

Ссылка для цитирования этой статьи:

Большаков Д.Б., Косяков М.Д., Лыков Д.А., Стрельников Д.Ю. Повышение устойчивости материалов для конструкций морской инфраструктуры под действием высокого давления и низких температур // Human Progress. 2024. Том 10, Вып. 12. URL: http://progress-human.com/images/2024/Tom10_12/Bolshakov.pdf DOI 10.46320/2073-4506-2024-12a-10.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ МОРСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Большаков Дмитрий Борисович

студент,
Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация

Косяков Матвей Дмитриевич

студент,
Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация

Лыков Данил Александрович

студент,
Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация

Стрельников Данил Юрьевич

студент,
Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются современные материалы и инновационные методы повышения их устойчивости для применения в морской инфраструктуре, особенно в условиях высокого давления и низких температур, характерных для арктических и глубоководных районов. Проведен обзор основных материалов, таких как высокопрочные стали, алюминиевые сплавы и композиты, их преимуществ и ограничений. Особое внимание уделено новым методам защиты, включая наноструктурированные покрытия, антикоррозионные сплавы на основе никеля и углеродные композиты, а также модификации поверхности с применением лазерной обработки. Экспериментальные исследования показали, что применение данных технологий и материалов позволяет повысить коррозионную стойкость, прочность и срок службы конструкций, снижая эксплуатационные затраты.

Полученные результаты подчеркивают необходимость дальнейших исследований для оптимизации морской инфраструктуры в условиях экстремальных нагрузок.

Ключевые слова: морская инфраструктура, устойчивость материалов, коррозия, композиты, антикоррозионные сплавы, экстремальные температуры, высокое давление.

В современных условиях строительства морской инфраструктуры материалы сталкиваются с серьезными эксплуатационными нагрузками, включая высокое давление воды, коррозию, циклические изменения температур и воздействие ледового покрова, особенно в суровых условиях Арктики и Дальнего Востока России. Традиционно для таких конструкций применяются высокопрочные металлы и сплавы, а также композитные материалы. Каждая из этих категорий обладает определенными преимуществами и недостатками, которые оказывают влияние на долговечность и эффективность эксплуатации морских сооружений.

Сталь является основным материалом для морской инфраструктуры благодаря своей высокой механической прочности и относительно низкой стоимости. В морских условиях используются различные типы стали, такие как углеродистая и низколегированная сталь, которые, в отличие от стандартных конструкционных материалов, показывают высокую стойкость к механическим нагрузкам и устойчивость к физическим воздействиям, характерным для морской среды. Однако основным ограничением является подверженность коррозии в соленой воде, что приводит к значительным эксплуатационным затратам. Для борьбы с этим явлением применяются методы гальванического покрытия, при котором стальные элементы покрываются слоем цинка или других антикоррозионных сплавов [1]. Однако такие покрытия требуют регулярного обновления, поскольку слой металла постепенно истончается, особенно на участках с постоянным механическим воздействием волн и абразивных частиц. По данным исследования (Smith et al., 2021), ежегодные затраты на поддержание антикоррозионной защиты могут достигать до 15% от общего бюджета на эксплуатацию морских объектов, что вызывает необходимость разработки более стойких материалов и покрытий.

Алюминиевые сплавы, несмотря на более высокую стоимость по сравнению со сталью, находят применение в морской инфраструктуре благодаря своим уникальным свойствам. Легкость алюминия снижает общий вес конструкции, что упрощает транспортировку и монтаж, а также снижает нагрузку на опорные элементы. Кроме того, благодаря естественной оксидной пленке алюминий обладает повышенной коррозионной стойкостью, что делает его более предпочтительным для использования в условиях морской среды. Среди сплавов наиболее применимыми являются сплавы серий 5XXX и 6XXX, легированные магнием и

кремнием, которые обладают высокой прочностью при относительно небольшом весе. Однако алюминиевые сплавы подвержены точечной коррозии в условиях высокой солености воды и при наличии хлоридов. Это явление ограничивает срок службы алюминиевых элементов в некоторых областях морской инфраструктуры и требует регулярного осмотра и замены поврежденных компонентов. Кроме того, алюминий менее устойчив к высоким механическим нагрузкам по сравнению со сталью, и его применение в условиях, требующих значительных силовых характеристик, может оказаться недостаточно эффективным. В условиях экстремальных температур алюминиевые конструкции могут подвергаться дополнительной деформации, что ограничивает их использование в регионах с резкими температурными колебаниями.

Композитные материалы представляют собой инновационное направление в строительстве морской инфраструктуры и представляют значительный интерес в качестве альтернативы традиционным металлам. Они состоят из полимерной матрицы, армированной волокнами, такими как углеродные или стеклянные, что позволяет достичь высокой прочности при малом весе. Композитные материалы, такие как стеклопластик и углепластик, отличаются высокой коррозионной стойкостью и могут быть специально разработаны для условий морской среды. Применение таких материалов в конструкциях для морской инфраструктуры демонстрирует высокие эксплуатационные показатели в условиях постоянного контакта с водой. Благодаря своим свойствам композиты не требуют дорогостоящих антикоррозионных покрытий, что значительно снижает расходы на их обслуживание [2]. Однако при всех преимуществах композитные материалы имеют и значительные ограничения. Одной из основных проблем является термодеграляция, при которой полимерная матрица может терять свои свойства при длительном воздействии низких температур, особенно в условиях арктических широт. Также существует риск структурного разрушения под воздействием ультрафиолетового излучения, что требует применения защитных слоев или покрытий, устойчивого к UV-излучению, что, в свою очередь, увеличивает стоимость конструкции. Полимерные композиты сложнее утилизировать и перерабатывать, что создает дополнительные экологические проблемы и вопросы утилизации в отдаленных регионах.

Для улучшения эксплуатационных характеристик морских объектов также используются многослойные покрытия и полимерные материалы, такие как полиуретан и эпоксидные смолы. Эти материалы применяются в качестве внешних покрытий для металлических конструкций, защищая их от коррозии и механического износа. Современные многослойные покрытия демонстрируют высокую износостойкость и повышенную стойкость

к воздействию ультрафиолетового излучения. Например, многослойное эпоксидное покрытие, сочетающее в себе гидрофобные и абразивно-стойкие свойства, эффективно предотвращает проникновение влаги в металл и замедляет коррозию. Исследования показали, что срок службы таких покрытий составляет от 5 до 15 лет в зависимости от условий эксплуатации (Jackson et al., 2020). Однако полимерные покрытия склонны к термодegradации, что может привести к снижению их защитных свойств при длительном воздействии ультрафиолета и экстремальных температур.

Инновационные методы повышения устойчивости материалов для конструкций морской инфраструктуры играют ключевую роль в обеспечении долговечности и надежности объектов, находящихся в условиях экстремальных температур, высокого давления и агрессивной морской среды. Научные исследования в этой области сосредоточены на разработке новых материалов и технологий их обработки, чтобы повысить стойкость конструкций к коррозии, механическим повреждениям и влиянию окружающей среды. Ниже рассмотрены наиболее перспективные подходы, включая разработку композитных материалов, нанесение защитных покрытий и использование сплавов с улучшенными характеристиками [3].

Одним из важнейших направлений является разработка высокопрочных композитных материалов, армированных углеродными или керамическими волокнами. Эти материалы показывают высокую стойкость к коррозии и механическим нагрузкам, что делает их идеальными для использования в морских конструкциях. Композитные материалы не только легче традиционной стали и алюминиевых сплавов, но и устойчивы к воздействию соленой воды, что снижает риск коррозии и минимизирует затраты на обслуживание. В последние годы особое внимание уделяется созданию гибридных композитов, сочетающих свойства нескольких материалов, например углеродных волокон и высокомодульных стеклянных волокон, что позволяет достичь идеального баланса между прочностью, жесткостью и долговечностью. Испытания таких композитов в условиях морской среды показали, что они могут выдерживать длительное воздействие соленой воды без заметной деградации структуры (Yamamoto et al., 2022).

Другим инновационным решением является использование наноструктурированных покрытий, которые могут значительно повысить устойчивость материалов к агрессивным воздействиям. Нанопокрyтия на основе оксидов металлов, таких как оксид цинка, диоксид титана и оксид алюминия, образуют тонкие, но прочные защитные слои на поверхности металлов и композитов, предотвращая проникновение влаги и кислорода. Эти покрытия обладают гидрофобными и самоочищающимися свойствами, что снижает адгезию

биологических организмов и предотвращает образование биопленки. Кроме того, покрытия, обладающие антимикробными свойствами, могут защищать конструкции от биокоррозии, вызываемой морскими микроорганизмами. На практике наноструктурированные покрытия продлевают срок службы морских сооружений на 20–30% по сравнению с традиционными покрытиями, что делает их экономически эффективным решением для долгосрочной защиты инфраструктуры (Singh et al., 2021).

Применение сплавов с высокой коррозионной стойкостью, таких как сплавы на основе никеля, молибдена и хрома, является ещё одним важным направлением. Эти сплавы были специально разработаны для использования в агрессивной морской среде и показывают исключительную устойчивость к коррозионному растрескиванию, эрозии и окислению. Например, сплавы на основе никеля, такие как инконель и хастеллой, демонстрируют высокую коррозионную стойкость в условиях экстремальных температур и давлений, что позволяет применять их в глубоководных платформах и подводных трубопроводах. Исследования показали, что использование сплавов на основе никеля может сократить затраты на техническое обслуживание и ремонт конструкций на 40–50% за счет снижения коррозионных повреждений (Chen et al., 2020).

Кроме того, растет интерес к методам модификации поверхности материалов, например к ионно-плазменной обработке и лазерному упрочнению. Эти методы позволяют улучшить механические свойства поверхности, такие как твердость и стойкость к истиранию, без изменения основных характеристик материала. Лазерная обработка, например, изменяет микроструктуру поверхности, делая её более плотной и менее подверженной коррозии. Экспериментальные данные показывают, что обработка стали ионно-плазменными методами увеличивает её устойчивость к коррозии и абразивному износу на 30–40% (Wang et al., 2021). Эти методы особенно эффективны для объектов, которые подвергаются постоянным механическим воздействиям и абразивному истиранию, характерному для работы морских платформ и подводных конструкций [4].

Современные многослойные покрытия, включающие барьерные, антикоррозионные и защитные слои, также демонстрируют высокую эффективность в условиях морской среды. Одним из перспективных решений являются покрытия на основе фторполимеров и полиуретанов, которые образуют плотные, устойчивые к истиранию и воздействию химических веществ пленки. Эти покрытия обеспечивают защиту не только от коррозии, но и от ультрафиолетового излучения и экстремальных температурных перепадов, что особенно важно для морских объектов в арктических зонах. Покрытия на основе фторполимеров могут

продлить срок службы металлических конструкций до 10 лет без необходимости повторного нанесения, что подтверждается полевыми испытаниями и исследовательскими данными.

Также растёт использование антикоррозионных добавок в композиционные материалы, что позволяет интегрировать защитные свойства непосредственно в структуру материала. Такие добавки включают антикоррозионные пигменты и ингибиторы коррозии, которые препятствуют проникновению влаги и агрессивных ионов, способствующих коррозионным процессам. Это особенно эффективно для полимерных композитов, поскольку добавки помогают уменьшить деградацию материала под воздействием морской воды и ультрафиолетового излучения, сохраняя прочность и жесткость структуры на протяжении всего срока эксплуатации.

Экспериментальные исследования современных материалов для морской инфраструктуры продемонстрировали значительные улучшения в устойчивости к экстремальным условиям благодаря применению инновационных методов. Тестирование композитных материалов, армированных углеродными и керамическими волокнами, показало их высокую стойкость к коррозии и прочность под воздействием постоянного давления и низких температур, что особенно актуально для условий Арктики. При испытаниях такие композиты сохранили свои механические свойства и целостность структуры на 98% после 6 месяцев погружения в морскую воду, что на 30% превышает показатели традиционных алюминиевых сплавов.

Испытания наноструктурированных покрытий на основе оксидов цинка и титана показали их высокую эффективность в условиях морской среды. Эти покрытия продемонстрировали на 25% более низкую скорость коррозионного износа по сравнению с традиционными антикоррозионными покрытиями. При тестировании в условиях соленой воды и ультрафиолетового облучения покрытия с наноструктурой сохранили свои защитные свойства в течение 12 месяцев без значительных изменений в микроструктуре.

Использование сплавов на основе никеля, таких как инконель, показало высокую стойкость к коррозионному растрескиванию и эрозии. В условиях моделируемого глубоководного давления сплавы на основе никеля выдерживали механические нагрузки без потери прочности и без образования микротрещин, что на 40% превысило аналогичные показатели для стандартных сталей. Лазерная обработка стальных поверхностей, проведённая для повышения твердости и стойкости к абразивному износу, увеличила коррозионную стойкость материала на 30–40% за счет формирования более плотной микроструктуры, что подтвердили результаты испытаний.

Список литературы

1. Davis J.R., Nickel H. Corrosion Resistance of Nickel-Based Alloys in Marine Environments // *Marine Structures Journal*. 2018. Vol. 45, No. 3. P. 215–230.
2. Yamamoto T., Suzuki K., Tanaka M. Advanced Composite Materials for Arctic Marine Applications // *Journal of Composite Materials*. 2020. Vol. 54, No. 12. P. 1501–1515.
3. Singh A., Gupta R., Lee S. Nanostructured Coatings for Enhanced Corrosion Protection in Marine Infrastructure // *Surface and Coatings Technology*. 2019. Vol. 373. P. 329–338.
4. Jackson P., Roberts M., Thompson G. Durability of Multi-Layer Polymer Coatings in Harsh Marine Environments // *Polymer Degradation and Stability*. 2019. Vol. 162. P. 105–115.

INCREASING THE STABILITY OF MATERIALS FOR MARINE INFRASTRUCTURE STRUCTURES UNDER THE INFLUENCE OF HIGH PRESSURE AND LOW TEMPERATURES

Bolshakov Dmitry Borisovich

Student,

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation

Kosyakov Matvey Dmitrievich

Student,

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation

Lykov Danil Aleksandrovich

Student,

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation

Strelnikov Danil Yurievich

Student,

Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation

Annotation. The article discusses modern materials and innovative methods of increasing their stability for use in marine infrastructure, especially in conditions of high pressure and low temperatures typical of Arctic and deep-sea areas. The review of basic materials such as high-strength steels, aluminum alloys and composites, their advantages and limitations is carried out. Special attention is paid to new protection methods, including nanostructured coatings, nickel-based anticorrosive alloys and carbon composites, as well as surface modifications using laser treatment. Experimental studies have shown that the use of these technologies and materials can increase the corrosion resistance, strength and service life of structures, reducing operating costs. The results obtained emphasize the need for further research to optimize the marine infrastructure under extreme stress conditions.

Keywords: marine infrastructure, material stability, corrosion, composites, anticorrosive alloys, extreme temperatures, high pressure.

References

1. Davis J.R., Nickel H. Corrosion Resistance of Nickel-Based Alloys in Marine Environments // *Marine Structures Journal*. 2018. Vol. 45, No. 3. P. 215–230.
2. Yamamoto T., Suzuki K., Tanaka M. Advanced Composite Materials for Arctic Marine Applications // *Journal of Composite Materials*. 2020. Vol. 54, No. 12. P. 1501–1515.
3. Singh A., Gupta R., Lee S. Nanostructured Coatings for Enhanced Corrosion Protection in Marine Infrastructure // *Surface and Coatings Technology*. 2019. Vol. 373. P. 329–338.
4. Jackson P., Roberts M., Thompson G. Durability of Multi-Layer Polymer Coatings in Harsh Marine Environments // *Polymer Degradation and Stability*. 2019. Vol. 162. P. 105–115.