

КАКОЙ ДОЛЖНА БЫТЬ МОЩНОСТЬ КРУПНОТОННАЖНОГО СУДНА ДЛЯ РАБОТЫ В ВОСТОЧНОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ?

А. А. Добродеев^{1,2}, К. Е. Сазонов^{1,2}

¹ ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Для цитирования

Добродеев А. А., Сазонов К. Е. Какой должна быть мощность крупнотоннажного судна для работы в восточном секторе Арктики? Арктика: экология и экономика. — 2024. — Т. 14, № 3. — С. 427—436. — DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-427-436.

Статья поступила в редакцию 2 апреля 2024 г.

Представлены оценки потребной мощности крупнотоннажных судов, предназначенных для круглогодичной эксплуатации в восточном секторе Арктики, на примере режима эксплуатации носом вперед за ледоколом в узком ледовом канале. Особое внимание уделено форме обводов, способу движения по каналу во льдах, а также ледовому классу судна. Показано, что применение крупнотоннажных судов с умеренно-ледокольной носовой оконечностью потребует заметного увеличения мощности энергетической установки для обеспечения регулярного плавания на эффективной для работы морской транспортной системы скорости хода.

Ключевые слова: морская транспортная система, крупнотоннажное судно, ледокол, мощность, ледокольная проводка, узкий ледовый канал, восточный сектор Арктики.

Введение

В настоящее время одним из основных направлений развития мореплавания в Арктике становится создание эффективной морской транспортной системы, предназначенной для обеспечения круглогодичного вывоза полезных ископаемых через ее восточный сектор. Морская транспортная система — довольно широкое понятие, включающее в себя множество различных элементов. Объектом исследований является один из основных элементов системы — транспортные суда ледового плавания, обеспечивающие перевозку грузов. Авторы в своих публикациях неоднократно отмечали (см., например, [1; 2]), что выбор основного направления перевозки углеводородов из районов их добычи — запад или восток — приводит к различным требованиям к ледовым качествам судна.

Так, выбор направления вывоза углеводородов на запад обусловил следующие основные требования

к ледовым и мореходным качествам крупнотоннажных судов:

- обеспечение возможности самостоятельного плавания крупнотоннажных судов в практически любых ледовых условиях, характерных для западного сектора российской Арктики;
- достижение экономически эффективных показателей ходкости на чистой воде.

Первое из этих требований учитывает относительно короткий участок пути, который крупнотоннажное судно должно преодолевать во льдах в Карском море. А также то, что ледовые условия в этом море в среднем не самые тяжелые. Так, в период наибольшего развития ледяного покрова толщина льда редко превышает 1,5 м. Ледокольная поддержка движению судов не исключалась полностью, но предполагалось, что услуги ледоколов могут быть использованы только в зимне-весенний период либо при тяжелом типе навигации.

Второе требование базировалось на том, что протяженность трассы от кромки льда до европейских

Таблица 1. Толщина припайного льда в юго-западной части Карского моря, см

Table 1. Fast ice thickness in the southwestern part of the Kara Sea, cm

Точка наблюдения	Средняя толщина льда за весь период наблюдений	Максимальная толщина льда за весь период наблюдений	Средняя толщина льда за 12 лет XXI в.	Максимальная толщина льда за 12 лет XXI в.
Амдерма	116	178	112	140
Остров Белый	146	198	140	154
Остров Диксон	157	213	140	171

портов относительно коротка. Это позволяло осуществлять перевозку углеводородов одним судном без промежуточной перевалки.

Указанные требования привели финских специалистов к формулировке концепции судов двойного действия (DAS) [3; 4], которая в сильно измененном виде используется до сих пор [5; 6].

Сейчас основным направлением вывоза углеводородного сырья из районов добычи считается Азиатско-Тихоокеанский регион. Это обстоятельство приводит к необходимости сформулировать новые требования к судам ледового плавания, в первую очередь к крупнотоннажным, что и стало целью проведенного исследования. Авторы выражают надежду, что данная работа вызовет в среде специалистов обсуждение столь важного для нашей страны вопроса.

Материалы и методы

Ледовые условия в восточном секторе Арктики

Ниже приведен краткий сопоставительный анализ ледовых условий в западном и восточном секторах российской Арктики. Он во многом базируется на книгах И. О. Думанской [7; 8]. Существует большое количество параметров ледовой обстановки, по которым можно сравнивать арктические моря. В данной работе для сравнения были использованы лишь два из них: толщина припайного льда и торосистость. Эти параметры были выбраны из-за того,

что они в наибольшей степени влияют на проходимость ледяного покрова судами.

К западному сектору Арктики относятся Баренцево и Карское моря, при этом Северный морской путь проходит только по акватории Карского моря. Поэтому далее будет рассмотрено только оно. Часто Карское море делят на две части: юго-западную и северо-восточную. Границей этих частей является линия, проходящая от острова Диксон к мысу Желания. Транспортные операции по вывозу углеводородов на запад осуществляются в юго-западной части моря. При восточном направлении вывоза начальный участок трассы проходит по северо-восточной части Карского моря. Поэтому при сравнении ледовых условий эта часть Карского моря была отнесена к морям восточного сектора, а параметры ледовых условий для западного сектора брались по юго-западной части моря.

В соответствии с данными работы [7] толщина припайного льда в юго-западной части Карского моря в период его максимального развития представлена в табл. 1.

Рассмотрим ледовые условия на маршрутах вывоза углеводородов на восток. В табл. 2 приведены толщины припая в северо-восточной части Карского моря и морях восточного сектора Арктики в период его максимального развития [8]. Ниже помещены обобщенные результаты, относящиеся к близким, но не идентичным по геометрии моделям.

Таблица 2. Толщина припайного льда в северо-восточной части

Карского моря и морях восточного сектора Арктики, см

Table 2. Fast ice thickness in the northeastern part of the Kara Sea and the seas of the Arctic Eastern sector, cm

Место наблюдения	Точка наблюдения	Средняя толщина льда за весь период наблюдений	Максимальная толщина льда за весь период наблюдений	Средняя толщина льда за 15 лет XXI в.	Максимальная толщина льда за 15 лет XXI в.
Северо-восточная часть Карского моря	Остров Диксон	157	213	142	171
	Мыс Челюскин	187	239	179	205
Море Лаптевых	Тикси	220	248	219	240
	Остров Котельный	210	256	210	236

Окончание табл. 2

Место наблюдения	Точка наблюдения	Средняя толщина льда за весь период наблюдений	Максимальная толщина льда за весь период наблюдений	Средняя толщина льда за 15 лет XXI в.	Максимальная толщина льда за 15 лет XXI в.
Восточно-Сибирское море	Бухта Амбарчик	210	241	204	223
	Певек	152	186	136	177
Чукотское море	Мыс Нэттэн	145	195	—	—
	Мыс Уэлен	128	171	—	—

Таблица 3. Торосистость морей российской Арктики, баллов

Table 3. Hummocking (ridging) of the Russian Arctic seas, points

Место наблюдения	Припай (средняя/максимальная)	Дрейфующий лед (средняя/максимальная)	Аномалии
Юго-западная часть Карского моря	1—2	2	На восточных подходах к проливу Карские Ворота торосистость может достигать 4—5, а у северной оконечности Новой Земли — 4
Северо-восточная часть Карского моря	2—3/4	2—3/4	Наибольшая торосистость наблюдается вблизи архипелага Северная Земля
Море Лаптевых	2—3/4	0—1	На границе припая — до 3—4
Восточно-Сибирское море	2—3/3—4	0—2	На границе припая — до 3
Чукотское море	2—3/3—4	2—3/3—4	Вдоль побережья — 5

Анализ данных, содержащихся в табл. 1 и 2, позволяет сделать вывод о заметном увеличении толщины припайного льда в морях восточного сектора Арктики по сравнению со льдами юго-восточной части Карского моря. Данные [9] для моря Лаптевых показывают, что существенных изменений толщины льда в этом море в XXI в. не произошло. По средним значениям разница в толщинах льда может достигать 35%, а по максимальным — 30%. Конечно, ледокольные суда далеко не всегда осуществляют движение в припайных льдах. Однако можно с большой степенью вероятности утверждать, что указанные соотношения между толщинами льда западного и восточного секторов примерно сохраняются.

Данные о торосистости рассматриваемых морей представлены в табл. 3, которая составлена на основании материалов [7; 8].

Анализ этой таблицы позволяет заключить, что в восточном секторе Арктики торосистость льда в среднем на 0,5—1 балла выше. При рассмотрении проходимости судном ледяного покрова той или иной акватории торосистость ледяного покрова учитывается путем введения условной толщины льда, которая превышает толщину ровного льда. В соот-

ветствии с методикой, предложенной Г. Н. Сергеевым [10], поправка Δh , вводимая в среднюю толщину льда, может быть определена по формуле

$$\Delta h = (0,0312T^2 + 0,125T - 0,1562)\bar{h}^{(1,7-0,07T)}, \quad (1)$$

где \bar{h} — средняя толщина ровного льда, см; T — торосистость льда в баллах.

Выводы о наличии более тяжелых ледовых условий в восточном секторе Арктики подтверждают данные гистограмм распределения количества судов, которые заимствованы из [11]. Из этих графиков следует, что в 2020 г. в зимне-весенний период на востоке судоходство практически отсутствовало.

Существуют еще две причины, по которым при плавании в восточном секторе суда могут чаще встречаться с более тяжелыми ледовыми условиями. Первая причина связана с недостаточной гидрологической изученностью морей этого сектора [12]. Данное обстоятельство существенно снижает возможность обхода районов акватории с неблагоприятными ледовыми условиями. Вторая причина заключается в относительно плохих показателях

Кораблестроение для Арктики

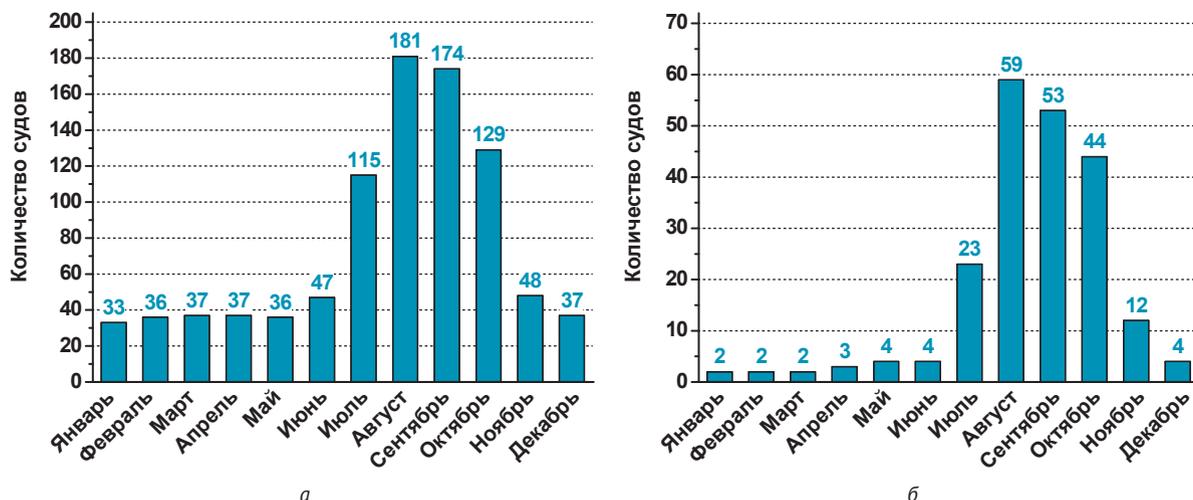


Рис. 1. Распределение количества судов в западном (а) и восточном (б) секторах Арктики в 2020 г.
Fig. 1. Distribution of the number of vessels operated in the Western (a) and Eastern (b) sectors of the Arctic in 2020

ледовой управляемости крупнотоннажных судов ледового плавания [13]. Из-за этого они не способны эффективно обходить различные препятствия на своем пути, а также вписываться в криволинейный канал, проложенный ледоколом во льдах.

Ледовые качества судов

Изложенное выше касательно ледовой обстановки позволяет сделать вывод, что крупнотоннажные суда, предназначенные для эксплуатации в восточном секторе Арктики, должны иметь повышенные показатели ледовых качеств по сравнению с применяемыми ныне судами, которые предназначались в основном для использования в западном секторе. Увеличения показателей ледовой ходкости можно добиться двумя путями: увеличением мощности энергетической установки и приданием судну ледокольных обводов корпуса.

На рис. 2 приведены зависимости предельной ледопроеходимости существующих транспортных судов в зависимости от параметра удельной мощности N/B , где N — мощность судна, B — ширина по ватерлинии. Данные для построения рисунка заимствованы из [14].

При рассмотрении рис. 2а обращает на себя внимание то обстоятельство, что для 5 из 7 рассмотренных судов практически отсутствует зависимость ледопроеходимости от удельной мощности. Все они имеют умеренную ледокольную форму носовой оконечности. Из общего ряда выбиваются лишь танкер «Михаил Ульянов», форма носовой оконечности которого не лучшим образом приспособлена для эксплуатации во льдах, и «Василий Динков», у которого она является ледокольной. График на рис. 2а наглядно демонстрирует возможности влияния формы носовой оконечности на параметры ледовой ход-

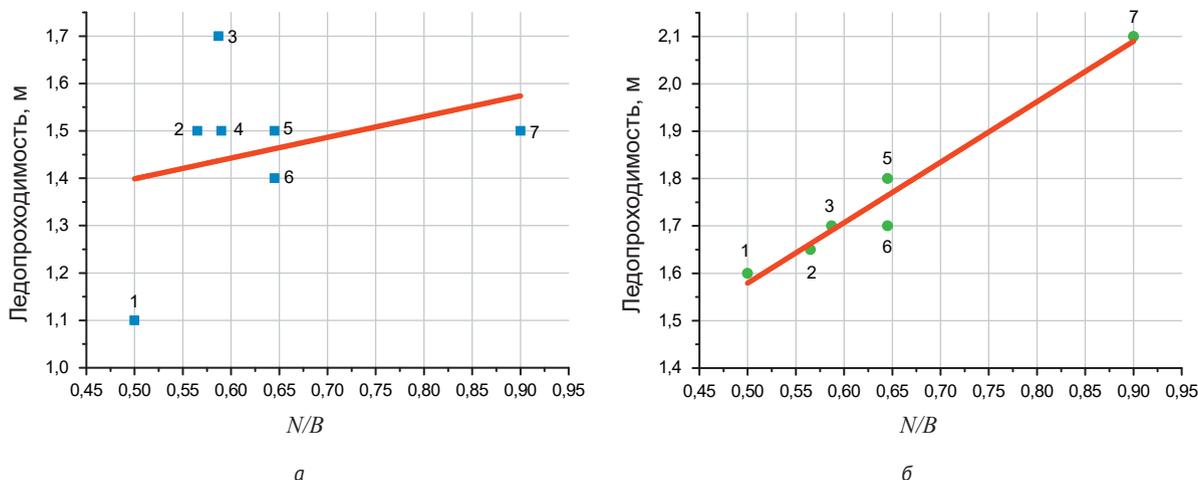


Рис. 2. Ледопроежимость ныне существующих судов на режимах движения передним (а) и задним (б) ходом: 1 — «Михаил Ульянов», 2 — «Норильский Никель», 3 — «Василий Динков», 4 — «Audax», 5 — «Б. Соколов», 6 — «Штурман Альбанов», 7 — «Кристоф де Маржер»
Fig. 2. Icebreaking capability of currently existing vessels in ahead (a) and astern (b) modes of going: 1 — “Mikhail Ulyanov”, 2 — “Norilsk Nickel”, 3 — “Vasily Dinkov”, 4 — “Audax”, 5 — “B. Sokolov”, 6 — “Shturman Albanov”, 7 — “Christophe de Margerie”

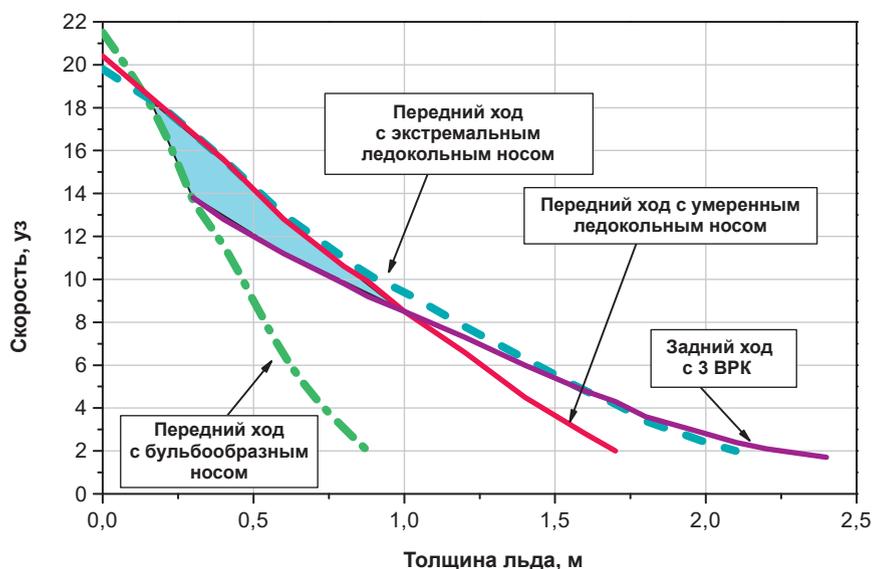


Рис. 3. График ледовой ходкости газовеоза вместимостью около 170 000 м³ с тремя ВРК и тремя вариантами носовой оконечности [17]

Fig. 3. Ice performance chart of a LNG carrier with a capacity of about 170 000 m³ with three PODs and three options of the bow end [17]

кости. Данные рис. 26, в свою очередь, показывают влияние увеличения удельной мощности на ледопробиваемость в случае, когда форма кормовой оконечности сконструирована специально для разрушения льда. Такого типа график можно построить и для современных ледоколов, он также будет демонстрировать зависимость ледопробиваемости от удельной мощности. Поэтому можно предположить, что увеличение мощности энергетической установки судна должно сочетаться с приданием ему ледокольных обводов.

Если ориентироваться на осуществление круглогодичной навигации в восточном секторе Арктики, то требования к эксплуатируемым судам необходимо выдвигать с учетом возможности их движения в наиболее тяжелых зимне-весенних ледовых условиях. Далее будем придерживаться основного допущения, что плавание крупнотоннажных судов в указанных условиях может осуществляться только при поддержке (под проводкой) ледоколом. Поэтому ниже дается краткое описание особенностей взаимодействия крупнотоннажного судна с ледоколом [1; 6].

Крупнотоннажное судно в тяжелых ледовых условиях могут проводить один или два ледокола. При проводке двумя ледоколами они формируют «широкий» канал, заполненный крупно- и мелкобитым льдом. Специфика движения крупнотоннажного судна по такому каналу подробно описана в [6]. Единственным требованием осуществимости такой операции, которое практически всегда выполняется, является превышение суммарной ширины ледоколов над шириной проводимого судна.

При проводке крупнотоннажного судна одним ледоколом оно вынуждено двигаться в «узком» канале, ширина которого меньше ширины судна. Поэтому

судно должно доламывать своим корпусом кромки канала, расширяя его. Движение крупнотоннажного судна по такому каналу имеет интересные особенности: как правило, нарушается симметрия расположения корпуса судна относительно оси канала. Судно располагается таким образом, чтобы один из бортов разрушал кромку канала на необходимую ширину, а другой терся о противоположную кромку. Наиболее ярко этот эффект проявляется у крупнотоннажных судов, цилиндрическая вставка которых имеет прямой борт. Более подробное описание и объяснение этого эффекта содержится в [15; 16]. Можно ожидать, что проявление описанного эффекта не зависит от толщины преодолеваемого судном льда, и суда в тяжелых ледовых условиях будут двигаться со смещением относительно оси «узкого» канала.

Необходимо сказать несколько слов о возможности самостоятельного движения крупнотоннажных судов в тяжелых условиях кормой вперед. Такой возможностью обладают суда ледового плавания, оборудованные винто-рулевыми колонками (ВРК). Суда же, имеющие традиционный движительно-рулевой комплекс, осуществлять длительные переходы в режиме заднего хода не могут, так как они при этом плохо управляются. Исследования показывают, что для судов с ВРК эффективное применение заднего хода начинается с некоторой толщины ледяного покрова, которая зависит от степени ледокольности носовой оконечности [17] (рис. 3). Из этого рисунка следует, что выигрыш от использования режима движения задним ходом заметно уменьшается при увеличении степени ледокольности носовой оконечности судна. Этот вывод подтверждается данными о предельной ледопробиваемости «Василия Динкова» (см. рис. 2). При этом выигрыш достигается при крайне низких скоростях движения судна.

Кораблестроение для Арктики

Эффективному применению преимуществ переднего или заднего хода в тех или иных ледовых условиях препятствуют довольно большие трудности для разворота крупнотоннажного судна во льдах. В [18] приведены результаты моделирования этих процессов на навигационном тренажере и их сравнение с данными эксплуатации судов.

Результаты исследований

Выше было показано, что увеличение мощности энергетической установки судна гарантированно приводит к увеличению его ледопроеходимости или скорости движения во льдах заданной толщины только в случае придания его оконечностям ледокольных форм, что, например, можно характеризовать наличием угла наклона форштевня менее 22—23°. При выполнении приводимого ниже анализа принимается, что движение крупнотоннажного судна в зимне-весенний период в восточном секторе Арктики осуществляется только под проводкой ледокола. Это означает, что крупнотоннажное судно движется по «узкому» каналу, проложенному ледоколом. Необходимо отметить важное обстоятельство: при проводке крупнотоннажных судов практически исключается возможность их буксировки вплотную ледоколом [19].

Общее выражение, связывающее ледовое сопротивление судна с его мощностью N , может быть записано следующим образом [20]:

$$N = \frac{R_l^{3/2}}{D} K_e, \quad (2)$$

где D — диаметр движителя; K_e — коэффициент, учитывающий характеристики движительного комплекса судна.

Для движения по узкому каналу выражение (2) должно быть переписано так:

$$N = \frac{(nR_l)^{3/2}}{D} K_e, \quad (3)$$

где n — коэффициент, учитывающий снижение ледового сопротивления при движении крупнотоннажного судна по «узкому» каналу. Этот коэффициент зависит от геометрических характеристик формы носовой оконечности судна и, скорее всего, от скорости движения и толщины льда.

В морской ледотехнике часто используется эмпирическое соотношение, которое указывает на то, что сопротивление пропорционально толщине льда в некоторой степени [21]:

$$R_l \sim h^x, \quad (4)$$

где h — толщина льда; x — показатель степени, который лежит в пределах от 1 до 2 (если его величина неизвестна, ее часто рекомендуется принимать равной 1,5).

Анализ результатов натурных и модельных экспериментов показывает, что значение показателя степени в формуле (4) зависит от скорости движения изучаемого объекта. Для учета этого влияния

может быть использована эмпирическая зависимость от числа Фруда, предложенная немецкими специалистами:

$$x = 1,5 - 0,3Fn_h, \quad (5)$$

где $Fn_h = \frac{v}{\sqrt{gh}}$ — число Фруда, вычисленное по толщине льда.

Подстановка формулы (4) в формулу (3) позволяет получить зависимость, связывающую мощность энергетической установки с толщиной преодолеваемого судном льда:

$$N \sim \frac{(nh^{3/2})^{3/2}}{D} K_e \sim \frac{n^{3/2}h^{9/4}}{D} K_e. \quad (6)$$

Это выражение практически совпадает с соотношениями, полученными в [22], однако в отличие от них может быть использовано для любой скорости движения судна, а не только на режимах, близких к швартовному.

Формула (6) позволяет выполнять оценку требуемой мощности крупнотоннажных судов $N_{\text{треб}}$ для их успешной работы в восточном секторе Арктики:

$$\frac{N_{\text{треб}}}{N_{\text{задан}}} = n^{3/2} \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{9/4}, \quad (7)$$

где h_3 и h_4 — средняя толщина льда в западном и восточном секторах Арктики соответственно.

Результаты расчета по этой формуле представлены на рис. 4. Анализ приведенных на нем данных показывает, что важнейшее влияние на уровень требуемой мощности оказывает форма носовой оконечности судна. Результаты модельных испытаний в ледовом бассейне Крыловского научного центра показывают, что для крупнотоннажных судов с ледокольной формой носовой оконечности значение параметра $n < 0,7$, а для судов с умеренной ледокольной формой носа $n > 0,7$ [23]. Поэтому можно предположить, что для судов с ледокольной формой носа скорее всего не требуется увеличение мощности по сравнению с ныне достигнутым уровнем. Однако эта мощность не должна быть ниже 35—40 МВт.

В [18] приведены результаты моделирования этих процессов на навигационном тренажере и их сравнение с данными эксплуатации судов.

Обсуждение

Выполненный анализ показывает, что важнейшую роль в повышении эффективности проводки ледоколами проекта 22220 крупнотоннажных судов в восточном секторе Арктики играет наличие у них ледокольной формы носовой оконечности корпуса. Наличие такой формы позволит ограничиться при проектировании новых судов достигнутым уровнем мощности 35—45 МВт. Тем более что такой уровень

мощности позволяет крупнотоннажным судам даже с умеренной ледокольной формой носа совершать самостоятельные плавания в восточном секторе в более легких условиях, чем период максимального развития ледяного покрова [24; 25].

При использовании крупнотоннажных судов с умеренной ледокольной формой носовой оконечности потребуются заметное увеличение мощности энергетической установки. По расчетным оценкам, это увеличение может достигать до 60 МВт, а в определенных случаях и более.

Отдавая предпочтение ледокольной форме носа для перспективных судов, авторы отдают себе отчет, что такое техническое решение имеет ряд побочных негативных последствий. Очевидно, что при сохранении постоянными главных размерений судна произойдет некоторое снижение его грузоемкости. Кроме того, хорошо известно, что ледокольная форма носа обладает худшими показателями ходкости на чистой воде. Поэтому, если для проектируемого крупнотоннажного судна планируются длинные переходы по чистой воде, то оно окажется менее эффективно. По-видимому, окончательное решение можно принять только после выполнения скрупулезных экономических расчетов.

Анализ базировался на некоторых обобщенных данных. В формуле (7) принято среднее значение показателя $x = 1,5$. На самом деле эта величина может быть как на 10—20% меньше для судов с ледокольной формой носа, так и на такую же величину больше для судов с умеренно ледокольной формой. Поэтому данные рис. 4 следует рассматривать лишь как некоторое приближение. Также при выполнении анализа не учитывалась возможность увеличения расчетной толщины льда за счет торосистости ледяного покрова. Фактически было использовано предположение, что ледокол с проводимым судном имеет возможность обойти торосистые участки трассы. Если в формуле (7) ввести толщину льда с учетом торосистости, то и для судов с ледокольной формой носа потребуются определенное увеличение мощности.

По мнению авторов, поднятые в этой работе вопросы весьма актуальны. Более полную информацию для их корректного решения можно получить, проведя масштабные исследования в ледовом бассейне.

Стоит сделать еще одно замечание о необходимом для обсуждаемых судов классе Российского морского регистра судоходства. Важно отметить, что ледовый класс судна практически никак не связан с показателями его ледовой ходкости. Он характеризует только ледовую прочность судна. Некоторая связь существует лишь при назначении

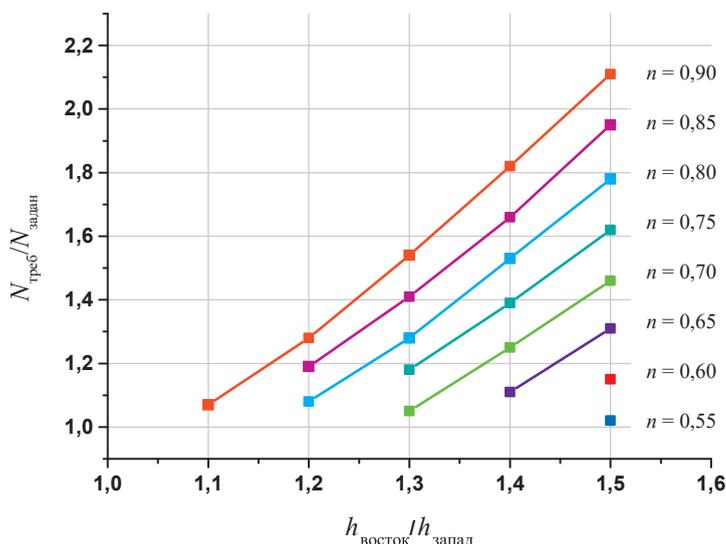


Рис. 4. Необходимое увеличение мощности судна для возможности проводки его по «узкому» каналу за ледоколом проекта 22220 в восточном секторе Арктики в зависимости от ледокольных характеристик носовой оконечности и степени возрастания толщины льда

Fig. 4. The necessary increase in the vessel power capacity to enable it to navigate through a "narrow" channel following the icebreaker of project 22220 in the Eastern sector of the Arctic depending on the icebreaking characteristics of the bow end and the degree of increase in ice thickness

уровня минимальной мощности. В настоящее время существует ряд документов, имеющих международный статус, которые определяют понятие ледового класса судна, критерии допуска для плавания в полярных водах, систему индексации рисков для оценки полярных эксплуатационных пределов (POLARIS) и т. п. [26; 27]. Однако ни в этих, ни в одном из конвенционных документов нет критериев для определения минимальной мощности, требуемой для оценки возможности допуска современного крупнотоннажного судна в восточный сектор СМП [26; 27], что и побудило авторов провести исследование, результаты которого представлены в статье. В соответствии с полученными результатами ледовый класс РС перспективных судов, предназначенных для круглогодичного плавания в восточном секторе Арктики, не должен быть ниже, чем Arc7. В первую очередь выбор класса обусловлен необходимостью обеспечить судну возможность работы набегами. Такой принцип движения существенно повысит эффективность проводки крупнотоннажного судна одним ледоколом, например, при прохождении криволинейных участков канала.

Выводы

В работе рассмотрен сценарий проводки крупнотоннажного судна одним ледоколом проекта 22220 в восточном секторе Арктики в зимне-весенний период. В указанных условиях судно движется по «узкому» каналу, доламывая своим корпусом его кромки. В работе показано, что эффективность такой проводки существенно зависит от формы

Кораблестроение для Арктики

носовой оконечности проводимого судна. Наличие у судна ледокольного носа способствует повышению эффективности проводки. Поэтому для вновь проектируемых судов с такой формой носовой оконечности практически не требуется повышение достигнутого ныне уровня мощности энергетической установки.

При использовании судов с умеренно ледокольной формой носовой оконечности необходимо существенное увеличение мощности, примерно до 60 МВт. При этом использование судов с ледокольной формой носа приводит к снижению их грузовместимости, также они обладают худшими показателями ходкости на чистой воде. Поэтому вопрос о форме носовой оконечности необходимо решать на основании экономических расчетов с учетом планируемых сценариев использования судна.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00039 «Теоретические основы и прикладные инструменты для создания системы интеллектуального планирования работы флота и поддержки принятия решений в арктическом судоходстве» (<https://rscf.ru/project/23-19-00039/>).

Литература/References

1. Добродеев А. А., Сазонов К. Е. Особенности взаимодействия крупнотоннажных судов с ледоколами во льдах // Рос. Арктика. — 2019. — № 5. — С. 23—29. — DOI: 10.24411/2658-4255-2019-10053. Dobrodeev A. A., Sazonov K. E. Specific features of heavy-tonnage vessels-icebreakers interaction in ice conditions. Rossiiskaya Arktika [Russian Arctic], 2019, no. 5, pp. 23—29. DOI: 10.24411/2658-4255-2019-10053. (In Russian).
2. Крупнов Г. К., Обидин Ю. И., Сазонов К. Е. и др. Морские транспортно-технологические системы: история, современность, перспективы: Аналитический обзор. — СПб.: Крылов. гос. науч. центр, 2019. — 162 с. Krupnov G. K., Obidin Yu. I., Sazonov K. E., Dobrodeev A. A., Grigor'ev A. M., Gushchin I. V. Marine transport and technological systems: history, modernity, prospects. Analytical review. St. Petersburg, Krylov State Research Centre, 2019, 162 p. (In Russian).
3. Backstrom M., Juurmaa K., Wilkman G. New Icebreaking Tanker Concept for the Arctic (DAT). Proceeding of POAC 95, Murmansk, Russia. 1995.
4. Juurmaa K., Mattsson T., Wilkman G. The development of the new double acting ships for ice operation. Proceeding of POAC 01, Ottawa, Canada. 2001.
5. Сазонов К. Е. О ледовой ходкости и управляемости крупнотоннажных судов двойного действия в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2016. — № 1 (107). — С. 50—60. Sazonov K. E. On propulsion and maneuvering performance of large-size double-acting vessels in Arctic waters. Problemy Arktiki i Antarktiki [Arctic and Antarctic Research], 2016, no. 1 (107), pp. 50—60. (In Russian).
6. Сазонов К. Е., Добродеев А. А. Ледовая ходкость крупнотоннажных судов. — СПб.: Крылов. гос. науч. центр, 2017. — 122 с. Sazonov K. E., Dobrodeev A. A. Ice performance of large-size vessels. St. Petersburg, Krylov State Research Centre, 2017, 122 p. (In Russian).
7. Думанская И. О. Ледовые условия морей европейской части России. — М.: ИГ-СОЦИН, 2014. — 608 с. Dumanskaya I. O. Ice conditions of the seas of the European part of Russia. Moscow, Issledovatel'skaya gruppa "Sotsial'nye nauki", 2014, 608 p. (In Russian).
8. Думанская И. О. Ледовые условия морей азиатской части России. — М.: ИГ-СОЦИН, 2017. — 640 с. Dumanskaya I. O. Ice conditions in the seas of the Asian part of Russia. Moscow, Issledovatel'skaya gruppa "Sotsial'nye nauki", 2017, 640 p. (In Russian).
9. Подпорин С. А., Холопцев А. В. Тенденции изменения средней толщины ледяного покрова, уровня и поверхностной солености вод моря Лаптевых в зимне-весенний период при дальнейшем потеплении климата // Вестн. Гос. ун-та мор. и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15, № 6. — С. 923—931. — DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-923-931. Podporin S. A., Kholoptsev A. V. Change trends of mean ice thickness, water level, and surface salinity in the Laptev Sea in winter-spring period under further climate warming conditions. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova, 2023, vol. 15, no. 6, pp. 923—931. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-923-931. (In Russian).
10. Бузуев А. Я., Дубровцев В. Ф., Захаров В. Ф., Смирнов В. И. Условия плавания судов во льдах Северного полушария / Гл. упр. навигации и океанографии МО СССР. — М., 1988. — 280 с. Buzuev A. Ya., Dubrovcev V. F., Zaharov V. F., Smirnov V. I. Conditions for navigation of ships in the ice of the Northern Hemisphere. Glavnoe upravlenie navigatsii i okeanografii MO SSSR. Moscow, 1988, 280 p. (In Russian).
11. Андреева Е. В., Исаулова К. Я. Перспективы развития СМП // Деловой журнал Neftegaz.RU. — 2021. — № 6 (114). — С. 30—37. Andreeva E. V., Isaulova K. Ya. Prospects for the development of NSR. Neftegaz.RU, 2021, no. 6 (114), pp. 30—37. (In Russian).
12. Тезиков А. Л., Афонин А. Б., Ольховик Е. О. Гидрографическая изученность акватории Северного морского пути // Транспорт Рос. Федерации. — 2018. — № 2 (75). — С. 19—21. Tezikov A. L., Afonin A. B., Ol'khovik E. O. Hydrographic study of the Northern Sea Route water area. Transport Rossiiskoi Federatsii [Transport of the Russian Federation], 2018, no. 2 (75), pp. 19—21. (In Russian).
13. Сазонов К. Е. Ледовая управляемость судов. — СПб.: ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова, 2006. — 252 с.

- Sazonov K. E. Ship maneuverability in ice. St. Petersburg, Krylov Shipbuilding Research Institute, 2006, 252 p. (In Russian).
14. Штрек А. А. Современные тенденции и вызовы при проектировании арктических транспортных судов // Рос. Арктика. — 2019. — № 5. — С. 30—35. — DOI: 10.24411/2658-4255-2019-10054.
- Shtrek A. A. Current trends and challenges for the designing of Arctic cargo vessels. Rossiiskaya Arktika [Russian Arctic], 2019, no. 5, pp. 30—35. DOI: 10.24411/2658-4255-2019-10054. (In Russian).
15. Добродеев А. А., Клементьева Н. Ю., Сазонов К. Е. Несимметричное движение крупнотоннажных судов в «узком» канале // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2018. — Т. 64, № 2. — С. 200—207. — DOI: 10.20758/0555-2648-2018-64-2-200-207.
- Dobrodeev A. A., Klementyeva N. Yu., Sazonov K. E. A skewed movement of large-size ships in “narrow” ice channel. Problemy Arktiki i Antarktiki [Arctic and Antarctic Research], 2018, no. 2 (64), pp. 200—207. DOI: 10.20758/0555-2648-2018-64-2-200-207. (In Russian).
16. Dobrodeev A. A., Klementyeva N. Yu., Sazonov K. E. Large ship motion mechanics in “narrow” ice channel. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 193 (2018) 012017. DOI: 10.1088/1755-1315/193/1/012017.
17. Цой Л. Г., Андрияшин А. И., Штрек А. А. Обоснование основных параметров перспективных крупнотоннажных газовозов для Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2013. — № 3 (97). — С. 46—56.
- Tsoy L. G., Andryushin A. V., Shtrek A. A. Substantiation of principal parameters of prospective large capacity LNG carriers for the Arctic. Problemy Arktiki i Antarktiki [Arctic and Antarctic Research], 2013, no. 3 (97), pp. 46—56. (In Russian).
18. Таровик О. В., Казанцев М. А. Оценка длительности разворота транспортных судов двойного действия во льдах на основе навигационного моделирования // Науч.-техн. сб. Рос. мор. регистра судоходства. — 2022. — № 68—69. — С. 4—19.
- Tarovik O. V., Kazantsev M. A. Estimation of the turning maneuver duration of double acting ships in ice using navigation simulation. Nauchno-tekhnicheskii sbornik Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva [Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping], 2022, no. 68—69, pp. 4—19. (In Russian).
19. Добродеев А. А., Сазонов К. Е. Экспериментальные исследования возможности проводки ледоколом крупнотоннажных судов при буксировке вплотную // Вестн. Гос. ун-та мор. и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2022. — № 14 (5). — С. 645—655. — DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-5-645-655.
- Dobrodeev A. A., Sazonov K. E. Experimental studying a possibility of close-coupled towing of large-sized vessels by icebreaker. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova, 2022, no. 14 (5), pp. 645—655. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-5-645-655. (In Russian).
20. Сазонов К. Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. — СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2010. — 274 с.
- Sazonov K. E. Theoretical principles of ship navigation in ice. St. Petersburg, Krylov Shipbuilding Research Institute, 2010, 274 p. (In Russian).
21. Сазонов К. Е. Модельный и натурный эксперимент в морской ледотехнике. — СПб.: Крылов. гос. науч. центр, 2021. — 306 с.
- Sazonov K. E. Model and full-scale experiment in marine ice engineering. St. Petersburg, Krylov State Research Centre, 2021, 306 p. (In Russian).
22. Сазонов К. Е. Скейлинговые соотношения в ледовой ходкости судов // Мор. вестн. — 2010. — № 3 (35) — С. 104—105.
- Sazonov K. E. Scaling relationships in ice propulsion performance of ships. Morskoi Vestnik, 2010, no. 3 (35), pp. 104—105. (In Russian).
23. 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.
- Dobrodeev A. A., Sazonov K. E. Fast-speed escorting of heavy tonnage vessels by icebreakers: 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).
24. Ольховик Е. О. Анализ скоростных режимов СПГ-танкеров в акватории северного морского пути в период зимней навигации 2017—2018 гг. // Вестн. гос. ун-та мор. и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10, № 2. — С. 300—308. — DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-300-308.
- Ol'khovik E. O. Analysis of speed regime lng-tankers in the Northern Sea Route in period of winter navigation 2017—2018. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 300—308. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-300-308. (In Russian).
25. Соколова Ю. В., Девятаев О. С., Афанасьева Е. В., Титова Ю. М. Сравнение самостоятельного движения и движения под проводкой ледокола газовозов типа «YAMALMAX» // Рос. Арктика. — 2020. — № 4. — С. 39—58. — DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12515.
- Sokolova Yu. V., Devyataev O. S., Afanasyeva E. V., Titova Yu. M. Comparison of independent navigation of LNG carriers of type YAMALMAX and their transition with an icebreaker escort. Rossiiskaya Arktika [Russian Arctic], 2020, no. 4, pp. 39—58. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12515. (In Russian).
26. International code for ships operating in polar waters (Polar code): Resolution MEPC.264(68), Resolution MSC.385(94), 2015.
27. Циркуляр MSC.1/Circular.1519 (от 6 июня 2016 г.). — Руководство по методологии оценки эксплуатационных возможностей и ограничений во льдах.

Кораблестроение для Арктики

Circular MSC.1/1519 (dt. 06 of June 2016). Guidance on Methodology for assessing operational capabilities and limitations in ice conditions, 2016. (In Russian).

Информация об авторах

Добродеев Алексей Алексеевич, кандидат технических наук, заместитель начальника лаборатории — начальник сектора, Крыловский государственный научный центр (196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44), доцент, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (190121, Россия, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., д. 3), e-mail: A_Dobrodeev@ksrc.ru.

Сазонов Кирилл Евгеньевич, доктор технических наук, начальник лаборатории, Крыловский государственный научный центр (196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44), профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (190121, Россия, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., д. 3), e-mail: kirsaz@rambler.ru.

WHAT SHOULD BE THE POWER CAPACITY OF A SUPERSHIP TO OPERATE IN THE EASTERN PART OF THE ARCTIC?

Dobrodeev, A. A.^{1,2}, Sazonov, K. E.^{1,2}

¹ Krylov State Research Centre (St. Petersburg, Russian Federation)

² State Marine Technical University (St. Petersburg, Russian Federation)

For citing

Dobrodeev A. A., Sazonov K. E. What should be the power capacity of a supership to operate in the Eastern part of the Arctic? *Arctic: Ecology and Economy*, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 427—436. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-427-436. (In Russian).

The article was received on April 2, 2024

Abstract

The study presents estimates of the required power capacity of superships intended for year-round operation in the Eastern sector of the Arctic, using the example of bow-first operation following an icebreaker in a narrow ice channel. The authors pay particular attention to the contour shapes, the going mode along the ice channel, as well as the vessel ice class. The study results prove that the use of large-tonnage vessels with a moderate ice-breaking bow will require a noticeable increase in the propulsion power to ensure regular navigation at a speed that is effective for the operation of the maritime transport system.

Keywords: *maritime transport system, supership, icebreaker, power capacity, icebreaker escorting, narrow ice channel, Eastern sector of the Arctic.*

Funding

This study was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-19-00039 “Theoretical basis and applied tools for AI-based fleet planning and decision support in the Arctic navigation” (<https://rscf.ru/project/23-19-00039/>).

Information about the authors

Dobrodeev, Aleksei Alekseevich, PhD of Engineering Science, Ice Laboratory Deputy Head, Krylov State Research Centre (44, Moskovskoe shosse, St. Petersburg, Russia, 196158), Associate professor, St. Petersburg State Marine Technical University (3, Lotsmanskaya St., St. Petersburg, Russia, 190121), e-mail: A_Dobrodeev@ksrc.ru.

Sazonov, Kirill Evgen'evich, Doctor of Engineering Science, Ice Laboratory Head, Krylov State Research Centre (44, Moskovskoe shosse, St. Petersburg, Russia, 196158), Professor, St. Petersburg State Marine Technical University (3, Lotsmanskaya St., St. Petersburg, Russia, 190121), e-mail: kirsaz@rambler.ru.

© Dobrodeev A. A., Sazonov K. E., 2024