

РЕФЕРАТЫ

УДК 681.883.45

DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.001

Ключевые слова: подводное акустическое позиционирование, позиционирование по дальности, подводные акустические модемы с атомными часами.

Кебкал К.Г., Кебкал А.Г., Глушко Е.В., Кебкал В.К., Себастьян Л., Паскоаль А., Рибейро Дж., Сильва Г., Рибейро М., Индивери Дж. ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ МОДЕМЫ С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ ЦЕЗИЕВЫМИ ЧАСАМИ ДЛЯ ЗАДАЧ ПОДВОДНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 4–12.

Точная временная синхронизация узлов цифровой (сенсорной) гидроакустической сети является необходимой предпосылкой для эффективного использования информации, получаемой разнообразными подводными сенсорами, распределенными в обширной акватории моря. Одной из наиболее сложных задач является синхронизация мобильных узлов гидроакустической сети, например, в составе группы автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), выполняющих совместные согласованные действия.

В статье представлены результаты экспериментов по позиционированию АНПА с использованием гидроакустического модема, оснащенного миниатюрными цезиевыми часами (chip-scale clock, CSAC) и способного оценивать задержки (дальности) распространения гидроакустического сигнала от геопривязанных источников этих сигналов.

Представлены экспериментальные результаты по точности работы миниатюрных цезиевых часов в различных ситуациях имеющих практический интерес, экспериментальные результаты по точности позиционирования АНПА с использованием гидроакустических модемов с интегрированными цезиевыми часами, а также практические рекомендации по «дисциплинированию» CSAC и их фазовой синхронизации с источником хронометрических сигналов.

УДК 621.3:001.3+14.232

DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.002

Ключевые слова: подводный аппарат, заряд аккумуляторных батарей, бесконтактная передача электроэнергии, высокочастотный трансформатор.

Герасимов В.А., Красковский М.В., Филоженко А.Ю. МЕТОДИКА РАСЧЁТА ТРАНСФОРМАТОРА С ПЛОСКИМИ ЭКРАНАМИ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОЙ СИ-

СТЕМЫ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ПОДВОДНОГО АППАРАТА // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 13–22.

Эффективность работы системы заряда аккумуляторных батарей автономного необитаемого подводного аппарата с использованием бесконтактного способа передачи в значительной степени зависит от конструктивных особенностей силового высокочастотного трансформатора. Представлена методика расчета конструктивных параметров трансформатора, удовлетворяющего заданным условиям эксплуатации. Для полной идентификации свойств системы используются параметры, определяющие эффективность передачи энергии: коэффициент магнитной связи и относительная магнитная проницаемость обмотки. Предложена система относительных единиц, в которой данные параметры имеют постоянное значение для плоских сердечников, связанных определенными геометрическими соотношениями. Это позволяет легко выполнять масштабирование результатов полученных технических решений при изменении требований по передаваемой электрической мощности. Достоверность разработанной методики расчета подтверждается результатами натурного эксперимента.

УДК 004.896+629.58+001.891.57

DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.003

Ключевые слова: автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА) большой автономности, система управления, интеллектуальный агент, децентрализованная мультиагентная архитектура, сценарий миссии.

Борейко А.А., Инзарцев А.В., Машошин А.И., Павин А.М., Пашкевич И.В. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АНПА БОЛЬШОЙ АВТОНОМНОСТИ НА БАЗЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 23–31.

Представлена концепция построения системы управления (СУ) для АНПА большой автономности, учитывающая опыт ИПМТ ДВО РАН и АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» по созданию систем управления для АНПА тяжёлого класса, а также по проектированию и эксплуатации интегрированных систем управления и навигации. В основе СУ лежит децентрализованная мультиагентная структура, в которой каждый функциональный модуль АНПА является самостоятельным интеллектуальным агентом. Целенаправленный характер взаимодействию агентов придаёт агент-диспетчер, который организует выполнение сценария миссии АНПА. Сценарий миссии определяет

маршрут движения АНПА, места и способы проведения различных океанологических измерений, а также позиционирований для уточнения координат. Для выполнения своих функций диспетчер, в свою очередь, имеет сложную мультиагентную структуру, включающую три уровня иерархии.

Обсуждаются особенности организации и функционирования агентов системы. Рассматривается сценарий взаимодействия агентов при выполнении типовой миссии и при решении задачи обеспечения навигационной безопасности АНПА.

УДК 004.896+629.58+001.891.57

DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.004

Ключевые слова: автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА), планирование миссии, элемент маршрутного задания, графический объект, интерактивное редактирование, GeoJSON.

Инзарцев А.В., Павин А.М. ЯЗЫК ПЛАНИРОВАНИЯ МИССИИ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА GEOJSON // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 32–40.

Предлагается графический подход к планированию маршрутного задания (миссии) для широкого класса обзорно-поисковых и обследовательских автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Подход основан на использовании географических объектов, которые описываются на базе формата *GeoJSON*. Это позволяет использовать широкий спектр существующих программных средств для визуализации объектов такого класса и интерактивного редактирования миссии на карте местности, в том числе по принципу «*drag-n-drop*». Разработанный язык позволяет задавать желаемое поведение АНПА вне зависимости от его конструктивных особенностей и установленной полезной нагрузки.

УДК 626.022

DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.005

Ключевые слова: метод «конечного поворота и смещения», манипуляционный робот, обратная задача кинематики, звенья пантографного типа.

Данилов А.В., Кропотов А.Н. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА «КОНЕЧНОГО ПОВОРОТА И СМЕЩЕНИЯ» ДЛЯ ПОДВОДНЫХ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ РОБОТОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СО ЗВЕНЬЯМИ ПАНТОГРАФНОГО ТИПА // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 41–46.

Рассматривается применение метода «конечного поворота и смещения» в решении обратной задачи кинематики (ОЗК) для подводного манипуляционного робота (МР) последовательной структуры, имеющего звенья пантографного типа. Для решения задачи МР приводится к эквивалентной схеме, в которой каждое звено пантографного типа заменяется на два звена – ведущее и ведомое. С учетом кинематических особенностей звеньев определяются значения максимального угла поворота или максимального смещения для каждой степени подвижности. Согласно методу «конечного поворота и смещения» данные значения соответствуют максимальному приближению конечного звена МР к заданным характеристикам положения и ориентации. По каждой степени подвижности определяются обобщенные координаты в виде сумм максимальных значений поворотов, смещений и малых значений приращений обобщенных координат, используемых для обхода сингулярных точек. При достижении заданной точности полученные таким образом обобщенные координаты принимаются в качестве решения ОЗК.

УДК 534.6: 534.143

DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.006

Ключевые слова: гидроакустический регистратор, приемная система, подводный аппарат, распространение сигналов, шельф, глубокое море.

Тагильцев А.А., Безответных В.В., Моргунов Ю.Н., Стробыкин Д.С. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АВТОНОМНОЙ ПРИЕМНОЙ СИСТЕМЫ // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 47–53.

Распределенная вертикальная автономная приемная система разработана для экспериментальных исследований по изучению распространения низкочастотных акустических сигналов из области шельфа в глубокое море. В эксперименте система с помощью четырех размещенных по глубине автономных цифровых гидроакустических регистраторов обеспечивает непрерывную запись сигналов на SD-карту в течение 36 часов, имитируя возможные положения гидроакустической приемной антенны подводного аппарата, осуществляющего позиционирование по находящимся на шельфе гидроакустическим маякам. Регистраторы помимо акустического тракта снабжены датчиками гидростатического давления для непрерывной записи глубины погружения. Имея общую длину до 1000 метров, конструкция системы допускает ее постановку как в дрейф, так и на якорь. Надводная часть в виде буя-вехи снабжена

GPS-приемником и радиопередатчиком для отслеживания обеспечивающим судном ее местоположения в реальном времени. В данной работе представлено описание элементов системы и результаты ее тестирования в натуральных условиях.

УДК 534.231

DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.007

Ключевые слова: векторная акустика мелкого моря, векторная комплексная функции временной когерентности, вертикальный поток энергии сигнала, нормальные волны, разностно-фазовые соотношения.

Щуров В.А., Ляшков А.С., Ткаченко Е.С., Щеглов С.Г. ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЭНЕРГИИ НИЗКОЧАСТОТНОГО СИГНАЛА В ВОЛНОВОДЕ МЕЛКОГО МОРЯ // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 54–61.

Представлены результаты векторно-фазовых исследований движения энергии низкочастотного тонального сигнала в реальном волноводе мелкого моря. Измерения проводились с помощью комбинированной четырехканальной приемной системы и буксируемого низкочастотного излучателя в условиях, соответствующих регулярному волноводу. Показано: вдоль горизонтальной оси волновода энергия переносится плоской волной; в вертикальной плоскости волновода вдоль оси z наблюдается волновое поле стоячей волны, на которое накладывается поле знакопеременной бегущей волны сигнала. Интенсивность бегущей волны зависит от расстояния между источником и приемником. Линия тока энергии испытывает периодические отклонения относительно оси волновода в вертикальной плоскости. Результат эксперимента является оригинальным и дополняет модель переноса энергии в волноводе мелкого моря на основе теории нормальных волн для регулярного волновода.

УДК 534.222.2; 551.463.2

DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.008

Ключевые слова: подводный звуковой канал, пузырьковые облака, поглощение и распространение звука, структура акустического поля.

Акуличев В.А., Буланов В.А., Бугаева Л.К. ВЛИЯНИЕ ПУЗЫРЬКОВЫХ ОБЛАКОВ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОКЕАНА НА ЗАТУХАНИЕ ЗВУКА И СТРУКТУРУ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 62–69.

Существуют альтернативные представления о вкладе приповерхностного слоя пузырьков в затухание низкочастотного звука в океане. В работе показано, что влияние приповерхностного слоя пузырьков на структуру акустического поля в подводном звуковом канале и характер пространственного спада при распространении звука может быть значительным при достаточно типичных концентрациях пузырьков в приповерхностных слоях моря. Представлены результаты теоретических оценок по воздействию пузырьковой пелены на распространение звука в линейном приповерхностном подводном звуковом канале и в изоскоростном ПЗК. Основные результаты получены для приповерхностного слоя морской воды, содержащей воздушные пузырьки, образующиеся при обрушении поверхностных волн. Показано, что влияние слоя пузырьков заключается в дополнительном спаде поля на умеренных дистанциях, вызванного затуханием части звуковой энергии, распространяющейся в пузырьковом слое. В дальнейшем эта энергия затухает и на больших расстояниях не дает существенного вклада в суммарное поле, что в итоге приводит к отсутствию в экспоненциальном законе спада вклада пузырькового слоя.

ABSTRACTS

Key words: underwater acoustic positioning, underwater range positioning, underwater acoustic modems with atomic clock.

Kebkal K.G., Kebkal A.G., Glushko E.V., Kebkal V.K., Sebast'ya L., Paskoal' A., Ribeyro Dzh., Sil'va G., Ribeyro M., Indiveri Dzh. HYDRO-ACOUSTIC MODEMS WITH INTEGRATED CESIUM CLOCKS FOR POSITIONING OF AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES // Underwater Investigation and Robotics. 2019. No. 2 (28). P. 4–12.

Accurate time synchronization of the underwater sensor network nodes is a necessary prerequisite for the effective use of information obtained by a variety of underwater sensors distributed in a vast sea area. One of the most difficult tasks is the synchronization of mobile nodes of a hydroacoustic network, for example, as part of a group of autonomous underwater vehicles (AUVs) that perform joint coordinated actions. The article presents the results of experiments on the positioning of AUVs using a hydroacoustic modems equipped with miniature cesium clocks (CSAC), thus providing a possibility for accurate estimation of time delays (of the propagating hydroacoustic

GPS-приемником и радиопередатчиком для отслеживания обеспечивающим судном ее местоположения в реальном времени. В данной работе представлено описание элементов системы и результаты ее тестирования в натуральных условиях.

УДК 534.231

DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.007

Ключевые слова: векторная акустика мелкого моря, векторная комплексная функции временной когерентности, вертикальный поток энергии сигнала, нормальные волны, разностно-фазовые соотношения.

Щуров В.А., Ляшков А.С., Ткаченко Е.С., Щеглов С.Г. ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЭНЕРГИИ НИЗКОЧАСТОТНОГО СИГНАЛА В ВОЛНОВОДЕ МЕЛКОГО МОРЯ // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 54–61.

Представлены результаты векторно-фазовых исследований движения энергии низкочастотного тонального сигнала в реальном волноводе мелкого моря. Измерения проводились с помощью комбинированной четырехканальной приемной системы и буксируемого низкочастотного излучателя в условиях, соответствующих регулярному волноводу. Показано: вдоль горизонтальной оси волновода энергия переносится плоской волной; в вертикальной плоскости волновода вдоль оси z наблюдается волновое поле стоячей волны, на которое накладывается поле знакопеременной бегущей волны сигнала. Интенсивность бегущей волны зависит от расстояния между источником и приемником. Линия тока энергии испытывает периодические отклонения относительно оси волновода в вертикальной плоскости. Результат эксперимента является оригинальным и дополняет модель переноса энергии в волноводе мелкого моря на основе теории нормальных волн для регулярного волновода.

УДК 534.222.2; 551.463.2

DOI: 10.25808/24094609.2019.28.2.008

Ключевые слова: подводный звуковой канал, пузырьковые облака, поглощение и распространение звука, структура акустического поля.

Акуличев В.А., Буланов В.А., Бугаева Л.К. ВЛИЯНИЕ ПУЗЫРЬКОВЫХ ОБЛАКОВ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОКЕАНА НА ЗАТУХАНИЕ ЗВУКА И СТРУКТУРУ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 62–69.

Существуют альтернативные представления о вкладе приповерхностного слоя пузырьков в затухание низкочастотного звука в океане. В работе показано, что влияние приповерхностного слоя пузырьков на структуру акустического поля в подводном звуковом канале и характер пространственного спада при распространении звука может быть значительным при достаточно типичных концентрациях пузырьков в приповерхностных слоях моря. Представлены результаты теоретических оценок по воздействию пузырьковой пелены на распространение звука в линейном приповерхностном подводном звуковом канале и в изоскоростном ПЗК. Основные результаты получены для приповерхностного слоя морской воды, содержащей воздушные пузырьки, образующиеся при обрушении поверхностных волн. Показано, что влияние слоя пузырьков заключается в дополнительном спаде поля на умеренных дистанциях, вызванного затуханием части звуковой энергии, распространяющейся в пузырьковом слое. В дальнейшем эта энергия затухает и на больших расстояниях не дает существенного вклада в суммарное поле, что в итоге приводит к отсутствию в экспоненциальном законе спада вклада пузырькового слоя.

ABSTRACTS

Key words: underwater acoustic positioning, underwater range positioning, underwater acoustic modems with atomic clock.

Kebkal K.G., Kebkal A.G., Glushko E.V., Kebkal V.K., Sebast'yao L., Paskoal' A., Ribeyro Dzh., Sil'va G., Ribeyro M., Indiveri Dzh. HYDRO-ACOUSTIC MODEMS WITH INTEGRATED CESIUM CLOCKS FOR POSITIONING OF AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES // Underwater Investigation and Robotics. 2019. No. 2 (28). P. 4–12.

Accurate time synchronization of the underwater sensor network nodes is a necessary prerequisite for the effective use of information obtained by a variety of underwater sensors distributed in a vast sea area. One of the most difficult tasks is the synchronization of mobile nodes of a hydroacoustic network, for example, as part of a group of autonomous underwater vehicles (AUVs) that perform joint coordinated actions. The article presents the results of experiments on the positioning of AUVs using a hydroacoustic modems equipped with miniature cesium clocks (CSAC), thus providing a possibility for accurate estimation of time delays (of the propagating hydroacoustic

signals), i.e. estimation of the pseudo-ranges between the AUVs and several georeferenced sources (particularly, the surface vehicles distributing their GNSS positions via the underwater acoustic modems).

Experimental results on the accuracy of the miniature cesium clocks in various situations of practical interest, experimental results on the positioning accuracy of AUVs using underwater acoustic modems with the integrated cesium clocks, as well as practical recommendations for CSAC “disciplining” and phase synchronization (e.g. in relation to a source of chronometric signals) are presented and analysed in the paper.

Key words: underwater vehicle, battery charge, non-contact power transmission, high-frequency transformer.

Gerasimov V.A., Kraskovskiy M.V., Filozhenko A.Yu. THE TRANSFORMER CALCULATING METHOD WITH FLAT SCREENS FOR THE UNDERWATER VEHICLE NON-CONTACT BATTERY CHARGE SYSTEM // Underwater Investigation and Robotics. 2019. No. 2 (28). P. 13–22.

The efficiency working of battery charging systems autonomous unmanned underwater vehicle with use contactless transmit of power depends on constructive features high frequency power transformer. This article presented methodically of calculating transformer constructive parameters satisfying the specified operating conditions. To fully identify the systems properties used parameters determining efficiency the power transmit are the magnetic coupling coefficient relative magnetic permeability of the winding. A system of relative units is proposed in which these parameters have a constant value for planar cores connected by certain geometric relations. This allows to perform scaling results of received technical solutions at the change demands to transmit electrical power. The veracity of developed calculation method is confirmed by a full-scale experiment results.

Key words: autonomous underwater vehicle (AUV) of high autonomy, control system, intelligent agent, decentralized multi-agent architecture, mission scenario.

Boreyko A.A., Inzartsev A.V., Mashoshin A.I., Pavin A.M., Pashkevich I.V. CONTROL SYSTEM OF HIGH AUTONOMY AUV ON THE BASE OF MULTI-AGENTS TECHNOLOGY // Underwater Investigation and Robotics. 2019. No. 2 (28). P. 23–31.

The article presents the concept of control system (CS) for high autonomy AUV. The concept takes into account the experience of IMTP FEB RAS and JSC “Concern “CSRI

Elektropribor” on the creation of control systems for heavy class AUVs, as well as on the design and operation of integrated control and navigation systems. The basis of CS is a decentralized multi-agent structure, in which each functional module of the AUV is an independent intelligent agent. The agent-dispatcher provides purposefulness to the agents’ interaction and organizes the execution of the AUV mission scenario. The mission scenario determines the AUV route, the places and methods of various oceanological measurements, as well as positioning to improve the coordinates accuracy. To perform its functions, the dispatcher, in turn, has a complex multi-agent structure, including three levels of hierarchy.

The features of the organization and functioning of system agents are discussed. The scenarios of agents’ interaction are considered when performing a typical mission and when solving the task of AUV navigation safety ensuring.

Key words: autonomous underwater vehicle (AUV), mission planning, route element, graphic object, interactive editing, GeoJSON.

Inzartsev A.V., Pavin A.M. MISSION PLANNING LANGUAGE FOR UNDERWATER ROBOTS BASED ON GEOJSON STANDARD // Underwater Investigation and Robotics. 2019. No. 2 (28). P. 32–40.

The paper proposes a graphical approach to route planning (mission) for a wide class of search & survey autonomous underwater vehicles (AUV). The approach is based on the use of geographical objects, which are described based on the GeoJSON format. This allows using a wide range of existing software engines for objects visualization and interactive mission editing on the map, including “drag-and-drop” principle. The developed language allows specifying the desired AUV behavior, regardless of its design features and installed payload.

Key words: “final rotation and displacement” method, manipulating robot, inverse kinematics, pantograph type links.

Danilov A.V., Kropotov A.N. APPLICATION OF THE METHOD OF «FINAL ROTATION AND DISPLACEMENT» FOR UNDERWATER MANIPULATING ROBOTS OF A SEQUENTIAL STRUCTURE WITH PANTOGRAPH TYPE LINKS // Underwater Investigation and Robotics. 2019. No. 2 (28). P. 41–46.

The application of the method of “final rotation and displacement” in solving the inverse kinematics (IK) for an underwater manipulating robot (UMR) of a sequential structure having links of pantograph type is considered. To

solve the problem, the UMR is reduced to an equivalent circuit, in which each link of a pantograph type is replaced by two links – a master and a slave. Taking into account the kinematic features of the links, the values of the maximum angle of rotation or maximum displacement for each degree of mobility are determined. According to the method of “final rotation and displacement”, these values correspond to the maximum approximation of the final link of the UMR to the given characteristics of position and orientation. For each degree of mobility, the generalized coordinates are determined in the form of sums of maximum values of rotations, displacements and small values of the increments of the generalized coordinates used to bypass singular points. When a given accuracy is achieved, the generalized coordinates obtained in this way are taken as the IK solution.

Key words: hydroacoustic recorder, receiving system, underwater vehicle, signal propagation, shelf, deep sea.

Tagil'tsev A.A., Bezotvetnykh V.V., Morgunov Yu.N., Strobykin D.S. EXPERIMENTAL TESTING OF A DISTRIBUTED VERTICAL AUTONOMOUS RECEIVING SYSTEM // Underwater Investigation and Robotics. 2019. No. 2 (28). P. 47–53.

A distributed vertical autonomous receiving system was developed for experimental studies of low-frequency acoustic signal propagation from shelf to deep sea. In the experiment described below, the system, using four autonomous digital hydroacoustic registrators spaced apart by depth, provides continuous recording of signals on SD card for 36 hours, simulating possible positions of a hydroacoustic receiving antenna of an underwater vehicle positioning by hydroacoustic beacons that were installed in shelf zone. The registrators, in addition to the acoustic section, are equipped with hydrostatic pressure sensor for continuous recording of immersion depth. With a total length of up to 1000 meters, a design of the system allows one to set it, both in the drift or anchor variant. A surface part that was made in the form of spar buoy is equipped with a GPS receiver and a radio transmitter to track the position of the system by a support vessel in real time mode. This paper presents a description of elements of the system and results of its testing in natural conditions.

Key words: vector acoustics of the shallow sea, vector complex functions of temporal coherence, vertical signal energy flow, normal waves, phase difference ratios.

Shchurov V.A., Lyashkov A.S., Tkachenko E.S., Shcheglov S.G. PECULIARITIES OF MOTION ENERGY

LOW-FREQUENCY SIGNAL IN WAVE-GUIDE SHALLOW SEA // Underwater Investigation and Robotics. 2019. No. 2 (28). P. 54–61.

The results of vector-phase studies of the motion of the energy of a low-frequency tonal signal in a real waveguide shallow sea are presented. The measurements were carried out using a combined four-channel receiving system and a towed low-frequency radiator under conditions corresponding to a regular waveguide. It is shown: along the horizontal axis of the waveguide, the energy is transferred by a plane wave; in the vertical plane of the waveguide along the z axis, there is a wave field of a standing wave, on which a field of alternating traveling wave signal is superimposed. The intensity of the traveling wave depends on the distance between the source and the receiver. The energy current line undergoes periodic deviations relative to the axis of the waveguide in the vertical plane. The result of the experiment is original and complements the model of energy transfer in the shallow sea waveguide based on the theory of normal waves for a regular waveguide.

Key words: underwater sound channel, bubbles clouds, absorption and sound propagation, acoustic field structure.

Akulichev V.A., Bulanov V.A., Bugaeva L.K. THE INFLUENCE OF BUBBLE CLOUDS IN THE SURFACE LAYER OF THE OCEAN TO THE SOUND ATTENUATION AND THE STRUCTURE OF THE ACOUSTIC FIELD // Underwater Investigation and Robotics. 2019. No. 2 (28). P. 62–69.

There are alternative representations of the contribution of the near-surface layer of bubbles to the attenuation of low-frequency sound in the ocean. It is shown that the influence of the near-surface layer of bubbles on the structure of the acoustic field in the underwater sound channel and the nature of the spatial decay in the propagation of sound can be significant for fairly typical concentrations of bubbles in the near-surface layers of the sea. The results of theoretical evaluations on the effects of a bubble layers on the sound propagation both in the linear near-surface underwater sound channel and in the vertical uniform channel. The main results are obtained for the near-surface layer of sea water containing air bubbles formed during the breaking of surface waves. It is shown that the effect of the bubble layer is an additional field decay at moderate distances caused by the attenuation of the sound energy propagating in the bubble layer. Further this energy attenuates and at long distances does not give a significant contribution to the total field, which ultimately leads to the absence in the exponential law of the decay of the bubble layer contribution.