

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 624.137.5

Антикоррозионная защита шпунтовых ограждений: технологии, материалы и перспективы

В.В. Гарашко

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Статья посвящена исследованию современных методов антикоррозионной защиты шпунтовых ограждений, которые применяются в гидротехническом и берегозащитном строительстве. Рассматриваются как традиционные, так и инновационные технологии защиты металлоконструкций, включая лакокрасочные покрытия, горячее цинкование, катодную защиту, полимерные покрытия и перспективные нанотехнологии. Проведен сравнительный анализ этих методов с точки зрения их эффективности, эксплуатационной долговечности и экономической целесообразности, что позволяет определить наиболее оптимальные решения для обеспечения долговечности и надежности конструкций в условиях воздействия коррозионных факторов.

Ключевые слова: антикоррозионная защита, шпунтовые ограждения, коррозия, лакокрасочные покрытия, цинкование, катодная защита, полимерные покрытия, нанопокрyтия

Для цитирования. Гарашко В.В. Антикоррозионная защита шпунтовых ограждений: технологии, материалы и перспективы. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(3):17–21.

Corrosion Protection of Sheet Pilings: Technologies, Materials and Prospects

Vladimir V. Garashko

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The article studies the advanced methods of corrosion protection of sheet pilings used in construction of hydraulic and coastal protection structures. The traditional and innovative technologies of protecting the metal structures have been investigated, including paint coating, hot-dip galvanizing, cathodic protection, polymer coating and nanocoating. A comparative analysis of these technologies has been carried out with regard to their efficiency, operational durability and economic expediency, which enables to determine the most optimal solution for ensuring the durability and reliability of the structures exposed to corrosion.

Keywords: corrosion protection, sheet pilings, corrosion, paint coatings, galvanizing, cathodic protection, polymer coatings, nanocoatings

For Citation. Garashko VV. Corrosion Protection of Sheet Pilings: Technologies, Materials and Prospects. *Young Researcher of Don*. 2025;10(3):17–21.

Введение. Шпунтовые ограждения широко применяются в строительстве гидротехнических объектов, включая набережные, причалы, доки, плотины, а также при возведении фундаментов в условиях сложных грунтов [1]. Основной проблемой их эксплуатации является коррозия, которая возникает под воздействием воды, солевых растворов, химических соединений и механических факторов [2]. Целью исследования является анализ современных технологий антикоррозионной защиты шпунтовых ограждений и определение наиболее эффективных методов для различных условий эксплуатации. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

- провести обзор существующих методов антикоррозионной защиты шпунтов;
- проанализировать эффективность различных защитных покрытий в условиях высокой влажности;
- рассмотреть перспективные материалы и технологии защиты от коррозии;
- определить экономическую эффективность антикоррозионных мероприятий.

Методы исследования включают анализ научных публикаций, сравнительный анализ материалов и методов защиты, а также рассмотрение реальных примеров применения защитных покрытий в гидротехнических сооружениях.

Причины и факторы коррозии шпунтовых ограждений

Шпунтовые конструкции, используемые в гидротехническом строительстве, подвергаются значительным разрушениям под воздействием коррозионных и механических факторов. Основные процессы, вызывающие повреждения, включают электрохимическую и химическую коррозию, механическое воздействие и биологическое разложение металла. Основные факторы разрушения шпунтовых ограждений [3]:

- электрохимическая коррозия — один из наиболее распространённых механизмов разрушения шпунтовых конструкций, возникающий из-за разности потенциалов между участками шпунта, находящимися в разных средах, например, частично погруженными в воду и находящимися в воздухе. Этот процесс усиливается при наличии блуждающих токов, характерных для городских портов и промышленных объектов;

- химическая коррозия происходит в результате воздействия кислотных, щелочных и солосодержащих сред. В морской воде, насыщенной хлоридами, коррозионные процессы протекают особенно быстро, что приводит к образованию сквозных отверстий и значительному истощению толщины металла;

- механическое разрушение — шпунты подвержены абразивному износу в результате воздействия песка, гальки и других твёрдых частиц, особенно в прибрежных зонах с активным движением воды и волн. Также серьёзные повреждения могут возникнуть при ударных воздействиях льда и судов;

- биокоррозия обусловлена воздействием микроорганизмов, выделяющих агрессивные вещества, такие как сероводород, ускоряющий процессы окисления металла. Биокоррозия активно развивается в условиях недостатка кислорода, например, в донных отложениях, где происходит образование местных очагов разрушения.

Визуальные примеры коррозионных повреждений шпунтовых конструкций приведены на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Разрушение шпунтового ограждения под воздействием коррозии в водной среде [10]

На рис. 1 демонстрируется разрушение шпунтового ограждения, находящегося в постоянном контакте с водой. Видны крупные участки ржавчины и сквозные отверстия, возникшие в результате коррозионного истощения металла. Это типичный пример электрохимической и химической коррозии, усиленной постоянным воздействием агрессивной морской среды.

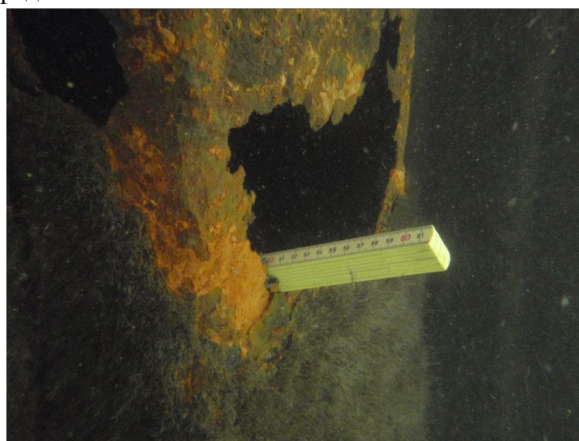


Рис. 2. Подводное разрушение шпунтовой конструкции [10]

Рис. 2 представляет собой подводный снимок повреждённого шпунта с глубокой каверной, достигающей нескольких десятков сантиметров. Для масштаба приложена измерительная линейка. Здесь видно интенсивное разрушение металла под воздействием коррозии, вероятно, вызванной сочетанием электрохимического окисления и биокоррозии в зоне донных отложений.

Эти примеры подтверждают необходимость надёжной антикоррозионной защиты шпунтовых конструкций и применения эффективных технологий предотвращения разрушения металла.

Методы антикоррозионной защиты

Методы защиты шпунтовых ограждений от коррозии можно разделить на барьерные, металлические и электрохимические:

Барьерные покрытия используются как защита металла от контакта с агрессивной средой. По составу они подразделяются на следующие виды:

- лакокрасочные покрытия: эпоксидные, полиуретановые, цинк-насыщенные, стойкие к механическим и химическим нагрузкам. Они предотвращают контакт стали с влагой и кислородом, значительно снижая скорость коррозии [5];
- полимерные покрытия: поливинилхлоридные (ПВХ), полиэтиленовые, полиуретановые, обеспечивающие механическую и химическую защиту от агрессивных сред [6];
- композитные покрытия: инновационные системы, включая эпоксидные смолы, армированные частицами алюминия или цинка, обладающие высокой стойкостью в морской среде [7].

Металлические покрытия защищают за счёт создания анодного слоя. На практике используют следующие виды:

- горячее цинкование — нанесение цинкового слоя методом погружения в расплавленный металл, что предотвращает электрохимическую коррозию. Данный метод эффективен в условиях переменного уровня воды [8];
- алюминирование — метод защиты в морской среде, обеспечивающий стойкость выше, чем у цинка, благодаря высокой устойчивости алюминиевого слоя к хлоридной коррозии [9];
- термодиффузионное цинкование — современная технология нанесения защитного покрытия, обеспечивающая равномерный слой и улучшенные антикоррозионные свойства [10].

При электрохимической защите используется применение активных электродов. Здесь также существует несколько методов:

- катодная защита с жертвенными анодами, используется в морских условиях. Для защиты применяются аноды из магния, алюминия или цинка, которые корродируют вместо стали [4];
- катодная защита наложенным током — система подачи постоянного тока, компенсирующая разность потенциалов между шпунтом и окружающей средой, что снижает вероятность коррозии. Этот метод применяется для длительной защиты в гидротехнических сооружениях [11];
- гибридные системы катодной защиты — сочетание пассивной и активной защиты, применяемые в условиях повышенной влажности и химической агрессии.

В таблице 1 представлен сравнительный анализ методов антикоррозионной защиты.

Таблица 1

Эффективность методов антикоррозионной защиты

Метод защиты	Долговечность (лет)	Устойчивость к механическим повреждениям	Экономическая целесообразность
Лакокрасочные покрытия	5–10	Средняя	Высокая
Горячее цинкование	20–30	Высокая	Средняя
Катодная защита	>30	Очень высокая	Высокие эксплуатационные затраты
Полимерные покрытия	15–25	Высокая	Средняя

Современные и перспективные технологии защиты

В последние годы появляются инновационные технологии, направленные на продление срока службы шпунтовых ограждений:

- нанопокрyтия на основе оксидов алюминия и титана, создающие ультратонкие защитные слои;
- композитные полимерные покрытия, обладающие высокой стойкостью к химическим и механическим воздействиям;
- гибридные покрытия, сочетающие в себе свойства катодной и барьерной защиты.

Реальным примером возможного применения современных антикоррозионных покрытий является строительство Багаевского гидроузла на реке Дон, который является ключевым объектом водного транспорта и гидроэнергетики региона. В рамках этого проекта для защиты металлических шпунтовых ограждений возможно применение комплексных методов антикоррозионной защиты, в том числе с применением цинк-насыщенных покрытий.

Для предотвращения коррозии металлических шпунтовых конструкций в условиях повышенной влажности и воздействия агрессивных сред было использовано двухслойное лакокрасочное покрытие на основе эпоксидных и полиуретановых материалов. Оно обеспечило защиту от коррозии на срок более 15 лет. Дополнительно применялась катодная защита с жертвенными анодами, что позволило предотвратить электрохимическую коррозию металлоконструкций.

Сравнение антикоррозионных решений, использованных на Багаевском гидроузле, с другими аналогичными объектами показывает, что комплексный подход к защите металлоконструкций позволяет значительно продлить их срок службы и снизить затраты на ремонт и восстановление.

Экономическая оценка различных методов защиты

Финансовая целесообразность методов определяется не только стоимостью нанесения, но и сроком службы.

Таблица 2

Сравнение затрат на различные методы защиты

Метод защиты	Стоимость (руб./м ²)	Средний срок службы (лет)	Годовые затраты (руб./м ²)
Лакокрасочные покрытия	500–1000	5–10	50–100
Горячее цинкование	1500–3000	20–30	50–150
Катодная защита	2000–5000	>30	60–200
Полимерные покрытия	1000–2500	15–25	40–120

Наиболее рентабельным методом является горячее цинкование, но его реализация не всегда возможна на месте строительства.

Заключение. В ходе исследования был проведен всесторонний анализ современных технологий антикоррозионной защиты шпунтовых ограждений, а также оценена их эффективность в различных условиях эксплуатации. Рассмотренные методы защиты включают барьерные, металлические и электрохимические покрытия, каждое из которых обладает определенными преимуществами и ограничениями в зависимости от условий применения и экономической целесообразности. Анализ показал, что наиболее устойчивыми к воздействию влаги и агрессивных сред являются эпоксидные и полиуретановые покрытия, а также полимерные защитные слои на основе ПВХ и полиэтилена, что обеспечивает дополнительную гидроизоляцию и механическую стойкость. В условиях морской среды особую эффективность демонстрируют методы горячего цинкования и алюминирования, предотвращая разрушение металлоконструкций. Перспективными направлениями антикоррозионной защиты являются комбинированные методы, включающие применение жертвенных анодов в сочетании с барьерными покрытиями. Катодная защита, использующая наложенный ток, продемонстрировала высокую эффективность для гидротехнических сооружений, предотвращая электрохимическое разрушение металла и продлевая срок эксплуатации конструкций. С точки зрения экономической эффективности установлено, что использование современных защитных систем, несмотря на первоначально более высокие затраты, позволяет значительно снизить расходы на эксплуатацию и ремонт шпунтовых ограждений. Продление срока службы конструкций в 2–3 раза подтверждает оправданность применения качественных защитных покрытий и электрохимической защиты. Таким образом, комплексный подход к антикоррозионной защите шпунтовых ограждений является ключевым фактором повышения их долговечности и минимизации эксплуатационных затрат. Для объектов, расположенных в условиях высокой влажности и агрессивных сред, целесообразно применение комбинированных методов защиты, которые обеспечивают надежность и устойчивость конструкций на протяжении всего их жизненного цикла.

Список литературы

- СП 28.13330.2017 *Защита строительных конструкций от коррозии*. Свод правил. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069587> (дата обращения: 05.05.2025).
- ГОСТ 9.032–74. *Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначения*. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294850/4294850377.pdf> (дата обращения: 05.05.2025).

3. ГОСТ 9.402–2004. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040460> (дата обращения: 05.05.2025).
4. Wall H. *Service Life Assessment of Harbor Structures–Case studies of Chloride Ingress into Concrete and Sheet Piling Corrosion Rates*. Doctoral Thesis. Lund: Lund University; 2013. 83 p. URL: <https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/4057925/4249509.pdf> (accessed: 05.05.2025).
5. Wall H, Wadsö L. Corrosion Rate Measurements in Steel Sheet Pile Walls in a Marine Environment. *Marine Structures*. 2013;33:21–32. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2013.04.006>
6. Stuart DM. Project-Specific Steel Sheet Piling Applications. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*. 2004;9(4):194–201. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0680\(2004\)9:4\(194\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0680(2004)9:4(194))
7. Sobala D, Rybak J. Steel Sheet Piles – Applications and Elementary Design Issues. In: *Proceedings of IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 245, Issue 2. IOP Science; 2017. P. 022072. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/2/022072>
8. Gedeon G. *Design of Sheet Pile Walls*. CED Engineering. Continuing Education and Development, Inc. An Online PDH Course. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/G05-001%20-%20Design%20of%20Sheet%20Pile%20Walls%20-%20US.pdf> (accessed: 19.02.2025)
9. Nyawo MM, Allopi D. Corrosion Rate Measurement of Sheet Pile Wall in the Port of Durban. *Journal of Civil Engineering and Technology (JCET)*. 2024;10(2):11–21. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14409161>
10. Barley AD. The Failure of a Twenty-One Year Old Anchored Sheet Pile Quay Wall on the Thames. *Ground Engineering*. 1997. URL: <https://theanchormanblog.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/12/the-failure-of-a-21-year-old-anchored-sheet-pile-quay-wall-on-the-thames-a-d-barley-ground-engineering-march-1997.pdf> (accessed: 05.05.2025).
11. Ghebrehwet YT. *Lateral Earth Pressure, Slope Stability and Pile Sheetting*. Master Thesis. Kristiansand: University of Agder; 2023. 105 p. URL: <https://uia.brage.unit.no/uia-xmlui/bitstream/handle/11250/3077291/no.uia:inspera:145678485:22683888.pdf?sequence=1> (accessed: 05.05.2025).

Об авторе:

Владимир Владимирович Гарашко, магистрант кафедры технологии строительного производства Донского государственного технического университета (344022, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), ssuccessfuul@ya.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Author:

Vladimir V. Garashko, Master's Degree Student of the Construction Technology Department, Don State Technical University (162, Sotsialisticheskaya Str., Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation), ssuccessfuul@ya.ru

Conflict of Interest Statement: the author declares no conflict of interest.

The author has read and approved the final manuscript.