, сделает нерентабельным первый из перечисленных выше сценариев — самостоятельное плавание с высокими скоростями в предельных льдах.

Дополнительные проблемы могут возникать в связи с политикой Международной морской организации по нормированию выбросов судами в атмосферу углекислого газа, приводящей к общей тенденции снижения мощности на борту судов всех классов [20].

Ледовая прочность корпусов

Действующие правила Российского морского регистра судоходства запрещают эксплуатацию транспортных судов во льдах со скоростями более 12 узлов, причем указанные скорости допускаются только для судов, имеющих высший класс ледовых подкреплений Arc9. Это обстоятельство приходит в противоречие с требованиями экономической целесообразности и обуславливает необходимость разработки новых правил. Кроме того, как уже отмечалось, действующие правила во многом основаны на опыте эксплуатации относительно небольших судов ледового плавания и не учитывают особенности взаимодействия со льдом и изменившиеся способы проводки во льдах крупнотоннажных судов. При разработке этих правил использовалась система допустимых и опасных режимов движения судна во льдах, которая являлась основой для нормирования ледовой прочности и регламентации допустимых условий плавания. При соблюдении данных условий повреждаемость корпуса не превышала некоторый заданный допустимый предел [21]. Аналогичный подход можно применить и при дальнейшем развитии правил, однако его необходимо дополнить спецификой эксплуатации крупнотоннажных судов в Арктике.

При определении локальной ледовой нагрузки на корпус судна в российской практике традиционно используется гидродинамическая модель удара твердого тела о лед Хейсина — Курдюмова и ее модификации [21]. Эта модель позволяет учитывать скорости соударения корпуса со льдом. Тем не менее возможность ее использования для анализа возможной повреждаемости корпусов крупнотоннажных судов при скоростных проводках в толстых льдах нуждается в проверке и подтверждении.

Взаимодействие движителей с толстым льдом при высокой скорости движения судна

При увеличении скорости работы во льдах наиболее серьезных проблем следует ожидать при обеспечении надежности движительно-рулевого комплекса, причем эти проблемы могут быть различными при автономном плавании судна во льдах и при проводке его в канале за ледаколом. Выше упоминалось, что самостоятельное форсирование ледовых полей со скоростями до 12—14 узлов даже в варианте кормой вперед потребует увеличения мощности по сравнению с имеющейся примерно в полтора раза. На современных транспортных судах при диаметре винтов порядка 6 м и достижимой частоте вращения на швартовах 90—100 мин⁻¹ скорость конца лопасти может составлять около 30 м/с. Именно с такой скоростью может происходить соударение ледя и концевых сечений лопасти. Дальнейшее увеличение мощности влечет увеличение диаметра гребного винта, что не всегда возможно из-за ограничений по осадке и конструктивных ограничений, и/или увеличение частоты вращения движителя. В любом случае ледовые нагрузки на движитель будут возрастать. Наиболее реалистичным, хотя и достаточно сложным для общего проектирования судна является увеличение числа двигателей и гребных винтов. Это решение также имеет ограничения, связанные с шириной судна.

В настоящее время в формулы правил Российского регистра и других классификационных обществ напрямую не входит величина скорости. Толщина лопасти в явном виде зависит от момента на валу (отношения мощности и частоты вращения). Как правило, для ледовых винтов шаг рекомендуется принимать в достаточно узком диапазоне. Поэтому увеличение мощности неминуемо приведет к увеличению момента и толщин лопасти, а следовательно, КПД движителя на чистой воде будет уменьшаться.

С другой стороны, практически все методики расчета ориентированы на фрезерование льда в качестве наиболее опасного режима. Как показано в работах А. В. Андришина (см., например, [22]), увеличение скорости движения во льдах при сохранении шага винта неизбежно вызовет снижение угла атаки лопасти при фрезеровании (угла резания льда), что может привести к «плоскому взаимодействию», когда лопасть с нулевым углом атаки начинает не резать лед, а изгибаться массой льда. Кроме того,

в качестве расчетных режимов следует дополнить режим фрезерования рассмотрением ударных воздействий на лопасти при их взаимодействии с обломками льда или с кромкой канала за леодоколом. Последнее актуально для двухвальных и многовальных судов, какими являются практически все суда высокого ледового класса. Еще в большей степени вероятность таких взаимодействий увеличивается для судов, оборудованных двумя и более винто-рулевыми колонками. При рассмотрении надежности движителей следует рассматривать не только прочность лопастей, но и взаимодействие со льдом на больших скоростях колонок в целом.

Заключение

В данной работе рассмотрены основные технические задачи, решение которых необходимо для выполнения требований судовладельцев об увеличении скорости работы транспортных судов в толстых льдах в Арктике. В настоящее время сформулированные задачи имеют различную степень проработки. Некоторые из них требуют лишь продолжения и уточнения ранее выполнявшихся исследований. Другие, например механизм разрушения толстого льда при повышенных скоростях движения и ударные воздействия на лопасти гребных винтов, требуют постановки и выполнения ранее не выполнявшихся экспериментов и разработки новых расчетных схем. При этом совершенно не исключено, что решение ряда задач (например самостоятельного скоростного движения в предельных для данного судна льдах) окажется за пределами технической или экономической целесообразности и придется искать разумные компромиссы.

Особенность ситуации заключается в том, что все указанные задачи должны быть решены в короткие сроки. Уже очень скоро начнется массовое использование крупнотоннажных судов в составе различных арктических транспортных систем. Леодоколы и суда ледового плавания, предназначенные для использования в этих системах, уже проектируются и частично строятся. К сожалению, авторы вынуждены констатировать, что процесс создания новых судов часто осуществляется без должного научного обеспечения. Такое положение может привести к существенному снижению безопасности и эффективности транспортных операций.

Литература

1. Сазонов К. Е., Добродеев А. А. Взаимосвязь развития судостроения и освоения Арктики // Арктика: история и современность: Труды международной научной конференции. — М.: ООО «Изд. дом “Наука”», 2016. — С. 241—250.
2. Рукша В. В., Головинский С. А., Белкин М. С. Леодокольное обеспечение крупнейших национальных углеводородных проектов // Арктика: экология и экономика. — 2016. — № 4 (24). — С. 109—113.
3. Кашка М. М., Смирнов А. А., Головинский С. А. и др. Перспективы развития атомного леодокольного

флота // Арктика: экология и экономика. — 2016. — № 3 (23). — С. 98—109.

4. Апполонов Е. М., Нестеров А. Б., Копилец Н. Ф., Дидковский А. В. О проекте новой редакции требований правил Российского морского регистра судоходства к ледовой прочности судов и леодоколов // Судостроение. — 1997. — № 5. — С. 17—23.
5. Танкер-газовоз «Christophe de Margerie» ледового класса. — URL: <http://www.korabli.eu/galleries/oboi/grazhdanskie-suda/christophe-de-margerie>.
6. Апполонов Е. М., Сазонов К. Е., Тимофеев О. Я. Безопасность эксплуатации крупнотоннажных судов в арктической транспортной системе // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. — 2010. — № 1 (80). — С. 149—153.
7. 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.
8. Пустошный А. В., Сазонов К. Е. Задачи судостроительной науки на современном этапе освоения Арктики // Вестн. Рос. академии наук. — 2015. — Т. 85, № 7. — С. 593—597.
9. Enkvist E. On the Resistance Encountered by Ships Operating in the Continuous Mode of Icebreaking / The Swedish Academy of Engineering Sciences in Finland, Rep. N 24. — Helsinki, 1972. — 181 p.
10. Сазонов К. Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. — СПб.: ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова, 2010. — 274 с.
11. Сазонов К. Е. О возможном механизме разрушения ледового покрова корпусом судна при плавании в осенне-зимних условиях // Тр. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 1998. — Вып. 8 (292). — С. 79—83.
12. Зуев В. А., Грамузов Е. М., Двойченко Ю. А. Разрушение ледяного покрова / Горьк. политехн. ин-т. — Горький, 1989. — 89 с.
13. Каштелян В. И., Рывлин А. Я., Фаддеев О. В., Ягодкин В. Я. Леодоколы. — Л.: Судостроение, 1972. — 288 с.
14. Зуев В. А. Средства продления навигации на внутренних водных путях. — Л.: Судостроение, 1986. — 208 с.
15. Добродеев А. А., Клементьева Н. Ю., Сазонов К. Е. Современные подходы к обеспечению навигации крупнотоннажных судов во льдах // Транспорт Рос. Федерации. — 2015. — № 4 (59). — С. 26—29.
16. 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.
17. Сазонов К. Е. Танкер и леодокол: сложение сил // Мир транспорта. — 2007. — № 4. — С. 50—59.
18. Сазонов К. Е. Необходимо ли нормировать минимальный уровень мощности транспортных судов ледового плавания? // Научно-технический сборник РМРС. — 2016. — № 44—45. — С. 81—84.
19. Сазонов К. Е. О ледовой ходкости и управляемости крупнотоннажных судов двойного действия

в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2016. — № 1 (107). — С. 50—60.
20. Пустошный А. В. Проблемы ходкости транспортных судов. — СПб.: ФГУП «Крылов. гос. науч. центр», 2016. — 142 с.
21. Апполонов Е. М. Ледовая прочность судов, предназначенных для круглогодичной арктической

навигации. — СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2016. — 288 с.
22. Андрияшин А. В. Теория взаимодействия гребного винта со льдом: Обеспечение эксплуатационной прочности элементов пропульсивного комплекса судов ледового плавания и ледоколов: Дис. ... д-ра техн. наук. — СПб., 2006. — 254 с.

Информация об авторах

Пустошный Александр Владимирович, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское ш., д. 44), e-mail: pustoshny@fromru.com.

Сазонов Кирилл Евгеньевич, доктор технических наук, начальник лаборатории, ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское ш., д. 44), e-mail: kirsaz@rambler.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Пустошный А. В., Сазонов К. Е. Проблемы, связанные с увеличением скорости круглогодичной работы крупнотоннажных транспортных судов в Арктике // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 3 (27). — С. 103—110. DOI 10.25283/2223-4594-2017-3-103-110.

ISSUES RELATED TO RAISING THE SPEEDS OF HEAVY-TONNAGE CARGO VESSELS DURING YEAR-ROUND ARCTIC OPERATIONS

Pustoshny A. V., Sazonov K. E.
Krylov State Research Centre (St. Petersburg, Russian Federation)

Abstract

Today's focus on commercial Arctic development and re-orientation of freight traffic for year-round shipping of cargoes from Arctic regions not only to traditional Europe and US destinations, but now more importantly to the Pacific Rim countries like China, Korea and Japan, has encouraged development of advanced ice-going vessels. With these purposes in mind a superpower icebreaker and heavy-tonnage merchant vessels of high ice classes are designed and built. The Russian government is setting targets and priorities to ensure that the Arctic resources are exported exclusively by ships flying Russian flags, even if built abroad. However, the new vessels are developed based on the expertise and standards elaborated for the previous generation of ice-class ships of much smaller size and relatively slow speeds in ice-infested waters.

Commercial development of Arctic implies that Arctic cargo shipments should be commercially competitive with the shipping routes around Eurasia via southern seas. Economic evaluations led to formulation of specific requirements regarding Arctic shipping. It was found that sailing speeds have to reach 12-14 knots, including waters covered with up to 2-meter thick ice. This paper addresses technical aspects and issues related to bringing year-round Arctic cargo shipments to speed, including the eastern seas of the Arctic Ocean known for severe ice condition.

Key words: icebreaker, heavy-tonnage vessel, speed, power, strength in ice, propellers, podded propulsion units.

References

1. Sazonov K. E., Dobrodeyev A. A. Vzaimosvyaz razvitiya sudostroyeniya i osvoyeniya Arktiki. [Interrelated development of shipbuilding industry and Arctic]. Arktika: istoriya i sovremennost: Trudy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Moscow, OOO "Izd. dom "Nauka", 2016, pp. 241—250. (In Russian).
2. Ruksha V. V., Golovinskiy S. A., Belkin M. S. Ledokolnoye obespecheniye krupneyshikh natsionalnykh uglevodorodnykh proyektov. [Icebreaker assistance to major national hydrocarbon projects]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2016, no. 4 (24), pp. 109—113. (In Russian).
3. Kashka M. M., Smirnov A. A., Golovinskiy S. A. et al. Perspektivy razvitiya atomnogo ledokolnogo flota. [Prospects for development of nuclear icebreaker fleet]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2016, no. 3 (23), pp. 98—109. (In Russian).
4. Appolonov E. M., Nesterov A. B., Kopilets N. F., Didkovskiy A. V. O projekte novoy redaktsii trebovaniy pravil Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva k ledovoy prochnosti sudov i ledokolov. [Regarding a draft of new revision of the Russian Maritime of Shipping Rules on ice strength of ships and icebreakers]. Sudostroyeniye, 1997, no. 5, pp. 17—23. (In Russian).

5. Tanker-gazovoz "Christophe de Margerie" ledovogo klassa. [Tanker-liquefied gas carrier ice class]. Available at: <http://www.korabli.eu/galleries/oboi/grazhdanskie-suda/christophe-de-margerie>. (In Russian).
6. Appolonov E. M., Sazonov K. E., Timofeyev O. Ya. Bezopasnost ekspluatatsii krupnotonnazhnykh sudov v arkticheskoy transportnoy sisteme. [Operational safety of heavy-tonnage vessels in the Arctic transportation system]. Trudy NGTU im. R. E. Alekseyeva, 2010, no. 1 (80), pp. 149—153. (In Russian).
7. Dekhtyaruk Yu. D., Dobrodeyev A. A., Sazonov K. E. Nekotoryye voprosy sozdaniya morskikh transportnykh sistem dlya vyvoza uglevodorodov iz Arktiki. [Some questions on the establishment of marine transport systems for the removal of hydrocarbons from the Arctic]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2013, no. 2 (10), pp. 84—91. (In Russian).
8. Pustoshnyy A. V., Sazonov K. E. Zadachi sudostroitel'noy nauki na sovremennom etape osvoyeniya Arktiki. [Problems of shipbuilding science at the current stage of Arctic exploration]. Vestn. Ros. akademii nauk, 2015, vol. 85, no. 7, pp. 593—597. (In Russian).
9. Enkvist E. On the Resistance Encountered by Ships Operating in the Continuous Mode of Icebreaking. The Swedish Academy of Engineering Sciences in Finland. Rep. N 24. Helsinki. 1972, 181 p.
10. Sazonov K. E. Teoreticheskiye osnovy plavaniya sudov vo ldakh. [Theoretical background of ship navigation in ice]. St. Petersburg, TsNII im. akademika A. N. Krylova, 2010, 274 p. (In Russian).
11. Sazonov K. E. O vozmozhnom mekhanizme razrusheniya ledovogo pokrova korpusom sudna pri plavanii v osenne-zimnikh usloviyakh. [Regarding possible mechanism of ice breaking by ship hull in autumn-winter navigation]. Tr. TsNII im. akad. A. N. Krylova, 1998, iss. 8 (292), pp. 79—83. (In Russian).
12. Zuyev V. A., Gramuzov E. M., Dvoychenko Yu. A. Razrusheniye ledyanogo pokrova. [Breaking of ice cover]. Gork. politekhn. in-t. Gorkiy, 1989, 89 p. (In Russian).
13. Kashtelyan V. I., Ryvlin A. Ya., Faddeyev O. V., Yagodkin V. Ya. Ledokolyy. [Icebreakers]. Leningrad, Sudostroyeniye, 1972, 288 p. (In Russian).
14. Zuyev V. A. Sredstva prodleniya navigatsii na vnutrennikh vodnykh putyakh. [Means for extending inland water-way navigation]. Leningrad, Sudostroyeniye, 1986, 208 p. (In Russian).
15. Dobrodeyev A. A., Klementyeva N. Yu., Sazonov K. E. Sovremennyye podkhody k obespecheniyu navigatsii krupnotonnazhnykh sudov vo ldakh. [Modern approaches to navigation of heavy-tonnage vessels in ice]. Transport Ros. Federatsii, 2015, no. 4 (59), pp. 26—29. (In Russian).
16. Tsoy L. G., Andryushin A. V., Shtrek A. A. Obosnovaniye osnovnykh parametrov perspektivnykh krupnotonnazhnykh gazovozov dlya Arktiki. [Substantiation of principal parameters of prospective large capacity LNG carriers for the Arctic]. Problemy Arktiki i Antarktiki, 2013, no. 3 (97), pp. 46—56. (In Russian).
17. Sazonov K. E. Tanker i ledokol: slozheniye sil. [Tanker and icebreaker: cooperative efforts]. Mir transporta, 2007, no. 4, pp. 50—59. (In Russian).
18. Sazonov K. E. Neobkhodimo li normirovat minimal'nyy uroven moshchnosti transportnykh sudov ledovogo plavaniya? [Necessity of setting the minimum power level requirements for ice-going ships]. Nauchno-tekhnicheskii sbornik RMRS, 2016, no. 44—45, pp. 81—84. (In Russian).
19. Sazonov K. E. O ledovoy khodkosti i upravlyayemosti krupnotonnazhnykh sudov dvoynogo deystviya v Arktike. [On propulsion and maneuvering performance of large-size double-acting vessels in arctic waters]. Problemy Arktiki i Antarktiki, 2016, no. 1 (107), pp. 50—60. (In Russian).
20. Pustoshnyy A. V. Problemy khodkosti transportnykh sudov. [Propulsion performance issues of merchant ships]. St. Petersburg, FGUP "Krylov. gos. nauch. tsentr", 2016, 142 p. (In Russian).
21. Appolonov E. M. Ledovaya prochnost sudov, prednaznachennykh dlya kruglogodichnoy arkticheskoy navigatsii. [Ice strength of ships designed for year-round Arctic navigation]. St. Petersburg, Izd-vo SPbG-MTU, 2016, 288 p. (In Russian).
22. Andryushin A. V. Teoriya vzaimodeystviya grebno-go vinta so ldom: Obespecheniye ekspluatatsionnoy prochnosti elementov propulsivnogo kompleksa sudov ledovogo plavaniya i ledokolov. [Theory of propeller/ice interaction. In-service strength of propulsion systems designed for ice-going vessels and icebreakers]. Dis. ... d-ra tekhn. nauk. St. Petersburg, 2006, 254 p. (In Russian).

Information about the authors

Pustoshny Alexander V., doctor of technical sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Principal Research Scientist, Krylov State Research Centre (44, Moskovskoe shosse, St. Petersburg, Russia, 196158), e-mail: pustoshny@fromru.com.

Sazonov Kirill E., doctor of technical sciences, Head of Laboratory, Krylov State Research Centre (44, Moskovskoe shosse, St. Petersburg, Russia, 196158), e-mail: kirsaz@rambler.ru.

Bibliographic description

Pustoshny A. V., Sazonov K. E. Issues related to raising the speeds of heavy-tonnage cargo vessels during year-round arctic operations. The Arctic: ecology and economy, 2017, no. 3 (27), pp. 103—110. (In Russian). DOI 10.25283/2223-4594-2017-3-103-110.