

ДРУГИЕ ВОПРОСЫ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

УДК 629.9.06:[629.54:007.52]
EDN: UDUKOW

А.И. Епихин

ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», Новороссийск, Россия

ВОЗМОЖНОСТИ МЕСТНОГО И УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА ОБОРУДОВАНИЯ МОРСКОГО АВТОНОМНОГО НАДВОДНОГО СУДНА

Объект и цель научной работы. В данной статье рассматриваются возможности местного и удаленного мониторинга оборудования морского автономного надводного судна (МАНС). Объектом исследования являются системы локального и удаленного мониторинга элементов судовой энергетической установки МАНС. Цель работы заключается в проведении анализа возможностей местного и удаленного мониторинга оборудования МАНС.

Материалы и методы. В качестве материалов использованы научные публикации, в той или иной мере затрагивающие тему исследования, а также пособия и справочные материалы.

Основные результаты. Проведен сравнительный анализ систем мониторинга морских автономных судов. Представлена архитектура «системы систем» для поддержаний функций локального и удаленного мониторинга оборудования МАНС. Представлена архитектура сети и определены ключевые параметры для локального мониторинга оборудования МАНС. Приведена схема удаленного мониторинга оборудования указанного судна.

Заключение. Автономные суда, согласно прогнозам, существенным образом изменят ситуацию в морской отрасли: сократятся расходы, уменьшится вред, наносимый окружающей среде, а также откроются широкие возможности для повышения производительности. В данном контексте большое значение приобретает раннее обнаружение проблем в системах МАНС, что критически важно для обеспечения его безопасности, контроля эффективности, распознавания отклонений и оптимизации работы. В статье рассмотрены возможности местного и удаленного мониторинга оборудования МАНС. Представлены схемы по каждой системе и ключевые параметры мониторинга, выделены особенности организации надежной связи, обеспечивающей поддержку с берега и своевременную передачу данных о судне для анализа.

Ключевые слова: мониторинг, датчики, автономное судно, связь, данные.

Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.

MISCELLANEOUS

UDC 629.9.06:[629.54:007.52]
EDN: UDUKOW

A.I. Epikhin

Admiral Ushakov State Marine University, Novorossiysk, Russia

LOCAL AND REMOTE HARDWARE MONITORING CAPABILITIES FOR AUTONOMOUS SURFACE VEHICLE

Object and purpose of research. This paper discusses local and remote monitoring capabilities for autonomous surface vehicle (ASV) hardware (more specifically, its power plant elements). The purpose of the study was to analyse the potential of local and remote monitoring tools for ASV hardware.

Для цитирования: Епихин А.И. Возможности местного и удаленного мониторинга оборудования морского автономного надводного судна. Труды Крыловского государственного научного центра. 2026; 1(415): 193–199.

For citations: Epikhin A.I. Local and remote hardware monitoring capabilities for autonomous surface vehicle. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2026; 1(415): 193–199 (in Russian).

Materials and methods. The study relies on pertinent publications, guides and reference materials.

Main results. The paper compares different monitoring systems for autonomous surface vehicles, presenting “system of systems” architecture to maintain local and remote monitoring functions for ASV hardware. It describes network architecture and identifies key parameters for local ASV hardware monitoring, presenting the flow chart of monitoring process.

Conclusion. Autonomous vehicles are forecasted to become game-changers in marine industry, offering lower costs and environmental impact, as well as wide prospects for performance increase. In this context, early fault detection in ASV systems becomes a critical element of their safety, efficiency control, health diagnostics and performance optimization. The authors present layouts and key monitoring parameters for each system, identifying the peculiarities of establishing reliable communications to guarantee shore support and timely submission of ship data for analysis.

Keywords: monitoring, sensors, autonomous vehicle, communications, data.

The author declares no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Отрасль морских перевозок находится на пороге революции благодаря технологии автономных судов. Эта инновация уже продемонстрировала значительный прогресс. Эффективность беспилотных автономных систем зависит от двух ключевых факторов: детального предварительного планирования и предиктивного обслуживания оборудования, находящегося на борту, что гарантирует безопасность навигации. С учетом отмеченного в статье рассмотрены возможности местного и удаленного мониторинга оборудования МАНС. Детализированы схемы каждой системы, описан набор наблюдаемых показателей и средств организации связи.

За последние три года в области разработки морских автономных технологий достигнут значительный прогресс. На данный момент во многих странах мира продолжают проекты по испытанию беспилотных технологий. Согласно данным Международной морской организации, мировой объем рынка автономных судов в 2024 г. оценивался примерно в 5,17 млрд долл. США. По прогнозам, к 2032 г. он удвоится, достигнув отметки в 10,19 млрд долл. США. При этом в период с 2022 по 2032 г. среднегодовой темп роста ожидается на уровне 9–9,6 % [1]. В России наблюдается активизация разработок и локального производства надводных и подводных автономных судов, которые призваны решать широкий спектр военных, гражданских и научно-исследовательских задач.

Автономное судоходство – это эксплуатация самоуправляемых судов, которые используют искусственный интеллект, датчики и автоматические навигационные системы. Эти суда работают благодаря передовым методам анализа данных, GPS и дистанционному мониторингу для оптимизации маршрутов, повышения безопасности и эффективности выполняемых задач [2]. Морские автономные

надводные суда предназначены для работы в полностью автономном режиме, когда цель заранее запрограммирована и затем достигается без вмешательства человека. Также МАНС создаются для работы в полуавтономном режиме, когда наземный или корабельный центр дистанционного управления остается на связи с судном и посылает ему команды для выполнения миссии.

Не подлежит сомнению факт, что МАНС обладают значительными преимуществами. Однако их использование сопряжено с рядом проблем, способных снизить эффективность эксплуатации. Независимо от того, могут ли такие платформы перемещаться в ходе выполнения задач (например, дроны) или являются стационарными (например, дрейфующие буи), их результативность напрямую зависит от безотказной работы бортового оборудования, энергетических и механических установок. МАНС обеспечивают расширенное покрытие акваторий, но одновременно генерируют огромные массивы данных, что становится серьезным вызовом для их обработки и анализа. В связи с этим актуальными являются задачи организации как локального, так и удаленного мониторинга оборудования МАНС.

Таким образом, принимая во внимание тот факт, что раннее обнаружение проблем в механических системах и двигателе автономного судна критически важно для его безопасности, а также для контроля эффективности, распознавания отклонений и оптимизации производительности, тема данной статьи является актуальной, теоретически и практически значимой.

Особенности, достоинства и недостатки экспертных систем, которые используются для выявления неисправностей в работе автономных судов на основе анализа симптомов и сигнатур неполадок, описывают в своих трудах В.В. Герасиди, Н.И. Николаев, А.В. Лисаченко, Qiang Li, Li Yang, Mengxuan Ma, Xiaochuan Wu, Weibo Deng, Xin Zhang.

Подходы к созданию удаленного сервера для передачи аудио и других данных в виртуальный симулятор машинного отделения МАНС, создания гипотетических сценариев отказов оборудования для тестирования и обучения систем управления детально изучают В.А. Тарасенко, В.Ю. Горбунов, В.В. Заслонов, А.А. Головина, Th. M. DeCarlo, L. Cavole, G. Castro-Falcon.

Активное развитие данной предметной области, новизна разработок и проектов порождают широкий спектр дискуссионных и нерешенных вопросов относительно контроля и диагностики работы МАНС. Так, нерешенной остается задача целевого проектирования и оценки рисков сложных киберфизических систем, составляющих структуру МАНС. Кроме того, в связи с растущим объемом данных, собираемых на борту судна, потребность в автономных инфраструктурах анализа и хранения данных, а также в улучшении связи в море для их эффективного использования становится все более острой и требует отдельного внимания экспертов и исследователей. Таким образом, цель статьи за-

ключается в проведении анализа возможностей местного и удаленного мониторинга оборудования автономного судна.

Реализация функций локального и удаленного мониторинга оборудования автономного судна требует комплексной межсистемной интеграции, включающей взаимодействие «человек – машина», а также углубленной координации с внешними инфраструктурными системами, в частности с системой управления движением судов (системой управления морским трафиком) [3]. С учетом отмеченных требований принцип концепции эксплуатации, который широко используется в системном и программном инжиниринге, может быть адаптирован для применения при внедрении функций местного и удаленного мониторинга. Для более предметного рассмотрения особенностей реализации этого принципа на практике представляется целесообразным формализовать особенности систем местного и удаленного мониторинга, что позволит понять их взаимодополняемость и ожидаемый от совместного функционирования эффект (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ систем мониторинга автономных судов

Table 1. Comparison of ASV health monitoring systems

Критерий оценки	Бортовой (локальный) мониторинг	Удаленный (береговой) мониторинг
Необходимость	1. Критически важен для обеспечения автономности судна. 2. Обеспечивает функционирование и принятие решений в реальном времени, включая работу при полной потере внешнего канала связи. 3. Гарантирует безопасность за счет мгновенного реагирования на аварийные ситуации (возгорание, затопление, отказ оборудования).	1. Предоставляет возможности прогностического обслуживания, планирования ремонтов и оптимизации ресурсов. 2. Обеспечивает централизованное управление флотом, координацию и удаленное обновление программного обеспечения.
Стоимость реализации	Капитальные затраты: высокие (инвестиции в оборудование промышленного класса с высокой надежностью). Эксплуатационные расходы: низкие (минимальные затраты на каналы связи).	Капитальные затраты: умеренные (инвестиции в береговой центр обработки данных). Эксплуатационные расходы: высокие (подписка на облачные сервисы, аренда каналов связи).
Надежность и отказоустойчивость	Обеспечивается дублированием критических компонентов и устойчивостью к механическим воздействиям (соответствие MIL-STD-810G). Среднее время наработки на отказ (MTBF): более 50 000 ч.	Определяется стабильностью канала связи и надежностью инфраструктуры центра обработки данных. MTBF: зависит от качества сторонних сервисов.
Параметры связи	Задержка передачи: 0,1–1 мс (внутренняя шина CAN, Ethernet). Потери данных: < 0,01 %.	Задержка передачи: 10–1000 мс (сотовая или спутниковая связь). Потери данных: 0,1–5 % (зависят от погодных и географических условий).
Алгоритмы и аналитика	Обработка данных: в режиме реального времени, вычислительная мощность ~500 GFLOPS (GPU). Принятие решений: полностью автономное, задержка реакции < 100 мс.	Обработка данных: отложенная, в облачной инфраструктуре, вычислительная мощность ~200 TFLOPS (GPU-кластеры). Принятие решений: прогностическое, с использованием методов анализа больших данных.

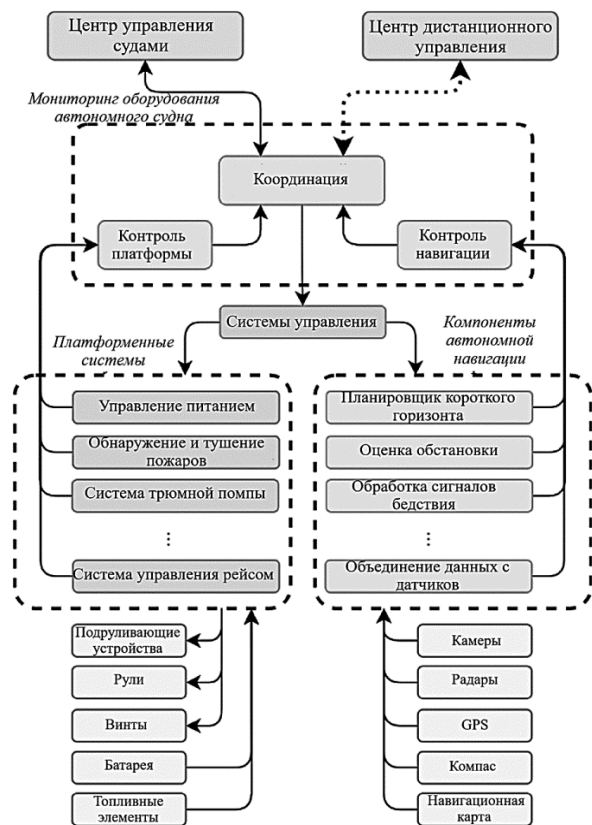


Рис. 1. Архитектура системы систем для поддержаний функций локального и удаленного мониторинга оборудования морского автономного надводного судна

Fig. 1. Architecture of "system of systems" to maintain local and remote health monitoring capabilities for ASV hardware

В целом функция локального и удаленного мониторинга оборудования автономного судна может обеспечиваться одной системой. Однако

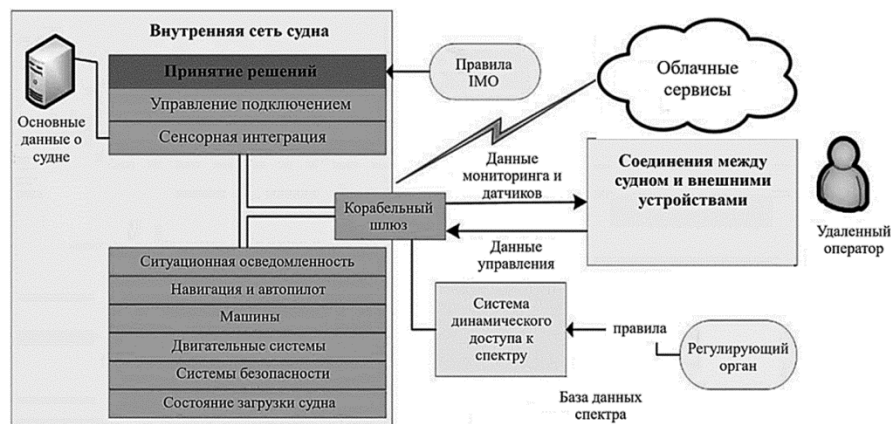


Рис. 2. Архитектура сети для локального мониторинга оборудования автономного судна

Fig. 2. Network architecture for local monitoring of ASV hardware

более вероятно, что она будет поддерживаться несколькими составными системами, работающими совместно, как система систем [4]. Хотя эта концепция не нова, в морской отрасли нет единого определения термина «система систем». В рамках данной статьи предлагаем использовать следующее определение: система систем – это крупномасштабная интеграция множества независимых элементов, ориентированных на выполнение определенных задач, с целью создания более крупной и сложной системы, которая обеспечивает больше функциональных возможностей и более высокую производительность, чем просто сумма отдельных составляющих частей.

На рис. 1 представлена предлагаемая архитектура системы систем, которая может использоваться для поддержаний функций локального и удаленного мониторинга оборудования автономного судна.

Локальная система мониторинга оборудования автономного судна

Local system for ASV health monitoring

Рассматриваемая система мониторинга, хотя и является локальной, нуждается в подключении как внутри судна, так и снаружи, чтобы удовлетворять требованиям различных подсистем и служб. Внутрисудовые сети в основном могут быть реализованы с помощью кабелей, в то же время существуют возможности применения беспроводных соединений, например, для различных датчиков окружающей среды [5]. Соединения между судном и внешними устройствами являются беспроводными.

Архитектура сети для локального мониторинга оборудования МАНС представлена на рис. 2.

Итак, в рамках локального мониторинга бортовые датчики измеряют расход топлива, состояние главного двигателя, состояние судна и состояние загрузки судна в режиме реального времени, а также другие показатели. В табл. 2 приведены описания соответствующих данных.

Данные поступают из разных систем, и частота их сбора неодинакова. Расход топлива считается с массового расходомера каждую секунду с помощью специального устройства связи. Данные о состоянии двигателя отправляются из системы мониторинга и сигнализации каждые

30 с через сеть Ethernet. Данные, такие как скорость и осадка судна, относительная скорость и направление ветра, считываются из системы на мостике с помощью последовательной связи с частотой примерно 10 с. Для интеграции всех систем с одинаковыми интервалами платформа записывает данные каждую минуту. Сведения с датчиков с частотой более 1 мин усредняются, что также служит фильтром. В дополнение к средним показателям рассчитывается и записывается стандартное отклонение высокочастотных данных. Данные помечаются как аномальные, если стандартное отклонение превышает определенный порог [7].

Таблица 2. Ключевые параметры мониторинга оборудования автономного морского судна

Table 2. Key parameters of ASV health monitoring

Категория	Параметр	Описание
Топливная система	Текущий расход топлива главного двигателя, кг/ч	Мгновенный расход топлива для оценки эффективности работы и планирования запаса хода
	Давление топлива на входе в топливный насос, бар	Обеспечивает контроль корректной подачи топлива к цилиндрам
	Температура подаваемого топлива, °C	Влияет на вязкость и качество распыления при впрыске
Главный двигатель	Частота вращения гребного вала, об/мин	Определяет режим работы главного двигателя и пропульсивного комплекса
	Крутящий момент на гребном валу, кН·м	Характеризует нагрузку на движитель
	Мощность на гребном валу, кВт	Мощность, передаваемая от двигателя на винт
	Температура охлаждающей жидкости главного двигателя, °C	Позволяет контролировать тепловой режим работы
	Давление масла в системе смазки главного двигателя, бар	Критично для предотвращения износа и заклинивания механизмов
Движительно-рулевой комплекс	Угол перекадки руля, °	Положение пера руля относительно диаметральной плоскости судна
	Частота вращения гребного винта, об/мин	Определяет фактическую скорость вращения движителя
	Коэффициент скольжения гребного винта, %	Разница между теоретической и фактической скоростью хода судна
Энергетическая система	Выходная электрическая мощность генератора, кВт	Количество вырабатываемой электроэнергии
	Напряжение судовой электросети, В	Напряжение питания судовых систем
	Суммарный ток нагрузки в сети, А	Общий ток, потребляемый оборудованием судна
Состояние судна	Скорость судна относительно воды, уз	Измеряется лагом, используется для расчета гидродинамических параметров
	Скорость судна относительно грунта, уз	Определяется по данным GPS, учитывает течение
	Курсовой угол судна, °	Пеленг носовой части судна относительно истинного или магнитного севера

Система удаленного мониторинга оборудования автономного судна

Remote system for ASV health monitoring

Задача системы удаленного мониторинга заключается в выполнении управляющего алгоритма, который направлен на контроль и достижение оптимальных параметров работы конкретного оборудования и, в свою очередь, системы МАНС в целом.

Такая система позволяет отслеживать и контролировать не только отдельные машины, устройства и установки, но и целые системы – механические и электрические, такие как компрессоры, генераторы, насосы, реле, клапаны [7]. В настоящее время в морской автоматизации наиболее распространенным решением является конфигурация распределенных (децентрализованных) программируемых систем микропроцессоров – свободно программируемых контроллеров для реализации системы удаленного мониторинга МАНС (рис. 3).

Представленная на рис. 3 схема состоит из трех основных уровней, соединенных между собой с помощью сети связи: управление, контроллер и объекты.

Подводя итоги, отметим, что, согласно прогнозам, автономные суда существенным образом изменят ситуацию в морской отрасли: сократятся расходы, уменьшится вред, наносимый окружающей среде, откроются широкие возможности для повышения производительности. В данном контексте большое значение приобретает раннее обнаружение проблем в системах судна, что критически важно для обеспечения его безопасности, контроля эффективности, распознавания отклонений и оптимизации работы.

В статье рассмотрены возможности местного и удаленного мониторинга оборудования автономного судна. Представлены схемы по каждой системе и ключевые параметры мониторинга, выделены особенности организации надежной связи, обеспечивающей поддержку с берега и своевременную передачу данных о судне для анализа.

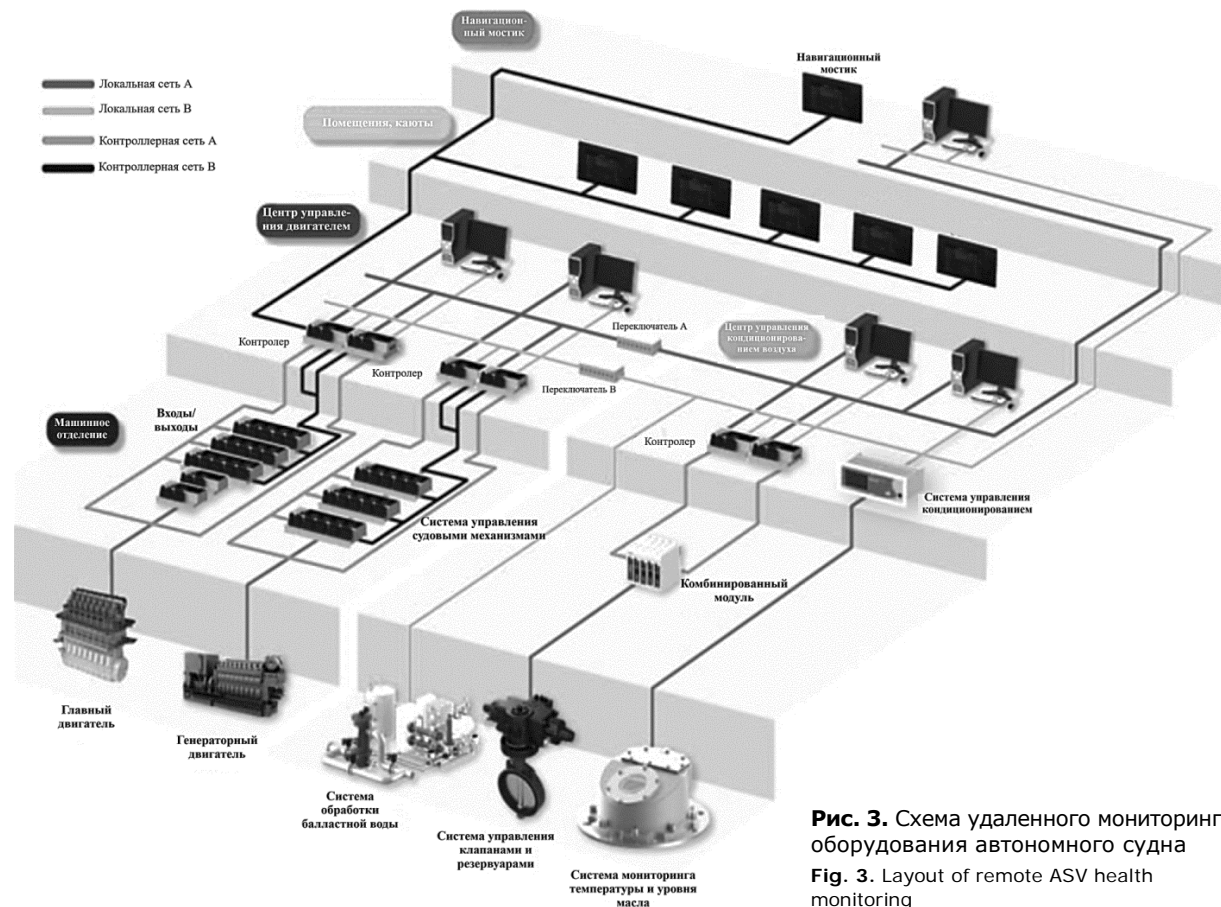


Рис. 3. Схема удаленного мониторинга оборудования автономного судна

Fig. 3. Layout of remote ASV health monitoring

Список использованной литературы

1. Environmental monitoring of shallow marine waters using AI and remote sensing: a systematic literature review / A. Sartono, M. Darmawan, F. Ramadhani // Environmental quality management. 2025. Vol. 35, No. 1. P. 70148 (p. 1–18). DOI: 10.1002/tqem.70148.
2. Анализ и разработка требований к системе удаленной диагностики распределенных систем судового оборудования в Арктической зоне / Е.Н. Успенская, В.Г. Марача, М.Г. Жабицкий, О.В. Бойко // International journal of open information technologies. 2022. Т. 10, № 8. С. 51–61.
3. Метод удаленного мониторинга функционального состояния средств связи и навигационного оборудования Росморречфлота / В.В. Аллакин, Н.П. Будко, М.В. Голунов, В.В. Каретников // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15, № 1. С. 10–20. DOI: 10.36724/2409-5419-2022-15-1-10-20.
4. Simulation method for infrared radiation transmission characteristics of typical ship targets based on optical remote sensing / Z. Jiang, M. Xu, H. Shi, L. Chen // Concurrency and computation: practice and experience. 2022. No. 6. P. 7515 (p. 1–15). DOI: 10.1002/cpe.7515.
5. Удаленный мониторинг и диагностика автономных технологических объектов / Д.В. Васильков, Е.Б. Коротков, К.Н. Щеглов [и др.] // Металлообработка. 2022. № 5–6. С. 66–77. DOI: 10.25960/mo.2022.5-6.66.
6. Ship target detection in optical remote sensing images based on multiscale feature enhancement / L. Zhou, Y. Li, X. Rao [et al.] // Computational intelligence and neuroscience. 2022. Vol. 1. P. 2605140 (p. 1–20). DOI: 10.1155/2022/2605140.
7. Predicting steady degradation in ship power system: A deep learning approach based on comprehensive monitoring parameters / X. Chang, X. Xu, B. Qiu [et al.] // IET intelligent transport systems. 2024. Vol. 18, No. 12. P. 2375–2396. DOI: 10.1049/itr2.12575.
2. Analysis and development of requirements for remote diagnostics of distributed ship equipment systems in the Arctic Zone / E.N. Uspenskaya, V.G. Maracha, M.G. Zhabitsky, O.V. Boyko // International Journal of Open Information Technologies. 2022. Vol. 10, No. 8. P. 51–61 (in Russian).
3. Remote health check method for communications and navigation equipment of Russian sea and inland water transport / V.V. Allakin, N.P. Budko, M.V. Golyunov, V.V. Karetnikov // High Tech in Earth Space Research. 2023. Vol. 15, No. 1. P. 10–20. DOI: 10.36724/2409-5419-2022-15-1-10-20 (in Russian).
4. Simulation method for infrared radiation transmission characteristics of typical ship targets based on optical remote sensing / Z. Jiang, M. Xu, H. Shi, L. Chen // Concurrency and computation: practice and experience. 2022. No. 6. P. 7515 (p. 1–15). DOI: 10.1002/cpe.7515.
5. Remote monitoring and diagnostics of autonomous assets / D.V. Vasilkov, E.B. Korotkov, K.N. Sheglov [et al.] // Metalworking. 2022. Vol. 5–6. P. 66–77. DOI: 10.25960/mo.2022.5-6.66 (in Russian).
6. Ship target detection in optical remote sensing images based on multiscale feature enhancement / L. Zhou, Y. Li, X. Rao [et al.] // Computational intelligence and neuroscience. 2022. Vol. 1. P. 2605140 (p. 1–20). DOI: 10.1155/2022/2605140.
7. Predicting steady degradation in ship power system: A deep learning approach based on comprehensive monitoring parameters / X. Chang, X. Xu, B. Qiu [et al.] // IET intelligent transport systems. 2024. Vol. 18, No. 12. P. 2375–2396. DOI: 10.1049/itr2.12575.

References

1. Environmental monitoring of shallow marine waters using AI and remote sensing: a systematic literature review / A. Sartono, M. Darmawan, F. Ramadhani // Environmental quality management. 2025. Vol. 35, No. 1. P. 70148 (p. 1–18). DOI: 10.1002/tqem.70148.

Сведения об авторе

Епихин Алексей Иванович, к.т.н., доцент, начальник кафедры эксплуатации судовых механических установок ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова». Адрес: 353924, Новороссийск, пр. Ленина, д. 93. E-mail: bsmbeton@mail.ru.

About the author

Aleksei I. Epikhin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of Ship Machinery Operation Department, Admiral F.F. Ushakov State Marine University. Address: 93, Lenina pr., Novorossiisk, Russia, post code 353924. E-mail: bsmbeton@mail.ru.

Поступила / Received: 25.09.25
Принята в печать / Accepted: 20.02.26
© Епихин А.И., 2026