

## РЕФЕРАТЫ

УДК 621.3:001.3+14.232

DOI: 10.37102/24094609.2020.31.1.001

**Ключевые слова:** автономный инвертор напряжения, бесконтактная передача электроэнергии, автономный необитаемый подводный аппарат, «мягкая коммутация», последовательная резонансная цепь, параллельный резонанс.

Герасимов В.А., Комлев А.В., Филоженко А.Ю. СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ БЕСКОНТАКТНОГО ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ АВТОНОМНОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 1 (31). С. 4–12.

Необходимым условием эффективности системы бесконтактного заряда аккумуляторных батарей при эксплуатации автономного подводного робота служит выполнение следующих двух требований:

– сочетание резонансного контура на выходе инвертора и режима «мягкого переключения» силовых ключей инвертора,

– применение резонанса на вторичной стороне трансформатора.

Для решения задачи, связанной с данным условием, разработана математическая модель системы с рекомендациями по выбору параметров резонансных цепей. Таким путем достигаются: минимум потерь мощности в инверторе, а также уменьшение нагрева его элементов и, как следствие, повышение общей надежности и минимум времени полного заряда аккумуляторных батарей. С помощью действующего образца системы проведены натурные эксперименты, подтверждающие результаты исследований.

УДК 629.127.4-52:62.501.55-531.501

DOI: 10.37102/24094609.2020.31.1.002

**Ключевые слова:** автономный подводный робот (автономный необитаемый подводный аппарат), траекторные измерения, корреляционно-экстремальный метод навигации, гравиметрия, информативность.

Дунаевская К.В., Киселев Л.В., Костоусов В.Б., Тарханов А.Е. ОЦЕНКА ОШИБОК КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ПО КАРТЕ АНОМАЛИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА ОСНОВЕ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С БОРТА АВТОНОМНОГО ПОДВОДНОГО РОБОТА // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 1 (31). С. 13–20.

Оценки точности подводной навигации на основе данных гравиметрических измерений с борта автономного подводного робота непосредственно связаны с вопросами картографирования аномалий поля силы тяжести (АСТ) с помощью высокоточных малоразмерных гравиметров. В работе продолжены исследования, направленные на повышение точности навигации по

карте АСТ с возможностью реализации алгоритмов навигационной коррекции в реальном времени. Для решения задачи исследован новый метод оценки ошибок корреляционно-экстремальной навигации, основанный на анализе отношения главного и бокового пиков корреляционного функционала. Особенность предлагаемого метода, в отличие от известного байесовского подхода, заключается в возможности его использования при реализации бортовых алгоритмов, а также и при предварительной оценке информативности карты поля для планирования маршрутов. Результаты вычислительных экспериментов показывают, что при определённых условиях исследуемая оценка близка к расчётной байесовской оценке.

УДК 551.46.077:629.584

DOI: 10.37102/24094609.2020.31.1.003

**Ключевые слова:** буксируемый антенный модуль, гидроакустическая навигационная система, грузонесущий кабель связи, приемник спутниковой навигационной системы, алгоритмы определения координат.

Костенко В.В., Ваулин Ю.В., Дубровин Ф.С., Львов О.Ю. О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПОДВОДНОГО МОДУЛЯ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ БУКСИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 1 (31). С. 21–29.

Буксируемый подводный модуль (БПМ) эффективно используется для решения задач, связанных с координированием подводных объектов, местоположение которых подлежит уточнению в процессе их детального обследования. При этом большое значение имеет точность определения координат самого буксируемого модуля относительно судна-буксировщика. Использование гидроакустических навигационных средств, в частности систем с ультракороткой базой (ГАНС УКБ), ограничено вследствие помех, влияющих на качество сигналов в приемной антенне. Альтернативой служит метод определения координат БПМ на основе данных траекторных измерений параметров буксируемой системы. К числу последних относятся расчетные значения параметров кабеля связи в установившихся режимах буксировки, значения путевой скорости и путевого угла буксировщика, а также измеренные значения длины кабеля, глубины погружения и курса БПМ. В работе дан сравнительный анализ различных вариантов вычислительных алгоритмов, позволяющих получить оценки точности определения координат БПМ в различных режимах стационарной буксировки и при наличии сбоев в работе навигационных средств.

УДК 551.46.077:629.584

DOI: 10.37102/24094609.2020.31.1.004

**Ключевые слова:** гидроакустическая навигационная система, гидроакустический маяк, гидроакустическая донная станция, буксируемый подводный модуль, координируемый объект, мультилатерация.

Ваулин Ю.В., Дубровин Ф.С., Панин М.А., Львов О.Ю. **КООДИНИРОВАНИЕ НЕПОДВИЖНОГО ГЛУБОКОВОДНОГО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ МУЛЬТИЛАТЕРАЦИИ** // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 1 (31). С. 30–35.

При решении многих задач в условиях глубокого моря возникает необходимость в координировании стационарно размещаемого на дне гидроакустического оборудования (маяков-ответчиков, донных станций и т.п.). К числу методов, обеспечивающих координирование подобных объектов, можно отнести метод мультилатерации. В ИПМТ ДВО РАН разработан программно-аппаратный комплекс, предназначенный для автоматизированного координирования донных маяков-ответчиков и глубоководных гидроакустических станций с использованием метода мультилатерации. Результаты натурных испытаний комплекса подтверждают работоспособность, высокую эффективность и точность координирования стационарных донных объектов с использованием метода мультилатерации по сравнению с методом трилатерации за счёт большего количества измерений дистанций и применения вероятностного подхода к оценке положения объекта. На основе полученных результатов дается оценка преимуществ и недостатков данного способа координирования.

УДК 534.222

DOI: 10.37102/24094609.2020.31.1.005

**Ключевые слова:** импульсные сигналы, групповая скорость, эффективная скорость, моды, гидроакустическая дальнометрия.

Голов А.А., Моргунов Ю.Н., Сорокин М.А., Петров П.С. **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В МЕЛКОМ МОРЕ ВДОЛЬ КРОМКИ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА** // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 1 (31). С. 36–41.

Анализируются результаты натурального эксперимента по распространению импульсных акустических сигналов на шельфе Японского моря в осенне-летний период 2018 года. Цель эксперимента состояла в определении времён прихода и эффективных скоростей распространения сигналов вдоль акустической трассы, ориентированной вдоль кромки шельфа. В ходе теоретического анализа и моделирования распространения звука для условий эксперимента разработана методика прогноза эффективных скоростей распространения импульсных сигналов на большие расстояния в мелком море. Методика основана на усреднении групповых скоростей первой модальной компоненты сигнала по всей трассе.

УДК 34.222.2; 551.463.2

DOI: 10.37102/24094609.2020.31.1.006

**Ключевые слова:** рассеяние, поглощение звука, нелинейный параметр, морская вода, пузырьки, планктон.

Буланов В.А., Корсков И.В., Стороженко А.В., Соседко С.Н. **ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРХНЕГО СЛОЯ МОРЯ МЕТОДОМ МНОГОЧАСТОТНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ** // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 1 (31). С. 42–55.

Описано применение акустического зондирования для исследования акустических характеристик верхнего слоя моря с использованием широкополосных остро-направленных инвертированных излучателей, устанавливаемых на дно. В основу метода положен принцип регистрации обратного рассеяния и отражения от поверхности моря акустических импульсов с различной частотой, позволяющий одновременно измерять рассеяние и поглощение звука и нелинейный акустический параметр морской воды. Многочастотное зондирование позволяет реализовать акустическую спектроскопию пузырьков в приповерхностных слоях моря, проводить оценку газосодержания и получать данные о спектре поверхностного волнения при различных состояниях моря вплоть до штормовых. Применение остро-направленных высокочастотных пучков ультразвука позволяет разделить информацию о планктоне и пузырьках и определить с высоким пространственным разрешением структуру пузырьковых облаков, образующихся при обрушении ветровых волн и структуру планктонных сообществ. Участие планктона в волновом движении в толще морской воды позволяет определить параметры внутренних волн – спектр и распределение по амплитудам в различное время.

УДК 681.88:519.22

DOI: 10.37102/24094609.2020.31.1.007

**Ключевые слова:** гидроакустический канал, антенная решетка, пространственно-временной сигнал, несмещенная оценка с минимальной дисперсией, вектор спектра сигнала, ковариационная матрица, матрица весовых коэффициентов.

Пахомов С.А., Шостак С.В. **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА СЛОЖНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА НА ОСНОВЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ** // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 1 (31). С. 56–59.

Для оценки направления на морской объект рассмотрено формирование пространственно-временного сигнала в приемной эквидистантной линейной антенной решетке в условиях плоского волнового фронта поля акустического давления, создаваемого сложным широкополосным сигналом. Модель формирования спектра информационного сигнала на выходе отдельного гидрофона антенной решетки представлена векторно-матричным уравнением в аддитивной смеси с шумом гидро-

акустического канала. Для оценивания такого сигнала применены методы линейного оценивания в спектральной области, позволяющие получить несмещенные оценки с минимальной дисперсией. Найдена матрица весовых коэффициентов, с помощью которой шумовые компоненты отдельного гидрофона (приемного канала) приводятся к белому шуму с минимальной дисперсией. При суммировании спектров гидрофонов антенной решетки пространственно-временной сигнал на ее выходе определен с помощью оценок отдельных информационных сигналов гидрофонов и их остаточного шума с разной дисперсией. Минимальное значение дисперсии выходного шума антенной решетки получено на основании ковариационной матрицы остаточного шума. Предлагаемый оптимальный метод оценки направления прихода сигнала от морского объекта на антенную решетку позволяет отказаться от избыточного числа ее линий задержки, при одновременном значительном уменьшении влияния шума гидроакустического канала.

УДК 556.04(265.54); 557.084.2

DOI: 10.37102/24094609.2020.31.1.008

**Ключевые слова:** система подводного видеонаблюдения, базы видеоданных, обработка видео, измерения биоритмов морских организмов, измерения вариаций подводных течений.

Фищенко В.К., Зимин П.С., Зацерковный А.В., Суботэ А.Е., Голик А.В., Гончарова А.А. СИСТЕМЫ СТАЦИОНАРНОГО ПОДВОДНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 1 (31). С. 60–71.

В Тихоокеанском океанологическом институте (ТОИ) ДВО РАН с 2012 г. ведутся разработки и исследования возможностей технологий стационарного подводного видеонаблюдения. Развернуты три подводных комплекса: два в бухте Алексева (о-в. Попова) и один в бухте Витязь (зал. Посьета). К настоящему времени накоплены значительные объемы информации в виде моментальных снимков и видеозаписей подводных сцен. Разработаны интерфейсы для предоставления этой информации пользователям по каналам сети Интернет. Разработаны технологии поддержки работы территориально разнесенных экспертов, составляющих биологические описания видеоматериалов, подобных тем, которые разрабатываются в ведущих зарубежных организациях по морской биологии. Разработаны и апробированы методики оценивания по видеоинформации параметров жизнедеятельности некоторых видов морских гидробионтов. Благодаря непрерывности наблюдения зафиксировано несколько редких случаев, представляющих интерес для морских биологов. Разработаны и апробированы методики оценивания гидрологических характеристик среды на основе анализа видеотрансляций с подводных камер. Эти результаты представляются важными в контексте сопровождения наблюдений

за жизнедеятельностью морской биоты данными о внешних условиях, в которых она происходит. Продемонстрирована возможность использования звукового канала камер для регистрации и анализа акустических шумов от морских судов. Продемонстрирована возможность применения подводных видеокомплексов для организации экспериментов по изучению реакции морских гидробионтов на воздействие целенаправленных физических сигналов.

## ABSTRACTS

**Key words:** autonomous voltage inverter, contactless power transmission, autonomous underwater vehicle, «soft switching», series resonant circuit, parallel resonance.

Gerasimov V.A., Komlev A.V., Filozhenko A.Yu. MEANS OF THE PERFORMANCE ENHANCEMENT OF AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE BATTERY CHARGING SYSTEM // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 1 (31). P. 4–12.

The necessary condition for the contactless battery charging system to be effective during the operation of the autonomous underwater vehicle it is mounted on is fulfilling the two following requirements:

- combination of the resonant circuit on the inverter output and the “soft switching” mode of the power switches;
- attainment of a condition of resonance on the transformer secondary winding.

To solve the problem associated with this condition, the mathematical model of the system was developed with recommendations for parameters choice of resonant circuits. This way, both power losses in the inverter and its element temperature are minimized. This enhancement improves the overall reliability and allows achieving minimal battery charging time. Some field experiments using an operational prototype of the system were carried out, proving the research results.

**Key words:** autonomous underwater robot (autonomous unmanned underwater vehicle), trajectory measurements, map-aided method of navigation, gravimetric, informativeness.

Dunaevskaya K.V., Kiselev L.V., Kostousov V.B., Tarkhanov A.E. ACCURACY EVALUATION OF THE CORRELATION-EXTREME NAVIGATION SYSTEM ACCORDING TO A LOCAL GRAVITY MAP BASED ON TRAJECTORY MEASUREMENTS MADE BY AN AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 1 (31). P. 13–20.

The accuracy assessment of underwater navigation based on gravimetric measurements, acquired from the autonomous underwater vehicle, is directly related to issues of mapping the local gravitational field (LGF) using high-precision small-sized gravimeters. The paper presents research aimed to improve the accuracy of navigation using

акустического канала. Для оценивания такого сигнала применены методы линейного оценивания в спектральной области, позволяющие получить несмещенные оценки с минимальной дисперсией. Найдена матрица весовых коэффициентов, с помощью которой шумовые компоненты отдельного гидрофона (приемного канала) приводятся к белому шуму с минимальной дисперсией. При суммировании спектров гидрофонов антенной решетки пространственно-временной сигнал на ее выходе определен с помощью оценок отдельных информационных сигналов гидрофонов и их остаточного шума с разной дисперсией. Минимальное значение дисперсии выходного шума антенной решетки получено на основании ковариационной матрицы остаточного шума. Предлагаемый оптимальный метод оценки направления прихода сигнала от морского объекта на антенную решетку позволяет отказаться от избыточного числа ее линий задержки, при одновременном значительном уменьшении влияния шума гидроакустического канала.

УДК 556.04(265.54); 557.084.2

DOI: 10.37102/24094609.2020.31.1.008

**Ключевые слова:** система подводного видеонаблюдения, базы видеоданных, обработка видео, измерения биоритмов морских организмов, измерения вариаций подводных течений.

Фищенко В.К., Зимин П.С., Зацерковный А.В., Суботэ А.Е., Голик А.В., Гончарова А.А. СИСТЕМЫ СТАЦИОНАРНОГО ПОДВОДНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 1 (31). С. 60–71.

В Тихоокеанском океанологическом институте (ТОИ) ДВО РАН с 2012 г. ведутся разработки и исследования возможностей технологий стационарного подводного видеонаблюдения. Развернуты три подводных комплекса: два в бухте Алексева (о-в. Попова) и один в бухте Витязь (зал. Посьета). К настоящему времени накоплены значительные объемы информации в виде моментальных снимков и видеозаписей подводных сцен. Разработаны интерфейсы для предоставления этой информации пользователям по каналам сети Интернет. Разработаны технологии поддержки работы территориально разнесенных экспертов, составляющих биологические описания видеоматериалов, подобных тем, которые разрабатываются в ведущих зарубежных организациях по морской биологии. Разработаны и апробированы методики оценивания по видеоинформации параметров жизнедеятельности некоторых видов морских гидробионтов. Благодаря непрерывности наблюдения зафиксировано нескольких редких случаев, представляющих интерес для морских биологов. Разработаны и апробированы методики оценивания гидрологических характеристик среды на основе анализа видеотрансляций с подводных камер. Эти результаты представляются важными в контексте сопровождения наблюдений

за жизнедеятельностью морской биоты данными о внешних условиях, в которых она происходит. Продемонстрирована возможность использования звукового канала камер для регистрации и анализа акустических шумов от морских судов. Продемонстрирована возможность применения подводных видеокомплексов для организации экспериментов по изучению реакции морских гидробионтов на воздействие целенаправленных физических сигналов.

## ABSTRACTS

**Key words:** autonomous voltage inverter, contactless power transmission, autonomous underwater vehicle, «soft switching», series resonant circuit, parallel resonance.

Gerasimov V.A., Komlev A.V., Filozhenko A.Yu. MEANS OF THE PERFORMANCE ENHANCEMENT OF AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE BATTERY CHARGING SYSTEM // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 1 (31). P. 4–12.

The necessary condition for the contactless battery charging system to be effective during the operation of the autonomous underwater vehicle it is mounted on is fulfilling the two following requirements:

- combination of the resonant circuit on the inverter output and the “soft switching” mode of the power switches;
- attainment of a condition of resonance on the transformer secondary winding.

To solve the problem associated with this condition, the mathematical model of the system was developed with recommendations for parameters choice of resonant circuits. This way, both power losses in the inverter and its element temperature are minimized. This enhancement improves the overall reliability and allows achieving minimal battery charging time. Some field experiments using an operational prototype of the system were carried out, proving the research results.

**Key words:** autonomous underwater robot (autonomous unmanned underwater vehicle), trajectory measurements, map-aided method of navigation, gravimetric, informativeness.

Dunaevskaya K.V., Kiselev L.V., Kostousov V.B., Tarkhanov A.E. ACCURACY EVALUATION OF THE CORRELATION-EXTREME NAVIGATION SYSTEM ACCORDING TO A LOCAL GRAVITY MAP BASED ON TRAJECTORY MEASUREMENTS MADE BY AN AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 1 (31). P. 13–20.

The accuracy assessment of underwater navigation based on gravimetric measurements, acquired from the autonomous underwater vehicle, is directly related to issues of mapping the local gravitational field (LGF) using high-precision small-sized gravimeters. The paper presents research aimed to improve the accuracy of navigation using

the map of LGF, which is suitable for the implementation of algorithms of real-time navigation correction. Addressed to this problem, the new method based on the analysis of the sidelobe level of the matching function was studied for estimating the error of correlation-extreme navigation. The feature of the proposed method, in contrast with the well-known Bayesian approach, lies in the opportunity of its implementation in onboard algorithms and utilization for the preliminary assessment of informational content of the field map for route planning. The results of computational experiments show that under certain conditions, the studied estimates are near the calculated Bayesian estimate.

**Key words:** towed underwater module, sonar navigation system, load-bearing communication cable, satellite navigation receiver, coordinate determination algorithms.

Kostenko V.V., Vaulin Yu.V., Dubrovin F.S., Lvov O.Yu. ABOUT THE ACCURACY OF POSITIONING THE UNDERWATER MODULE BASED ON MEASURED MOVEMENT PARAMETERS OF A TOWED SYSTEM // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 1 (31). P. 21–29.

The towed underwater module (TUM) is a useful tool for solving problems of the positioning of the underwater objects, the location of which must be clarified during its detailed inspection. Herewith, the accuracy of the determination of the coordinates of the towed module itself relative to the towing vessel is essential for such kind of problems. The use of underwater acoustic navigation means, the systems with ultra-short baseline (USBL) in particular, are limited due to interference affecting the quality of the signals on the receiving antenna. As an alternative, the method is proposed for TUM positioning based on trajectory measurements of parameters of the towed system, which may include calculated values of communication cable parameters in steady-state towing modes, values of ground speed and towing angle, as well as measured cable length, immersion depth, and TUM heading. The paper provides a comparative analysis of various versions of computational algorithms, which allow obtaining estimates of the TUM positioning accuracy in different modes of stationary towing and in the presence of failures in navigation systems operation.

**Key words:** acoustic navigation system, hydroacoustic beacon, hydroacoustic bottom station, towed underwater module, coordinated object, multilateration.

Vaulin Yu.V., Dubrovin F.S., Panin M.A., Lvov O.Yu. LOCALIZATION OF THE STATIONARY DEEP-SEA UNDERWATER ACOUSTIC EQUIPMENT USING MULTILATERATION METHOD // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 1 (31). P. 30–35.

During the solving of multiple problems in deep-sea conditions, it's necessary to localize a stationary bottom-placed underwater acoustic equipment (beacons, bottom stations, etc.). The set of methods of such objects

positioning may include the multilateration method. The research team of IMTP FEB RAS designed a software-hardware complex for automated localization of bottom-placed beacons and deep-sea underwater acoustic stations using multilateration method. The results of the complex field tests confirm working capacity, high efficiency, and accuracy of localization of bottom-placed stationary objects using multilateration method compared to ones utilizing the trilateration method. That can be explained by a larger number of range measurements and applying the probabilistic approach for estimation of the object position. The gathered test results allow giving an appraisal of the benefits and drawbacks of the proposed localization method.

**Key words:** pulsed signals, group velocity, effective velocity, modes, underwater ranging.

Golov A.A., Morgunov Yu.N., Sorokin M.A., Petrov P.S. THE RESULTS OF EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCHES OF PULSED SIGNALS PROPAGATION IN SHALLOW SEA ALONG THE EDGE OF CONTINENTAL SHELF // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 1 (31). P. 36–41.

The purpose of the paper is to present the interpretation of field experiments, dedicated to studying the propagation of impulse acoustic signals on the shelf of the Sea of Japan in the autumn-summer period of 2018. The main goal of the experiments was to determine arrival times and effective sound velocities of the propagation of the pulsed signals in underwater acoustic path trace oriented along the edge of the continental shelf. During theoretical analysis and modeling of sound propagation, the methodology for predicting the effective propagation velocity of pulsed signals over long hauls in the shallow sea was developed. It is based on averaging of the group velocities of the first modal component of the signal over the entire path.

**Key words:** sound scattering, sound attenuation, nonlinear parameter, sea water, bubbles, plankton.

Bulanov V.A., Korskov I.V., Sosedko S.N., Storozhenko A.V. INVESTIGATION OF ACOUSTICAL PROPERTIES OF UPPER LAYER OF THE SEA BY MULTIFREQUENCY ACOUSTIC PROBING // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 1 (31). P. 42–55.

This paper represents the application of acoustic probing for the investigation of acoustical properties of the upper layer of the sea using broadband narrow-beam inverted transducers that are mounted on the sea bottom. This method is based on the principle of the recording of the backscattering and reflections of acoustic pulses of different frequencies from the sea surface. That simultaneously allows measuring scattering and absorption of the sound and non-linear acoustic parameter of seawater. Multifrequency probing allows performing acoustic spectroscopy of bubbles in the near-surface layer of the sea, estimating gas

content, and obtaining data on the spectrum of the surface waves in various states of the sea up to a storm. Utilization of the high-frequency narrow ultrasound beams allows us to separate the information about plankton and bubbles and to determine the structure of bubble clouds, created during the breaking of wind waves, along with the structure of plankton communities with high spatial resolution. The participation of plankton in the wave motion in the seawater column allows determining parameters of internal waves, such as spectrum and distribution of amplitudes at different times.

**Key words:** hydroacoustic channel, antenna array, space-time signal, unbiased estimate with minimal variance, signal vector spectrum, covariance matrix, weight coefficient matrix.

Pakhomov S.A., Shostak S.V. SPACE-TIME PROCESSING OF COMPLEX BROADBAND SIGNALS THROUGH HARMONIC DECOMPOSITION // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 1 (31). P. 56–59.

The paper considers the estimation of the direction to the marine objects by dealing with the formation of a space-time signal on the receiving equidistant linear antenna array in conditions of the flat wavefront of the acoustic pressure field generated by a complex broadband signal. The model of spectrum shaping of the information signal at the output of a separate hydrophone of the antenna array is derived by the vector-matrix equation in the additive mix with the noise of the underwater acoustic channel. The estimation of such a signal was performed by methods of linear evaluation in the spectral domain, allowing to get unbiased estimates with the least dispersion. The noise components of each separate hydrophone (receiving channel) are reduced to white noise with minimal dispersion using the calculated weighting matrix. The resulting space-time signal at the output of the antenna array obtained by the summing spectrums of all of the hydrophones can be determined by the estimation of the separate information signals of each array element and its residual noise with different variance. The minimal value of the noise variance at antenna array output was obtained based on the covariance matrix of the residual noise. The proposed optimal method of the estimation of angle-of-arrival of the

signal from the remote marine object on the antenna array allows substantially decreasing both the number of its delay lines and the influence of the underwater acoustic channel noise.

**Key words:** underwater surveillance systems, video database, video processing, marine organisms biorhythms measurement, variations of underwater currents measurement.

Fishchenko V.K., Zimin P.S., Zatserkovnyy A.V., Subote A.E., Golik A.V., Goncharova A.A. STATIONARY SYSTEMS FOR UNDERWATER VIDEO SURVEILLANCE OF COASTAL WATER AREAS // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 1 (31). P. 60–71.

Since 2012, the Pacific Oceanological Institute of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science has been developing and studying the capabilities of technologies of stationary underwater video surveillance. Three of the underwater complexes have been deployed in different water areas: two in the Alekseev Bay (Popova Island) and one in Vityaz Bay (Posyet Gulf). At this point, complexes have accumulated a significant amount of data in the form of snapshots and video recordings of underwater scenes, which can be accessed through designed Internet-based interfaces. All the surveillance systems contain technologies as a support of the work of geographically dispersed experts involved in the biological description of video materials, similar to ones developed in leading worldwide marine biology organizations. Besides, the estimation of vital parameters of some marine life species by the video recordings can be performed using developed and tested methods. Thanks to continuous observation, the designed systems have already recorded several rare cases of interest for marine biologists. Hydrological characteristics of surrounding media can be studied using developed and tested methods of analysis of video streaming from underwater cameras. These results are especially crucial for accompanying observations of the vital activity of marine organisms with data on external conditions in which they occur. Cameras built-in audio channels can be used for recording and analyzing noises of marine vessels. Designed underwater video complexes provide an opportunity for conducting experiments on studying the reaction of marine organisms to dedicated physical signals.

