УДК: 629.5.083.5
DOI: 10.37890/jwt.vi88.736

О концепции разработки модельно-алгоритмического обеспечения цифровой системы поддержки принятия решений при оценке технического состояния корпуса судна

Д.А. Кирсанова
ORCID: 0009-0000-7346-0065
Л.Г. Орлова
ORCID: 0000-0002-0600-9562
А.В. Соловьев
ORCID: 0000-0002-6304-9739
Ю.С. Федосенко
ORCID: 0000-0002-9434-4386
Волжский государственный университет водного транспорта», г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе выполнено обзорное исследование по проблеме своевременной и достоверной оценки технического состояния корпуса сухогрузного водоизмещающего судна внутреннего и смешанного (река-море) плавания. Рассмотрена эволюция подходов от классических, регламентируемых правилами Российского классификационного общества (РКО) до современных вероятностных и риск-ориентированных вычислительных моделей. По результатам исследования обоснована востребованность разработки модельно-алгоритмического обеспечения цифровой системы поддержки принятия решений (СППР) при оценке технического состояния металлического корпуса сухогрузного водоизмещающего судна в процессе его освидетельствования, интегрирующей результаты инструментального контроля, ретроспективные данные об износе корпуса и экспертные суждения. Обоснован выбор комбинации метода анализа иерархий (МАИ) с мультипликативной свёрткой в качестве адекватного инструмента агрегирования независимых разнородных показателей износа и условий эксплуатации судна. Разработана концепция программно-алгоритмического обеспечения цифровой СППР, включающая трехуровневую иерархию критериев, процедуру парных сравнений экспертов, нормирование частных показателей. Предложенный подход направлен на повышение объективности освидетельствования металлического корпуса сухогрузного водоизмещающего судна внутреннего и смешанного (река-море) плавания и потенциально возможное продление срока безопасной его эксплуатации.
Ключевые слова: корпус судна, оценка технического состояния, система поддержки принятия решений, метод анализа иерархий

On the concept of developing model-algorithmic software for a digital decision support system for the technical condition assessment of a ship hull

Darya A. Kirsanova
ORCID: 0009-0000-7346-0065
Lyudmila G. Orlova
ORCID: 0000-0002-0600-9562
Alexey V. Soloviev
ORCID: 0000-0002-6304-9739
Yuriy S. Fedosenko
ORCID: 0000-0002-9434-4386
Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract: This paper presents a review study on the problem of timely and reliable assessment of the technical condition of the hull of a dry cargo displacement vessel intended for inland and mixed (river-sea) navigation. The evolution of approaches is considered, from classical methods regulated by the rules of the Russian Classification Society (RCS) to modern probabilistic and risk-oriented computational models. Based on the results of the study, the need to develop model-algorithmic support for a digital decision support system (DSS) for assessing the technical condition of the steel hull of a dry cargo displacement vessel during its survey is substantiated, integrating the results of instrumental monitoring, retrospective data on hull wear, and expert judgments. The choice of a combination of the analytic hierarchy process (AHP) with multiplicative convolution is justified as an adequate tool for aggregating independent heterogeneous indicators of wear and vessel operating conditions. A concept of software-algorithmic support for a digital DSS is developed, including a three-level hierarchy of criteria, a pairwise comparison procedure for experts, and normalization of partial indicators. The proposed approach is aimed at increasing the objectivity of surveys of the steel hull of a dry cargo displacement vessel for inland and mixed (river-sea) navigation and potentially extending its safe service life.

Keywords: ship hull, technical condition assessment, decision support system (DSS), analytic hierarchy process (AHP)

Введение

Экономически эффективная эксплуатация судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания неразрывно связана с необходимостью проведения освидетельствований для подтверждения их соответствия требованиям безаварийного плавания. Порядок, сроки и объёмы таких проверочных работ регламентируется Правилами Российского классификационного общества (РКО) [1].

Одной из основных процедур, выполняемых в процессе освидетельствования, является определение актуального состояния корпуса судна и прогнозирование динамики значений, характеризующих его износ и показатели деградационных процессов (коррозия, усталость) [2] в течение эксплуатационного периода.

В контексте вышесказанного данная статья посвящена анализу представленных в профильных научных исследованиях современных теоретических подходов к оценке состояния сложных технических объектов, обоснованию на базе результатов этого анализа концепции построения программно-алгоритмического обеспечения цифровой системы поддержки принятия решений при обследовании стальных корпусов водоизмещающих судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания с целью оценки «потенциала их безаварийной эксплуатации».

В качестве задач исследования в статье рассматриваются следующие: а) анализ применяемых на практике методик исследования технического состояния стального корпуса сухогрузного водоизмещающего судна с опорой на нормативно-техническую базу РКО; б) анализ методов оценки технического состояния сложных систем (объектов), применяемых в смежных технических областях; в) разработка модельной концепции построения программно-алгоритмического обеспечения цифровой системы поддержки принятия решений при оценке технического состояния стального корпуса сухогрузного водоизмещающего судна внутреннего и смешанного (река-море) плавания.

Научная новизна результатов выполненного исследования заключается в разработке теоретических основ построения программно-алгоритмического обеспечения цифровой системы поддержки принятия решений (СППР) при оценке технического состояния стального корпуса сухогрузного водоизмещающего судна внутреннего и смешанного (река-море) плавания, интегрирующей результаты инструментального контроля, ретроспективные данные об износе и экспертные суждения, согласованные с требованиями Российского классификационного общества (РКО).

Материалы и методы

Для решения сформулированных в предыдущем разделе задач и соответственно достижения поставленной цели в работе используется комплекс теоретических и прикладных методов, объединённых общей логикой поэтапного перехода от анализа актуального состояния предметной области к разработке собственной концепции построения модельно-алгоритмического обеспечения СППР и её последующей верификации.

На первом этапе выполнен системный анализ научных и нормативно-технических материалов, посвящённых проблематике надёжности корпусных конструкций сухогрузных водоизмещающих судов. Рассмотрены работы по математическому моделированию, вероятностным методам дефектации стальных корпусов судов, риск-ориентированному подходу, а также публикации, касающиеся применения методов нечёткой логики и искусственного интеллекта для прогнозирования технического состояния сложных систем и объектов. Одновременно изучались нормативно-технические документы РКО и Российского морского регистра судоходства (РМРС) в части периодичности, объёмов и методов освидетельствования стальных корпусных конструкций. Такой подход позволил выявить современные тренды в практике исследования технического состояния стальных корпусов судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания и зафиксировать барьеры, препятствующие внедрению цифровых компонентов в процессы освидетельствования судов.

Результаты

Анализ научной литературы по теме показал, что теоретические подходы к оценке состояния стального корпуса сухогрузного водоизмещающего судна прошли длительный путь эволюции от трудоемких детерминированных расчетных методов к гибким вероятностным и риск-ориентированным процедурам. В частности, ныне повсеместно применяемые классические методы исследования технического состояния корпусов судов рассматриваемого типа основываются на визуальном и измерительном контроле с применением ультразвуковой толщинометрии, дефектоскопии и последующей оценке соответствия предельно допустимых износов нормативной базе РКО.

Выполненный в работе [3] сравнительный анализ правил РКО и РМРС показал, что несмотря на высокую степень детализации, существующие технологии проведения освидетельствования требуют значительных временных и финансовых затрат и не всегда позволяют прогнозировать динамику развития дефектов в корпусе судна в эксплуатационных условиях.

С целью снижения значимости указанных временных и финансовых ограничений в работе [4] предложен вероятностный подход к дефектации корпуса судна, позволяющий сократить количество физических измерений за счет реализации предварительного расчетного, так называемого «нулевого этапа в судоремонте». Показано, что полученные на этом этапе прогнозные значения остаточных толщин во всех случаях меньше им соответствующих результатов физических измерений остаточных толщин. Соответственно предложенный подход позволяет более точно спрогнозировать объемы ремонтных работ и выбрать наиболее целесообразный способ восстановления корпусных конструкций.

Близкий к вышеизложенному, вероятностный, подход был представлен в работе [5] в рамках концепция управления техническим состоянием корпуса судна на основе оценки риска. В отличие от детерминированных методов оценки риск-ориентированный подход позволяет ранжировать элементы корпуса судна по вероятностям и последствиям отказов и на этой основе разрабатывать приоритетные программы контроля, планировать необходимый объем ремонтных работ.

Благодаря интеграции с цифровыми технологиями реализация предложенных в работах [4,5] подходов становится практически возможной, позволяет прогнозировать состояние корпуса судна в процессе эксплуатации и унифицировать хранение, обработку данных о его техническом состоянии, способствуя: а) снижению общей трудоемкости работ и объемов непредвиденных расходов; б) повышению достоверности конечных результатов путем согласования данных физических замеров и численного моделирования.

Вместе с тем, рассмотренные выше вероятностные и риск-ориентированные подходы отличаются и рядом ограничений, поскольку они ориентированы на узкоспециализированные задачи [3-5] и не учитывают сложные взаимосвязи между различными видами повреждений и условиями эксплуатации. Кроме того оценка факторов риска, опираясь на не всегда согласованные экспертные суждения, остается субъективной.

В силу указанных обстоятельств представляется целесообразным формирование концепции модельно-алгоритмического обеспечения СППР при оценке эксплуатационного состояния корпуса судна, которая позволила бы объединить математическое моделирование процессов изменения прочностных характеристик, численную обработку данных эксплуатационного мониторинга и многокритериальную экспертную оценку остаточного ресурса корпусных конструкций.

В качестве теоретического базиса для такой СППР могут быть использованы методы интеллектуального анализа данных, отработанные, в том числе в задачах оценки технического состояния сложных систем и объектов в смежных областях.

Так, в работе [6] предложена «объяснимая интеллектуальная модель» для оценки состояния взлётно-посадочной полосы. В качестве математического фундамента в этой работе была выбрана теория нечётких множеств, позволившая в рамках каскадной продукционной парадигмы учесть для поэтапной оценки несколько десятков объединенных в группы независимых параметров, характеризующих изучаемый сложный объект. Преимущество такого подхода заключается в возможности формализовать экспертные знания в виде набора продукционных правил, а также в прозрачности логики принятия решений, что критически важно для систем и объектов, функционирующих в зонах повышенной технической опасности. Естественно, что, как и у любой экспертной системы, её главным минусом является существенная трудоёмкость формирования базы знаний и необходимость постоянной актуализации этой базы по мере поступления новых данных.

По теме формализации экспертных знаний остановимся на методе анализа иерархий (МАИ), реализация которого наглядно продемонстрирована в задаче [7] расчёта «индекса технического состояния» мостового перехода. Данный индекс формируется путем аддитивной свёртки частных показателей, назначенных экспертами по результатам визуальных осмотров мостового перехода. В этой задаче МАИ как инструмент принятия решений в условиях оценочной многокритериальности играет ключевую роль при определении весового коэффициента значимости каждого из учитываемых компонентов мостового перехода.

В общем случае МАИ позволяет структурировать сложную многокритериальную оценочную проблему, системно сочетать качественные экспертные оценки с количественными расчётами, обеспечивать проверку согласованности суждений, гибко учитывать иерархическую структуру критериев. Процесс принятия решений при таком подходе становится прозрачным, способствуя повышению доверия к объективности комплексной оценки состояния исследуемой системы (объекта). При этом основными преимуществами МАИ являются: а) формализация и преобразование экспертных оценок и данных технической диагностики в расчётные зависимости, б) системность и приспособленность инструментария МАИ к динамически

изменяющимся режимам работы системы (объекта), в) возможность применения МАИ в разнообразных технических приложениях.

В сравнении с классическими методами применение МАИ отличает повышенная вычислительная сложность и требование к более детальной проработке системы иерархий, весовых коэффициентов значимости компонентов исследуемой системы (объекта) и их зависимость от состава экспертной группы, а также ориентация на статическое состояние, что затрудняет учёт динамики деградационных процессов.

Идейно схожая с МАИ методология используется в работе [7] для оценки технического состояния судовой энергетической установки (СЭУ). В её основе также лежит иерархическая декомпозиция СЭУ как системы, а определение весовых коэффициентов значимости составляющих её компонентов осуществляется путем парных сравнений с последующей свёрткой частных показателей в комплексную оценку состояния. Для свертки частных критериев, характеризующих техническое состояние подсистем СЭУ, используется мультипликативный оператор, что обусловлено спецификой СЭУ, тесными взаимосвязями её подсистем. Соответственно мультипликативная модель свертки в большей мере отражает эффект «слабого звена», когда снижение значения одного показателя не компенсируется избыточными значениями остальных.

В целом применение МАИ в условиях многокритериальности интеллектуального анализа данных для оценки технического состояния технической системы (объекта) предоставляет следующие возможности:

– формализация многокритериальной задачи и техника структуризации множества критериев в общую систему иерархий,

– выполнение расчетных процедур в условиях неопределённости и неполноты исходных данных,

– снижение уровня субъективности экспертных оценок вследствие прозрачности процедуры попарных сравнений и проверки согласованности весовых коэффициентов значимости различных компонентов,

– адаптация метода под различные проекты, объекты и типы систем.

С учетом перечисленных возможностей представляется целесообразным применение МАИ в сочетании с мультипликативной сверткой для расчёта комплексной оценки технического состояния корпуса судна.

Другие позволяющие работать с неопределённостью методы, в том числе реализующие нечёткие и нейросетевые подходы, требуют значительного объёма репрезентативных данных для обучения, отличаются недостаточной объяснимостью получаемых решений и могут играть вспомогательную роль либо применяться для уточнения полученных прогнозных значений показателей деградационных процессов и накапливания базы знаний. Соответственно указанные ограничения должны учитываться при разработке концепции модельно-алгоритмического обеспечения СППР.

Ниже на основе МАИ предложено общее описание концепции построения программно-алгоритмического обеспечения цифровой системы поддержки принятия решений при поэтапная комплексной оценке технического состояния стального корпуса судна.

Для наглядности описание приводится на примере стального корпуса сухогрузного водоизмещающего судна класса «О-ПР» массового проекта 507Б типа «Волго-Дон».

В качестве исходного базиса разрабатываемая концепция опирается на паспортные характеристики судна и архивные массивы данных: а) периодических замеров толщин элементов набора и обшивки, б) по маршрутам плавания, в) по условиям эксплуатации, в) по ранее проведенным ремонтам и заменам элементов корпуса судна.

Для количественной оценки степени влияния каждого из входных параметров на комплексный показатель $КП_{ТС}$ используется процедура парного сравнения выбранных экспертами частных показателей оценки технического состояния корпуса судна. По необходимости в целях достижения консенсуса между несколькими экспертами осуществляется усреднение значений соответствующих показателей.

На рис. 1 представлена общего вида трехуровневая иерархическая схема группировки показателей для оценки технического состояния корпуса судна, выполненная соответственно их природе и логике решаемой задачи.

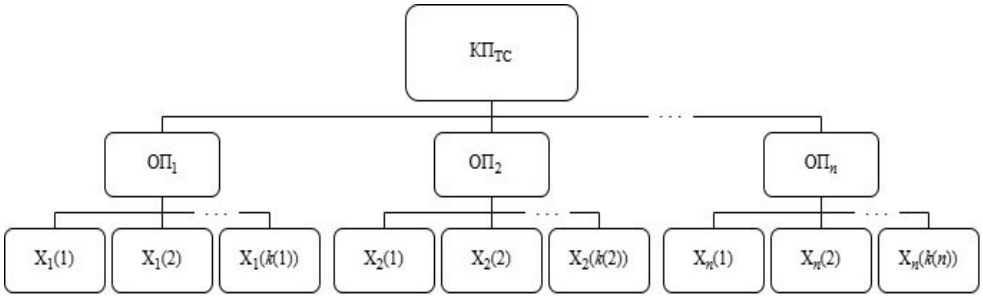


Рис. 1. Трехуровневая иерархическая структура группировки частных показателей для оценки технического состояния корпуса судна

Каждый обобщенный показатель $ОП_i\ (i = \overline{1,n})$ через группу соответствующих ему частных показателей из совокупности

$X_1(1),\ X_1(2), \dots, X_1\big(k(1)\big),\ X_2(1), X_2(2), \dots X_2\big(k(2)\big), \dots, X_n(1), X_n(2), \dots, X_n\big(k(n)\big)$

$X_s(p) \neq X_r(q)$ при $r \neq s,\ \ r,s = \overline{1,n},\ \ p,q = \overline{1, \max\{k_i\}}$ при $i = \overline{1,n}$

описывает сущностную характеристику корпуса судна и определяется через мультипликативную свертку нормированных значений $ЧП_j^{b_j}$ частных показателей по формуле

$$ОП_i = \prod_{j=1}^{k(i)} ЧП_j^{b_j},\ (\ i = \overline{1,n}), \qquad (1)$$

где b_j – весовой коэффициент $ЧП_j$.

В качестве примера ниже в табл. 1 приведен перечень частных показателей судна для корпуса судна «Волго-Дон».

Комплексный показатель технического состояния корпуса судна $КП_{ТС}$ определяемый совокупностью обобщенных показателей $ОП_i\ (i = \overline{1,n})$, принимает значения на замкнутом интервале [0, 1]. Нулевое значение $КП_{ТС}$ соответствует критическому состоянию корпуса судна, при котором дальнейшая эксплуатация судна исключается, а $КП_{ТС} = 1$ соответствует полностью исправному, новому или прошедшему капитальный ремонт корпусу.

Таблица 1

Обобщенный показатель	Физическое содержание частных показателей
фактического износа $ОП_1$	Средняя скорость изнашивания скулового пояса и прилегающей к нему днищевой обшивки в выбранных сечениях
	Средняя скорость изнашивания бортовой обшивки в выбранных сечениях

прочности $ОП_2$	Коэффициент запаса прочности по предельному моменту
	Отношение фактических толщин скулового пояса и прилегающей к ней днищевой обшивки в выбранных сечениях к проектным значениям
	Отношение фактических толщин скулового пояса и прилегающей к ней днищевой обшивки в выбранных сечениях к минимальным значениям
	Отношение фактических толщин бортовой обшивки в выбранных сечениях к проектным значениям
	Отношение фактических толщин бортовой обшивки в выбранных сечениях к минимальным значениям
эксплуатационных параметров $ОП_3$	Остаточный перегиб
	Переклассификация
	Наличие обновлений
условий эксплуатации $ОП_4$	Интенсивность эксплуатации
	Агрессивность среды

Мультипликативная свертка для расчета комплексного показателя $КП_{ТС}$ технического состояния корпуса судна определяется через обобщенные показатели $ОП_i$ $(i = \overline{1,n})$ по формуле

$$КП_{ТС} = \prod_{i=1}^{n} ОП_i^{a_i}, \quad (2)$$

где a_i – обобщенный весовой коэффициент.

Наличие коэффициентов a_i и b_j в формулах (1) , (2) обусловлено необходимостью корректного учёта неравнозначности частных и обобщенных характеристик при оценке технического состояния корпуса судна. Соответственно для достижения математической согласованности их суммы нормируются к 1. С целью определения численных значений a_i и b_j строятся матрицы парных сравнений на каждом уровне иерархии.

Экспертные суждения учитываются по результатам попарного сравнения элементов одной группы по шкале Саати (от 1 — равная важность, до 9 — абсолютное превосходство) [9]. При участии нескольких экспертов производится усреднение матриц парных сравнений поэлементно, после чего вычисляются усреднённые веса.

Также через экспертные суждения строится экспертная шкала, преобразующая отношение фактического значения к проектному (или нормативному) в безразмерную оценку. Выполняется эта процедура посредством шкалирования через аппроксимирующую кривую, что позволяет формализовать экспертное мнение в виде математической зависимости (рис. 2).

Существенным элементом разрабатываемой модели концепции является определение предельных значений, при которых техническое состояние корпуса признаётся неприемлемым для дальнейшей безопасной эксплуатации.

По рекомендации экспертов в области освидетельствования судовых корпусных конструкций характеристики сечений корпуса судна условно разделены на две группы, а именно бортовую обшивку и скуловой пояс с прилегающей к нему днищевая обшивкой, поскольку именно в этих зонах сосредоточены наиболее ответственные элементы поперечного сечения корпуса, определяющие его общую продольную прочность и сопротивление изгибу. Кроме того, скуловой пояс и прилегающее днище принципиально отличаются от бортовой обшивки по условиям работы и скоростям деградации.

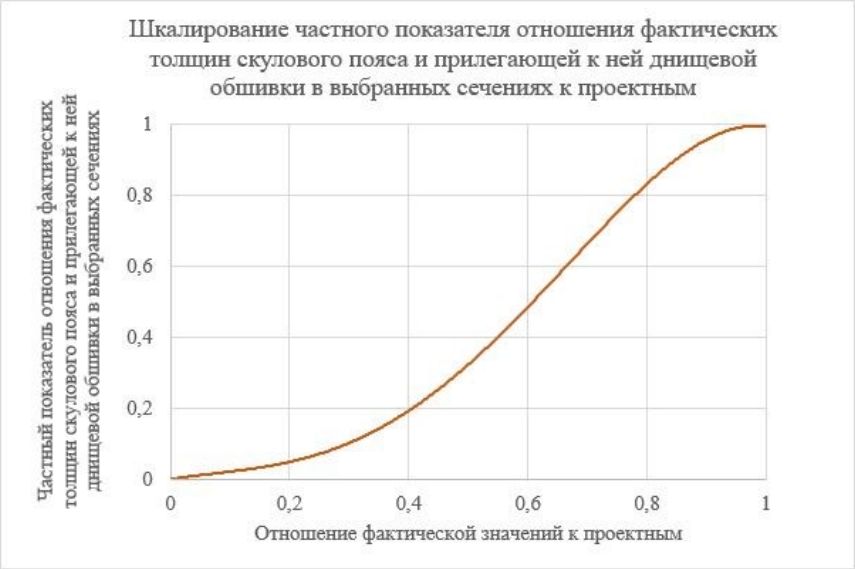


Рис. 2. Пример шкалирования частного показателя толщин скулового пояса и прилегающей к ней днищевой обшивки в выбранных сечениях

Путем анализа актов дефектации судна «Волго-Дон» с учетом правил классификации и постройки судов (ПКПС РКО) [10] было выделено четыре обобщённых показателя, два из которых $ОП_1$ и $ОП_2$ характеризуют фактический износ и прочность. Другие два показателя $ОП_3$ и $ОП_4$ определяются на основе информации о маршрутах движения судна и условиях плавания (включая интенсивность эксплуатации, агрессивность среды и т.д.). Эти показатели предназначены для количественной оценки эксплуатационных характеристик судна, отражая влияние внешних факторов на изменение его технического состояния [11].

Указанный ниже в табл. 1 перечень не является исчерпывающим и подлежит уточнению или расширению при дальнейших исследованиях по мере поступления новых данных и проведения вычислений.

В данной работе с учетом всех сечений, рассматривается 30 частных показателей. Выходными результатами функционирования СППР в актуальный момент времени являются оценка текущего технического состояния корпуса судна, прогноз его динамики на заданную временную перспективу (интервал от одного до пяти лет), а также формирование рекомендаций по эксплуатации судна.

Основная цель развиваемого в работе подхода – обеспечение объективной и своевременной оценки эксплуатационного состояния корпуса судна при проведении плановых и внеочередных освидетельствований, а также при решении вопроса о продлении срока службы

Разработанная комплексная модельная концепция программно-алгоритмического обеспечения цифровой системы поддержки принятия решений при оценке технического состояния корпуса судна предназначена для последующей реализации в виде программного комплекса с возможностью адаптации к различным типам водоизмещающих судов.

Информационная структура СППР должна строиться по модульному принципу, позволяющему раздельно хранить данные оценки и формировать отчеты, согласованные с требованиями РКО. Естественно, входной поток данных СППР должен включать информацию по предыдущим освидетельствованиям и результаты экспертных расчетов.

Штатное применение СППР позволит заменить разрозненные бумажные акты дефектации единым цифровым решением, поддерживающим непрерывное риск-ориентированное управление техническим состоянием корпуса судна на протяжении его жизненного цикла.

Заключение

В результате системного анализа современных методов оценки технического состояния сложных систем в разных областях, включая вероятностные, риск-ориентированные и интеллектуальные подходы, выявлены и систематизированы основные ограничения существующих методик, среди которых: высокая трудоёмкость натурных измерений, неполнота исходных данных, субъективность экспертных оценок и недостаточная прогностическая способность.

Обоснован выбор МАИ, позволяющий в сочетании с мультипликативной свёрткой агрегировать разнородные показатели технического состояния корпуса в условиях многокритериального выбора решений при освидетельствовании судна.

Предложена поэтапная комплексная методика, включающая формирование иерархической структуры критериев, процедуру парных сравнений экспертов, нормирование и шкалирование показателей, аппроксимацию экспертных мнений в математическую зависимость, расчёт комплексной оценки и проверку браковочных значений [8].

В развитее темы статьи дальнейшие исследования предполагают получение статистически обоснованных численных результатов оценки технического состояния на ретроспективном массиве данных освидетельствования не менее 5–7 водоизмещающих судов разных проектов и разных сроков эксплуатации с последующей апробацией разработанной концепции, которая позволит верифицировать корректность иерархической модели, проверить чувствительность мультипликативной свёртки к вариациям значений весовых коэффициентов a_i и b_j , уточнить браковочные значения для конкретных конструктивных зон корпуса судна.

Дополнительного рассмотрения заслуживает сценарий, при котором один из обобщенных показателей становится близким к нулю (например, локальный недопустимый износ скулового пояса), а остальные обобщенные показатели остаются высокими, что вероятно потребует введение в вычислительную модель оценки технического состояния запрета на свёртку с выдачей отдельного диагностического сообщения.

Предложенная концепция программно-алгоритмического обеспечения СППР при оценке технического состояния металлического корпуса судна не является окончательной и может быть развита также в следующих направлениях: интеграция методов машинного обучения для автоматического уточнения значений a_i и b_j по мере накопления статистических данных; внедрение нечётких модификаций МАИ для работы с более высокими уровнями неопределённостей; создание полноценного цифрового двойника корпуса с двусторонней связью между расчётной моделью и данными непрерывного мониторинга.

Реализация перечисленных направлений теоретических и вычислительных исследований позволит перейти от теоретически обоснованной методологии к полнофункциональному цифровому инструменту, поддерживающему весь жизненный цикл управления техническим состоянием корпуса судна.

Список литературы

1. Правила освидетельствования судов в процессе их эксплуатации (ПОСЭ) // Российское классификационное общество (РКО). [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://rfclass.ru/uploads/ppzs/pose_rko_19-04-2026.pdf (дата обращения: 30.05.2026).
2. Петрова Н. Е. Изменение технического состояния корпуса судна в процессе эксплуатации // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2009. – Т. 12. – №1. – С. 39-41.
3. Зяблов О. К., Науменко А. Н. Сравнительный анализ правил РРР и РМРС в области освидетельствований и дефектации судов // Труды 19-го международного научно-промышленного форума «Великие реки-2018». – С. 7.
4. Красюк А. Б., Чистов В. Б., Никифоров В. Г. Надежность элементов корпусов судов речного флота //Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2023. – Т. 15. – №6. – С. 1041-1053.
5. Шон Х. М. Управление техническим состоянием конструкций корпуса судов в процессе эксплуатации на основе оценки рисков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2013. – №1. – С. 71-77.
6. Сорокин А. А., Диденко Д. В. Формирование объяснимой интеллектуальной модели на основе иерархической нечеткой продукционной системы для анализа состояния участков взлетно-посадочной полосы //Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2025. – №1. – С. 82-100.
7. Wakchaure S. S., Jha K. N. Determination of bridge health index using analytical hierarchy process //Construction Management and Economics. – 2012. – Т. 30. – №2. – С. 133-149.
8. Соловьев А. В. Методология разработки единой системы автоматизированного управления объектами судовой энергетической установки и контроля их технического состояния: дис. д-р. 05.08.05, 05.13.06. - Нижний Новгород, 2018. - 305 с.
9. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1989. — 316 с.
10. Правила классификации и постройки судов (ПКПС) // Российское классификационное общество (РКО). [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://rfclass.ru/uploads/pkps/pkps_rko_vvedeny_v_dejstvie_s_16-11-2025.pdf (дата обращения: 30.05.2026).
11. Огнева В. В., Бурмистров Е. Г. Анализ факторов, определяющих скорость изнашивания корпусов судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания // Статья /В.В. Огнева, Е.Г. Бурмистров // Труды конгресса 16-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки-2018». – 2014. – С. 317-321.

References

1. Rules for Survey of Ships in Operation (RSSO). Russian Classification Society (RCS). Available at: https://rfclass.ru/uploads/ppzs/pose_rko_19-04-2026.pdf (accessed 30.05.2026). (In Russ.)
2. Petrova, N.E. Izmenenie tekhnicheskogo sostoyaniya korpusa sudna v protsesse ekspluatatsii [Change in the Technical Condition of a Ship's Hull during Operation]. Vestnik of MSTU, 2009, no. 1, pp. 39–41. (In Russ.)
3. Zyablov, O.K., Naumenko, A.N. Sravnitel'nyy analiz pravil RRR i RMRS v oblasti osvidetel'stvovaniy i defektatsii sudov [Comparative Analysis of the Rules of the Russian River Register and the Russian Maritime Register of Shipping in the Field of Surveys and Defectation of Vessels]. Proceedings of the 19th International Scientific and Industrial Forum "Great Rivers 2018", 2018, p. 7. (In Russ.)
4. Krasyuk, A.B., Chistov, V.B., Nikiforov, V.G. Nadezhnost' elementov korpusov sudov rechnogo flota [Reliability of Hull Elements of River Fleet Vessels]. Vestnik of Admiral S.O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 2023, no. 6, pp. 1041–1053. (In Russ.)
5. Hoang, M.S. Upravlenie tekhnicheskim sostoyaniem konstruktsiy korpusa sudov v protsesse ekspluatatsii na osnove otsenki riskov [Risk Based Management of the Technical Condition of Ship Hull Structures during Operation]. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology, 2013, no. 1, pp. 71–77. (In Russ.)

6. Sorokin, A.A., Didenko, D.V. Formirovanie ob''yasnimoy intellektual'noy modeli na osnove ierarkhicheskoy nechetkoy produktsionnoy sistemy dlya analiza sostoyaniya uchastkov vzletno posadochnoy polosy [Formation of an Explainable Intelligent Model Based on a Hierarchical Fuzzy Production System for Analyzing the Condition of Runway Sections]. Vestnik of Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technologies, 2025, no. 1, pp. 82–100. (In Russ.)
7. Wakchaure, S.S., Jha, K.N. Determination of Bridge Health Index Using Analytical Hierarchy Process. Construction Management and Economics, 2012, vol. 30, no. 2, pp. 133–149.
8. Solovyov, A.V. Metodologiya razrabotki edinoy sistemy avtomatizirovannogo upravleniya ob''ektami sudovoy energeticheskoy ustanovki i kontrolya ikh tekhnicheskogo sostoyaniya [Methodology for Developing a Unified Automated Control System for Marine Power Plant Objects and Monitoring Their Technical Condition]. Doctoral dissertation. Nizhny Novgorod, 2018. 305 p. (In Russ.)
9. Saaty, T.L. [Decision Making. The Analytic Hierarchy Process]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1989. 316 p. (In Russ.)
10. Rules for Classification and Construction of Ships (RCCS). Russian Classification Society (RCS). Available at: https://rfclass.ru/uploads/pkps/pkps_rko_vvedeny_v_dejstvie_s_16-11-2025.pdf (accessed 30.05.2026). (In Russ.)
11. Ogneva, V.V., Burmistrov, E.G. Analiz faktorov, opredelyayushchikh skorost' iznashivaniya korpusov sudov vnutrennego i smeshannogo (reka more) plavaniya [Analysis of Factors Determining the Wear Rate of Hulls of Inland and Mixed (River Sea) Navigation Vessels]. Proceedings of the 16th International Scientific and Industrial Forum "Great Rivers 2014", 2014, pp. 317–321. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/ INFORMATION ABOUT THEAUTHORS

Кирсанова Дарья Алексеевна, аспирант кафедры систем информационной безопасности управления и телекоммуникаций, «Волжский государственный университет водного транспорта» , 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kirsanova_dasha@bk.ru

Darya A. Kirsanova, postgraduate student of the Department of Information Security Management and Telecommunications Systems, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5

Орлова Людмила Георгиевна, к.филол.н., доцент кафедры иностранных языков и конвенционной подготовки, «Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5,e-mail: orlova-436@mail.ru

Lyudmila G. Orlova, PhD in Philology, associate professor of the Department of Foreign Languages and Convention Training, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5,

Соловьев Алексей Валерьевич, д.т.н., доцент, и.о. директора Верхне-Волжского филиала ФАУ »Российское Классификационное Общество», 603001, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, ул. Рождественская, 38в, e-mail: avsolovev@rfclass.ru

Alexey V. Soloviev, Dr.Sci.Tech, associate professor of the Department of Information Security Management and Telecommunications Systems, deputy director The Federal Autonomous Institute Russian River Register Upper Volga Branch-Office, 603001, Nizhniy Novgorod, Rozhdestvenskaya str., 38v,

Федосенко Юрий Семенович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Систем информационной безопасности управления и телекоммуникаций, «Волжский государственный университет водного транспорта», 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: fds1707@mail.ru

Yu.S. Fedosenko, Dr.Sci.Tech., professor, head of the Department of Information Security Management and Telecommunications Systems, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: fds1707@mail.ru

Статья поступила в редакцию 25.05.2026; принята к публикации 22.06.2026; опубликована онлайн 20.09.2026. Received 25.05.2026; published online 20.09.2026.