

Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 66, № 4. С. 144–152.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2023. Vol. 66, no 4. P. 144–152.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ
(ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Научная статья

УДК 656.085

DOI: <https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2023-66-18>

К вопросу деградации корпуса судна в результате коррозии

Виталий Витальевич Ганнесен¹, Екатерина Евгеньевна Петрова²

^{1, 2} Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

¹ gannesen.vv@dgtru.ru

² pillers@mail.ru

Аннотация. Значительная доля аварий на флоте происходит из-за износа, повреждений, дефектов корпусной части судна. В мировой практике эксплуатации крупнотоннажных судов систематически наблюдаются поломки гребных валов, повреждения обшивки бортов, трубопроводов, топливных танков, элементов энергетических установок и других конструкций. Коррозионные разрушения являются одним из наиболее важных явлений структурной деградации стареющих судов и приводят к снижению прочности судовых конструкций при всех видах напряжений в течение срока службы. В то же время деградация корпуса происходит не равномерно, и не всегда возможно выявить признаки усталости металла, скрытые дефекты, а также другие показатели неявной угрозы безопасности судна.

Ключевые слова: коррозия, деградация корпуса судна, срок эксплуатации судна

Для цитирования: Ганнесен В.В., Петрова Е.Е. К вопросу деградации корпуса судна в результате коррозии // Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 66, № 4. С. 144–152.

MARINE POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS
(MAIN AND AUXILIARY)

Original article

DOI: <https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2023-66-18>

On the issue of degradation of the hull as a result of corrosion

Vitalii V. Gannesen¹, Ekaterina E. Petrova²

^{1, 2} Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

¹ gannesen.vv@dgtru.ru

² pillers@mail.ru

Abstract. A significant part of the marine accidents is caused by wear, damage, and defects of the ship hull. In the world practice of operation of large-capacity ships breakages of propeller shafts, damage of side cladding, pipelines, fuel tanks, power plants and other facilities are systematically observed. Corrosion is one of the most important structural degradation of old ships that decreases strength of ship structures under all types of stresses during their life. At the same time, the hull degradation does not occur evenly, and it is not always possible to identify signs of metal fatigue, hidden defects, as well as other indicators of an implicit threat to the safety of the ship.

Keywords: corrosion, ship hull degradation, ship life

For citation: Gannesen V.V., Petrova E.E. On the issue of degradation of the hull as a result of corrosion. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2023; 66(4):144–152. (in Russ.).

Введение

Аварии на море за последние несколько десятилетий вызвали глобальную обеспокоенность по поводу безопасности из-за воздействия загрязнения, которое они оказывают на хрупкую экологическую систему, а также гибели людей и груза. В настоящее время суда и их оборудование строятся с учетом строгих стандартов безопасности [1] и предотвращения загрязнения, проходят детальные проверки во время строительства и эксплуатации, курсируют по морским путям с соблюдением правил, регулирующих их использование, и, наконец, укомплектованы хорошо обученным и квалифицированным экипажем.

Основным материалом корпусов современных морских судов, как правило, является судостроительная сталь или металлические сплавы. Кроме того, основные судовые механизмы, устройства и системы также изготавливаются из металла. Эксплуатация таких объектов в условиях морской среды неизбежно связана с активным протеканием процессов коррозии, которая наносит непоправимый вред. В мировой практике эксплуатации крупнотоннажных судов систематически наблюдаются поломки гребных валов, повреждения обшивки бортов, трубопроводов, топливных танков, элементов энергетических установок и других конструкций [2, 3]. При этом, как отмечают специалисты, экономический ущерб от морской коррозии металлов складывается из стоимости утраченных гидротехнических объектов, затрат на их ремонт и восстановление, убытков от простоя в работе и других расходов [4]. В научно-исследовательской литературе описывается множество примеров кораблекрушений, катастроф и аварий на гидротехнических объектах по причине морской коррозии металлов [5, 6, 7].

Коррозионные разрушения являются одним из наиболее важных явлений структурной деградации судов и приводят к тяжелым последствиям в виде снижения прочности судовых конструкций при всех условиях эксплуатации в течение срока службы. Морские суда подвергаются воздействию различных коррозионных сред, в результате чего характер коррозии сильно различается. Балластные цистерны и пустые пространства, а также грузовые трюмы коммерческих судов, таких как сухогрузы, обычно подвергаются воздействию совершенно разных коррозионных сред, и это может влиять на скорость коррозии. В условиях погружения в воду на коррозию влияют: химические факторы, такие как соленость, содержание кислорода, pH и присутствие загрязняющих веществ; физические факторы – температура и давление и биологические факторы, такие как бактерии и биомасса [4].

В конструкции стальных судов обычно предусмотрен допуск на коррозию, т.е. величина потерь от коррозии, которую можно допустить до того, как конструктивная система будет считаться скомпрометированной. Для коммерческих судов, таких как сухогрузы и танкеры, степень потерь от коррозии контролируется посредством обследований судов классификационным обществом [8]. Меры по защите от коррозии включают применение лакокрасочных

покрытий и системы защитных анодов для погруженных в воду зон. Следует отметить, что эти меры не всегда эффективны, и требуется постоянное техническое обслуживание, которое не всегда применяется.

На стареющих судах коррозия и усталостные трещины являются двумя наиболее важными факторами, влияющими на безопасность и целостность конструкции.

В результате коррозии происходит снижение прочности и водонепроницаемости корпуса, периодически приводящие к гибели судов. При проектировании и строительстве судов учитывается постепенный износ металла в результате коррозии и истирания. Правила Российского морского регистра судоходства устанавливают нормативы запаса толщины металла судовых конструкций, которые рассчитываются по формуле [1]

$$\Delta s = u(T - 12),$$

где u – среднегодовое уменьшение толщины связи, мм/год, вследствие коррозионного износа или истирания; T – планируемый срок службы конструкции, годы (если срок службы специально не устанавливается, следует принимать $T = 25$).

Поскольку деградация металла на разных участках происходит с разной скоростью, зависящей от условий эксплуатации, правила нормируют величину коэффициента среднегодового уменьшения толщины u для групп элементов судовых конструкций. При этом учитывается, что корпуса судов разного назначения имеют разную скорость деградации металла. По условиям коррозионного износа все суда разделены на две группы:

I – сухогрузные суда и аналогичные им по условиям эксплуатации;

II – наливные суда, суда для навалочных грузов, комбинированные суда и аналогичные им по условиям эксплуатации.

Корпуса судов второй группы больше подвержены износу металла, а потому в их конструкции закладывается больший запас на износ.

Основным средством защиты поверхности металла от коррозии является его окрашивание. Однако окрашивание как средство защиты имеет ряд недостатков:

- не все участки прокрашиваются равномерно и надежно;
- краска имеет свойство «старения»;
- окрашивание требует соблюдения технологии подготовки и нанесения краски.

Вследствие неравномерности лакокрасочной защиты конструктивные элементы имеют неравномерный коррозионный износ. Ускоренный износ отдельного участка конструктивного элемента может сделать бесполезным сохранившуюся прочность всего элемента. Сохранение прочности и водонепроницаемости корпуса в надлежащем состоянии требует знания наиболее уязвимых для коррозии мест и уделения им особого внимания. В общем случае уязвимые участки можно разделить на две группы:

1) участки, на которых затруднено нанесение лакокрасочного покрытия и где дефекты окрашивания встречаются наиболее часто;

2) участки, на которых лакокрасочное покрытие быстрее деградирует.

Участки корпуса, где дефекты окрашивания встречаются наиболее часто, отображены на рис. 1.

В результате дефектов окрашивания данные участки разрушаются в первую очередь (рис. 2).

Но даже качественно нанесенное покрытие имеет тенденцию к деградации и ослаблению защитной функции. Существенным фактором, способствующим деградации, является потеря пластичности покрытия с течением времени, что приводит к образованию трещин и нарушению сцепления краски с металлом. Деградация лакокрасочного покрытия происходит не равномерно по всему корпусу. Наиболее быстрая деградация наблюдается:

- на участках конструкции, подверженных нагреву;

Повышение температуры увеличивает скорость коррозии. Скорость коррозии увеличивается примерно вдвое на каждые 10 °С повышения температуры. Участки, подверженные нагреву, это, прежде всего, участки, подверженные воздействию солнечного тепла (открытые палубы и надводная часть бортов судна), а также участки, прилегающие к нагретым цистернам с мазутом.

- на участках конструкции, подверженных большим изгибам в процессе эксплуатации;
- на участках с вмятинами (контактные повреждения) (рис. 3);

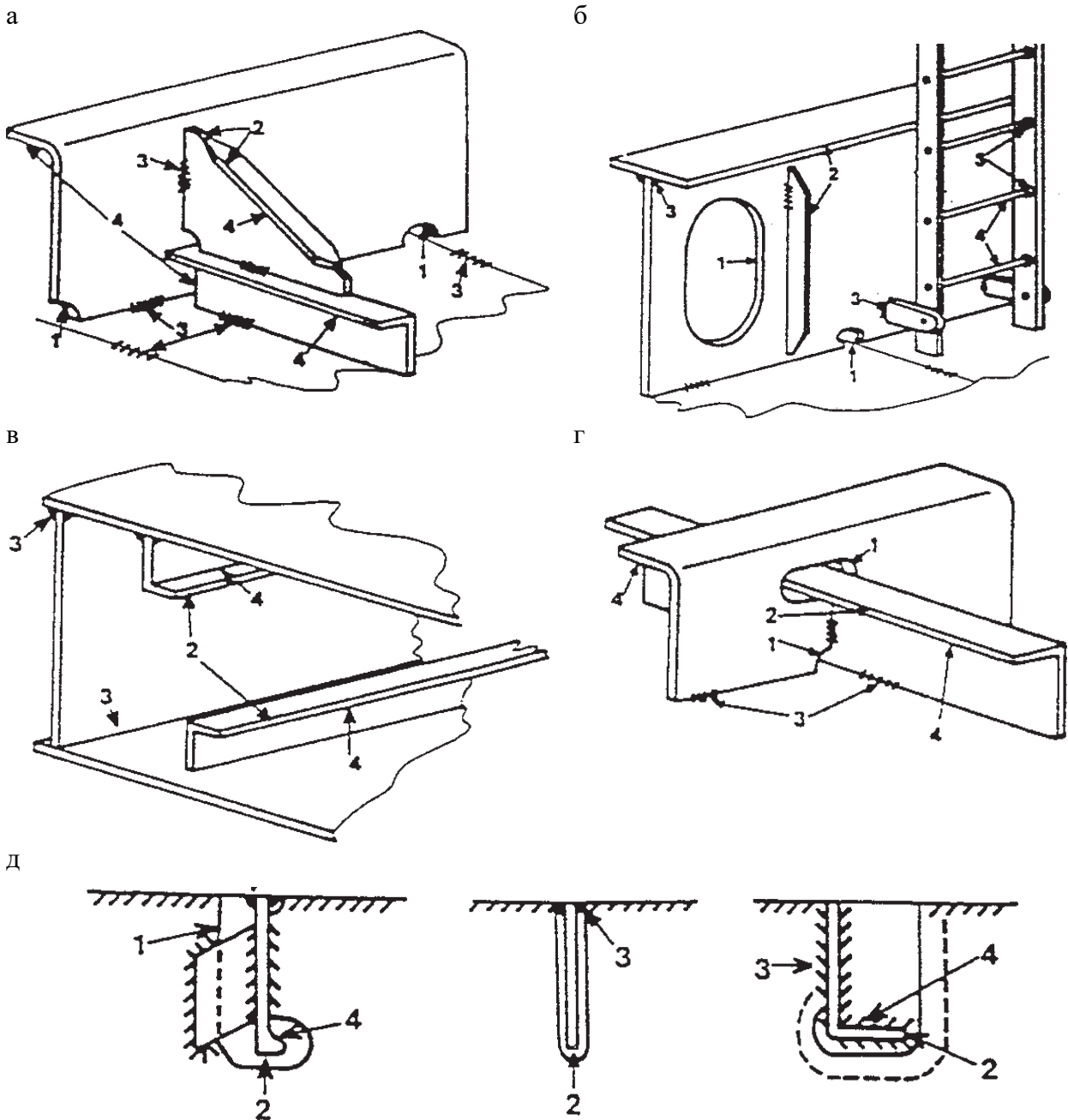


Рис. 1. Участки с наибольшим количеством дефектов окрашивания: 1 – внутренний край вырезов; 2 – краевая часть ребра жесткости/пластины; 3 – сварочные швы; 4 – места, где затруднено напыление
Fig. 1. Areas with the greatest number of coating defects: 1 – inner edge of cutouts; 2 – edge part of the stiffener/plate; 3 – welding seams; 4 – places where spraying is difficult

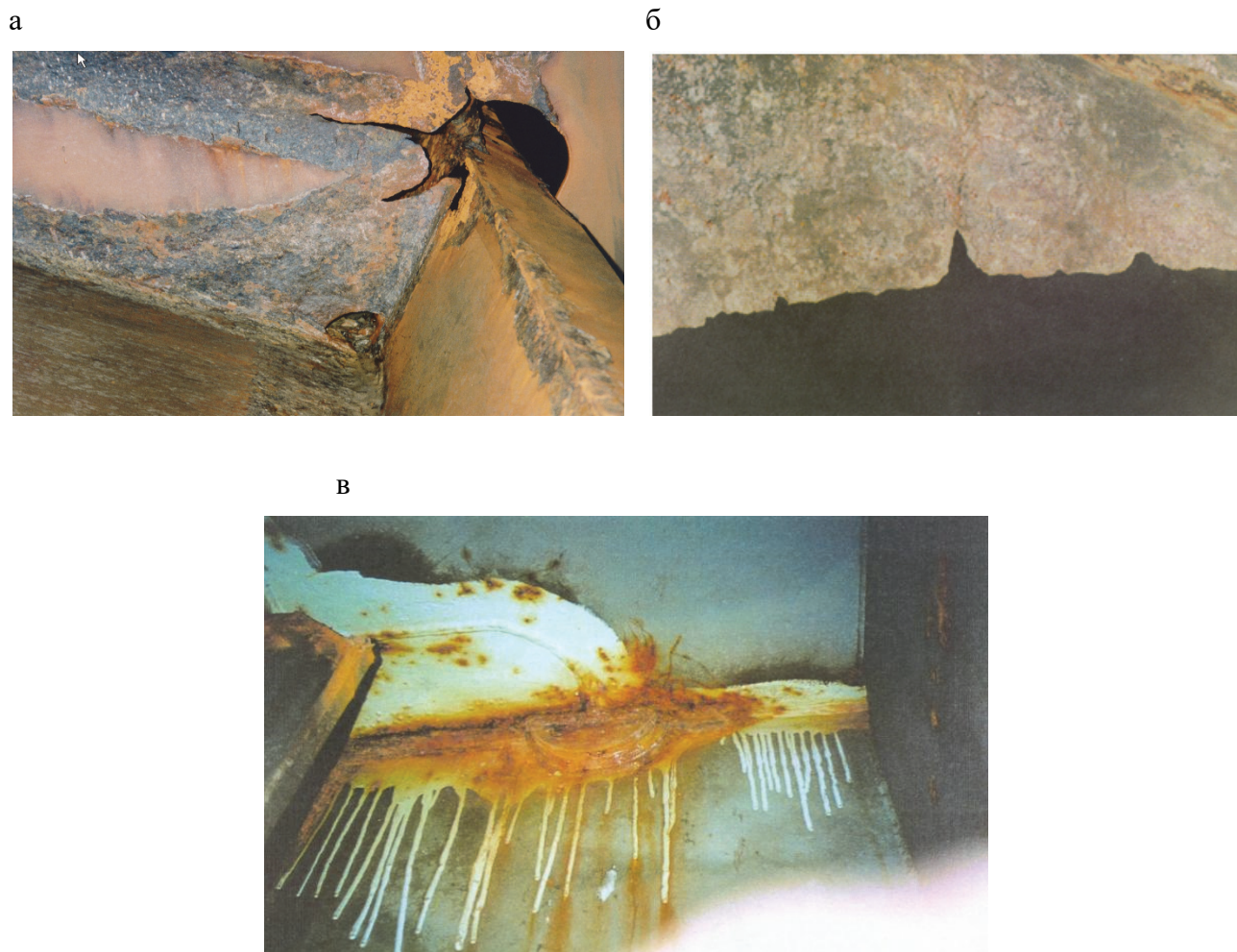


Рис. 2. Коррозия наиболее уязвимых участков: а – внутренний край вырезов;
б – торцевая часть пластины; в – сварочные швы
Fig. 2. Most vulnerable areas corrosion: a – the inner edge of the cutouts;
б – end part of the plate; в – welding seams



Рис. 3. Коррозия в зоне вмятины от удара
Fig. 3. The impact dent area corrosion

- на участках конструкции, подверженных вибрациям;
- на открытых участках в резервуарах, часто используемых для балластировки (например, участки в креновых цистернах);
- на участках, где происходит высокоскоростное осушение (вблизи вырезов, под всасывающими головками происходит недостаточное осушение с задерживанием воды на горизонтальных поверхностях).

Наиболее трудно поддаются контролю процессы коррозии в зоне междудонного пространства. В этой зоне, как и в других местах, деградация металла у разных элементов конструкции происходит с разной интенсивностью (рис. 4).

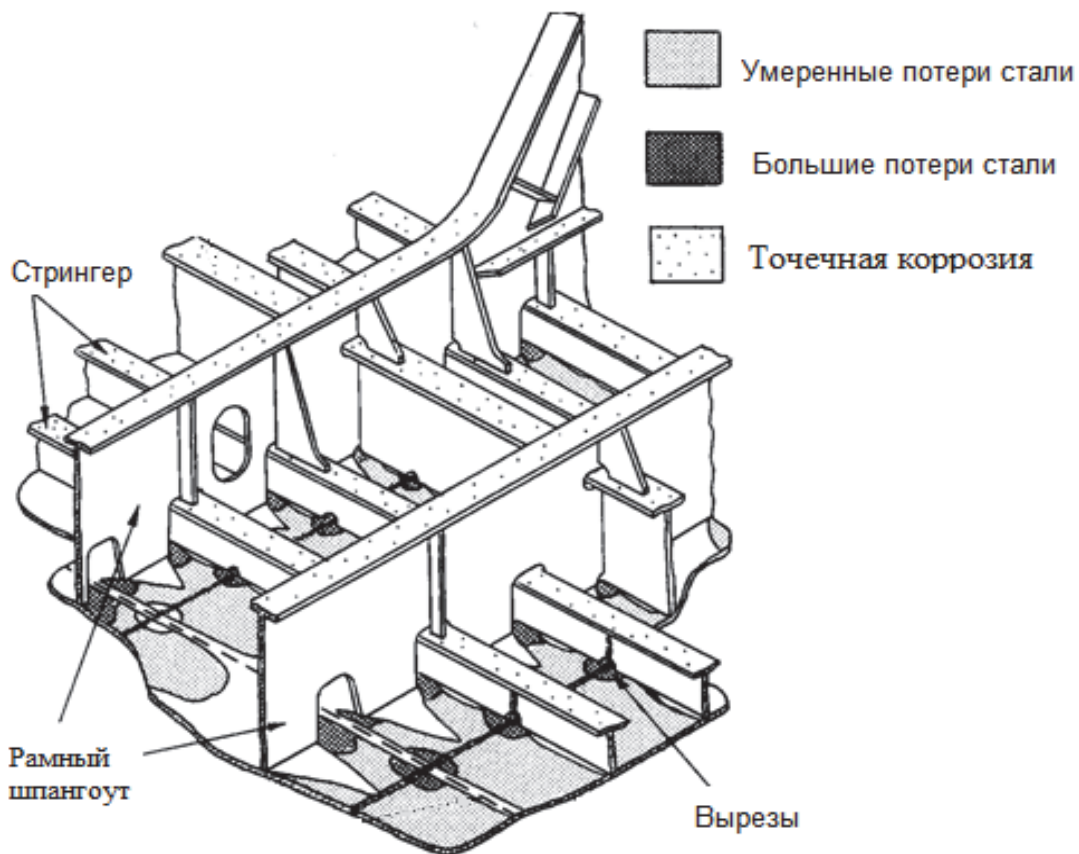


Рис. 4. Коррозия конструктивных элементов междудонного пространства
Fig. 4. The double bottom space structural elements Corrosion

Наиболее интенсивная коррозия наблюдается на участках вырезов и сварочных швов.

Еще одной зоной с повышенным риском коррозии являются участки, где проводился ремонт. Такие участки являются проблемными вследствие:

- недостаточной подготовки поверхности;
- недостаточного контроля температурно-влажностного режима (например, покраска влажной поверхности);
- применения лакокрасочных покрытий с ограниченным сроком службы.

Одним из типичных участков, подверженных усиленной коррозии после ремонта, являются зоны вставки новых листов металла (рис. 5). В результате недостаточной обрезки деградировавшего металла в конструкции остаются зоны, которые в ближайшее время вновь потребуют ремонта, поскольку оставлен фрагмент истонченного металла, который, к тому же, труднее защитить лакокрасочным покрытием.

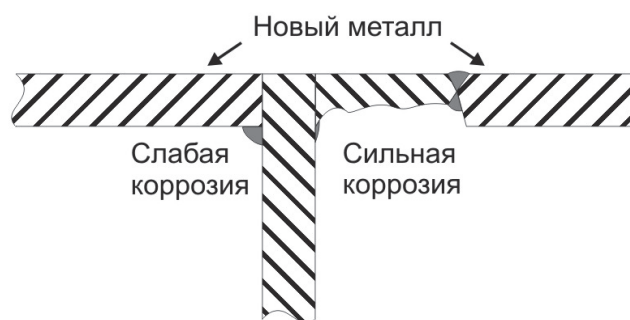


Рис. 5. Коррозия в зоне вставки фрагментов конструкции
 Fig. 5. Corrosion of inserted structural fragments

Заключение

Для судов, находящихся в эксплуатации, коррозионные потери считаются одним из наиболее критических факторов, влияющих на прочность и долговечность конструкции. Коррозионная деградация уменьшает толщину структурных элементов и изменяет механические свойства материала. Значительная доля аварий на флоте происходит из-за повреждений, в основе которых лежит износ и дефекты корпусной части судна. В результате коррозии происходит снижение прочности и водонепроницаемости корпуса, периодически приводящие к гибели судов. Сохранение прочности и водонепроницаемости корпуса в надлежащем состоянии требует знания наиболее уязвимых для коррозии мест, чтобы обеспечить им надежную защиту.

Список источников

1. Зелевец, М.А. Вопросы обеспечения прочности морских судов / М.А. Зелевец // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Владивосток, 26 ноября 2021 года / Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2022. С. 296–300. EDN NPFPIV.
2. Бакач, В.А. Морская коррозия металлов: сущность, разновидности, особенности, факторы возникновения и протекания / В.А. Бакач // Инновационные процессы в современной науке: материалы Междунар. (заочной) науч.-практ. конф., Прага, Чехия, 19 апреля 2021 года / под общ. ред. А.И. Вострецова. Нефтекамск, Республика Башкортостан, Российская Федерация: Научно-издательский центр «Мир науки» (ИП Вострецов Александр Ильич), 2021. С. 16–27. EDN EWRWYZ.
3. Белов, О.А. Corrosion processes as a factor in reducing the safety of operation of sea-going vessels / О.А. Белов, С.А. Клементьев, А.Б. Дороганов // Инноватика и экспертиза: науч. тр. 2017. №. 1(19). Р. 123–126. EDN YUHGLL.
4. Грамузов, Е.И. Анализ технико-экономических показателей защиты корпусных конструкций судов от коррозии / Е.И. Грамузов, А.В. Родькина, О.А. Иванова // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2019. Вып. 60. С. 77–90.
5. Швецов, В.А. Контроль систем протекторной защиты стальных судов и кораблей: монография / В.А. Швецов, О.А. Белов, П.А. Белозеров, Д.В. Шунькин. Петропавловск-Камчатский: Камчатский ГТУ, 2016. 109 с.
6. Белов, О.А. Коррозионные процессы как фактор снижения безопасности эксплуатации морских судов / О.А. Белов, С.А. Клементьев, А.Б. Дороганов // Инноватика и экспертиза:

науч. тр. Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» (ФГБНУ «НИИ РИНКЦЭ»). М.: ФГБНУ «НИИ РИНКЦЭ», 2017. Вып. 1(19). С. 123–126.

7. Родькина, А.В. Анализ методов защиты морских судов и сооружений от коррозии / А.В. Родькина, О.А. Иванова, Е.А. Сотникова, А.А. Салимова // Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений: сб. статей по материалам XIII студенческой межвузовской науч.-техн. конф., Севастополь, 12–14 апреля 2018 г. / М-во образования и науки РФ; Севастопольский государственный университет. Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2018. С. 253–262.

8. Правила классификации и постройки морских судов. Часть II. Корпус. СПб.: Морской регистр судоходства, 2021. 319 с.

References

1. Zelevac, M.A. Voprosy obespecheniya prochnosti morskikh sudov / M.A. Zelevac // Kompleksnye issledovaniya v rybohozyajstvennoj otrasli: materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, Vladivostok, 26 noyabrya 2021 goda / Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj tekhnicheskij rybohozyajstvennyj universitet. Vladivostok: Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj tekhnicheskij rybohozyajstvennyj universitet, 2022. S. 296–300. EDN NPFPIV.

2. Bakach, V.A. Morskaya korroziya metallov: sushchnost', raznovidnosti, osobennosti, faktory vozniknoveniya i protekaniya / V.A. Bakach // Innovacionnye processy v sovremennoj nauke : Materialy Mezhdunarodnoj (zaochnoj) nauchno-prakticheskoy konferencii, Praga, CHEkhiya, 19 aprelya 2021 goda / Pod obshchej redakciej A.I. Vostrecova. Neftekamsk, Respublika Bashkortostan, Rossijskaya Federaciya: Nauchno-izdatel'skij centr "Mir nauki" (IP Vostrecov Aleksandr Il'ich), 2021. S. 16–27. EDN EWRWYZ.

3. Belov, O.A. Corrosion processes as a factor in reducing the safety of operation of sea-going vessels / O.A. Belov, S.A. Klement'ev, A.B. Doroganov // Innovatika i ekspertiza: nauchnye trudy. 2017. No. 1(19). P. 123–126. EDN YUHGLL.

4. Gramuzov, E.I. Analiz tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelej zashchity korpusnyh konstrukcij sudov ot korrozii / E.I. Gramuzov, A.V. Rod'kina, O.A. Ivanova // Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. N. Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2019. Vypusk 60. S. 77–90.

5. Shvecov, V.A. Kontrol' sistem protektoznoj zashchity stal'nyh sudov i korablej monografiya / V.A. Shvecov, O.A. Belov, P.A. Belozarov, D.V. SHun'kin. Petropavlovsk-Kamchatskij: Kamchatskij GTU, 2016. 109 s.

6. Belov, O.A. Korroziionnye processy kak faktor snizheniya bezopasnosti ekspluatatsii morskikh sudov / O.A. Belov, S.A. Klement'ev, A.B. Doroganov // Innovatika i ekspertiza. Nauchnye trudy Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo nauchnogo uchrezhdeniya «Nauchno-issledovatel'skij institut – Republikanskij issledovatel'skij nauchno-konsultacionnyj centr ekspertizy» (FGBNU «NII RINKCE»). – М.: FGBNU «NII RINKCE», 2017. Vyp. 1(19). S. 123–126.

7. Rod'kina, A.V. Analiz metodov zashchity morskikh sudov i sooruzhenij ot korrozii / A.V. Rod'kina, O.A. Ivanova, E.A. Sotnikova, A.A. Saliomova // Sovershenstvovanie proektirovaniya i ekspluatatsii morskikh sudov i sooruzhenij: sbornik statej po materialam XIII studencheskoj mezhvuzovskoj nauch.-tekhn. konf., Sevastopol', 12–14 aprelya 2018 g. / M-vo obrazovaniya i nauki RF; Sevastopol'skij gosudarstvennyj universitet. Sevastopol': Sevastopol'skij gosudarstvennyj universitet, 2018. S. 253–262.

8. Pravila klassifikatsii i postrojki morskikh sudov. CHast' II. Korpus. Spb.: Morskoy registr sudohodstva, 2021. 319 s.

Информация об авторах

В.В. Ганнесен – доцент, доцент кафедры судовождения, SPIN-код: 8351-9640, AuthorID: 812731;

Е.Е. Петрова – старший преподаватель кафедры судовождения, SPIN-код: 2621-0656, AuthorID: 1108787.

Information about the authors

V.V. Gannesen – Associate Professor, Associate Professor of the Department of Navigation, SPIN-code: 8351-9640, AuthorID: 812731;

E.E. Petrova – Senior Lecturer of the Department of Navigation, SPIN-code: 2621-0656, AuthorID: 1108787.

Статья поступила в редакцию 14.11.2023; одобрена после рецензирования 16.11.2023; принята к публикации 27.11.2023.

The article was submitted 14.11.2023; approved after reviewing 16.11.2023; accepted for publication 27.11.2023.