

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА

ЭКОЛОГИЯ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА
СНИЖЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА

ГАЗОВОЗЫ ДЛЯ СПГ
ТЕПЛОВОЙ ПОТОК В КОРПУСЕ СУДНА

СИЖЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ГАЗ КАК ТОПЛИВО
РАЗРАБОТКА ПРАВИЛ РЕГИСТРА



№ 70/71

ИЮЛЬ

2023

УДК 629.5:656.6

ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ БУКСИРОВКИ СУДНА ЛЕДОКОЛОМ МЕТОДОМ БУКСИРОВАНИЯ ВПЛОТНУЮ

А.А. Петров, канд. техн. наук, АО «ЦНИИМФ», Санкт-Петербург, e-mail: Petrov25@cniimf.ru

В.Г. Арутюнян, ФГБУ «Главсевморпуть», Мурманск, e-mail: VIGArutyunyan@rosatom.ru

Буксировка «на усах» — сложнейшая морская операция. Недостаточное внимание к вопросу обеспечения безопасности может привести к временному выводу судна из эксплуатации, финансовым потерям, а также к серьезным логистическим сбоям на трассах Северного морского пути. Цель настоящего исследования — выработка единого подхода к оценке пригодности судна для буксировки «на усах». Акцент в работе сделан на суда в эксплуатации, ключевыми проблемами для которых являются ограниченное время на любые инженерные проработки, а также, зачастую, неполнота исходных данных. В результате сформулированы основные критерии безопасности, проверка по которым в рамках предварительного инженерного анализа позволит в короткие сроки обосновано сделать заключение о пригодности судна к буксировке «на усах» или дать соответствующие рекомендации по его модернизации.

Ключевые слова: буксировка судов во льдах, буксировка вплотную за ледоколом, буксировка «на усах», критерии безопасности, кранцевая защита ледокола, Северный морской путь, ледокол

ESSENTIAL SAFETY CRITERIA FOR SHIP CLOSE COUPLED TOWING BY AN ICEBREAKER

A.A. Petrov, PhD, JSC CNIIMF, St. Petersburg, e-mail: Petrov25@cniimf.ru

V.G. Arutyunyan, FSBI NSR General Administration, Murmansk, e-mail: VIGArutyunyan@rosatom.ru

Close coupled towing is a very difficult marine operation. Insufficient attention to the issue of safety may lead to the temporary lay-up of the ship, financial losses, as well as serious logistical failures along the Northern Sea Route. The purpose of this study is to develop a unified approach to assessing the suitability of a ship for close coupled towing. The emphasis in the work is on ships in operation, the key problems of which are the limited time for any engineering studies, and also, often, the incompleteness of the initial data. As a result, the main safety criteria have been formulated, the verification of which, within the framework of a preliminary engineering analysis, will help shortly draw a reasonable conclusion about the suitability of the ship for close coupled towing or give appropriate recommendations for its modernization.

Keywords: towing ships in ice, notch towing, close coupled towing, safety criteria, icebreaker fender protection, Northern Sea Route, icebreaker

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Указом Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» грузопоток по трассам Северного морского пути (далее — СМП) к 2024 году должен составить 80 млн т в год. Несмотря на то, что количественно данный целевой показатель может быть пересмотрен в сторону уменьшения [1, 2], динамика грузопотока в ближнесрочной перспективе останется положительной [3]. При этом очевидно, что в пределах двух лет увеличение грузопотока только за счет новых судов невозможно, а значит необходимо привлекать к работе суда, эксплуатирующиеся в других регионах, что уже происходит последние 5 лет. На вторичном рынке грузовых судов существует дефицит судов высоких ледовых классов (выше **Arc6**), способных к круглогодичному самостоятельному плаванию по СМП; большинство доступных к приобретению судов построены по правилам иностранных классификационных обществ и, в лучшем случае, имеют балтийский ледовый класс **IA Super**, а чаще — **IA**. Плавание судов данного ледового класса в средних и тяжелых ледовых условиях в акватории СМП возможно только под проводкой ледокола [4], причем длительность этого ограничения, исходя из многолетнего опыта ледокольных проводок ФГБУ «Главсевморпуть», может составлять до 6 мес — с декабря по май. В соответствии с Правилами плавания по СМП [4, п. 30] тип проводки судов определяется Штабом морских операций в зависимости от ледовой и гидрометеорологической обстановки на конкретном маршруте, ледового класса и технических характеристик судов. Наиболее распространенным и широко применяемым на практике типом проводки судов классов **Arc4**, **Arc5**, **IA** и **IA Super** в средних и тяжелых ледовых условиях является буксировка «вплотную» («на усах») (см. рис. 1).



Рис. 1 Буксировка судна «на усах» АЛК «Таймыр» (фото: АО «ЦНИИМФ»)

Данный тип буксировки является весьма сложным с точки зрения обеспечения безопасности, поэтому в советское время грузовые суда, предназначенные для работы в Арктике, проектировались с учетом особенностей этой операции: совместимость носовых обводов судов с кормовым вырезом ледокола с учетом осадок ледокола и судна, усиление носовой части судна в месте контакта с кормовым вырезом ледокола, битенги и кнехты специальной конструкции с соответствующим усилением палубы, учет водоизмещения судна в грузу относительно ледокола (например, СА-15 типа «Норильск», суда типа «Дмитрий Донской»). Иностранные же суда конструктивно и технически для такой операции не предназначены, о чем свидетельствует рост числа инцидентов, связанных с повреждениями носовых оконечностей, буксирного оборудования и т.п. (информация ФГБУ «Главсевморпуть»). Каждый подобный инцидент приводит к необходимости внепланового ремонта, который не всегда может быть осуществлен на СМП, и, как следствие, к временному выводу судна из эксплуатации. Это, в свою очередь, помимо финансовых потерь, может привести к серьезным логистическим сбоям и снижению общего темпа грузоперевозок по СМП. Для решения этой проблемы предлагается выработать единый подход к оценке пригодности судна для буксировки «на усах». Иными словами, для каждого судна, ранее не проводимого данным методом, выполнять предварительный инженерный анализ, учитывающий минимальные и достаточные критерии безопасности буксировки «на усах», которые будут рассмотрены далее¹.

¹Все приводимые в настоящей статье критерии применимы для случая, когда водоизмещение буксируемого судна сопоставимо или меньше водоизмещения ледокола. В противном случае анализ возможности буксировки «на усах» должен охватывать более широкий круг вопросов, а часть приведенных здесь критериев могут быть пересмотрены. Как правило, подобный анализ включает компьютерное моделирование движения тандема, оценку погодных условий, разработку специальных инструкций для экипажей и т.д.

1. ФОРМА НОСОВОЙ ОКОНЕЧНОСТИ БУКСИРУЕМОГО СУДНА

Форма носовой оконечности — одна из самых важных характеристик судна, буксируемого «на усах», оказывающая существенное влияние на безопасность операции. Рассмотрению подлежат расстояние между носовой оконечностью судна и винто-рулевым комплексом (ВРК)/корпусом ледокола и зона контакта форштевня судна с кринолином ледокола.

1.1. Расстояние между носовой оконечностью судна и ВРК/корпусом ледокола должно быть таким, чтобы при всех предполагаемых в процессе буксировки осадках судна и ледокола была исключена возможность контакта подводной части корпуса судна с ВРК или корпусом ледокола. В первую очередь это актуально для судов с бульбообразной носовой оконечностью. На сегодняшний день в нормативной документации отсутствуют строгие и научно обоснованные ограничения этого расстояния, есть лишь рекомендации Руководства по применению Финско-шведских правил для судов ледового класса [5], в соответствии с которыми расстояние между корпусами судна и ледокола не должно быть менее 2,0 м при длине бульба не более 2,5 м (см. рис. 2).

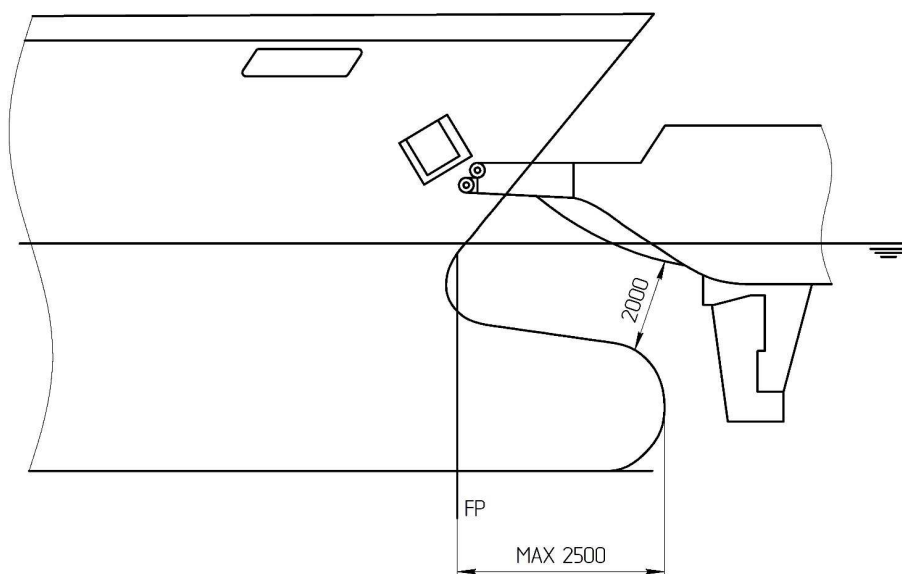


Рис. 2 Рекомендации [4] по минимальному расстоянию между корпусами судна и ледокола

По мнению сотрудников ФГБУ «Главсевморпуть» на данном этапе это расстояние вполне может быть использовано в качестве одного из критериев безопасности, однако со следующей оговоркой: поскольку ледовые условия Балтийского моря, для которого разрабатывалось Руководство [5], значительно легче, чем в арктических морях, необходимо дополнительно учесть последствия нестационарности движения тандема, вызванной, например, резким снижением хода (вплоть до остановки) при входе в гряды торосов. В таких случаях ледокол «набегает» на лед и наблюдается резкое увеличение дифферента на корму, а для судна — наоборот — возрастает дифферент на нос, в результате чего может произойти не только контакт между корпусами, но и между корпусом судна и ВРК ледокола, поэтому, в отличие от [5] необходимо нормировать это расстояние как минимальное между корпусом судна и корпусом / ВРК ледокола для всех возможных сочетаний осадок судна и ледокола. Ввиду описанной выше разницы между буксировкой в Балтийском море и арктических морях, можно предполагать, что величина 2,0 м уже назначена с неким запасом на непредвиденную ситуацию, однако для ее обоснованного учета предлагается отдельно выделять «неэксплуатационные» расчетные случаи и назначить для них минимальное расстояние 0,5 м.

1.2. Зона контакта носовой оконечности с кранцевой защитой ледокола должна обеспечивать надежное удержание форштевня в кринолине, не повреждая при этом элементы кранцевой защиты. На рис. 3 приведены примеры размещения в кринолине атомного ледокола (АЛК) проекта 22220 судов с различной остротой обводов.

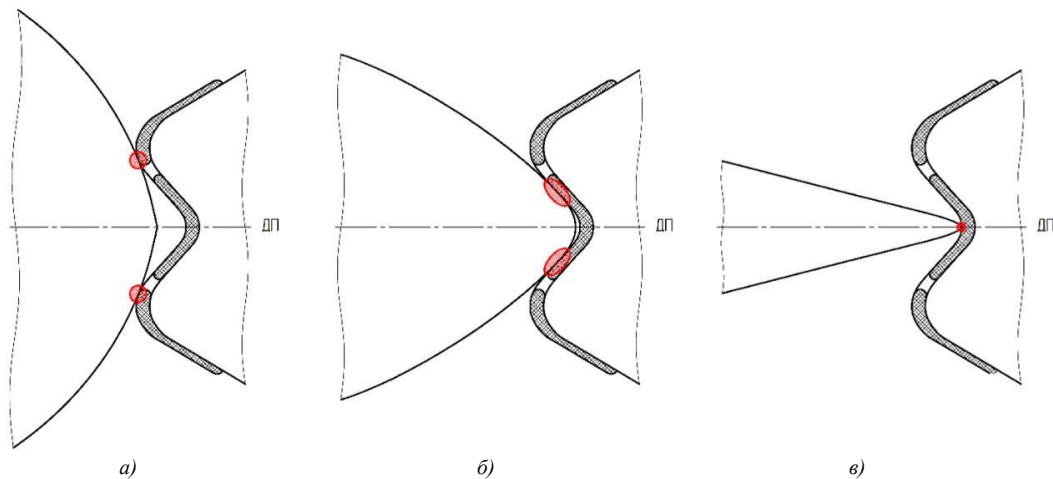


Рис. 3 Размещение судов с различной остротой обводов в кринолине АЛК проекта 22220.
Красным цветом обозначены зоны (пятна) контактов

Очевидно, что показанная на рис. 3а, зона контакта будет недостаточной для надежного удержания судна в кринолине при маневрировании, а на рис. 3в — угол притыкания носовой ветви ватерлинии к ДП слишком острым, способным повредить элементы крацевой защиты, поскольку все нагрузки на кринолин от буксируемого судна будут приходиться практически в точку. Рис. 3б, демонстрирует наилучшее сочетание формы носовой оконечности судна и кормового выреза ледокола. Таким образом, в качестве критерия безопасности может выступать диапазон углов α_0 , измеряемого на тех осадках, при которых предполагается буксировка

$$[\alpha_0^{\min}] \leq \alpha_0 \leq [\alpha_0^{\max}], \quad (1)$$

где α_0 — угол наклона расчетной ватерлинии, определяемый по аналогии с рис. 3.10.1.2.1-3 части II «Корпус» Правил классификации и постройки морских судов [6];

$[\alpha_0^{\min}]$ — минимальный допускаемый угол α_0 , менее которого возможно повреждение элементов крацевой защиты ледокола;

$[\alpha_0^{\max}]$ — максимальный допускаемый угол α_0 , более которого возникает вероятность выхода носовой оконечности судна из кринолина ледокола.

Численные значения углов $[\alpha_0^{\min}]$ и $[\alpha_0^{\max}]$ должны определяться в зависимости от фактической формы кринолина конкретного ледокола.

2. ПРОЧНОСТЬ НОСОВОЙ ОКОНЕЧНОСТИ В РАЙОНЕ СТЫКОВКИ С КРИНОЛИНОМ

Одним из частых и наиболее серьезных по тяжести последствий инцидентов, происходящих при буксировке «на усах», является повреждение носовой оконечности буксируемого судна (см. рис. 4).

Причины, приводящие к таким повреждениям, можно разделить на две группы: судоводительские и конструктивные. Нормирование первой группы затруднительно, особенно в постоянно меняющихся условиях арктической навигации, поэтому главным способом их предотвращения является «хорошая морская практика» — термин, хоть и не имеющий строгого определения, но широко применяющийся в судоходстве. Таким образом, основной и достижимой задачей при подготовке судна к буксировке «на усах» является предотвращение повреждений, вызванных недостаточной прочностью конструкций носовой оконечности. При решении этой задачи основной трудностью является корректное определение нагрузок, вызванных динамическим взаимодействием буксируемого судна и ледокола. В работе [7] выполнен обзор существующих методик определения этих нагрузок, в результате которого установлено, что для целей оперативных расчетов прочности судов в эксплуатации наиболее оптимальной является методика А.М. Купермана [8]. В соответствии с данной методикой, величина усилия, действующего на крацевую защиту ледокола, определяется следующим образом:

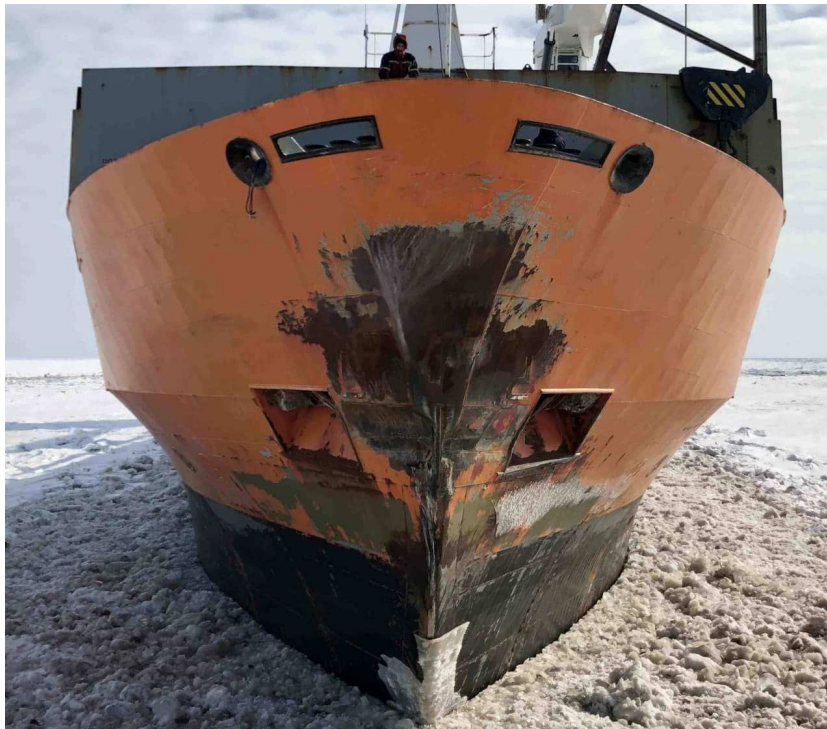


Рис. 4 Повреждение носовой оконечности судна в результате буксировки «на усах»
(фото: ФГБУ «Главсевморпуть»)

$$F = \ddot{x}m_2; \tag{2}$$

$$\ddot{x} = -1,31^3 \sqrt{(V_0 \sin \varphi / c)^2 \sigma_c \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi / m}; \tag{3}$$

$$c = \frac{\sin^2 \varphi}{1 + k_{11}} + \frac{\cos^2 \varphi}{1 + k_{33}} + \frac{\cos^2 \varphi}{0,28 \alpha_B (1 + k_{13})}, \tag{4}$$

где $m = m_1 + m_2$, m_1 , m_2 — массы ледокола и буксируемого судна соответственно;
 V_0 — скорость буксировки перед началом взаимодействия ледокола с торосом;
 φ , α — углы наклона форштевня и носовой ветви ватерлинии ледокола соответственно;
 σ_c — предел прочности льда на смятие;
 k_{11} , k_{33} , k_{13} — коэффициенты присоединенных масс воды;
 α_B — коэффициент полноты носовой ветви ватерлинии ледокола.

Поскольку формула (2) позволяет определить усилие, возникающее в кранцевом устройстве, для уточнения нагрузок, передаваемых на носовую оконечность буксируемого судна, необходимо ввести коэффициент, учитывающий демпфирующие свойства кранцевой защиты, а также привести сосредоточенную нагрузку к распределенной по площади контакта. Таким образом, окончательное выражение для определения нагрузки на носовую оконечность буксируемого судна $P_{СТ}$ (индекс СТ — от "close towing" — «буксировка вплотную») будет иметь вид

$$P_{СТ} = \gamma_f \frac{F}{A_{СТ}}, \tag{5}$$

где F — см. формулу (2);
 γ_f — демпфирующий коэффициент кранцевой защиты (индекс f — от "fender" — «кранец»), зависящий от материала кранцевой защиты и ее размеров;
 $A_{СТ}$ — площадь контакта носовой оконечности судна с кранцевой защитой.

Нагрузку, вычисленную по формуле (5), можно использовать в качестве расчетной при определении размеров конструкции носовой оконечности, обеспечивающих достаточную прочность. Для этих целей могут быть использованы зависимости раздела 1.6.4 части II «Корпус» [8], справочники по строительной механике корабля или прямые расчеты численными методами.

3. РАСПОЛОЖЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ ЯКОРНОГО УСТРОЙСТВА

По способу расположения якорей по-походному различают четыре типа носовых якорных устройств: с нормальными клюзами, с открытыми клюзами, с выступающими клюзами и с якорными нишами [9]. Для первых трех типов якоря в положении по-походному не должны создавать угрозу для кранцевой защиты ледокола, в том числе при маневрировании ледокола, когда изменение курса может достигать 20°. Рекомендуется нормировать минимальное расстояние от якоря до кранцевой защиты в зависимости от размеров якоря: не менее половины габаритной ширины якоря (в общем случае — расстояния между лапами). В противном случае на время буксировки якоря должны быть выбраны на палубу, при этом для судов с выступающими клюзами необходимо убедиться в достаточности их удаления от кранцевой защиты, а также в том, что они не будут препятствовать маневрированию ледокола и обеспечению разницы между курсовыми углами в 20°. Для судов с якорными нишами необходимо убедиться, что в положении по-походному якорь или выступающие элементы ниши не будут соприкасаться с кринолином ледокола.

4. РАСПОЛОЖЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ БУКСИРНО-ШВАРТОВНЫХ УСТРОЙСТВ

Недостаточное внимание к элементам буксирно-швартовных устройств судна может привести как к повреждениям непосредственно этих устройств (см. рис. 5), так и корпуса судна и ледокола, а при наихудшем сценарии — к травмам экипажа.



Рис. 5 Оторванные в результате буксировки «на усах» кнехты
(фото: ООО «Севнор Менеджмент»)

При буксировке «на усах» на буксируемом судне может быть использован как собственный буксирный строп, так и строп, подаваемый с ледокола. В первом случае разрывная нагрузка буксирного стропа и несущая способность буксирных кнехтов, как правило, согласованы, во втором — кнехты буксируемого судна должны соответствовать минимальному разрывному усилию буксирного стропа ледокола, которое может быть различным на ледоколах разных проектов.

Центральный клюз на судне должен быть на 0,5 м выше кормового клюза ледокола. В любом случае, при этом буксирная линия не должна касаться вертолетной площадки ледокола при всех возможных в процессе буксировки осадках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывает практика, в распоряжении судовладельцев не всегда есть запас времени, необходимый для выполнения углубленного инженерного анализа, и решение о выборе того или иного судна для работы на СМП может приниматься незадолго до самого рейса. Однако это обстоятельство не должно отрицательно влиять на безопасность ледокольной проводки судна, поскольку любые инциденты и внештатные ситуации способны привести как к локальным сбоям в транспортной системе СМП, так и к серьезным логистическим проблемам (например, когда ремонт требуется не проводимому судну, а ледоколу). Очевидно, что такие происшествия могут поставить под угрозу выполнение стратегических задач по увеличению грузопотока по СМП. Для предотвращения подобных ситуаций необходимо предварительно оценить пригодность судна к эксплуатации в Арктике. И если в целом такая оценка выполняется в рамках анализа соответствия судна требованиям Полярного кодекса и освидетельствования для выдачи Свидетельства судна полярного плавания, то одна из важнейших составляющих такой эксплуатации — буксировка судна вплотную за ледоколом — до настоящего времени оставалась без должного внимания. Предложенный в настоящей статье подход содержит необходимые и достаточные критерии безопасности буксировки судна вплотную за ледоколом и может быть реализован в короткие сроки. Предварительная оценка соответствия судна этим критериям может способствовать повышению эффективности выбора судов для работы на СМП и надежности планирования деятельности всех участников процесса грузоперевозок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трутнев допустил снижение целей по загрузке Севморпути из майского указа//Группа компаний «РосБизнесКонсалтинг»: официальный сайт. 21.07.2020. URL: <https://www.rbc.ru/business/21/07/2020/5f16b1059a794726d980f231> (дата обращения: 29.11.2021).
2. «Росатом» предложил снизить на 25 % прогноз по объему грузов в Арктике//Группа компаний «РосБизнесКонсалтинг»: официальный сайт. 10.09.2020. URL: <https://www.rbc.ru/business/10/09/2020/5f589b189a794752254570fb> (дата обращения: 29.11.2021).
3. Грузопоток по СМП в 2024 году может достичь 60 млн тонн//Информационное агентство ТАСС: официальный сайт. 11.02.2021 г. URL: <https://tass.ru/ekonomika/10677863> (дата обращения: 29.11.2021).
4. Постановление Правительства РФ № 1487 от 18.09.2020 «Об утверждении Правил плавания в акватории Северного морского пути»//ФГБУ «Главсевморпуть»: официальный сайт. URL: <https://nsr.rosatom.ru/ofitsialnaya-informatsiya/pravila-plavaniya-v-akvatorii-severnogo-morskogo-puti/> (дата обращения: 07.03.2023).
5. Guidelines for the Application of the 2017 Finnish-Swedish Ice Class Rules. Finnish Transport and Communication Agency & Swedish Transport Agency. — 2019. — 47 с.
6. Петров А.А. Анализ методик определения нагрузок на носовую оконечность судна, буксируемого вплотную за ледоколом/А. А. Петров, М.С. Шилкина//Труды Крыловского государственного научного центра. Спец. выпуск 1. 2022. — с. 11 — 17.
7. Куперман, А.М. Кранцевые устройства морских судов//А.М. Куперман. — Л.: Судостроение, 1973. — 128 с.
8. Правила классификации и постройки морских судов, в 17 частях. — СПб: Российский морской регистр судоходства, 2021.
9. Гурович, А.Н. Справочник по судовым устройствам/А.Н. Гурович, В.И. Асиновский, Б.Н. Лозгачев, Д.А. Гринберг: в 2 т. — Л.: Судостроение, 1975. — Т. 1: Рулевые, якорные и швартовные устройства. — 352 с.

REFERENCES

1. *Trutnev dopustil snizhenie tseley po zagruzke Sevmorputi iz mayskogo ukaza* [Trutnev allowed for the reduction of targets for loading the Northern Sea Route from the May decree]. Webpage: <https://www.rbc.ru/business/21/07/2020/5f16b1059a794726d980f231> (accessed on: 29.11.2021).
2. *"Rosatom" predlozhit snizit' na 25 % prognoz po ob'emu gruzov v Arktike* [Rosatom has proposed to reduce by 25% the forecast for the volume of cargo in the Arctic]. Webpage: <https://www.rbc.ru/business/10/09/2020/5f589b189a794752254570fb> (accessed on: 29.11.2021).
3. *Gruzopotok po SMP v 2024 godu mozhet dostich' 60 mln tonn* [Cargo traffic on the NSR in 2024 may reach 60 million tons]. Webpage: <https://tass.ru/ekonomika/10677863> (accessed on: 29.11.2021).
4. *Postanovlenie Pravitelstva RF № 1487 ot 18.09.2020 "Ob utverzhdenii Pravil plavaniya v akvatorii Severnogo morskogo puti"* [Decree of the RF Government No. 1487 dated 18.09.2020 "On approval of the Rules of navigation in the Northern Sea Route area"]/ФГБУ "Главсевморпуть" official webpage: <https://nsr.rosatom.ru/ofitsialnaya-informatsiya/pravila-plavaniya-v-akvatorii-severnogo-morskogo-puti/> (accessed on: 07.03.2023).
5. Guidelines for the Application of the 2017 Finnish-Swedish Ice Class Rules. Finnish Transport and Communication Agency & Swedish Transport Agency. — 2019. — 47 p.
6. Petrov A.A., Shilkina M.S. *Analiz metodik opredeleniya nagruzok na nosovuyu okonechnost sudna, buksiruemogo vplotnuyu za ledokolom* [Analysis of methods for determining loads on the bow end of a vessel towed close behind an icebreaker]. Transactions of the Krylov State Research Centre. Spec.issue 1, 2022, pp. 11 — 17.
7. Kuperman, A.M. *Krantsevyye ustroystva morskikh sudov* [Fender devices of marine vessels]. Leningrad, Sudostroenie, 1973. 128 p.
8. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships, in 17 parts. Russian Maritime Register of Shipping, 2022. (In Russian)
9. Gurovich A.N., Asinovskiy V.I., Lozgachev B.N., Grinberg D.A. *Spravochnik po sudovym ustroystvam* [Guide of ship equipment]. Leningrad. Sudostroenie, 1975, Pt. 1, 352 p.