ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

УДК 629.5.023.242
EDN: KDBOGK

М.В. Китаев[1], О.Э. Суров[1], В.А. Кулеш[2], И.А. Новосельцев[2]
[1] ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», Владивосток, Россия
[2] ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕДОВОГО ПОЯСА СУДОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Объект и цель научной работы. Объектом являются суда ледового плавания. Цели исследования – развитие и совершенствование методов и моделей прогнозирования изменения технического состояния наружной обшивки и ледового пояса морских судов с течением времени.
Материалы и методы. Предлагаемые подходы апробированы на реальных данных, полученных в результате обработки актов замеров остаточных толщин и деформаций судов ледовых классов, эксплуатирующихся в Дальневосточном морском бассейне.
Основные результаты. Рассмотрены модели прогнозирования изменения толщины наружной обшивки морских судов с течением времени. Показаны преимущества и недостатки линейных и нелинейных подходов, а также влияние объемов исходной информации на качество и характер прогнозов.
Заключение. Выполненное исследование показало, что применение нелинейных зависимостей позволяет с достаточной для практических целей точностью прогнозировать изменение технического состояния наружной обшивки и ледового пояса судов в эксплуатации, что дает возможность планировать виды, объемы и сроки выполняемых ремонтных работ.
Ключевые слова: суда ледового плавания, техническое состояние, коррозионный износ, корпус судна.
Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

SHIP DESIGN AND STRUCTURE

UDC 629.5.023.242
EDN: KDBOGK

M.V. Kitaev[1], O.E. Surov[1], V.A. Kulesh[2], I.A. Novoseltsev[2]
[1] Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
[2] Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

FORECASTING THE TECHNICAL CONDITION OF ICE BELT OF SHIPS IN SERVICE

Object and purpose of research. The object is ice navigation vessels. The purpose of the study is to develop and improve the methods and models for predicting changes in the technical condition of hull shall plates and ice belt of ships over the time.
Materials and methods. The proposed theoretical approaches have been tested on real data obtained from the acts of residual thicknesses and deformations measurement of ice-class vessels operating in the Far Eastern Marine Basin.
Main results. The models for prediction of hull shall plates thickness changes over time are considered. The advantages and disadvantages of linear and nonlinear approaches are shown, as well as the impact of initial information volume on the quality and nature of forecasts.
Conclusion. The study results are showed that the nonlinear analytical dependencies allow to predict the changes in technical condition of ice belt areas of ships in service with sufficient accuracy for the practical purposes. This approach allows to make the plans, estimate the time and volumes of repair works.
Keywords: ice navigation vessels, technical condition, corrosion wear, ship's hull.
The authors declare no conflicts of interest.

Для цитирования: Китаев М.В., Суров О.Э., Кулеш В.А., Новосельцев И.А. Прогнозирование технического состояния ледового пояса судов в эксплуатации. Труды Крыловского государственного научного центра. 2025; 1(411): 63–70.
For citations: Kitaev M.V., Surov O.E., Kulesh V.A., Novoseltsev I.A. Forecasting the technical condition of ice belt of ships in service. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2025; 1(411): 63–70 (in Russian).

Введение
Introduction

В последние годы вопрос обновления и пополнения отечественного флота становится все более актуальным. Бóльшая часть судов, находящихся в эксплуатации, морально и физически устарела, а действующие судостроительные предприятия не укладываются в ранее обозначенные сроки ввиду проблем, обусловленных санкционной политикой Запада, и, как следствие, сложностей с поставкой отдельных видов комплектующих и оборудования [3, 14].

Необходимость поддержания флота в работоспособном состоянии определяет ряд новых задач в области проектирования, обслуживания и эксплуатации судов, ориентированных на мониторинг и прогнозирование изменения их технического состояния с течением времени [1, 4, 6, 9]. Особое значение имеет техническое состояние корпуса: в большинстве случаев именно это определяет продолжительность срока службы судна в целом. Следует отметить, что закономерности старения и физического износа корпусов к настоящему времени недостаточно изучены, а процедуры оценки технического состояния и ремонта судов требуют существенных материальных и временных затрат [5, 6, 8].

Осуществлять прогнозирование технического состояния невозможно без анализа и обобщения практического опыта эксплуатации судов. Методики прогнозирования технического состояния должны быть относительно простыми и понятными как для проектантов, так и для судовладельцев и в то же время основываться и подтверждаться реальным опытом эксплуатации.

В зависимости от типа и назначения судна, а также применяемой системы защиты корпуса с течением времени возможны как убывающий, так и нарастающий характер изменения скоростей износа. Практический опыт говорит, что скорости износа не являются стабильными и могут как увеличиваться, так и уменьшаться [7, 13]. Однако даже во втором случае в большей части районов корпуса в ледовом поясе со временем наблюдается нарастание скоростей износа, несмотря на применение ледостойких и антикоррозионных защитных покрытий, в период сохранности которых износ отсутствует.

Большая часть судов, эксплуатирующихся в Дальневосточном морском бассейне, имеет ледовый класс. Таким образом, настоящее исследование целесообразно построить на разработке и верификации моделей износа листов наружной обшивки, расположенных в районе переменных ватерлиний и ледового пояса как наиболее подверженных воздействиям со стороны внешней среды [7, 14]. Анализ повреждений судов ледовых классов показывает, что одной из причин, приводящих к повреждениям, является сочетание интенсивного износа наружной обшивки и пиковых значений ледовых нагрузок [2, 10, 11, 13], что говорит о важности мониторинга технического состояния корпусов судов в эксплуатации.

Указанный мониторинг представляет собой процесс периодической регистрации, сбора, хранения, анализа и оценки информации об изменении состояния судовых корпусных конструкций по определенным показателям с целью прогнозирования динамики и закономерностей их изменения с течением времени. Правилами Российского морского регистра судоходства (РМРС) установлена система освидетельствований судов в эксплуатации с целью периодической оценки их технического состояния и определения видов и объемов ремонтных работ [5].

Модельные представления
Model description

Учет фактора времени в моделях прогнозирования технического состояния ледового пояса судов в эксплуатации позволяет на основе результатов дефектаций (актов оценки технического состояния) определить наиболее подверженные повреждениям и износу участки наружной обшивки и конструкции корпуса. В данном случае при разработке моделей возникает вопрос о способе учета фактора времени с привязкой к результатам предыдущих оценок технического состояния корпусных конструкций.

Характер изменения износа листов наружной обшивки с учетом применения защитных покрытий в функции от срока службы судна в общем виде показан на рис. 1 (кривая *A*). Будем полагать, что характер кривой износа после нарушения целостности защитного покрытия не связан с долговечностью последнего, в результате этого влияние различных по стойкости покрытий будет отражаться на смещении кривой износа вдоль оси времени в правую сторону [10, 14].

На рис. 1 точки *1–4* характеризуют этапы развития дефектов с течением времени:

- 0–*1* – отсутствие условий для появления и развития дефектов;
- *1–2–3* – интенсивное развитие дефектов;
- *3–4* – стабилизация процессов развития дефектов.

Кривая *A* характеризует изменение дефектов (износов) во времени. Точка *1* на кривой *A* определяет период стойкости защитных покрытий (T_P),

который зависит как от свойств и качеств самого покрытия, так и от сложности условий, в которых эксплуатируются суда. После периода отсутствия износа (T_P) следует период увеличения скоростей износа.

Положение точки *1* на оси времени можно принять равным значению 5 лет, что обусловлено необходимостью выполнения выборочных замеров толщин по Правилам РМРС через 5 лет с момента сдачи судна в эксплуатацию. Кроме того, в работе [7] показано, что для ледоколов стойкость покрытий составляет до 2 лет, для судов арктических классов – 2,5–5 лет, а для прочих судов – 5 и более лет.

Положение точки *3* определяется как пересечение касательной (линии *C*), проведенной из начала координат к кривой *A*, которая характеризует изменение дефектов во времени. Функция деления данной точкой процесса на два периода развития дефектов может оставаться невостребованной на практике. При необходимости позиционирования данной точки (точка *3*) можно взять за основу значения среднегодовых уменьшений толщин связей, отраженных в действующей редакции Правил РМРС [12]. В этом случае значения скоростей износа будут определять наибольший угол наклона для касательной линии *C*.

Оперирование мгновенными значениями фактических скоростей коррозии практически невозможно. Однако, если опираться на статистические данные, то для оценки интенсивности износа наружной обшивки можно использовать среднегодовое уменьшение толщины (u_i – скорость износа), определенное на основе результатов замеров – текущих и выполненных в прошедшие периоды эксплуатации судна. Как правило, периодичность сбора и анализа результатов замеров совпадает с периодами освидетельствования судов T_1, T_2, T_3, осуществляемых с интервалами по времени, равными ΔT. Для выбранного сценария статистика будет предлагать широкий диапазон изменения скоростей износа в интервале от 0 до некоторого максимального значения в момент времени T_2.

На практике сам факт касания *A* и *C* не является очевидным для каждой отдельной связи и даже для совокупности – группы однородных связей, расположенных в одном районе корпуса и в примерно равных условиях эксплуатации.

Точка *2* характеризует результаты замеров остаточных толщин элемента конструкции в некотором возрасте. Это значение можно использовать для оценки скорости износа и ее учета при определенных соотношениях со значениями, приведенными

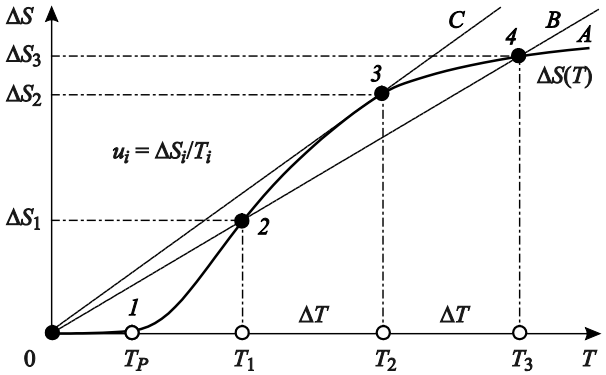

Рис. 1. Кривая изменения износа с течением времени
Fig. 1. The curve of average annual reduction in thickness

в Правилах РМРС. На практике часто встречается ситуация, когда при мониторинге точка *2* является единственной документально зафиксированной в отчете о замерах или информации о зонах значительной коррозии отдельных элементов судовых корпусных конструкций.

Если точку *2* использовать для линейного прогноза (прямая *B* на рис. 1), то получим заниженные значения прогнозируемых износов в области среднесрочного прогноза (ошибка в опасную сторону – область *2–3–4–2*).

При попытке линейного прогноза скоростей коррозии с использованием точек *1–2* велика вероятность значительного завышения ожидаемых результатов, особенно на стадии стационарного развития дефекта при значительном возрасте рассматриваемой конструкции.

Исходя из вышесказанного, рассмотрим задачу прогнозирования изменения износа в нелинейной постановке при минимальном количестве исходной информации – одна точка. Для этого запишем выражение для кривой *A* в следующем виде:

$$P_D = a \cdot (T_Z - T_P)^b, \quad (1)$$

где P_D – параметр дефекта (в данном случае характеризует износ ΔS в мм); T_Z – возраст судна на момент проведения замеров остаточных толщин; T_P – период сохранности ледостойкого лакокрасочного покрытия; a, b – аппроксимирующие коэффициенты.

Формулу (1) можно представить в компактном виде:

$$y = a \cdot x^b, \quad (2)$$

где $y = P_D$; $x = T_Z - T_P$ – период развития дефекта на момент осуществления замеров остаточных толщин.

Дополнительные требования к рассматриваемой модели следующие:

$T_Z > T_P$ и $0 < b < 1$. (3)

Если данные по предыдущим замерам остаточных толщин отсутствуют или для случая первой дефектации характерно наличие только одной точки для рассматриваемой конструкции, тогда значение коэффициента b рекомендуется принять равным среднему значению 0,5.

Рассмотрим возможные сценарии эксплуатации судна:

1. наружная обшивка не защищена специальным ледостойким защитным покрытием ($T_p = 0$), удовлетворяющим требованиям Правил РМРС [12];
2. наружная обшивка защищена специальным ледостойким защитным покрытием ($T_p \neq 0$).

Тогда для первого сценария значение коэффициента a в формуле (2) выразим следующим образом:

$$a = y_1/x_1^{\,b}, \quad (4)$$

где индекс 1 относится к первой (или единственной) дефектации связи.

На рис. 2 приведены примеры использования линейного и нелинейного подходов к прогнозированию изменения параметров дефектов во времени.

При использовании данных одной дефектации (рис. 2*а*, точка *1*) к сроку службы судна, равному

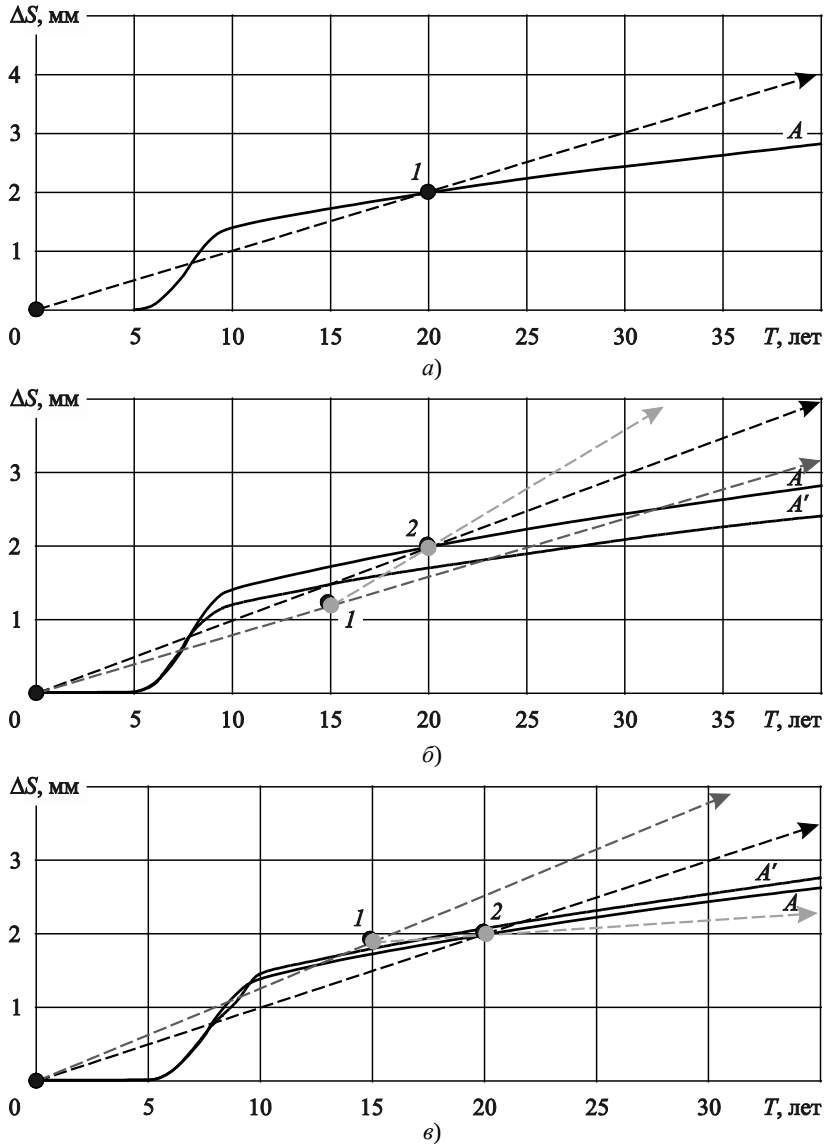

Рис. 2. Прогнозирование развития дефекта при наличии одной (*а*), двух (*б*, *в*) точек и разные сценарии линейных прогнозов

Fig. 2. Prediction of defect development for one (*a*), two (*b*, *c*) points and different scenarios of linear forecasts

40 годам, линейный прогноз дает дополнительное приращение параметра дефекта на 2 единицы, что практически в 2 раза больше значения, получаемого при нелинейном прогнозе (кривая *A*).

Ситуация, когда для конкретного судна и связи к определенному моменту времени имеются результаты предыдущих дефектаций, позволяет получить дополнительные точки для построения нелинейной кривой износа.

Рассмотрим вариант, при котором имеются результаты двух дефектаций (рис. 2*б*). В таком случае получаем следующую формулу для вычисления значения неизвестного коэффициента:

$$a = 0,5 \cdot \left(\frac{y_1}{x_1^b} + \frac{y_2}{x_2^b} \right), \quad (5)$$

где 1, 2 – индексы, соответствуют замерам, полученным по двум дефектациям.

Как видно из рис. 2*б*, учет результатов двух последовательных дефектаций (возраст судна равен 15 и 20 годам соответственно) приводит к уточнению прогнозируемых значений износа (кривая *A′*) по отношению к исходной кривой *A*. Здесь же показаны 3 варианта линейного прогноза. Как видно из вышеприведенных графиков, для будущих периодов времени использование линейных зависимостей преимущественно приводит к завышению прогнозируемых параметров дефектов.

На точность результатов дефектаций, кроме погрешностей замеров из-за приборов или интенсивности зачистки пятаков, существенно влияет человеческий фактор, особенно при «входе» дефектов в зоны значительной коррозии и близости к нормативному ограничению. В таких случаях вероятным становится сценарий практического повтора данных двух дефектаций и опасности ложного вывода о практическом прекращении роста параметра дефекта.

Пример такого сценария показан на рис. 2*в* при координатах точек *1, 2* равных (15; 1,9) и (20; 2,0) соответственно; отличие параметра дефекта составляет всего 0,1, или 5 % от величины дефекта. Видно, что дополнительное использование результатов предыдущей дефектации в 15 лет ведет к увеличению параметров прогнозируемого дефекта: кривая *A′* выше кривой *A*. Такое увеличение значений в определенной степени компенсирует негативное влияние человеческого фактора. Спектр линейных прогнозов в таких случаях существенно расширяется, и разброс может достигать значительно больших значений на фоне сравнительно стабильного нелинейного прогноза.

Для прогноза по данным трех и более дефектаций формула (5) принимает следующий вид:

$$a = \frac{1}{n} \left(\sum\nolimits_{i=1}^{n} \frac{y_i}{x_i^b} \right), \quad (6)$$

где i – порядковый номер рассматриваемой дефектации, $i = 1, \ldots, n$.

Дополнительные данные дефектаций можно использовать не только для уточнения значений коэффициента *a*, но и для корректировки показателя степени в формуле (2) при соблюдении условия (3). К недостаткам зависимостей (1)–(6) можно отнести сложность определения на практике стойкости и степени повреждения ледостойких защитных покрытий различных типов (относящихся к классу 1 или 2 по классификации РМРС) в процессе эксплуатации судов в ледовых условиях. До момента накопления такой информации предлагается использовать подход, который позволяет учесть существующий опыт эксплуатации судов различных ледовых классов в Дальневосточном морском бассейне.

Далее рассмотрим второй сценарий, когда наружная обшивка защищена специальным ледостойким покрытием, а судно имеет ледовый класс по классификации РМРС [12]. В работе [7] проанализированы результаты замеров остаточных толщин судов ледовых классов Ice 1 – Arc 4 и установлено, что износ наружной обшивки для носового и среднего районов ледовых усилений значительно растет вплоть до возраста судна, равного 16–18 годам. После этого периода наблюдается снижение значений скорости износа почти в 2 раза, что обусловлено ремонтами и заменой листов наружной обшивки. При этом в кормовой оконечности наблюдается равномерный износ обшивки ледового пояса.

За основу для анализа изменения износа наружной обшивки приняты результаты обработки замеров остаточных толщин судов ледовых классов Ice 1 – Arc 4, собранные и обобщенные в базе данных DEFHULL [9] с учетом опыта их эксплуатации в Дальневосточном бассейне (табл. 1).

Для учета стойкости защитных покрытий формула (2) должна быть дополнена свободным членом. В качестве примера, иллюстрирующего возможность применения нелинейной модели для прогнозирования технического состояния ледового пояса судов в эксплуатации, на рис. 3 показаны результаты аппроксимации реальных данных (среднегодовой износ наружной обшивки в носовой

Таблица 1. Сводные данные по количеству проанализированной статистической информации, собранной в базе данных DEFHULL

Table 1. Summary data on the amount of analyzed statistical information collected in the DEFHULL database

Ледовый класс судна	Кол-во судов, шт.					Кол-во листов по наружной обшивке	Кол-во замеров	Среднее кол-во замеров на одном листе
	Сухогрузные	Наливные	Рыболовные	Буксиры	Всего судов			
Ice 1	9	3	12	0	24	1275	4205	3,3
Ice 2	38	13	109	9	169	15 283	69 302	4,5
Ice 3	19	8	47	1	75	7212	32 896	4,6
Arc 4	30	6	6	1	43	7920	35 477	4,5
ВСЕГО	96	30	174	11	311	31 690	141 880	4,2

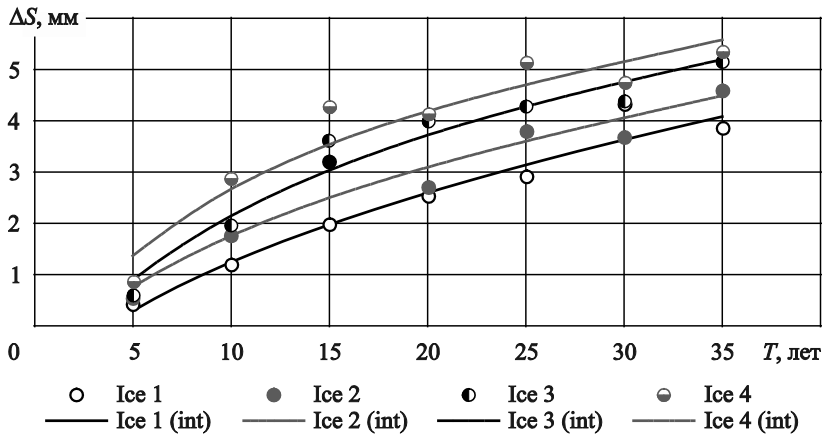

Рис. 3. Прогнозирование износов листов наружной обшивки в носовом районе ледового пояса для судов классов Ice 1 – Arc 4

Fig. 3. Forecast of average reduction of hull plates thickness in bow area of the ice belt for Ice 1 – Arc 4 class vessels

оконечности) аналитической зависимостью следующего вида:

$$y = a \cdot x^b - c, \quad (7)$$

где a, b, c – числовые коэффициенты, значения которых для судов разных ледовых классов (Ice 1 – Arc 4) определены с помощью метода наименьших квадратов и приведены в табл. 2.

Из представленных ниже графиков видно, что зависимость (7) с достаточной для практических целей точностью позволяет прогнозировать изменение значений толщин листов наружной обшивки в районе ледового пояса, т.е. планировать сроки и объемы ремонтных работ.

Заключение

Conclusion

Главные цели прогноза изменения технического состояния – это планирование ремонта или приме-

Таблица 2. Результаты аппроксимации

Table 2. Approximation results

Ледовый класс судна	Числовые значения			
	a	b	c	R^2
Ice 1	1,029	0,503	2,01	0,94
Ice 2	1,543	0,413	3,29	0,92
Ice 3	3,419	0,296	4,60	0,95
Arc 4	5,915	0,211	6,92	0,91

нение альтернативных решений, касающихся защиты наружной обшивки корпуса судна.

На результаты прогноза изменения технического состояния влияют наличие и стойкость защитного покрытия корпуса. В работе рассмотрены 2 подхода (сценария) к прогнозированию изменения технического состояния ледового пояса судов, находящихся в эксплуатации, с учетом наличия специального ледостойкого защитного покрытия и без него.

Предложены аналитические зависимости для прогнозирования износов (технического состояния), которые могут быть использованы судовладельцами для планирования объемов ремонта и оценки целесообразности применения защитных покрытий. Числовые коэффициенты в предлагаемых зависимостях получены на основе обработки результатов замеров остаточных толщин более 310 судов различных классов и назначения, что позволяет с достаточной для практических целей точностью прогнозировать финансовые затраты. На основе такого прогноза судовладелец может принять решение, касающееся целесообразности выполнения ремонта, или допустить применение эксплуатационных ограничений к судну – например, снижение ледового класса.

Статья подготовлена согласно тематическому плану прикладных научных исследований, проводимых в 2024 г. федеральными государственными бюджетными образовательными учреждениями высшего образования, подведомственными Росрыболовству, в рамках государственного задания на выполнение государственных работ (НИР № 824/2024 «Оценка влияния формы корпуса и распределения груза на качку, волновые изгибающие моменты и продольную прочность морских судов»).

Список использованной литературы

1. *Баскакова Е.В., Кочегаров В.П.* Мониторинг технического состояния корпусов морских судов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2015. № 38/39. С. 56–61.
2. *Бурнашева Н.В., Кудрин М.А.* Влияние коррозионного износа на прочность корпусных конструкций морских судов // Труды Крыловского государственного научного центра. 2020. Вып. 4(394). С. 76–81. DOI: 10.24937/2542-2324-2020-4-394-76-81.
3. *Голосов А.И.* Развитие судостроения и проблемы отраслевого технологического суверенитета // Судостроение. 2023. № 2(867). С. 3–11.
4. *Емельянов М.Д.* Система компьютерного мониторинга технического состояния морских судов с оценкой рисков // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2009. № 32. С. 23–43.
5. Инструкция по определению технического состояния, обновлению и ремонту корпусов морских судов // Приложения к Правилам классификационных освидетельствований судов в эксплуатации : НД № 2-020101-012. Санкт-Петербург : Рос. морской регистр судоходства, 2024. Прил. 2. С. 22–151.
6. *Кашина В.В., Бурмистров Е.Г.* Причины возникновения труднопрогнозируемых дефектов и их учет при планировании объемов ремонта корпусов судов // Транспорт. Горизонты развития : Труды 2-го Международного научно-промышленного форума. Нижний Новгород : ВГУВТ, 2022. С. 83 (с. 1–6).
7. Разработка предложений к назначению надбавок на износ наружной обшивки судов ледовых классов и ледоколов / *М.В. Китаев, В.А. Компанец, В.А. Кулеш, О.Э. Суров* // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2018. № 52/53. С. 35–46.
8. *Красюк А.Б., Чистов В.Б.* Методологические основы дефектации стальных корпусов судов // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2013. № 3. С. 87–93.
9. *Кулеш В.А., Суров О.Э., Житников А.В.* Система DEFHULL – инновационная технология управления технической эксплуатацией флота // Вестник Дальневосточного гос. техн. ун-та. 2010. № 3(5). С. 23–34.
10. *Кулеш В.А.* Надбавка коррозионного износа на коррозийный износ наружной обшивки судов для работы во льдах // Морские интеллектуальные технологии. 2017. № 3, т. 2(37). С. 52–57.
11. *Петрова Н.Е.* Изменение технического состояния корпуса судна в процессе эксплуатации // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2009. Т. 12, № 1. С. 39–41.
12. Правила классификации и постройки морских судов : НД № 2-020101-174. Ч. II : Корпус. Санкт-Петербург : Российский морской регистр судоходства, 2024. 335 с.
13. *Притыкин А.И.* Коррозионный износ и его влияние на напряженное состояние наружной обшивки корпусов судов // Морские интеллектуальные технологии. 2017. № 4, т. 2(38). С. 34–38.
14. Исследование среднегодового уменьшения толщин наружной обшивки рыболовных судов ледового плавания / *О.Э. Суров, М.В. Китаев, Е.Е. Петрова, Н.Р. Дмитриева* // Судостроение. 2024. № 4(875). С. 71–81.

References

1. *Baskakova E.V., Kochegarov V.P.* Monitoring of the technical condition of ship’s hulls // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. 2015. No. 38/39. P. 56–61 (*in Russian*).

2. *Burnasheva N.V., Kudrin M.A.* Influence of corrosive wear on hull strength of sea-going ships // Transactions of the Krylov State Research Centre. 2020. Vol. 4(394). P. 76–81. DOI: 10.24937/2542-2324-2020-4-394-76-81 (*in Russian*).
3. *Golosov A.I.* Development of shipbuilding and problems of industrial technological sovereignty // Sudostroenie (Shipbuilding). 2023. No. 2(867). P. 3–11 (*in Russian*).
4. *Yemelyanov M.D.* The system of computer monitoring of the technical condition of ships with risk assessment // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. 2009. No. 32. P. 23–43 (*in Russian*).
5. Instructions for determining the technical condition, updating and repairing of ships hulls // Rules for the classification surveys of ships in service. Annexes. ND No. 2-020101-012. St. Petersburg : RMRS, 2024. Annex 2. P. 22–151 (*in Russian*).
6. *Kashina V.V., Burmistrov E.G.* The causes of difficult-to-predict defects and their consideration when planning the volume of repair of ship hulls // Transport. Horizons of development: Proceedings of the 2nd International Scientific and Industrial Forum. Nizhny Novgorod : Volga State University of Water Transport, 2022. P. 83 (p. 1–6) (*in Russian*).
7. Development of proposals for wear values of the shell plating of ice class ships and icebreakers / *M.V. Kitaev, V.A. Companets, V.A. Kulesh, O.E. Surov* // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. 2018. No. 52/53. P. 35–46 (*in Russian*).
8. *Krasyuk A.B., Chistov V.B.* Methodological foundations of defection of steel hulls of ships // Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet. 2013. No. 3. P. 87–93 (*in Russian*).
9. *Kulesh V.A., Surov O.E., Zhitnikov A.V.* System DEFHULL, innovative management technology of fleet technical operation // Bulletin of the Far Eastern State Technical University. 2010. No. 3(5). P. 23–34 (*in Russian*).
10. *Kulesh V.A.* Allowance for corrosion wear on the corrosive wear of the outer skin of ships for working in ice // Marine Intellectual Technologies. 2017. No. 3, vol. 2(37). P. 52–57 (*in Russian*).
11. *Petrova N.E.* Changing the technical condition of the hull during operation // Bulletin of the Murmansk State Technical University. Proceedings of the Murmansk State Technical University. 2009. No. 1, vol. 12. P. 39–41 (*in Russian*).
12. Rules for the classification and construction of sea-going ships : ND No. 2-020101-174. Part II : Hull. St. Petersburg : Russian Maritime Register of Shipping, 2024. 335 p. (*in Russian*).
13. *Pritikin A.I.* Corrosion wear and tear and its influence on stress state of shell plating of the ship hulls // Marine intellectual technologies. 2017. No. 4, vol. 2(38). P. 34–38 (*in Russian*).
14. Investigation of the average annual decrease in the thickness of the outer skin of fishing vessels of ice navigation / *O.E. Surov, M.V. Kitaev, E.E. Petrova, N.R. Dmitrieva* // Sudostroenie (Shipbuilding). 2024. No. 4(875). P. 71–81 (*in Russian*).

Сведения об авторах

Китаев Максим Владимирович, к.т.н., Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. Адрес: 690087, Россия, Приморский край, г. Владивосток, Луговая ул., д. 52б. E-mail: maxkit@mail.ru. https://orcid.org/0000-0001-5345-6333.

Суров Олег Эдуардович, к.т.н., Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. Адрес: 690087, Россия, Приморский край, г. Владивосток, Луговая ул., д. 52б. E-mail: surov-oe@rambler.ru. https://orcid.org/0000-0002-8914-5059.

Кулеш Виктор Анатольевич, д.т.н., Дальневосточный федеральный университет. Адрес: 690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10. E-mail: vkulesh@mail.ru.

Новосельцев Игорь Александрович, аспирант, Дальневосточный федеральный университет. Адрес: 690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10. E-mail: novoseltcev.ia@dvfu.ru. https://orcid.org/0009-0009-5014-2684.

About the authors

Maksim V. Kitaev, Cand. Sci. (Eng.), Far Eastern State Technical Fisheries University. Address: 52b, Lugovaya st., Vladivostok, Russia, post code 690087. E-mail: maxkit@mail.ru. https://orcid.org/0000-0001-5345-6333.

Oleg E. Surov, Cand. Sci. (Eng.), Far Eastern State Technical Fisheries University. Address: 52b, Lugovaya st., Vladivostok, Russia, post code 690087. E-mail: surov-oe@rambler.ru. https://orcid.org/0000-0002-8914-5059.

Viktor A. Kulesh, Dr. Sci. (Eng.), Far Eastern Federal University. Address: 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Primorski krai, Russia, post code 690922. E-mail: vkulesh@mail.ru.

Igor A. Novoseltsev, PhD student, Far Eastern Federal University. Address: 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Primorski krai, Russia, post code 690922. E-mail: novoseltcev.ia@dvfu.ru. https://orcid.org/0009-0009-5014-2684.

Поступила / Received: 24.10.24
Принята в печать / Accepted: 06.02.25