

*Юрецкий М.Е., студент 6 курса,  
Департамент морских и арктических технологий*

*Россия, г. Владивосток*

*Научный руководитель: к.т.н., доц. по спец., Любимов В.С.*

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА МОРСКИХ ПОРТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО–КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Аннотация.* Порт играет важную роль в транспортной системе страны. Он представляет собой транспортный узел, где совместно действуют различные виды транспорта. Назначение морских портовых гидротехнических сооружений (МПГТС) – обработка судов. Значимость данного объекта определяется функциональным назначением: транспортным, промышленным, промысловым и военным. Морские порты являются стратегическими объектами государства, что определяет необходимость совершенствования методов и форм управления их развитием на основе современных методов.

*Ключевые слова:* морские портовые гидротехнический сооружения (МГТС), обследование, состояние, показатели, параметры, критерии (допуски), износ сооружения, теория надежности, безопасности, качества.

*Annotation.* Port plays an important role in the transportation system of a country. It is a transportation hub where different modes of transportation such as sea, rail, river, road, and pipeline operate together. The purpose of seaport hydraulic structures (MPHTS) is ship handling. The importance of this facility is determined by its functional purpose: transportation, industrial, fishing and military. Seaports are strategic objects of the state, which determines the need to

improve methods and forms of management of their development on the basis of modern methods.

**Key words:** sea port hydraulic structures (MHTS), inspection, condition, indicators, parameters, criteria (tolerances), deterioration of the structure, theory of reliability, safety, quality.

Морские портовые гидротехнический сооружения (МПГТС) являются сложными системами. Основные особенности – длительный срок эксплуатации, многоэтапность создания объекта при меняющейся нормативной базе, множество применяемых для описания теорий и подходов, перманентное воздействие «агрессивной» сульфатной среды. На каждом этапе существования МПГТС (его «жизненного цикла») необходим контроль качества строительства.

Одним из главных видов контроля является оценка состояния сооружения в процессе его эксплуатации. Достигается это путем проведения ряда эксплуатационных мероприятий, важнейшим из которых является «обследование сооружения».

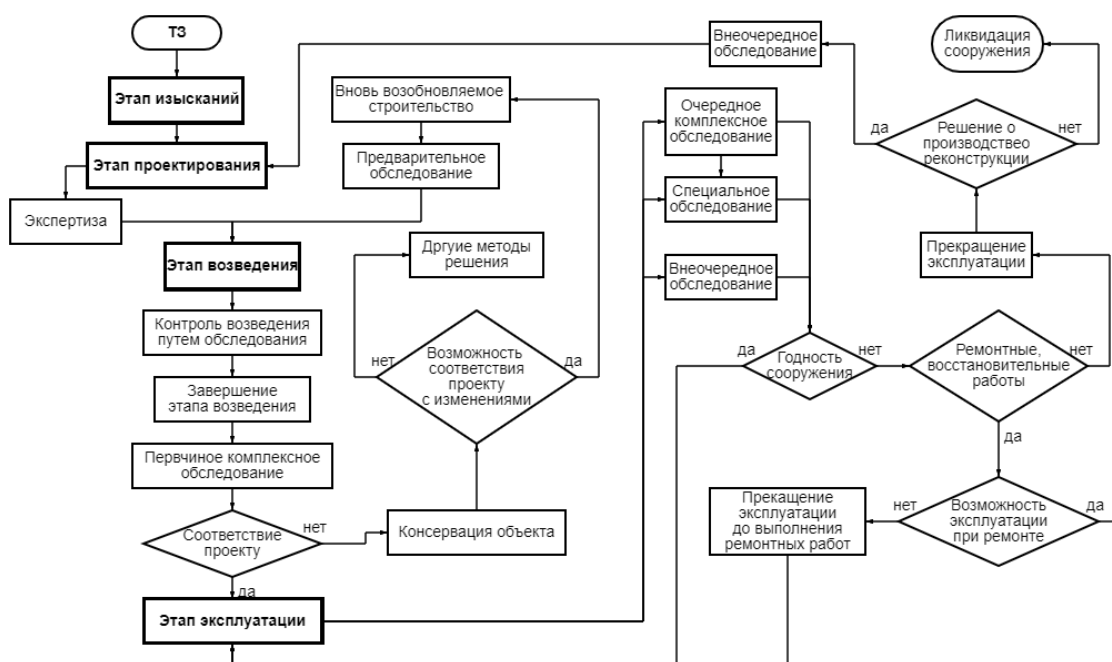


Рисунок 1 – Блок-схема «жизненного» цикла МПГТС

Процесс «жизненного цикла» сооружения состоит из ряда последовательных этапов, через которые проходит сооружение от инициации до завершения существования.

По открытым данным Федерального Государственного Унитарного Предприятия «Росморпорт» [1] в 2020 году проведено освидетельствование 71 ГТС, в 2019 году насчитывается 30 освидетельствованных ГТС. На основании результатов освидетельствования определяется физический износ, нуждающиеся в капитальном ремонте сооружения, разрабатываются основные требования к условиям их дальнейшей технической эксплуатации с учетом остаточного ресурса. В результате своевременно выполняемых текущих и капитальных ремонтов средний физический износ причальных сооружений не превышает 30%. На рисунке 2 представлена схема по показателю среднего износа причальных сооружений за 2019-2020 гг. в процентных величинах, распределенного по бассейнам морских портов.

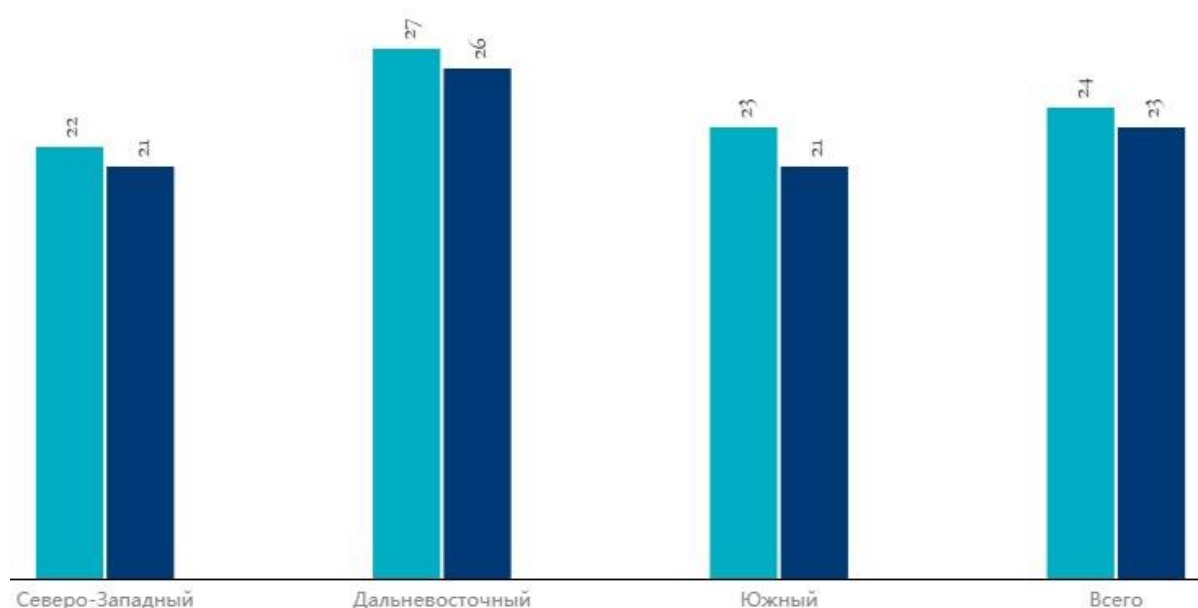


Рисунок 2 – Средний износ причальных сооружений, %

### Обследования

В соответствии с [2], понятие обследование сооружения раскрывается как – определение качественных и количественных характеристик технического состояния сооружения.

Качественная характеристика – это описание свойств, характеристик или особенностей объекта, без использования числовых значений. Она позволяет определить, какие качества или свойства присущи данному объекту. В нашем понимании качественные характеристики преобладают в экспертных методах обследования и по ряду причин могут обладать некоторой предвзятостью (например, из-за низкой квалификации эксперта).

Количественная характеристика, напротив, представляет собой числовое выражение свойств объекта. Она позволяет определить, сколько чего-то есть у объекта, например, «раскрытие трещины в 15 мм» или «фактическая прочность бетона оголовка составляет 47,6 МПа».

Первостепенной задачей, которую решает обследование – это предоставление информации о состоянии сооружения на основе которой выполняется анализ возможного исхода событий, при котором существует вероятность опасности, травмирования или угрозы жизни людей. Своевременное выявление различных дефектов эксплуатируемых конструкций предотвращает разрушение, аварии и способствует заблаговременному принятию мер по устранению факторов, приводящих в экономически не выгодную позицию, а также замене, усилению и восстановлению конструкций при необходимости.

Обследование важнейший элемент по обеспечению **обратной связи** в рассматриваемой системе. Это информативная связь определяющая правильность принятых решений на этапе проектирования и качество строительства. Также обследования определяют **информативную базу** для **уточнения нормативов**.

#### Показатели, параметры, критерии (допуски)

Действующий в настоящее время источник [3] трактует понятие технического состояния, следующим образом: состояние объекта, характеризующее совокупностью установленных в документации параметров,

описывающих его способность выполнять требуемые функции в рассматриваемых условиях.

Категория технического состояния – это степень эксплуатационной пригодности несущей строительной конструкции или здания и сооружения в целом, а также грунтов их основания, установленная в зависимости от доли снижения несущей способности и эксплуатационных характеристик.

Таким образом, обследование портового гидротехнического сооружения заключается в оценке объектов, подвергаемых контролю, с целью определения их категории состояния как по отдельности, так и сооружения в целом.

**Износ** является важнейшим понятием, так как определяет состояние сооружения в конкретный период времени. В зависимости от вида применяемой теории для описания состояния сооружения (сложной технической системы) существуют различные виды износов и их понимание (например, моральный, физический, экономический и прочие).

Хронология развития нормативной документации, применяемых теорий и их показателей

Теория представляет собой единство взглядов. Каждая теория имеет свои критерии, правила и положения, а также показатели, которые зачастую конфликтуют между собой. Наиболее применимые теории в актуальном нормативном источнике [2] – надежность, безопасность, экономические теории, экологические и теория качества. Теория качества в определенной мере является объединяющей вышеперечисленные теории что и демонстрирует таблица 1.

Таблица 1 – Теории и их критерии

Теория	Критерии
Надежности	<ul style="list-style-type: none"> <li>- выполнение требуемых функций в заданных режимах и условиях применения;</li> <li>- безотказность;</li> <li>- долговечность;</li> <li>- ремонтпригодность;</li> <li>- сохраняемость;</li> <li>- прочность;</li> <li>- стабильность;</li> <li>- способность справляться с воздействием нагрузок, климатических условий, вибраций, коррозии и других внешних факторов.</li> <li>- восстанавливаемость;</li> <li>- готовность.</li> </ul>
Безопасности	<ul style="list-style-type: none"> <li>- обеспечение защиты жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов.</li> </ul>
Качества	<ul style="list-style-type: none"> <li>- пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением;</li> <li>- выполнение основных задач и функций;</li> <li>- эффективное использование ресурсов и возможность получения максимальной отдачи от вложенных средств;</li> <li>- прочность;</li> <li>- надежность;</li> <li>- долговечность;</li> <li>- безопасность и способность выдерживать нагрузки;</li> <li>- гармоничность;</li> <li>- сочетание форм, цветов, материалов и прочее</li> </ul>

В 1989 году выпущен руководящий документ: Инструкция по инженерным обследованиям МПГТС [4] - в основном базируется на положениях теории надежности. Наиболее используемая - экспертная методика оценки состояния сооружения. Термин надежность напрямую связан с долговечностью – способностью строительного объекта сохранять прочностные, физические и другие свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечивающие его нормальную эксплуатацию в течение расчетного срока службы (к нормальной эксплуатации относятся условия, предусмотренные строительными нормами или заданием на проектирование, включая соответствующее техническое обслуживание, капитальный ремонт и реконструкцию).

Для гидротехнического строительства вся надежность завязана на долговечности, которая «борется» с ремонтпригодностью. В своей основе ГТС проектируют не с уклоном в ремонтпригодность, долговечности отдается большая роль, чтобы ГТС длительно сохраняло работоспособность до наступления предельного состояния при определенных условиях эксплуатации. Но в условиях постоянного технического прогресса заложенные 50 лет срока службы (для III и IV классов ГТС) не всегда актуальны, через условные 20 лет эксплуатации появляется новая технология и приоритеты в использовании изменяются.

В 1997 году выпущен руководящий документ: руководство по техническому контролю ГТС морского транспорта [5] – в большей мере также базируется на положениях теории надежности, но при этом начинают использоваться численные методы оценки состояния сооружения, применяя следующие понятия: **износ, критерии сооружения, коэффициент сохранности, коэффициент весомости, группы однородных элементов и другие**. На основании численных методов (с применением формул) определяют **физический износ** сооружения и его элементов, при этом применяется положения и экономических теорий (например, моральный износ

1 и 2 рода). Физический износ измеряется в процентных величинах и в денежном выражении. Главными причинами физического износа являются технологические и производственные процессы, а также влияние природных явлений и катастроф.

В 1992 году, согласно закону РФ «О безопасности», был создан Совет безопасности РФ. Однако первый стратегический документ, посвященный обеспечению безопасности страны, появился лишь в 1997 году. В тот момент, Президентом РФ была принята Концепция национальной безопасности РФ. Эта Концепция представляла собой систему взглядов на обеспечение безопасности личности, общества и государства РФ от внешних и внутренних угроз во всех сферах жизнедеятельности.

Также в 1997 году издают Федеральный закон 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [6]. С точки зрения сферы обследований, норматив регламентирует обязанности органов государственной власти, собственников ГТС и эксплуатирующих организаций по обеспечению безопасной эксплуатации ГТС. Гидротехническое сообщество тех лет, настаивало на применение ведомственного РД [5], убеждение того, что ГТС не соответствует категории безопасности, позволило инженерам добиться результата, но фактически им было предложено проработать обе теории так, чтобы они входили в один общий документ, что и происходит с выходом нормативного источника в 2011 году [2].

Рассматриваемый документ [6] требует заранее принятых решений и мер по недопущению аварийных ситуаций т. к. для ГТС характерен постепенный (накопительный), прогнозируемый отказ (потеря способности сооружения (элемента) выполнять требуемую функцию).

До 1997 года методика контроля, состоящая из двух возможных состояний сооружения, а именно исправное и неработоспособное была более простой.



Исходя из содержания статьи 8 настоящего документа в 1997 году основным требованием в обследованиях являлась догма – «обеспечение допустимого уровня риска аварий ГТС» - что означает значение риска аварий ГТС, которые устанавливались нормативными источниками. Вычислить количественный уровень или задать численно допустимый уровень риска очень многогранная и сложная задача, которая однозначно не решена по настоящее время. Таким образом, было принято, что на стадии эксплуатации сооружений уровень риска считается допустимым, если сооружение отвечает всем требованиям проекта и по всем диагностическим показателям не превышены предельно допустимые значения.

Это возымело следующую интерпретацию (до разрабатывания, провозглашения и внедрения общепринятых методологий определения комплексного показателя технического состояния ГТС [2]) – показатель уровня риска аварий (теория безопасности) к обязательному вычислению не подлежит, но сформулированы и приняты требования, при которых этот показатель является допустимым. Однако количественная оценка безопасности производилась как в прошлом, так и производится в настоящем времени по многим показателям (параметрам) – параметрическая или экспертная оценка.

В теории безопасности износ связан с оценкой последствий критических ситуаций и рисков. В теории экономики износ – это результат временных факторов, какое-либо сооружение могут признать экономически не выгодным или небезопасным (например, исходя из появления и внедрения новых технологий). Физический же износ больше относится к количественным параметрам (теория надежности).

Таким образом, до 1997 года применялось понятие надежности, после начали переходить к понятию безопасности (именно морских сооружений). Но в связи с тем, что ГТС не полностью соответствуют категории безопасности, находятся ближе к категории надежности, современные морские нормативные

документы – это смесь теории надежности и безопасности, причем на уровне 1997 года, так как действующий и актуальный нормативной источник 2011 года [2] впитал в себя, заложенные ранее принципы и концепции.

В 2011 году формируется норматив [2], схема основных состояний и событий, заимствованная из [3] предыдущих редакций (теория надежности) теперь обязательна и представлена на рисунке 3.

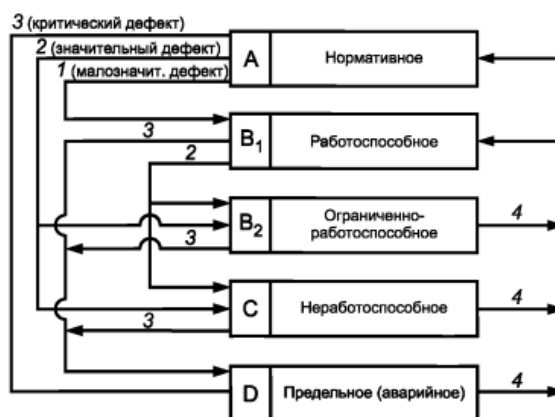


Рисунок 3 – Основные технические состояния и изменяющий их события

(1 – отклонение отдельных характеристик технического состояния сооружения (элемента) от установленных, не приводящие к нарушению работоспособности; 2 – отказ; 3 – переход в предельное состояние из-за наличия критического дефекта; 4 – ремонт)

Постоянное развитие и совершенствование различных методов, в том числе метода оценки технического состояния, определяет актуальность и значимость рассматриваемого процесса.

Приложение Ц [2] содержит виды дефектов каждого элемента сооружения и их показатели состояний в работоспособном и предельном состояниях, стоит отметить, отсутствие показателей для ограниченно-работоспособного и неработоспособного состояний (рисунок 4), т. е. характерна некоторая непрерывность количественных переменных. Такая концепция разделения всего на два технических состояния связана с применением нескольких теорий при создании данного информативного

материала. Происходит как бы наложение теорий друг на друга, теория надежности имеет свой потенциал и направление, а теория безопасности несколько иной, таким образом, они перекликаются между собой, что и демонстрирует фрагмент таблицы Ц.1, представленный ниже.

Номер и наименование элемента (приложение А)	Шифр конструктивной схемы (приложение А)	Вид дефекта	Показатели состояния элементов	
			Работоспособное	Предельное
3 Отбойное устройство	1.0—1.10, 2.0—2.7	Обрыв отбоев и повреждения: продольные трещины у резиновых цилиндров, разрыв пневматических амортизаторов, отсутствие автопокрышек у навесных деревянных щитов с автопокрышками	До 20 % общего количества	Более 75 % общего количества
		Излом, скол, расщепление, разрушение вследствие гниения брусьев деревянной отбойной рамы	До 20 % площади отбойной рамы	Более 50 % площади отбойной рамы

Рисунок 4 – Фрагмент таблицы Ц.1 [2] на примере одного из элементов сооружения

Согласно стандарту каждому элементу или сооружению в целом соответствует одна из категорий технического состояния: работоспособному состоянию элемента соответствует малозначительные дефекты (дефекты 1-ой категории), ограниченно-работоспособному или неработоспособному состоянию соответствует значительные дефекты (2-ой категории) и предельному состоянию соответствующую критические дефекты (3-ей категории). Такое разделение иллюстрирует таблица 1 [2] представленная на рисунке 5.

Вид технического состояния		Нормативное	Работоспособное	Ограниченно-работоспособное — неработоспособное		Предельное	
Категория дефекта		Дефектов нет	1-я категория — малозначительные дефекты	2-я категория — значительные дефекты		3-я категория — критические дефекты	
Коэффициент сохранности $a$		1,0	1,0—0,8	0,8—0,6	0,6—0,4	0,4—0,2	0,2—0
Показатель физического износа	%	0	0—20	20—40	40—60	60—80	80—100
	Безразмерный	0	0—0,2	0,2—0,4	0,4—0,6	0,6—0,8	0,8—1,0
Вид ремонта (мероприятия)		—	Текущий профилактический или непредвиденный	Капитальный выборочный      комплексный		Восстановление	Воспроизводство или списание

Рисунок 5 – Характеристики технического состояния сооружений и мероприятия по обеспечению их работоспособности

Данный источник подтверждает и убедительно демонстрирует, что конечное определенное по результатам обследования МПГТС техническое состояние – это производная от показателя физического износа. Физический износ в свою очередь является производной от совокупности определенных коэффициентов сохранности с включением в работу функции коэффициентов весомости отдельных элементов сооружения.

Определение коэффициента сохранности является экспертным элементом в системе, так как показатель определяется на основе таблицы Ц.1 [2] (рисунок 4) где отсутствуют показатели состояний элементов для некоторых категорий технического состояния, а также по таблице 1 [2] (рисунок 5) этот показатель имеет разброс.

Стандарт на этот счет никаких эксплицитно указанных рекомендаций не имеет, более того в некоторых пунктах в своем составе ссылается на применение экспертного метода оценки определенных положений.

Подводя итоги, формируется вывод, что история нормативной базы демонстрирует широкое разнообразие подходов, менявшихся во времени. Используемые теории, подходы и информационно-компьютерные технологии (ИКТ) отличаются друг от друга своими критериями, которые **конфликтуют**

между собой при их одновременном применении, из чего порождаются некоторые неясности при разработке рекомендаций и принятии решений по дальнейшим эксплуатационным мероприятиям МПГТС. Кроме того, применение численных методов остановилось на этапе разработки РД 1997 года [5] и их развития в нормативе 2011 года [2].

Исследовательская работа автора статьи позволит частично решить озвученные выше недостатки (конфликт между теорией безопасности и теорией надежности) путем выделения большего количества критериев и элементов сооружения с целью устранения элемента «экспертности» в пользу численных методов с использованием современных достижений ИКТ, программного обеспечения и экспериментальной техники.

Целью является как научно-практические исследования отдельных аспектов темы, так и автоматизация процессов формирования технических отчетов по результатам обследований. Результат исследовательской работы предлагает создание автоматизированной методики по расчету показателей физического износа МПГТС с применением ИКТ и разработкой ряда частных методик. В перспективе, применяемое программное обеспечение позволит сформировать базу данных по МПГТС и их конструктивным элементам при различных видах воздействия, что обеспечит мониторинг объектов в единой системе координат и возможность прогнозировать изменения состояния сооружения во времени.

### **Список литературы:**

1. Результаты деятельности: сайт ФГУП Росморпорт. – URL: <https://www.rosmorport.ru/about/disclosure/report/presentation2020/rezultaty-deyatelnosti/index.html> (дата обращения: 28.02.2024).

2. ГОСТ Р 54523-2011 Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: дата введения 2012-03-01. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 111 с.
3. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения: дата введения 2017-03-01. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 28 с.
4. РД 31.35.11-89 Инструкция по инженерным обследованиям морских портовых гидротехнических сооружений: дата введения 1989-07-01. – Москва: Минморфлот СССР, 1989. – 141 с.
5. РД 31.3.3-97 Руководство по техническому контролю гидротехнических сооружений морского транспорта: дата введения 1997-04-01. – Москва: Минтранс России, 1997. – 192 с.
6. О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 29 июля 1997 г. № 117-ФЗ // Ведомости Федерального Собрания Российской Федерации. – 1997. – № 24. – Ст. 3589.
7. Любимов В. С. Оценка физического износа морских транспортных сооружений. Тр. РИА. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2002.
8. Любимов В. С., Ким Л. В. Исследование, эксплуатация и ремонт гидросооружений. /УМК дисциплины по специальности 290104 «Гидротехническое строительство». - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. – 262 с.