



УДК 627.2

КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОРТОВОГО ПРИЧАЛЬНОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ – АНАЛИЗ, ТИПОВЫЕ УГРОЗЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Кочкурова Наталия Викторовна, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений
ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта».
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Фадеев Артем Михайлович, магистрант 1 курса
ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта».
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Смирнов Дмитрий Евгеньевич, студент 4 курса
ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта».
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Аннотация. Безопасность и эксплуатационная надёжность портовых причальных гидротехнических сооружений находятся под постоянным воздействием разнообразных природных, техногенных, антропогенных факторов. Приведена нормативная база в области критериев безопасности. Критерии для портовых причальных сооружений разделены на группы. Описаны направления научных исследований и перспективы развития критериев безопасности причалов.

Ключевые слова: критерий безопасности, причальное сооружение, факторы угрозы безопасности, эксплуатационная надёжность.

В последние годы динамика грузооборота речных портов России демонстрирует смешанную картину. По сообщению в ходе совместного заседания Коллегии Федерального агентства морского и речного транспорта и Общественного совета при Росморречфлоте на 2024 год, объём грузоперевозок по внутренним водным путям составил около 120 млн тонн, что на 9,7% больше, чем в предыдущем году. При этом в 2014 году этот показатель составлял свыше 124,7 млн тонн, то есть за десятилетие наблюдается общее снижение грузооборота. Факторами роста являются развитие мультимодальных логистических комплексов, планирование создания хабов для интеграции водного, железнодорожного и автомобильного транспорта, что должно увеличить грузопоток на реках. Федеральный проект «Внутренние водные пути» до 2030 года предусматривает инвестиции в модернизацию портов, углубление русел и строительство новых перегрузочных терминалов. Стыковка с Северным морским путём (СМП) для речных портов также является драйвером роста. Однако есть факторы снижения, среди которых конкуренция с

другими видами транспорта: автомобильный и железнодорожный транспорт часто вытесняют речной из-за более коротких сроков доставки; износ флота и инфраструктуры: большая часть судов построена в советский период, а многие порты требуют модернизации. Короткая навигация в некоторых регионах и климатические условия также ограничивают период работы речного транспорта.

Согласно «Стратегии развития внутреннего водного транспорта до 2030 года», планируется увеличить грузопоток по внутренним водам с 110 млн до 215 млн тонн (10,8 млн тонн насыпных грузов плюс 204 млн – наливных). Для этого предусматривается строительство новых судов и модернизация флота. Также внимание уделяется развитию мультимодальных перевозок и интеграции речного транспорта в глобальные логистические цепочки. Например, проект «Арктический экспресс» через порт Архангельска демонстрирует потенциал соединения речных и морских маршрутов.

Безопасность и эксплуатационная надёжность портовых причальных гидротехнических сооружений находятся под постоянным воздействием разнообразных природных факторов, каждый из которых способен создать серьёзные угрозы их целостности и функциональности [1]. Эти угрозы носят комплексный характер и проявляются через совокупность гидрологических, геологических и климатических процессов. В частности:

- гидродинамические воздействия (штормовые нагоны, волновые нагрузки, ледовая активность, паводки) создают избыточные механические напряжения в конструкциях и провоцируют размыв оснований;

- геологические процессы (оползни, эрозия берегов, подвижки грунтов, суффозия) ведут к деформации и потере устойчивости сооружений;

- климатические факторы (перепады температур, циклы замораживания-оттаивания, агрессивная водная среда) ускоряют коррозию металлических элементов и деструкцию бетонных конструкций.

Техногенные воздействия представляют собой одну из наиболее значимых групп угроз для безопасности сооружений [2]. К основным техногенным угрозам относятся:

- перегрузы сооружений – превышение допустимых норм складирования грузов, размещение техники сверх расчётных нагрузок, что вызывает деформации и трещины в конструкциях;

- механические повреждения от судов – удары при швартовке, навалы на стенки, истирание корпуса о элементы причала, подмыв дна струями от судовых винтов;

- коррозионное воздействие – контакт с химическими грузами (нефтепродуктами, минеральными удобрениями, кислотами), агрессивными сточными водами, что ускоряет разрушение металлических и железобетонных элементов;

- нарушение правил эксплуатации – отсутствие своевременных ремонтов, несоблюдение режимов нагрузки, несанкционированное изменение функционального назначения причалов;

- ошибки при строительстве и реконструкции – низкое качество работ, отклонение от проекта, использование материалов с заниженными характеристиками, недостаточный контроль на этапах возведения;

- загрязнение грунтов – проникновение нефтепродуктов, органики, промышленных отходов в основание причала, что снижает несущую способность грунтов и провоцирует неравномерные осадки;

- влияние соседних сооружений и работ – вибрации от строительства, выемка грунта вблизи причала, прокладка коммуникаций, изменяющие напряжённо-деформированное состояние основания.

Антропогенные факторы представляют собой значительную группу рисков для безопасности портовых причальных гидротехнических сооружений, поскольку напрямую связаны с человеческой деятельностью как в процессе эксплуатации объектов, так и в результате внешних воздействий на прилегающие территории. К ключевым антропогенным угрозам принадлежат:

- нарушение эксплуатационных режимов – превышение проектных нагрузок (складирование сверхнормативных грузов, стоянка судов с осадкой выше допустимой), несоблюдение графиков швартовки и отшвартовки, использование сооружений не по назначению;
- ошибки при проектировании и строительстве – недостаточный учёт местных условий, применение материалов низкого качества, отступления от проектной документации, слабый контроль качества работ;
- недостаточное техническое обслуживание – пропуск плановых обследований, отсрочка ремонтных работ, игнорирование первых признаков износа (трещин, коррозии, осадок);
- механические повреждения – удары судов при маневрировании, зацепы кранового оборудования, повреждения от дноуглубительных работ, несанкционированные земляные работы в охранной зоне;
- загрязнение акватории и грунтов – сброс нефтепродуктов, химических веществ, твёрдых отходов, что ускоряет коррозию конструкций и ухудшает свойства оснований;
- влияние смежных объектов и работ – вибрации от строительства поблизости, изменение гидрологического режима из-за новых гидротехнических сооружений, выемка грунта в прилегающей зоне;
- несанкционированная деятельность – незаконное складирование, самовольное подключение к инженерным сетям порта, вандализм.

Актуальность исследования критериев безопасности портового причального гидротехнического сооружения обусловлена рядом объективных факторов современного развития транспортной отрасли. Во-первых, рост грузооборота портов предъявляет повышенные требования к надежности и функциональности гидротехнических сооружений. Увеличение объемов перевозок грузов ведет к увеличению нагрузки на существующие причальные комплексы, повышая риск возникновения аварийных ситуаций вследствие превышения предельных значений несущей способности конструкций.

Не менее значимым фактором является старение портовой инфраструктуры наряду с нарастающими климатическими вызовами. Значительная часть причальных сооружений была возведена десятилетия назад и приближается к исчерпанию проектного срока службы; при этом многие объекты эксплуатируются с превышением изначальных расчётных параметров. Одновременно усиливаются внешние воздействия: повышение уровня моря, учащение штормов и экстремальных волн, усиление ледовой нагрузки в северных портах, эрозия дна и берегов. Эти факторы в совокупности создают новые риски, для управления которыми требуются актуализированные критерии безопасности, учитывающие как физическое состояние стареющих конструкций, так и изменяющиеся гидрометеорологические условия. Таким образом, разработка научно обоснованных критериев безопасности становится критически важной задачей для обеспечения надежного функционирования портовой инфраструктуры и повышения конкурентоспособности российских портов на мировом рынке.

Нормативная база в области критериев безопасности портовых причальных гидротехнических сооружений формируется на основе отечественных стандартов Российской Федерации и международных норм, регламентирующих проектирование, строительство и эксплуатацию таких объектов.

Основные российские нормативные документы включают: ГОСТ Р 55561-2013 «Внутренний водный транспорт. Портовые гидротехнические сооружения. Требования безопасности», ГОСТ Р 56241-2014 «Внутренний водный транспорт. Техническая эксплуатация портовых гидротехнических сооружений. Требования безопасности», СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения», Приказ Ростехнадзора от 08.05.2024 №151 «Требования к обеспечению безопасности гидротехнических сооружений», Федеральный закон № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений».

Международные нормы представлены стандартами Международной ассоциации инженеров-гидротехников (IAHR), Международной федерации инженерных консультантов (FIDIC), а также рекомендациями Международного союза морских организаций (ИМО). Эти стандарты определяют общие принципы проектирования и эксплуатации портовых сооружений, требования к оценке рисков и управлению ими, обеспечивают гармонизацию национальных законодательств и помогают внедрять передовые технологические решения.

Безопасность гидротехнических сооружений определяется посредством критериев, представляющих собой предельные характеристики, как количественные, так и качественные, отражающие состояние сооружений и условия их использования. Эти характеристики, соответствующие приемлемому уровню риска возникновения аварийных ситуаций, утверждаются в порядке, установленном органами исполнительной власти, осуществляющими государственный надзор в области безопасности ГТС. Иными словами, критерии безопасности ГТС – это пороговые значения показателей, определяющих допустимый уровень риска аварийных ситуаций при эксплуатации гидротехнических сооружений. Контроль за соблюдением данных критериев осуществляют уполномоченные государственные органы.

Показатели состояния и критерии безопасности определяют три главных подхода к ее обеспечению. Первый подход основан на анализе текущего состояния сооружений. Второй подход использует метод предельных состояний, закрепленный в современных нормах проектирования. Третий подход предполагает вероятностную оценку показателей безопасности, определяя вероятности наступления различных событий и состояний, зависящих от заданных критериев безопасности.

Ключевые критерии безопасности портовых причальных гидротехнических сооружений включают комплекс количественных и качественных показателей, которые обеспечивают допустимый уровень риска аварий и соответствуют нормативным требованиям. Эти критерии охватывают различные аспекты эксплуатации, конструкции и внешних воздействий на сооружения. Критерии безопасности можно разделить на следующие группы:

1. Прочностные и деформационные критерии. К ним относятся допустимые напряжения в конструкциях, предельные деформации и осадки, устойчивость против сдвига, опрокидывания и всплытия.

2. Гидродинамические критерии – допустимая волновая нагрузка, фильтрационная устойчивость основания, защита от размыва дна у причала.

3. Эксплуатационные критерии – грузоподъемность причальной стенки, допускаемые габариты обслуживаемых судов, сроки службы элементов конструкции.

4. Экологические и санитарные критерии – предотвращение загрязнения акватории, соответствие требованиям по шуму и вибрации.

5. Критерии, связанные с нагрузками – постоянные нагрузки: временные длительные нагрузки, кратковременные нагрузки, особые нагрузки.

6. Критерии безопасности по уровням: критерии 1-го уровня: значения показателей при основном сочетании нагрузок, при которых сооружение соответствует условиям нормальной эксплуатации. Критерии 2-го уровня: значения показателей при особом сочетании нагрузок, превышение которых ведёт к предаварийному состоянию.

7. Дополнительные критерии - состояние материалов: контроль за коррозией, карбонизацией бетона, усталостными повреждениями; работоспособность систем мониторинга: наличие и исправность датчиков, кренометров, уровнемеров и других измерительных устройств; соблюдение норм эксплуатации: запрет на превышение допустимых нагрузок, нарушение правил швартовки, складирования грузов и т. д.

Научные труды в области безопасности портовых гидротехнических сооружений охватывают широкий спектр проблем: от методов повышения надёжности конструкций до разработки нормативных документов и систем мониторинга [3, 4]. Основные направления исследований включают технологические риски, воздействие природных и техногенных

факторов, коррозию материалов, а также совершенствование методов обследования и эксплуатации.

В работах рассматриваются инновационные подходы к укреплению оснований и конструкций. Например, в статье О. П. Минаева (2017) [5] предложен новый способ уплотнения водонасыщенных песчаных грунтов оснований с помощью последовательного взрывания зарядов, что повышает эксплуатационную безопасность портовых ГТС при разжижении грунтов.

Также разрабатываются методики оценки технического состояния сооружений. В диссертации на тему «Оценка технического состояния и повышение несущей способности портовых гидротехнических сооружений на реках Сибири» (2015) [6] предложены методики определения сроков службы и ремонта причальных сооружений; оперативной оценки технического состояния по индексу безопасности с учётом износа; метод армирования обратной засыпки гибкими наклонными полотнищами для снижения напряжённо-деформированного состояния конструкций.

Научные исследования в этой области активно обсуждаются на профильных конференциях и конгрессах. Например, в 2025 году прошёл VIII конгресс «Гидротехнические сооружения и дноуглубление» в Москве, где рассматривались вопросы модернизации морских портов, развития инфраструктуры Северного морского пути и снижения импортозависимости. Также проводятся научно-практические конференции, например, «Обеспечение безопасности и надёжности судоходных гидротехнических сооружений» в Великом Новгороде (2024), где обсуждаются передовые научные и инженерные решения.

Перспективы развития критериев безопасности причалов связаны с внедрением цифровых технологий, использованием новых материалов и адаптацией к изменяющимся условиям. Эти направления позволяют повысить надёжность сооружений, снизить риски аварий и обеспечить устойчивость к внешним воздействиям.

Цифровые модели, включая BIM-технологии, становятся ключевым инструментом в проектировании, строительстве и эксплуатации причалов. Они позволяют не только анализировать сценарии эксплуатации и выявлять слабые места на стадии проектирования, но и оценивать остаточный ресурс конструкций и оптимизировать плановое обслуживание.

«Умные» причалы оснащаются датчиками, которые в реальном времени собирают данные о состоянии конструкций, уровне воды, нагрузках и других параметрах. Например, технология Falco Smart Marina в пристани Хэмбл-Пойнт использует датчики движения для мониторинга занятости причалов, что повышает эффективность управления и безопасность.

Применение современных материалов и методов защиты значительно увеличивает долговечность причалов: использование композитных материалов, обладающих высокой прочностью, устойчивостью к коррозии и ультрафиолетовому излучению. Например, плавающие причалы из полимеров не гниют, не разрушаются под воздействием солёной воды и сохраняют свойства при температурных колебаниях. Сочетание цифровых технологий, инновационных материалов и адаптивного подхода к климатическим изменениям позволит существенно повысить безопасность причалов и обеспечить их долгосрочную эксплуатацию.

Анализ современных вызовов в области безопасности портовых гидротехнических сооружений убедительно демонстрирует единственно эффективный путь обеспечения надёжности – комплексный подход, объединяющий технологические, нормативные и эксплуатационные меры. Необходимо также совершенствовать нормативную базу с учётом современных материалов (композиты, антикоррозионные покрытия) и цифровых технологий (BIM, «умные» датчики); включать требования к мониторингу в реальном времени и критериям предельного состояния конструкций. Современные требования профилактического обслуживания могут сводиться к переходу от планово-предупредительных ремонтов к прогнозирующему обслуживанию на основе анализа данных; регулярной дефектоскопии с применением дронов и подводного

робототехнического оборудования. Важна экологическая ответственность с контролем за загрязнением акваторий и грунтов; применением биоразлагаемых антикоррозионных составов и технологий рекультивации. Безопасность портовых сооружений имеет взаимосвязь с экологическими факторами и требует комплексного подхода, который учитывает как технические, так и экологические аспекты на всех этапах жизненного цикла портовых объектов — от проектирования до ликвидации. Реализация предложенных мер позволит не только снизить аварийность, но и повысить конкурентоспособность портовой инфраструктуры в условиях глобальной трансформации транспортной системы.

Список литературы:

1. Фомин, Ю. Н. Оценка риска аварий при строительстве причальных сооружений типа "больверк" : специальность 05.23.07 "Гидротехническое строительство" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Фомин Юрий Николаевич. – Санкт-Петербург, 2002. – 136 с. – EDN QDPPQJ.
2. Кочкурова, Н. В. Коррозионный износ причальных портовых сооружений из металлического шпунта и его учет при оценке их работоспособности / Н. В. Кочкурова, В. А. Филиппычева // Речной транспорт (XXI век). – 2024. – № 3(111). – С. 50-55. – EDN EKWXLD.
3. Ильченко, А. Н. Обеспечение безопасной эксплуатации причальной инфраструктуры ФГУП "РОСМОРПОРТ" / А. Н. Ильченко // Гидротехника. – 2020. – № 4(61). – С. 51-53. – EDN GGGUFR.
4. Пивон, Ю. И. Вопросы повышения системы безопасности гидротехнических сооружений в Сибирском регионе / Ю. И. Пивон // Наука, образование, кадры : Материалы национальной конференции в рамках IX Международного Сибирского транспортного форума, Новосибирск, 22–25 мая 2019 года. – Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2019. – С. 252-256. – EDN HDSWBT.
5. Минаев, О. П. Повышение эксплуатационной безопасности и надежности портовых гидротехнических сооружений при разжижении грунтов оснований новым взрывным способом уплотнения / О. П. Минаев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2017. – Т. 9, № 6. – С. 1175-1185. – DOI 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1175-1185. – EDN YLUEZR.
6. Бик, Ю. Г. Оценка технического состояния и повышение несущей способности портовых гидротехнических сооружений на реках Сибири : специальность 05.23.07 "Гидротехническое строительство" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Бик Юрий Григорьевич. – Новосибирск, 1998. – 33 с. – EDN ZKKJZF.

SAFETY CRITERIA FOR A PORT MOORING HYDRAULIC STRUCTURE – ANALYSIS, TYPICAL THREATS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Natalia V. Kochkurova, Artem M. Fadeev, Dmitry E. Smirnov

Abstract. The safety and operational reliability of port mooring hydraulic structures are constantly influenced by a variety of natural, man-made, and anthropogenic factors. The regulatory framework in the field of safety criteria is presented. The criteria for port berthing facilities are divided into groups. The directions of scientific research and prospects for the development of berth safety criteria are described.

Keywords: критерий безопасности, причальное сооружение, факторы угрозы безопасности, эксплуатационная надежность.