

## РЕФЕРАТЫ

УДК 62-529

DOI: 10.25808/24094609.2019.30.4.001

**Ключевые слова:** телеуправляемый необитаемый подводный аппарат, глубоководные исследования, морская экспедиция, мониторинг морских донных экосистем, подводные операции, навигационный комплекс, программное обеспечение.

Коноплин А.Ю., Денисов В.А., Даутова Т.Н., Кузнецов А.Л., Московцева А.В. ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТНПА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 4 (30). С. 4–12.

Статья посвящена технологии использования телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) рабочего класса «Comanche 18», позволяющей эффективно выполнять глубоководные исследовательские операции в условиях сильных придонных течений и сложного рельефа подводных гор. Приведены особенности планирования подводных работ, пилотирования ТНПА, организации погружений и взаимодействий с экипажем судна-носителя. Описаны созданные средства пробоотбора, обеспечивающие качественный сбор научного материала, а также разработанное программное обеспечение, предназначенное для интеллектуальной и информационной поддержки деятельности операторов ТНПА. В статье приведены результаты комплексных исследований экосистем океанических поднятий на примере гайотов и гор Императорского хребта (северная часть Тихого океана), выполненных с помощью ТНПА «Comanche 18» в глубоководной научно-исследовательской экспедиции Национального научного центра морской биологии в Тихом океане в 2019 г.

УДК 004.896+629.58+001.891.57

DOI: 10.25808/24094609.2019.30.4.002

**Ключевые слова:** программная платформа, межпроцессорное взаимодействие, морской роботизированный комплекс (МРК), необитаемый подводный аппарат (НПА), децентрализованная система управления, программный компонент, логирование данных, канал связи.

Елисеенко Г.Д., Инзарцев А.В., Павин А.М. ПРОГРАММНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МОРСКИХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 4 (30). С. 13–20.

Описывается программная платформа (ПП), используемая при проектировании систем управления для морских роботизированных комплексов (МРК), в том числе имеющих распределенную структуру. При

разработке ПП учитывался опыт ИПМТ ДВО РАН в создании и эксплуатации широкого спектра средств подводной робототехники. Ключевой особенностью ПП является использование децентрализованного асинхронного событийно-ориентированного режима обмена специализированными пакетами данных (сообщениями) между всеми программными компонентами МРК. Помимо этого ПП предоставляет ряд средств, облегчающих проектирование, наладку и эксплуатацию систем управления (визуализация информационного трафика в системе, логирование и постобработка потоков данных, реконфигурирование программного обеспечения, симуляция работы отдельных компонентов МРК). В статье рассматривается «философия» построения ПП, обсуждаются особенности организации и функционирования ее компонентов.

УДК 681.883.67.001:621.396.677

DOI: 10.25808/24094609.2019.30.4.003

**Ключевые слова:** взаимодействующие АНПА, групповое управление, обучение с подкреплением, патрулирование.

Спорышев М.С., Щербатюк А.Ф. О НЕКОТОРЫХ АЛГОРИТМАХ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПАТРУЛИРОВАНИЯ ПОДВОДНОЙ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ ГРУППЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ АНПА // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 4 (30). С. 21–26.

Работа посвящена задаче патрулирования области в подводной среде с помощью группы автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Рассмотрена децентрализованная стратегия, допускающая обмен информацией между аппаратами с возможной потерей данных и учитывающая сложности сетевого взаимодействия в подводной среде. Исследованы алгоритмы на основе методов обучения с подкреплением. Проведен сравнительный анализ. Описаны результаты моделирования работы предложенных алгоритмов в среде OpenAI gym.

УДК 551.46.077:629.584

DOI: 10.25808/24094609.2019.30.4.004

**Ключевые слова:** автономный необитаемый подводный аппарат, групповая работа, групповая (коллективная) навигация, гидроакустическая навигационная система, гидроакустический модем.

Ваулин Ю.В., Дубровин Ф.С., Щербатюк Д.А., Щербатюк А.Ф. О МЕТОДАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИИ ГРУПП АНПА: КРАТКИЙ ОБЗОР // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 4 (30). С. 27–36.

Приведен обзор подходов, предназначенных для решения задач навигации групп АНПА. Даются описания методов навигации на основе асинхронных и синхронных ГАНС, раскрываются особенности таких

методов применительно к группам АНПА. Рассмотрены современные подходы, в основе которых лежит идея организации информационного взаимодействия АНПА друг с другом с целью обеспечения навигации группы в целом. Отмечено, что одним из приоритетных является подход, предполагающий наличие в группе одного или нескольких АНПА, оснащенных полным комплектом навигационных датчиков с целью высокоточного определения их местоположения. Относительное положение остальных аппаратов в группе вычисляется на основе дальностей до выделенных АНПА. Обсуждены вопросы применения автономных необитаемых водных аппаратов, выполняющих функцию мобильных маяков, для навигации групп АНПА и алгоритмы формирования их траекторий для повышения точности навигации группы АНПА. Раскрываются достоинства и недостатки каждого из подходов.

УДК 534.2, 534.23

DOI: 10.25808/24094609.2019.30.4.005

**Ключевые слова:** несамосопряженная модельная постановка, обобщенные нормальные волны, инвариант, мягкий экран, комбинированный приемник.

Касаткин Б.А., Злобина Н.В., Касаткин С.Б. ПОГРАНИЧНЫЕ ВОЛНЫ В ПРОБЛЕМЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ШУМА // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 4 (30). С. 37–48.

Приведен краткий обзор методов обнаружения подводных источников шума и критический анализ возможной дальности их обнаружения. Обсуждаются дискуссионные вопросы адекватности классической трактовки приграничного (приповерхностного или придонного) распространения звуковых волн и влияния мягкого экрана на процесс обнаружения шумовых источников. Изложена альтернативная точка зрения, основанная на использовании несамосопряженной модельной постановки граничных задач в акустике слоистых сред. Приведены примеры дальнего распространения звуковых волн, обусловленного возбуждением пограничных волн обобщенного типа комплексным угловым спектром источника. Приведены примеры использования комбинированного приемника в мелком море в инфразвуковом диапазоне частот и оценки его помехоустойчивости как перспективного приемника шумовых сигналов инфразвукового диапазона.

УДК 542.34

DOI: 10.25808/24094609.2019.30.4.006

**Ключевые слова:** интерферометрия, океанический волновод, локализация шумового источника, скалярно-векторные приемники.

Кузькин В.М., Матвиенко Ю.В., Переселков С.А. ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ МАЛОШУМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 4 (30). С. 49–57.

Изложены физические основы информационной технологии обработки звукового поля, основанной на двукратном преобразовании Фурье интерференционной картины, формируемой широкополосным источником звука в точке размещения приемной системы. Рассмотрено применение обработки в области локализации малошумных источников.

УДК 534.232:534.8

DOI: 10.25808/24094609.2019.30.4.007

**Ключевые слова:** шумоизлучение, автономные подводные роботы, экспериментальные исследования, акустические сигналы, спектральные характеристики.

Хворостов Ю.А., Матвиенко Ю.В. ХАРАКТЕРИСТИКИ СОБСТВЕННОГО ШУМОИЗЛУЧЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО АНПА // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 4 (30). С. 58–63.

Представлены результаты экспериментальных исследований уровня собственного шума АНПА «ММТ-3000» в частотном диапазоне от 5 до 2000 Гц, формирующегося на корпусе аппарата при различных режимах и условиях движения. Установлено, что собственное шумовое поле на корпусе аппарата при его движении характеризуется очень высокими значениями спектральных уровней, что существенно затрудняет прием сигналов, близких по уровню к естественным динамическим шумам моря, а в режиме планирования не вносит заметных добавок в естественные динамические шумы штителевого моря.

УДК 621.396.96

DOI: 10.25808/24094609.2019.30.4.008

**Ключевые слова:** измерительный комплекс, спектроанализатор, необитаемый подводный аппарат, частотно-временной анализ, частота зацепления зубьев.

Захаров А.Н., Белобловский В.Н., Полищук С.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ПОДВОДНОГО ШУМА ДВИЖИТЕЛЯ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 4 (30). С. 64–70.

Целью работы является определение наиболее значимых частотных составляющих подводного шума движителя необитаемого подводного аппарата «Марлин-350» с использованием программно-аппаратного измерительного комплекса.

Задачами работы являются:

- проведение спектрального анализа подводного шума движителя телеуправляемого необитаемого подводного аппарата «Марлин-350»;

- оценка наиболее значимых частотных составляющих и определение источника их возникновения.

Исследованы частотные составляющие подводного шума движителя и показано, что основная гармоническая составляющая звукоряда совпадает с

установленным количеством оборотов соответствующего режима движителя, а последующие составляющие являются кратными основной. Выполнен теоретический расчет, показавший, что наиболее значимые частотные составляющие в спектре подводного шума аппарата совпадают с расчетными значениями зубцевой частоты и ее гармоник соответствующих режимов вращения движителя. Установлено соответствие расчетно-теоретических и экспериментальных результатов.

## ABSTRACTS

**Key words:** remotely operated underwater vehicle, deep-sea research, sea expedition, monitoring of marine bottom ecosystems, underwater operations, navigation system, software.

Konoplin A.Yu., Denisov V.A., Dautova T.N., Kuznetsov A.L., Moskovtseva A.V. TECHNOLOGY OF TECHNOLOGY OF THE ROV USING FOR COMPREHENSIVE RESEARCH OF DEEP-SEA ECOSYSTEMS // Underwater Investigations and Robotics. 2019. No. 4 (30). P. 4–12.

The paper is devoted to the technology of the working-class remotely operated underwater vehicle (ROV) “Comanche 18” usage. This technology provides efficiently performing of deep-sea research operations in extreme conditions of strong bottom currents and complex topography of seamounts. Features of the underwater operations planning, ROV operating and interactions with control center on the carrier vessel are presented. Created sampling tools are described that provide high-quality collection of scientific material. The developed software designed for intellectual and informational support of ROV operators activities of is also described.

The paper describes the results of comprehensive research of marine ecosystems of mountains of the Emperor Chain (northern part of the Pacific Ocean). These studies were carried out with the help of the ROV “Comanche 18” in the deep-sea research expedition of the National Research Center for Marine Biology in the Pacific Ocean in 2019.

**Key words:** software platform, inter-process communication, marine robots, unmanned underwater vehicle (UUV), decentralized control system, software component, data logging, communication link.

Eliseenko G.D., Inzartsev A.V., Pavin A.M. SOFTWARE PLATFORM FOR THE DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS IN MARINE ROBOTICS // Underwater Investigations and Robotics. 2019. No. 4 (30). P. 13–20.

The software platform (SP) used in the design of control systems for marine robotics, including those with a distributed structure, is being described. The experience of

IMTP FEB RAS in marine industry was taken into account when developing this software. A key feature of SP is the use of a distributed asynchronous event-oriented mode for data packets exchange (called messages) between all software components of marine robotic systems. In addition, the software provides a number of tools that facilitate the design, adjustment and operation of control systems (visualization of information traffic in the system, logging and post-processing of data flows, reconfiguration of software, simulation of the selected components operation). The article considers the “philosophy” of SP building, discusses the features of the organization and functioning of its components.

**Key words:** cooperative AUVs, group control, reinforcement learning, patrolling.

Sporyshev M.S., Shcherbatyuk A.F. ABOUT SOME ALGORITHMS FOR THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF PATROLLING UNDERWATER ENVIRONMENT BY USING A GROUP OF INTERACTING OF AUV // Underwater Investigations and Robotics. 2019. No. 4 (30). P. 21–26.

The problem of patrolling the area in an underwater environment using a group of autonomous uninhabited underwater vehicles (AUV) is considered. When solving this problem for the underwater environment, some additional issues arise that make the task computationally expensive and inaccessible to exact optimization methods. We consider one of the approximate approaches, which has become increasingly popular in recent years - reinforced learning. The patrolling process is formulated as a Markov decision process (MDP). A decentralized strategy is considered that allows the exchange of information between vehicles with possible data loss and takes into account the difficulties of network interaction in the underwater environment. We compare several reinforcement learning approaches and provide results of simulated experiments for the proposed algorithms in the OpenAI gym environment.

**Key words:** autonomous underwater vehicle (AUV), group work, group (collective) navigation, sonar navigation system, sonar modem.

Vaulin Yu.V., Dubrovin F.S., Shcherbatyuk D.A., Shcherbatyuk A.F. ABOUT AUVS GROUP NAVIGATION METHODS: SHORT REVIEW // Underwater Investigations and Robotics. 2019. No. 4 (30). P. 27–36.

A review of approaches designed to solve the problems of navigating AUV teams is given. Descriptions of navigation methods based on asynchronous and synchronous HANS are given, the features of such methods with respect to AUV groups are revealed. Modern approaches are considered, which are based on the idea of organizing AUA information interaction with each other in order to ensure the navigation of the group as a whole.