

DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-76-83  
УДК 629.561.5; 629.54; 656.61

## ПРОВОДКА КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДОВ ЛЕДОКОЛАМИ С УВЕЛИЧЕННОЙ СКОРОСТЬЮ: ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛЕДОВОМ БАССЕЙНЕ

А. А. Добродеев, К. Е. Сазонов

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

Статья поступила в редакцию 21 июня 2018 г.

*Представлены основные результаты исследований, выполненных в ледовом бассейне Крыловского государственного научного центра, по изучению возможности проводки ледоколами крупнотоннажных судов с увеличенной скоростью движения. Экспериментальные данные позволяют оценить эффективность морских транспортных систем. Также полученные результаты могут быть использованы для разработки требований в области ледовой ходкости к проектируемым ледоколам и крупнотоннажным судам ледового плавания.*

**Ключевые слова:** ледокол, крупнотоннажное судно, скорость хода судна, мощность, ледяной канал.

### Введение

Многочисленные расчеты убедительно показывают, что наибольшую экономическую эффективность морским транспортным системам, предназначенным для вывоза углеводородов и других полезных ископаемых из Карского моря, придает использование в их составе крупнотоннажных судов арктического плавания [1; 2]. При создании транспортных систем важным, во многом определяющим облик системы фактором является генеральное направление вывоза — западное или восточное. Выбор направления вывоза предъясняет различные требования к ледовым и мореходным качествам крупнотоннажных судов и обеспечивающих их проводку ледоколов.

При выборе генерального направления вывоза на запад к крупнотоннажным судам предъяснялись требования максимального расширения возможности самостоятельного плавания во льдах и обеспечения высоких показателей ходкости на чистой воде. Многие специалисты в ориентированной на запад транспортной системе отводили ледоколам вспомогательную роль [3]. Этот вопрос является дискуссионным. Однако в любом случае протяженность участка движения крупнотоннажного судна во льдах Карского моря относительно мала, и скорость его прохождения скорее всего не является критичным параметром, снижающим эффективность системы в целом.

В последние годы все более активно начинает рассматриваться возможность создания морской транспортной системы, ориентированной в восточном направлении в страны азиатского региона [4]. Условия ее функционирования в восточном секторе Арктики существенно сложнее, чем в западном. Это обстоятельство накладывает определенные требования к составу такой транспортной системы. В первую очередь, по всей видимости, должно быть существенно откорректировано ранее существовавшее требование возможности активного самостоятельного плавания крупнотоннажного судна. Это следует из сопоставления протяженностей участков трасс в ледовых условиях в восточном и западном направлениях. Кроме того, по всем параметрам ледовые условия в восточном секторе Арктики более суровы. При движении в восточном направлении вероятность возникновения опасной ситуации при одиночном плавании крупнотоннажного судна резко возрастает, поэтому организация вывоза полезных ископаемых на восток крупнотоннажными судами возможна только при ледокольном обеспечении. По оценке специалистов, для обеспечения эффективности транспортной системы средняя скорость движения судов на трассе должна составлять 10—12 уз [5]. Проблемные вопросы, возникающие при увеличении скорости проводки судов ледоколами, были рассмотрены в [6]. В настоящей статье анализируются результаты модельных исследований, выполненных в ледовом бассейне Крыловского центра [7], целью которых было изучение характеристик

© Добродеев А. А., Сазонов К. Е., 2018

Таблица 1. Основные характеристики газозовов

Характеристика	Танкер-газовоз «Ямал Макс»	Разработка Крыловского центра
Длина наибольшая, м	299,0	298,8
Ширина наибольшая, м	50,0	52,1
Осадка в грузу, м	12,0	12,0
Мощность, МВт	45	45
Количество двигателей	3	3
Наклон бортов в районе цилиндрической вставки	Отсутствует	Имеется

ледовой ходкости крупнотоннажных судов, двигающихся за ледоколами.

#### Способы проводки крупнотоннажных судов ледоколами

Скорость движения крупнотоннажных судов ледового плавания при самостоятельном плавании во льдах (носом или кормой вперед) невелика. Ее значения не могут обеспечить необходимые показатели эффективности морской транспортной системы, ориентированной на вывоз углеводородов из Арктики в восточном направлении. Сейчас эта проблема в основном решается путем организации проводок крупнотоннажных судов при плавании по Северному Ледовитому океану с помощью двух ледоколов [2; 8]. Такой способ позволяет проводить в Арктике крупнотоннажные суда любого размера с высокой средней скоростью движения. Основным недостатком такого способа является его повышенная стоимость, обусловленная необходимостью использования двух ледоколов, а также необходимостью в большом числе ледоколов. Планируемые на ближайшее будущее объемы перевозок не могут быть обеспечены ледокольной поддержкой в случае использования двух ледоколов для обеспечения проводки. Поэтому основным способом проводки остается классическая схема лидирующего положения ледокола.

В настоящее время ведутся исследовательские работы по созданию нетрадиционных технических средств, позволяющих создавать широкий безопасный канал для проводки крупнотоннажных судов во льдах [9; 10]. Однако эти разработки еще далеки от практического применения, поэтому наиболее перспективным является проект создания атомного ледокола-лидера мощностью 120 МВт [11; 12]. Этот ледокол, прогнозируемая предельная ледопроницаемость которого составит 4 м, сможет создавать канал шириной более 50 м. По такому каналу сможет безопасно проходить подавляющее большинство существующих и проектируемых крупнотоннажных судов ледового плавания. У остальных проектируемых или строящихся ледоколов максимальная ширина корпуса не превышает 32 м, поэтому они могут создавать лишь «узкий» для крупнотоннажных

судов канал. Такой канал крупнотоннажные суда вынуждены расширять своим корпусом, разрушая его кромки. Именно в изучении особенностей движения крупнотоннажного судна по «узкому» каналу состоит основная цель данной работы. Она является продолжением большого цикла исследований по скоростным проводкам крупнотоннажных судов. Выполненные ранее работы в основном были сосредоточены на изучении вопросов безопасности мореплавания (определение безопасной дистанции между ледоколом и крупнотоннажным судном, оценка величины падения скорости ледокола при внезапном взаимодействии с торосом и т. п.) [13].

#### Объекты и методика исследования

Объектами исследования были современные крупнотоннажные газозовы и существующие и перспективные ледоколы. Одна модель газозова была изготовлена в размерениях танкера-газовоза класса Arc7 типа «Ямал Макс», головным судном в серии которых является «Кристоф де Маржери». При разработке теоретического чертежа модели стремились наиболее полно воссоздать форму обводов его корпуса, насколько это возможно по имеющимся отрывочным данным. Вторая модель крупнотоннажного газозова представляет собой разработку Крыловского центра. Теоретический чертеж этой модели создавался с учетом требования сохранить грузовместимость судна такой же, как и «Кристофа де Маржери». Кормовые оконечности и движительно-рулевой комплекс обеих моделей были одинаковы, что позволило обеспечить равенство тяговых характеристик при одинаковых режимах движения. Основные характеристики газозовов представлены в табл. 1.

В экспериментах использовались модели существующих и перспективных ледоколов, ширина корпуса которых составляет: у ледокола «50 лет Победы» — 28 м, у ледокола-лидера — 47,7 м, у ЛК-60Я — 34 м, у перспективного ледокола — 28,5 м.

Все модели крупнотоннажных судов и ледоколов изготовлены в одном масштабе. Все они самоходные, оснащены двигателями и движительным комплексом. Методика проведения исследований состояла в следующем. С использованием стандартных

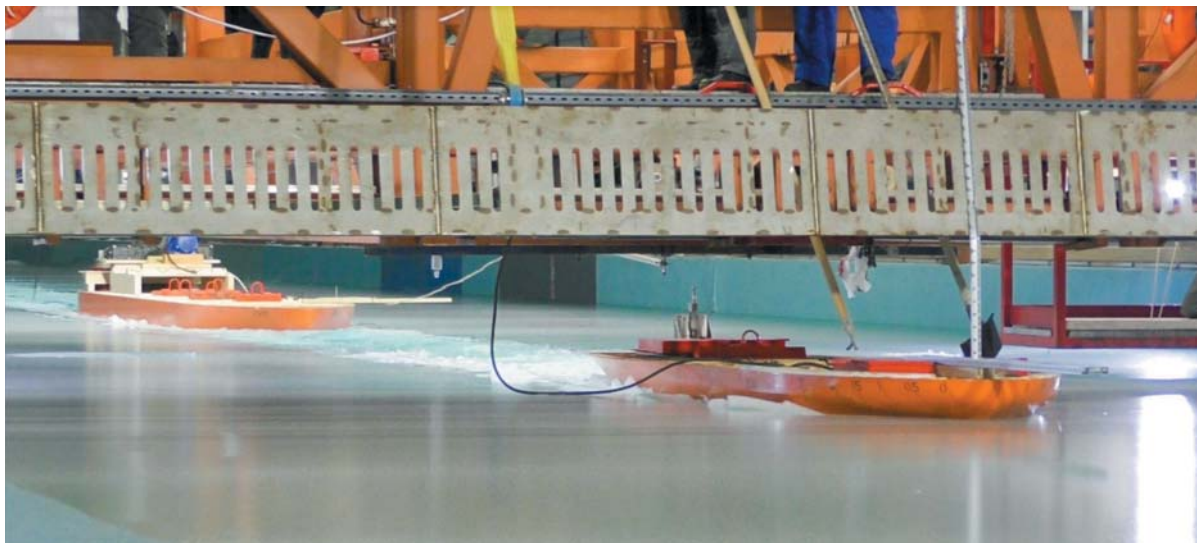


Рис. 1. Движение модели крупнотоннажного судна за моделью ледокола

процедур в ледовом бассейне Крыловского центра намораживались ледяные поля гранулированного льда, толщина которых для натуральных условий составляла 1,5 и 2,0 м. Такие толщины льда были выбраны как наиболее характерные для развитого ледяного покрова в районах предполагаемого прохода ледовых трасс проводки крупнотоннажных судов. Прочность льда на изгиб принималась равной 500 кПа. Перед испытаниями в каждом ледяном поле выполнялись исследования его физико-механических свойств.

Все испытания проводились в самоходном режиме движения моделей, при этом электропитание моделей осуществлялось с помощью гибких кабелей с буксировочной тележки, которая сопровождала движущуюся модель. Частота вращения движителей моделей подбиралась из условия переработки полной мощности.

Как правило, эксперимент протекал в следующей последовательности. Вначале самоходная модель ледокола прокладывала в поле ровного моделированного льда канал, самостоятельно двигаясь с той скоростью, которая соответствовала заданной мощности. Затем по проложенному каналу также в самоходном режиме двигалась модель крупнотоннажного судна. Во время ее движения фиксировались упор движителей и скорость ее движения, кроме того, с помощью фото- и видеоаппаратуры регистрировались характер взаимодействия модели со льдом, положение модели в ледяном канале и другие параметры. Одновременно через подводные иллюминаторы бассейна шла видеозапись характера взаимодействия подводной части корпуса модели и ее движителей со льдом. Иногда эксперимент осуществлялся при одновременном движении моделей ледокола и крупнотоннажного судна (рис. 1).

После завершения основной части исследований в оставшейся части ледяного поля дополнительно

изучалась ледовая ходкость крупнотоннажных судов в каналах, заполненных тертым льдом.

### Результаты экспериментов и их обсуждение

Полученные результаты можно разделить на две группы: влияние ширины канала за лидирующим ледоколом и формы корпуса крупнотоннажного судна на скорость его движения и влияние других ледовых условий на скорость движения крупнотоннажного судна. Рассмотрим эти группы результатов отдельно.

Влияние ширины канала и формы корпуса крупнотоннажного судна. Такие испытания были основной целью исследования. Их важной особенностью было то, что ледяной канал прокладывался моделью соответствующего ледокола в отличие от прежних экспериментов, когда ледяной канал формировался путем вырезания из ледяного покрова полосы льда, равной по ширине максимальной ширине ледокола. Использование модели ледокола позволяло получить реалистичное очертание кромки канала (наличие выступов и впадин), а также, вероятно, приводило к некоторой разрушенности оставшихся ледяных кромок. В механике разрушения льда хорошо известно, что при разрушении изгибом образуется несколько радиальных трещин, причем обломок льда формируется по ближайшей к корпусу концентрической трещине [14]. Кроме того, после прохода модели ледокола в ледяном канале остается мелкобитый лед, который, особенно при большой толщине ледяного покрова, может оказывать существенное влияние на ходкость судна по каналу. На рис. 2 представлены фотографии движения оптимизированной модели в канале за моделью ледокола ЛК-60.

Результаты экспериментов представлены в табл. 2. На рис. 3 приведены обобщенные результаты испытаний, которые показывают экспериментальные зависимости скорости движения по каналу крупнотоннажного судна от относительной ширины ледяного



Рис. 2. Движение оптимизированной модели в канале за ледоколом ЛК-60. Вид сверху (а) и снизу (б)

канала (отношение ширины судна к ширине канала).

Данные табл. 2 и рис. 3 демонстрируют вполне предсказуемые зависимости скорости движения от толщины льда и относительной ширины канала. При детальном рассмотрении последней зависимости можно увидеть некоторое несоответствие в данных, относящихся к первоначальной модели крупнотоннажного судна, а именно скорость движения первоначальной модели за ледоколом ЛК-60 (ширина канала 35 м) незначительно ниже скорости движения за ледоколом «50 лет Победы» (ширина канала 30—31 м). Возможность возникновения такой ситуации была описана в [2; 15]. Суть явления заключается в том, что крупнотоннажное судно с умеренным ледокольным носом и прямостенными бортами в районе цилиндрической вставки вынуждено доламывать кромки «узкого» канала далеко не оптимальными для разрушения

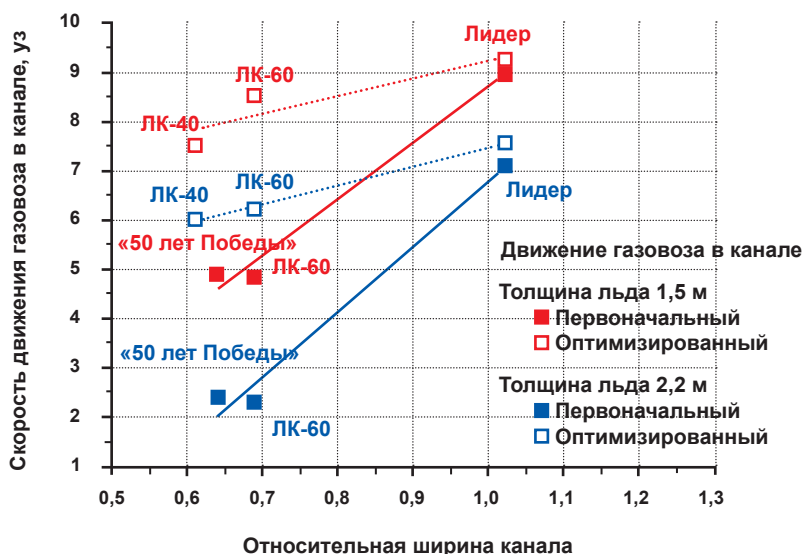


Рис. 3. Сравнение результатов испытаний первоначального и оптимизированного вариантов корпуса танкера-газовоза класса Arc7

льда участками корпуса. В этом случае корпусом выламываются относительно большие куски льда. При определенных значениях скорости движения и толщины преодолеваемого льда может возникнуть ситуация, когда выломанные куски льда не создают необходимого по ширине канала для свободного прохода судна. Остаются еще незначительные

Таблица 2. Скорость танкера-газовоза Arc7 с первоначальной и оптимизированной формой корпуса в свежем канале, уз

Толщина ровного льда, м	Канал за ледоколом-лидером (В = 47,5 м), ширина канала 52 м		Канал за ледоколом ЛК-60Я (В = 33 м), ширина канала 35 м Канал за ледоколом ЛК-40 (В = 28,5 м), ширина канала 31 м Канал за ледоколом «50 лет Победы» (В = 28 м), ширина канала 30—31 м		Сравнение по ширине канала	
	Первоначальная	Оптимизированная форма	Первоначальная	Оптимизированная форма	Первоначальная форма	Оптимизированная форма
1,5	9,0	9,2	4,8	8,5	4,9	7,5
2,1	7,1	7,5	2,3	6,2	2,4	6,0

## Кораблестроение для Арктики



Рис. 4. Пример разрушения кромок канала смятием с образованием ледяной крошки вдоль борта

по ширине участка кромки канала, которые корпус судна разрушает смятием (рис. 4). В этом случае сопротивление движению возрастает. В модельном эксперименте такая ситуация однозначно отслеживается, после прохождения модели остаются ровные края образовавшегося канала, на поверхности которых наблюдается характерное скопление раздробленного и выдавленного корпуса льда.

Небольшое изменение ширины первоначального канала как в сторону увеличения, так и при уменьшении может исключить возникновение сценария взаимодействия корпуса крупнотоннажного судна со льдом. Наличие у крупнотоннажного судна ледокольного носа и наклонных бортов, как у оптимизированной модели, практически исключает возможность возникновения такой ситуации, о чем свидетельствуют эксперименты.

Полученные данные позволяют аппроксимировать линейной функцией зависимость скорости движения крупнотоннажного судна от относительной ширины канала. Как следует из рис. 3, наклон графика этой зависимости существенно зависит от формы корпуса судна. Для оптимизированной модели наклон заметно меньше, что свидетельствует о том, что она обладает повышенной ледокольной способностью. Можно утверждать, что чем выше предельная ледопроечность судна при движении носом вперед в сплошных ровных льдах, тем лучше такое судно будет двигаться по «узкому» каналу, проложенному ледоколом.

Значительный интерес представляют данные о движении крупнотоннажных моделей за ледоколом-лидером. В этом случае практически на всех участках канала его ширина незначительно превышает ширину моделей судов. Скорость движения моделей по такому каналу определяется взаимодействием корпуса с битым льдом и редкими взаимодействиями с отдельными выступами кромки льда. В относительно тонком льду толщиной 1,5 м

первоначальная и оптимизированная модели показали близкие результаты по скорости движения, причем оптимизированная модель — более высокую скорость. В толстом льду толщиной 2,1 м скорость движения оптимизированной модели еще больше возросла по сравнению с исходным вариантом. В морской ледотехнике хорошо известно, что при движении судна в мелкобитых льдах по ледяному каналу, ширина которого близка к ширине судна, ледовое сопротивление существенно возрастает [16]. Лучшие показатели оптимизированной модели могут быть объяснены усовершенствованной формой носовой оконечности, которая позволяет битому льду с меньшими затратами притапливаться

и распространяться по подводной части корпуса. Тем не менее для повышения скорости движения крупнотоннажного судна в таком ледяном канале необходимы дополнительные исследования.

Изменение формы носовой оконечности и придание углов наклона шпангоутов в районе цилиндрической вставки у оптимизированной модели привело к попаданию большего количества льда на подводную поверхность корпуса. Прямоугольные борта в районе цилиндрической вставки, как у исходной модели, очень хорошо защищают движительный комплекс от прямого взаимодействия со льдом. При испытаниях оптимизированной модели с помощью средств визуализации ледового бассейна регистрировались процессы попадания льда к движителям. Результаты наблюдений (рис. 2б) показали, что у оптимизированной модели к движителям попадает лишь незначительное количество притопленного корпусом льда, которое не может повлиять на ходовые качества судна.

Движение крупнотоннажного судна в тертом льду. Для крупнотоннажного судна указанный режим движения может реализоваться при подходах к местам загрузки, например в судоходных каналах на морском участке Карского моря. Речные участки акватории, например от кромки льдов Карского моря до порта Сабетта, подлежат отдельному рассмотрению, так как являются мелководными. Небольшой зазор между дном акватории и днищем газовоза, составляющий порядка 1,5 м, создает дополнительный эффект присасывания судна. В процессе движения на мелководье с докритическими скоростями ( $V < \sqrt{gH}$ ) наряду с резким ростом сопротивления наблюдается увеличение осадки на миделе и угла ходового дифферента. Кроме того, работа движителей судна в условиях предельного мелководья протекает в условиях стесненного подтока воды к движителям, что приводит к существенной потере их

**Таблица 3. Скорость танкера-газовоза Arc7 с оптимизированной формой корпуса в широком канале с тертым льдом на грузовой осадке, уз**

Толщина тертого льда, м	Движение за ледоколом-лидером (B = 47,5 м)	Движение за ледоколом ЛК-60Я (B = 33 м)	Движение за ледоколом ЛК-40 (B = 28,5 м)
2,5	5,9	5,7	5,4
4,0	3,8	3,6	3,5

полезной тяги, а также становится причиной «присоса» кормовой оконечности корпуса к дну.

Исследовался режим движения крупнотоннажного судна по широкому каналу, заполненному тертым льдом, по которому предварительно проходил ледокол. Испытания проводились только с оптимизированной моделью судна (табл. 3).

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. Во-первых, движение в каналах, заполненных тертым льдом, является более сложной для крупнотоннажного судна операцией, чем движение по свежему «узкому» каналу. Скорость движения судна в этом случае оказывается заметно меньше, причем при движении по такому каналу судно не расходует энергию на разрушение льда. Во-вторых, очевидно, что проводка ледоколом крупнотоннажного судна в таком канале не оказывает существенного влияния на ледовую ходкость. Этот вывод следует из практического отсутствия влияния ширины проводящего ледокола на характеристики ледовой ходкости судна. Лидирующий ледокол может существенно повлиять на показатели ледовой ходкости крупнотоннажного судна лишь в случае наличия в канале слоя консолидированного льда.

Тертый лед в канале, взаимодействуя с корпусом судна, практически полностью покрывает его подводную поверхность, что приводит к возрастанию ледового сопротивления. В настоящее время только начинаются серьезные исследования этого режима движения судов. Первые результаты были получены финскими специалистами [17] в рамках разработки так называемых финско-шведских правил [18]. Дальнейшие исследования привели ряд ученых к предположению о возможной неприменимости традиционных подходов для моделирования тертого льда в набитых каналах [19]. В этом случае могут наблюдаться проявления масштабного эффекта, которые влияют на оценку величины скорости движения судна в канале. Выяснение этих вопросов требует дополнительных исследований. Еще одним фактором, который мог повлиять на снижение скорости движения крупнотоннажного судна в тертых льдах, являются особенности взаимодействия движителей с корпусом и тертым льдом. При движении судна в таких условиях может происходить как некоторое изменение гидродинамических характеристик гребных винтов, так и изменение коэффициентов взаимодействия движителя с корпусом. Эти вопросы в настоящее время еще недостаточно изучены.

### Заключение

Представленные в статье результаты экспериментальных исследований в ледовом бассейне Крыловского научного центра являются начальным этапом изучения ледовой ходкости крупнотоннажных судов при их скоростных проводках во льдах. Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы.

- Подтверждено определяющее влияние на скорость движения ширины ледяного канала, прокладываемого ледоколом во льдах. Зависимость скорости движения судна от относительной ширины канала (более 0,5) приблизительно может быть описана линейной функцией, наклон графика которой зависит от выбора формы корпуса судна. При движении судна в канале, ширина которого равна или незначительно больше его ширины, сопротивление определяется взаимодействием корпуса с битым льдом и отдельными взаимодействиями с выступами канала.
- Экспериментальные данные убедительно показывают, что существенно повысить скорость движения крупнотоннажного судна в «узком» канале возможно путем целенаправленной оптимизации формы его корпуса. Возрастание скорости движения оптимизированной модели составило 2,0—2,5 уз.
- Движение в каналах, заполненных тертым льдом, представляет определенные трудности для крупнотоннажного судна, связанные с особенностями взаимодействия корпуса и движителей со льдом. Использование ледокола для прокладки канала в таких условиях дает незначительный эффект за исключением случая наличия консолидированного слоя льда в канале.
- Изучение особенностей движения крупнотоннажных судов в набитых каналах требуют дополнительных исследований.

### Литература

1. 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.
2. Сазонов К. Е., Добродеев А. А. Ледовая ходкость крупнотоннажных судов / ФГУП «Крыл. гос. науч. центр». — СПб., 2017. — 122 с.
3. Цой Л. Г., Андрюшин А. В., Штрек А. А. Обоснование основных параметров перспективных

## Кораблестроение для Арктики

крупнотоннажных газозовов для Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2013. — № 3 (97). — С. 46—56.

4. Рукша В. В., Головинский С. А., Белкин М. С. Ледокольное обеспечение крупнейших национальных углеводородных проектов // Арктика: экология и экономика. — 2016. — № 4 (24). — С. 109—113.

5. Рукша В. В. «Мегапроекты в Арктике без участия государства невозможны» // Коммерсантъ. — 2017. — 29 сент. — С. 14.

6. 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.

7. Денисов В. И., Сазонов К. Е., Тимофеев О. Я. Новые экспериментальные возможности Крыловского государственного научного центра по изучению ледовых воздействий на объекты морской техники // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 3 (19). — С. 76—81.

8. Рукша В. В., Смирнов А. А., Головинский С. А. Атомный ледокольный флот России и перспективы развития Северного морского пути // Арктика: экология и экономика. — 2013. — № 1 (9). — С. 78—83.

9. Пашин В. М., Анполонов Е. М., Сазонов К. Е. Новый ледокол для проводки крупнотоннажных судов. В чем преимущества? // Мор. флот. — 2012. — № 1. — С. 50.

10. Mård A. Experimental study of the icebreaking process of an icebreaking trimaran // Proceedings of the International Conference on Port and Ocean

Engineering under Arctic Conditions, POAC 2015. — [S. l.], 2015.

11. 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. 29—32.

12. Кашка М. М., Смирнов А. А., Головинский С. А. и др. Перспективы развития атомного ледокольного флота // Арктика: экология и экономика. — 2016. — № 3 (23). — С. 98—109.

13. Dobrodeev A. A., Sazonov K. E. Fast sailing in ice — the new goal of model studies // The Naval Architect. — 2018. — Jan. — P. 22—24.

14. Зуев В. А., Грамузов Е. М., Двойченко Ю. А. Разрушение ледяного покрова. — Горький, 1989. — 89 с.

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

16. Рывлин А. Я., Хейсин Д. Е. Испытания судов во льдах. — Л.: Судостроение, 1980. — 208 с.

17. Riska K. The background of the powering requirements in the Finnish-Swedish ice class rules // Maritime Research Seminar'99, VVT Symposium 199. — Espoo, Finland, 2000. — P. 91—106.

18. Iceclassregulations2010. "Finnish-Swedishicerules 2010". 23/11/2010 TRAFI/31298/03.04.01.00/2010.

19. Von Bock und Polach R. U. F., Molyneux D. Model ice: a review of its capacity and identification of knowledge gaps // Proceedings of the ASME 2012 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2017), June 25—30, 2017. — Trondheim, Norway, 2017. — P. 9.

**Информация об авторах**

**Добродеев Алексей Алексеевич**, кандидат технических наук, начальник сектора, ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44), e-mail: A\_Dobrodeev@ksrc.ru.

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

**Библиографическое описание данной статьи**

Добродеев А. А., Сазонов К. Е. Проводка крупнотоннажных судов ледоколами с увеличенной скоростью: исследования в ледовом бассейне // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 3 (31). — С. 76—83. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-76-83.

**FAST-SPEED ESCORTING OF HEAVY TONNAGE VESSELS BY ICEBREAKERS: RESEARCHING IN ICE MODEL TANK**

Dobrodeev A. A., Sazonov K. E.

Krylov State Research Centre (St. Petersburg, Russian Federation)

**Abstract**

The main results of researching the heavy-tonnage vessels fast-speed escorting by icebreakers performed in ice model tank of the Krylov State Research Centre are presented. The experimental data obtained allow evaluating the efficiency of marine transport system. The tests results obtained can be used in developing the requirements in the field of ice navigation to designed icebreakers and heavy-tonnage vessels of ice navigation.

**Keywords:** *icebreaker, heavy-tonnage vessel, ship's rate of sailing, capacity, ice channel.*

## References

1. Dekhtyaruk Yu. D., Dobrodeev A. A., Sazonov K. E. Nekotorye voprosy sozdaniya morskikh transportnykh sistem dlya vyvoza uglevodorodov iz Arktiki. [Some issues in development of marine transportation systems for export of hydrocarbons from the Arctic]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2013, no. 2 (10), pp. 84—91. (In Russian).
2. Sazonov K. E., Dobrodeev A. A. Ledovaya khodkost' krupnotonnazhnykh sudov. [Ice performance of heavy-tonnage vessels]. FGUP "Kryl. gos. nauch. tsentr". St. Petersburg, 2017, 122 p. (In Russian).
3. Tsoi L. G., Andryushin A. V., Shtrek A. A. Obosnovanie osnovnykh parametrov perspektivnykh krupnotonnazhnykh gazovozov dlya Arktiki. [Justification of main parameters for heavy-tonnage gas carriers for the Arctic]. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2013, no. 3 (97), pp. 46—56. (In Russian).
4. Ruksha V. V., Golovinskii S. A., Belkin M. S. Ledokol'noe obespechenie krupneishikh natsional'nykh uglevodorodnykh proektov. [Icebreaker support to major national hydrocarbons projects]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2016, no. 4 (24), pp. 109—113. (In Russian).
5. Ruksha V. V. "Megaproekty v Arktike bez uchastiya gosudarstva nevozmozhny". ["Arctic megaprojects — not feasible without state participation"]. *Kommerstant*, 2017, 29 sent, p. 14. (In Russian).
6. Pustoshnyi A. V., Sazonov K. E. Problemy, svyazanye s uvelicheniem skorosti kruglogodichnoi raboty krupnotonnazhnykh transportnykh sudov v Arktike. [Issues related to higher speeds of heavy-tonnage carriers during their year-round operation in the Arctic]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2017, no. 3 (27), pp. 103—110. (In Russian).
7. Denisov V. I., Sazonov K. E., Timofeev O. Ya. Novye eksperimental'nye vozmozhnosti Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra po izucheniyu ledovykh vozdeistvii na ob'ekty morskoi tekhniki. [New experimental possibilities of Krylov State research Centre in ice interaction with marine structures researching]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, no. 3 (19), pp. 76—81. (In Russian).
8. Ruksha V. V., Smirnov A. A., Golovinskii S. A. Atomnyi ledokol'nyi flot Rossii i perspektivy razvitiya Severnogo morskogo puti. [Russian nuclear icebreaker fleet and prospects of the Northern Sea Route development]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2013, no. 1 (9), pp. 78—83. (In Russian).
9. Pashin V. M., Appolonov E. M., Sazonov K. E. Novyi ledokol dlya provodki krupnotonnazhnykh sudov. V chem preimushchestva? [New icebreaker for heavy-tonnage vessels escorting. What are the advantages?]. *Mor. flot*, 2012, no. 1, pp. 50. (In Russian).
10. Mård A. Experimental study of the icebreaking process of an icebreaking trimaran. Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC 2015. [S. I.], 2015.
11. Dobrodeev A. A., Klement'eva N. Yu., Sazonov K. E. Sovremennye podkhody k obespecheniyu navigatsii krupnotonnazhnykh sudov vo l'dakh. [Modern approaches for support of heavy-tonnage vessels navigation in ice]. *Transport Ros. Federatsii*, 2015, no. 4 (59), pp. 29—32. (In Russian).
12. Kashka M. M., Smirnov A. A., Golovinsky S. A., Vorobiev V. M., Ryzhkov A. V., Babich E. M. Perspektivy razvitiya atomnogo ledokol'nogo flota. [Prospects for development of nuclear icebreaker fleet]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2016, no. 3 (23), pp. 98—109. (In Russian).
13. Dobrodeev A. A., Sazonov K. E. Fast sailing in ice — the new goal of model studies. *The Naval Architect*, 2018, Jan, pp. 22—24.
14. Zuev V. A., Gramuzov E. M., Dvoichenko Yu. A. Razrushenie ledyanogo pokrova. [Ice sheet destruction]. *Gor'kii*, 1989, 89 p. (In Russian).
15. Sazonov K. E. Teoreticheskie osnovy plavaniya sudov vo l'dakh. [Theoretical principles of ship navigation in ice]. TsNII im. akad. A. N. Krylova. St. Petersburg, 2010, 274 p. (In Russian).
16. Ryvlin A. Ya., Kheisin D. E. Ispytaniya sudov vo l'dakh. [Tests of ships in ice]. Leningrad, Sudostroenie, 1980, 208 p. (In Russian).
17. Riska K. The background of the powering requirements in the Finnish-Swedish ice class rules. *Maritime Research Seminar'99, VVT Symposium 199*. Espoo, Finland, 2000, pp. 91—106.
18. Ice class regulations 2010. "Finnish-Swedish ice rules 2010". 23/11/2010 TRAFI/31298/03.04.01.00/2010.
19. Von Bock und Polach R. U. F., Molyneux D. Model ice: a review of its capacity and identification of knowledge gaps. Proceedings of the ASME 2012 36th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2017), June 25—30, 2017. Trondheim, Norway, 2017, P. 9.

---

## Information about the authors

**Dobrodeev Aleksei Alekseevich**, PhD, Head of ice researching section, Krylov State Research Centre (44, Moskovskoe shosse, St. Petersburg, 196158, Russia), e-mail: A\_Dobrodeev@ksrc.ru.

**Sazonov Kirill Evgenevich**, doctor of technical Sciences, professor, Head of ice laboratory, Krylov State Research Centre (44, Moskovskoe shosse, St. Petersburg, 196158, Russia), e-mail: kirsaz@rambler.ru.

## Bibliographic description of the article

**Dobrodeev A. A., Sazonov K. E.** Fast-speed escorting of heavy tonnage vessels by icebreakers: re-researching in ice model tank. *Arctic: ecology and economy*, 2018, no. 3 (31), pp. 76—83. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-76-83. (In Russian).