

## РЕФЕРАТЫ

УДК 551.46.077:629.584

**Ключевые слова:** Автономный необитаемый подводный аппарат, гидрографические исследования, инженерные изыскания, магнитометр, навигационная система с ультракороткой базой.

Михайлов Д.Н., Сенин Р.Н., Дубровин Ф.С., Борейко А.А., Стыркул Р.И., Храмов О.А. ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ДЛЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОХОТСКОМ МОРЕ // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2 (24). С. 4–13.

Летом 2017 г. АНПА «ММТ-3000» использовался в гидрографических исследованиях для проектных работ по прокладке подводных коммуникаций в Охотском море. Особенности применения АНПА для выполнения гидрографических работ заключаются в повышенных требованиях к точности определения планово-высотного положения, курса и углов наклона измерительного оборудования на аппарате во время его движения. С этой целью потребовалась модернизация в структуре аппарата и функциональных характеристиках его систем. Особые требования предъявлялись к работе навигационной системы с ультракороткой базой и гидроакустического канала связи (ГАНС УКБ и ГАСС). В ходе глубоководных погружений получены материалы, отвечающие требованиям задания на инженерно-изыскательские работы. Приобретенный практический опыт эксплуатации АНПА позволил повысить производительность проводимых работ в сложных условиях подводной среды. Особые проблемы связаны с резко изменчивым рельефом дна, подводными течениями, магнитными аномалиями

и изменениями плавучести аппарата при длительном нахождении на глубине, управлением в режиме буксировки внешнего объекта. Результаты использования гидроакустического комплекса при работе АНПА вдоль протяженных глубоководных трасс позволяют уточнить требования к методике проведения гидрографических исследований.

УДК 681.883.67.001:621.396.677

**Ключевые слова:** Автономный необитаемый подводный аппарат, инженерно изыскательские работы, глубоководные протяженные трассы, интегрированная система гидроакустической связи и навигации, гидроакустическая навигационная система с ультракороткой базой.

Ваулин Ю.В., Дубровин Ф.С., Щербатюк А.Ф. ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ АНПА «ММТ-3000» И ОПЫТ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАБОТАХ НА ГЛУБОКОВОДНЫХ ПРОТЯЖЕННЫХ ТРАССАХ // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2 (24). С. 14–19.

Дано описание навигационной системы АНПА «ММТ-3000», модернизированной при подготовке АНПА для инженерно изыскательских работ на протяженных глубоководных трассах. Новая интегрированная система связи и навигации построена на базе гидроакустических модемов серии S2C от компании EvoLogics. На борту АНПА использован модем модели EvoLogics S2C M 18/34, а на борту судна – комбинированная система цифровой гидроакустической связи и навигации с ультракороткой базой EvoLogics USBL S2C18/34. Приводятся материалы, отражающие результаты работы навигационной системы АНПА при проведении съемки дна в акватории Охотского моря в 2017 г. Полученные в ходе выполнения глубоковод-

ных инженерно-исследовательских работ результаты подтвердили высокую эффективность модернизированной системы навигации и связи АНПА «ММТ-3000». Показана высокая точность измерения времени распространения акустических сигналов при помощи данных модемов и возможность их использования в качестве основы для построения системы одномаяковой мобильной навигации с синтезированной длинной базой.

УДК 629.58

**Ключевые слова:** автономный необитаемый подводный аппарат, подводная навигация, одномаяковая навигация.

Машошин А.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОДНОМАЯКОВОЙ НАВИГАЦИИ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2 (24). С. 20–27.

Приведены результаты исследования алгоритма одномаяковой навигации (АОН) автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА), синтезированного по критерию максимального правдоподобия. В качестве маяка рассматривался необитаемый надводный аппарат (НА). Исследование проводилось путем имитационного моделирования, в процессе которого оценивались характеристики синтезированного алгоритма в зависимости от точности измерения курса и составляющих вектора скорости АНПА, координат НА по данным спутниковой навигационной системы, скорости и времени распространения сигнала между НА и АНПА, а также от скорости и направления течения; траектории движения НА относительно АНПА. Показано, что наибольшее влияние на точность определения места АНПА при применении синтезиро-

ванного алгоритма оказывает траектория движения НА, а также течение в районе при отсутствии абсолютного лага. При правильном выборе траектории НА и применении абсолютного лага ошибка определения места АНПА соответствует ошибке определения места НА, не возрастающая с течением времени.

УДК 551.46.077:629.584

**Ключевые слова:** RCE, АНПА, система управления, программная платформа, спиральная модель процесса разработки, тестирование ПО, автоматизация сборки.

Боровик А.И. РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АНПА НА БАЗЕ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ RCE // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2 (24). С. 28–35.

Использование программной платформы RCE при создании системы управления (СУ) автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) позволяет значительно упростить и ускорить процесс написания исходного кода компонентов [1, 2]. Для эффективной организации работы группы специалистов разработан алгоритм создания и тестирования СУ, основанный на спиральной модели процесса разработки программного обеспечения и использовании средств эмуляции и тестирования, встроенных в платформу RCE. В рамках алгоритма выбраны технические средства автоматизации процесса сборки, создания программной документации, непрерывного анализа качества кода и контроля версий. Разработанный алгоритм позволяет добиться распараллеливания работы программистов и тестировщиков, снижения вероятности возникновения ошибок и как следствие – увеличения скорости написания кода и упрощения присоединения новых специалистов к процессу.

УДК 534.6:534.143

**Ключевые слова:** интерференция, буксируемый низкочастотный излучатель, комбинированный приемник, векторно-фазовые звуковые поля, мелкое море.

Матвиенко Ю.В., Моргунов Ю.Н., Стробыкин Д.С. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ВЕКТОРНО-ФАЗОВЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ ЯПОНСКОГО МОРЯ // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2 (24). С. 36–41.

Обсуждаются результаты экспериментальных исследований акустических полей на нескольких акваториях залива Посёта Японского моря, полученные при использовании комбинированной (векторной) приемной системы и буксируемого низкочастотного электромагнитного излучателя. Целью экспериментов являлось изучение пространственной структуры векторно-фазовых звуковых полей в условиях мелкого моря. Методически эксперименты обеспечивались буксировкой на разных глубинах источника тонального сигнала с частотой 134 Гц на удалении до 10 км от приемной системы. Особое внимание уделялось исследованию интерференционной структуры акустических полей при различных вариантах размещения излучающей и приемной систем в волноводах с глубинами от 30 до 90 м. Наиболее подробно обсуждается один из экспериментов, в котором, предположительно, удалось зафиксировать наличие вихревых структур в акустическом поле источника. Анализируется возможность практического применения результатов исследований.

УДК 534.23:681.89

**Ключевые слова:** скалярно-векторное описание звукового поля,

комбинированный акустический приемник, помехоустойчивость комбинированного приемника, мелко-масштабная вихревая составляющая вектора интенсивности.

Касаткин Б.А., Злобина Н.В., Касаткин С.Б., Злобин Д.В., Косарев Г.В. ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИЁМНИКА В ЗВУКОВОМ ПОЛЕ МЕЛКОГО МОРЯ // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2 (24). С. 42–53.

Экспериментальные исследования скалярно-векторной структуры звуковых полей, создаваемых подводными движущимися источниками, проводились в 2015–2016 гг. в заливе Петра Великого (Японское море). На основе полученных экспериментальных данных была выполнена оценка помехоустойчивости комбинированных приёмников в шумовом поле помехи, содержащем значительную по уровню анизотропную составляющую. С целью оценки помехоустойчивости комбинированного приёмника строились сонограммы звукового поля для отношения сигнал/помеха на выходах каналов приемника и на выходе компаратора в рабочем диапазоне частот. В результате анализа сонограмм были выделены отдельные составляющие, вносящие вклад в суммарную помехоустойчивость комбинированного приёмника. Результаты исследований подтверждают предпочтительность мультипликативных алгоритмов обработки сигналов на выходе комбинированного приёмника и его повышенную помехоустойчивость.

УДК 542.34, 534.87

**Ключевые слова:** векторно-скалярная приемная система, структурная помеха, пространственный спектр, отношение сигнал/помеха, поток мощности.

Селезнев И.А., Глебова Г.М., Жбанков Г.А., Харахашьян А.М. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕКТОРНО–СКАЛЯРНОЙ ПРИЕМНОЙ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2 (24). С. 54–60.

При проектировании и исследовании алгоритмов пассивной локализации с использованием бортовых систем требуется знание характеристик шумов, исходящих от вибрирующих конструкций носителя. В связи с недостаточным объемом теоретических и экспериментальных данных о характеристиках векторно–скалярного шумового поля в работе используется компьютерное моделирование. Такой подход дал возможность проанализировать характеристики алгоритмов обнаружения в зависимости от различных параметров сигнально–помеховой ситуации – отношения сигнал/шум на входе приемной системы, направления прихода сигнала от локального источника, а также с учетом энергетических, пространственно–корреляционных и статистических характеристик структурной помехи. Результаты моделирования работы алгоритмов обнаружения представлены для линейной эквидистантной антенной решетки, установленной в непосредственной близости от несущих конструкций, в условиях однолучевого распространения. Оценка эффективности работы алгоритмов обнаружения выполнялась путем анализа пространственных спектров, которые рассчитывались с использованием метода Бартлетта, имеющего стандартное разрешение. В работе представлены пространственные спектры на выходе приемной системы при работе с различными компонентами акустического поля: для скалярной компоненты, при совместной обработке скалярной и векторной компоненты, а также

для случая, когда формируется потоковая компонента поля. Анализ особенностей структурной помехи для скалярной и векторно–скалярных компонент акустического поля позволил выявить и обосновать наиболее эффективный алгоритм обработки сигналов среди рассмотренных. Расчет отношения сигнал/помеха на выходе приемной системы при обработке сигналов с использованием различных компонент акустического поля показал высокую эффективность алгоритма, использующего потоковую компоненту векторно–скалярного поля.

УДК 623.98:534.222

**Ключевые слова:** информационно–аналитическая система, лучевая картина, потери при распространении звука, вихрь.

Василенко А.М., Пятакович В.А. АНАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2 (24). С. 61–69.

Приводятся результаты очередного этапа научных исследований авторов по вопросу создания системы мониторинга морских акваторий на основе разработок нелинейной просветной гидроакустики и нейросетевых технологий распознавания образов объектов. Проведена оценка достоверности результатов программы расчета характеристик морской среды, как основного элемента структуры информационно–аналитической системы. Получены результаты расчетов характеристик морской среды при прохождении циклонического вихря. На примере района юго–восточной части п-ова Камчатка проиллюстрирован алгоритм выбора

потенциально места установки глубоководной приемной системы. Смоделированы условия распространения звука на дистанциях 500 км, показано влияние сложного рельефа дна и различных глубин расположения источника звука на условия приема гидроакустических сигналов.

## ABSTRACTS

**Keywords:** Autonomous underwater vehicle, hydrographic researches, engineering surveys, magnetometer, ultrashort-based positioning system.

Mikhaylov D.N., Senin R.N., Dubrovnikov F.S., Boreyko A.A., Stykul R.I., Khramov O.A. AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE APPLICATION FOR HYDROGRAPHIC RESEARCH IN THE SEA OF OKHOTSK // Underwater Investigation and Robotics. 2017. No. 2 (24). P. 4–13.

In summer 2017 AUV MMT-3000 was used in hydrographic surveys for design works aimed at underwater communications routing in the Sea of Okhotsk. There is a vast world practice of AUV application in hydrographic research. The features of the hydrographic operation using AUV are: increased requirements to the accuracy of the plan, determination of altitude and angle sensors positions on the vehicle during its movement. In connection with these requirements, the AUV was prepared, the equipment was checked and calibrated, and the used model was tested. The ultrashort base positioning system and acoustic link system (USBL APS and ALS) work features consisted of equipment rigid attachment on the ship, accurate system calibration, use of navigation data from a high-precision navigation system, taking the hydrology into account and giving requirements to the motion of the accompanying vessel. During deep-water descents a lot of material was obtained showing the

bottom relief, its features, and some potentially dangerous objects for the proposed design work on the given route. The AUV operation productivity increased as the used model was tested and practical AUV operation experience was gained. During the operation the difficulties were encountered due to the features of the bottom relief, underwater currents, magnetic anomalies and the AUV buoyancy changes while continuous deep-water operations. The results of the operation include AUV control experience with the towed object, the practical application of the USBL APS and ALS during the AUV operation along the extended deep-sea routes and reveal the features that should be taken into account in the hydrographic research.

**Keywords:** autonomous underwater vehicle, hydro physical research, engineering investigation, magnetometer, position system with the ultrashort base.

Vaulin Yu.V., Dubrovin F.S., Scherbatyuk A.F. AUV MMT-3000 INTEGRATED POSITIONING AND COMMUNICATION SYSTEM AND EXPERIENCE OF ITS OPERATION IN DEEP-WATER EXTENDED ROUTES // Underwater Investigation and Robotics. 2017. No. 2 (24). P. 14–19.

AUV MMT-3000 positioning system improved in the course of AUV preparation for engineering surveys on deep-sea extended routes is described. A new integrated positioning and communication system is based upon EvoLogics S2C hydroacoustic modems. EvoLogics S2C M 18/34 modem is used onboard the AUV, and Evologics USBL S2C18/34 system – onboard the carrier ship. The results of AUV positioning system operation in the course of seabed survey in the waters of the Sea of Okhotsk in 2017 are represented. The results obtained during the deep-water engineering surveys proved high efficiency of the improved AUV

MMT-3000 positioning and communication system. High accuracy of measurement of acoustic signals propagation time with the help of these modems and possibility of their application as the basis for the system of single beacon mobile navigation with synthesized long base are demonstrated.

**Keywords:** autonomous unmanned vehicle, single beacon navigation, dynamic long base method.

Mashoshin A.I. THE ACCURACY STUDY OF SINGLE BEACON NAVIGATION ALGORITHM FOR AUTONOMOUS UNMANNED VEHICLES // Underwater Investigation and Robotics. 2017. No. 2 (24). P. 20–27.

The work contains the results of the study of single beacon navigation algorithm applied to autonomous underwater vehicle (AUV) that is synthesized according to the maximum likelihood criterion. An unmanned surface vehicle (SV) was regarded as a beacon. The study was conducted by simulation. It evaluated the characteristics of synthesized algorithm depending on the measuring accuracy of the course and the components of AUV's velocity vector, SV coordinates according to the satellite navigation system, velocity and time of signal propagation between SV and AUV as well as current velocity and direction, and SV trajectory. It is demonstrated that SV trajectory and current direction in the absence of absolute lag have the greatest influence on AUV positioning accuracy with application of the synthesized algorithm. With proper choice of SV trajectory and application of the absolute lag AUV navigation accuracy corresponds to SV navigation accuracy, without increasing over time.

**Keywords:** RCE, AUV, control system, control system framework, spiral model of software development process, software testing, software project automation

Borovik A.I. AUV CONTROL SYSTEM DEVELOPING AND TESTING USING THE RCE FRAMEWORK // Underwater Investigation and Robotics. 2017. No. 2 (24). P. 28–35.

RCE framework can be used to significantly simplify and accelerate the process of writing the source code of the autonomous underwater vehicle (AUV) control system (CS) components [1,2]. To effectively organize the work of a group of specialists, an algorithm for creating and testing a CS is developed. The algorithm is based on a spiral model of the software development process and the use of RCE built-in emulating and testing tools. The algorithm proposes technical means for automating the assembly process, creating program documentation, continuous analysis of code quality and version control. The developed algorithm allows achieving parallelization of the work of programmers and testers, reducing the probability of errors and, as a consequence, increasing the speed of writing the program code and simplifying the whole developing process.

**Keywords:** interference, towed low-frequency source, combined receiver, vector-phase sound fields, shallow sea.

Matvienko Yu.V., Morgunov Yu.N., Strobykin D.S. FORMATION FEATURES OF SPATIAL STRUCTURE OF VECTOR-PHASE ACOUSTIC FIELDS UNDER CONDITIONS OF THE JAPAN SEA SHELF ZONE // Underwater Investigation and Robotics. 2017. No. 2 (24). P. 36–41.

The results of experimental studies of acoustic fields in several water areas of the Posyet Bay in the Sea of Japan, obtained using a combined (vector) receiving system and a towed low-frequency electromagnetic source are discussed. The purpose of the experiments was to study a spatial structure of vector-phase sound fields in shallow

water conditions. Methodically the experiments were conducted by towing the source of a tone 134 Hz frequency signal at different depths to the distances up to 10 km from the receiving system. A special attention was given to investigation of interference structure of acoustic fields under various variants of placement of the emitting and receiving systems in waveguides with the depths of 30 to 90 meters. One of the experiments is discussed in details. It is supposed to be a successful one in capturing a presence of vortex structures in acoustic field of the source. The possibility of the practical application of the research results is analyzed.

**Keywords:** scalar-vector describing of sound field, combine sonar receiver, noise immunity of combine receiver, small-scale vortex component of intensity vector.

Kasatkin B.A., Zlobina N.V., Kasatkin S.B., Zlobin D.V., Kosarev G.V. ESTIMATION OF COMBINED RECEIVER NOISE IMMUNITY IN SOUND FIELD OF SHALLOW WATER // Underwater Investigation and Robotics. 2017. No. 2 (24). P. 42–51.

The results of experimental researches of sound field exciting with moving underwater source are presented. The experiments were performed in September 2015 in Posyet Bay (the Sea of Japan). The estimation of a noise immunity of the combined receivers in noise field containing a significant level of anisotropic component is brought in a wide range of changes in distance and signal-to-noise ratio on the tracks of the towing of the source. The results confirm the preference of the multiplicative algorithms of signal processing at the output of the combined receiver and its increased noise immunity.

**Keywords:** vector-scalar receiver system, structural noise, spatial spectrum, signal/noise ratio, power flux.

Seleznev I.A., Glebova G.M., Zhbankov G.A., Kharakhash'yan A.M. VECTOR-SCALAR ONBOARD RECEIVER SYSTEM CHARACTERISTICS // Underwater Investigation and Robotics. 2017. No. 2 (24). P. 54–60.

The design and the analysis of passive location algorithms, which are employed in the onboard receiver systems require knowledge of the characteristics of the noise generated by the vibrating structures of the carrier. Due to insufficient amount of theoretical and experimental data on the characteristics of the vector-scalar noise field the computer simulation has been used. This approach made it possible to analyze the characteristics of the detection algorithms depending on various parameters – signal/noise ratio at the input of the receiver system, signal arrival direction, power, spatial correlation and statistical characteristics of the structural noise. The signal detection simulation results are shown for a linear equidistant sensor array installed in close proximity to the carrying structure. The single path propagation is assumed. Estimation of efficiency of the detection algorithms is executed by analyzing the spatial spectra. They were calculated using Bartlett's method with a standard resolution. The paper presents the spatial spectra at the output of the receiver system, which is operating with the various components of the acoustic field – scalar components, scalar components in the co-processing with vector components, and in the case when the power flux component is constructed. The performed simulation analysis of the structural noise characteristics for the scalar and vector-scalar components of the acoustic field has allowed to identify and justify the most efficient algorithm for signal processing among those considered. The calculation of the signal/noise ratio at the output of the receiver system

during the processing of signals using different components of the acoustic field has shown the high efficiency of the algorithm that uses the power flux component of the vector-scalar field.

**Keywords:** information-analytical system, beam pattern, sound propagation loss, vortex.

Vasilenko A.M., Pyatakovich V.A. ANALYTICAL PROPERTIES AND FUNCTIONALITY OF THE SYSTEM FOR CALCULATION OF THE SPATIAL STRUCTURE AND PARAMETERS OF A HYDROACOUSTIC FIELD // Underwater Investigation and Robotics. 2017. No. 2 (24). P. 61–69.

The article presents the results of the next phase of the authors' scientific research on the creation of a monitoring system for marine areas based on the development of non-linear low-frequency hydroacoustics and neural network technologies for recognizing object images. The accuracy of the results of the software for calculating the characteristics of a sea medium (the DALNOST program) is estimated. The parameters and structure of the hydroacoustic field, which were calculated from the in-situ measurements of the sound speed inside a vortex disturbance zone observed in the western part of the Sea of Japan are investigated. The obtained results indicate to the practical importance of technique and the DALNOST program as a key element of the AIS structure and provide the possibility for its integration into the systems created for the monitoring of marine water fields to solve the research problems as well as the problems of developing the ocean environment in the interests of the marine science. The sound propagation conditions for distances of 500 km are simulated, the impact of a complex bottom relief and various depths of the sound source on the sonoacoustic signal receiving conditions are shown.