

## РЕФЕРАТЫ

УДК 681.883.45

DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.001

**Ключевые слова:** гидроакустические системы связи, гидроакустические сигналы, статистические свойства сигналов, гауссов шум, скрытый обмен данными, численные модели.

Кебкал К.Г. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СКРЫВАЮЩИХ СВОЙСТВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ СВЯЗИ С ЛИНЕЙНОЙ РАЗВЕРТКОЙ НЕСУЩЕЙ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 2 (32). С. 4–12.

На результатах численного моделирования продемонстрировано, что распределения вероятностей огибающей и фазы смеси гауссова шума и (слабого) гидроакустического сигнала связи, характеризуемого линейной разверткой несущей, могут иметь исчезающе малые отличия от аналогичных распределений, характерных для просто гауссова шума. Использование непрерывного расширения спектра сигнала связи может представлять интерес для задач скрытого обмена данными, в которых обнаружение сеанса связи устройствами перехвата должно быть затруднительным или невозможным. С применением численных моделей проанализированы возможности использования сигналов с непрерывным расширением спектра для скрытой цифровой гидроакустической связи посредством штатных приемопередатчиков гидроакустических систем, находящихся на вооружении действующих кораблей.

УДК 62-529

DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.002

**Ключевые слова:** автономный обитаемый подводный аппарат, глубоководные исследования, морская экспедиция, мониторинг морских донных экосистем, навигационный комплекс, программное обеспечение.

Бабаев Р.А., Боловин Д.А., Борейко А.А., Боровик А.И., Ваулин Ю.В., Коноплин А.Ю., Трегубенко Д.И., Михайлов Д.Н., Щербатюк А.Ф. ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНПА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ АТЛАНТИЧЕСКОГО СЕКТОРА АНТАРКТИКИ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 2 (32). С. 13–21.

Рассматривается технология выполнения исследовательских работ автономным обитаемым подводным аппаратом (АНПА) ММТ-3000, который использовался при выполнении комплексных исследований экосистем Антарктики и глубоководных биологических ресурсов южных морей в экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (79-й рейс) в 2020 году. Предложенная технология затрагивает вопросы планирования миссий, подготовки программного обеспечения, управления АНПА, а также организации погружений и взаимодействий с экипажем судна-носителя. Описаны особенности модернизации АНПА ММТ-3000 для обеспечения визуальной оценки плотности скопления зоопланктона в толще воды и распределения донных животных, а также оснащения этого

АНПА набором датчиков для оценки гидрофизических и гидрохимических характеристик окружающей среды. Приведены основные результаты, полученные в процессе выполнения АНПА глубоководных миссий.

УДК 551.46.077:629.584

DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.003

**Ключевые слова:** морской робототехнический комплекс, автономный обитаемый подводный аппарат, групповая (коллективная) навигация, разностно-дальномерные алгоритмы, гидроакустический модем.

Ваулин Ю.В., Дубровин Ф.С., Щербатюк А.Ф., Щербатюк Д.А. РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНАЯ СИСТЕМА НАВИГАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРУППОВОЙ РАБОТЫ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 2 (32). С. 22–33.

Навигационное обеспечение групповых операций морских робототехнических комплексов (МРК) предполагает одновременное (в рамках одного цикла работы навигационной системы) уточнение местоположения всех объектов МРК. Широко распространенная гидроакустическая навигационная система с длинной базой (ГАНС ДБ) не позволяет решить задачу, поскольку предполагает поочередную работу с объектами МРК. В работе рассмотрена задача обеспечения навигации объектов МРК при помощи разностно-дальномерной навигационной системы (РД НС). Исследованы два навигационных алгоритма, реализующих переборный и аналитический методы решения разностно-дальномерной задачи. Предложен метод применения РД НС с адаптивной конфигурацией для навигации объектов МРК в зоне акустической тени. Выполнены эксперименты, включающие компьютерное моделирование описанных алгоритмов и работу РД НС в натуральных морских условиях, которые подтвердили работоспособность и необходимую точность разрабатываемой РД НС. Рассмотрена задача обеспечения навигации групп автономных обитаемых подводных аппаратов (АНПА) при помощи разностно-дальномерной навигационной системы с длинной базой (ГАНС ДБ). Предложены два навигационных алгоритма, реализующих переборный и аналитический методы решения разностно-дальномерной задачи. Разработан метод применения ГАНС с адаптивной конфигурацией для навигации АНПА в зоне тени. Приведено описание выполненных экспериментов, включающих компьютерное моделирование и работу описанных алгоритмов в натуральных морских условиях. Приложены некоторые результаты модельных и натуральных испытаний.

УДК 551.46.077:629.584

DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.004

**Ключевые слова:** поверхностный модуль радиосвязи, автономный подводный робот, кабель связи, уравнение гибкой нерастяжимой нити, динамическая модель кабеля, система управления движением, возмущения от буксировки.

Костенко В.В., Мокеева И.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ И ДИНАМИКИ ПРИВЯЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМ-

НОГО ПОДВОДНОГО РОБОТА С БУКСИРУЕМЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ МОДУЛЕМ РАДИОСВЯЗИ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 2 (32). С. 34–41.

Использование буксируемого поверхностного модуля радиосвязи (ПМР) позволяет организовать высокоскоростной канал связи поста управления с автономным подводным роботом (АПР), а также значительно упростить его навигационное обеспечение. При этом возмущения от кабеля связи, действующие на АПР и ПМР, будут в значительной степени влиять на характеристики движения такой привязной системы. В работе методами компьютерного моделирования исследуются силовые воздействия кабеля связи на буксировке, а также их влияние на движение аппарата в установившихся режимах и по типовым траекториям маневрирования. Для установившихся значений глубины погружения и скорости хода АПР определена длина кабеля связи, обеспечивающая минимальное силовое воздействие от буксировки на аппарат. Предложена комплексная модель системы управления движением подводной привязной системы, учитывающая динамику АПР и кабеля связи. Разработана кинематическая модель поведения ПМР, определяющая его заглубление и гидродинамическое сопротивление при буксировке. Приведены результаты моделирования движения привязной системы по типовым траекториям, характерным для обзорно-поисковых АПР, которые позволяют оценить дополнительные требования к тяговым характеристикам движительно-рулевого комплекса аппарата, а также к необходимому запасу плавучести ПМР.

УДК 534.6, 534.23

DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.005

**Ключевые слова:** комбинированный приемник, шумы обтекания, ближнее поле, помехоустойчивость.

Касаткин Б.А., Касаткин С.Б. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИЕМНИКА НА БОРТУ ПОДВОДНОГО ПЛАНЕРА (ГЛАЙДЕРА) // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 2 (32). С. 42–48.

При работе приемной системы на борту движущегося носителя возникает специфическая проблема уменьшения собственных шумов носителя, уровень которых зависит от типа приемной системы и алгоритмов обработки сигналов. В настоящей работе рассматриваются особенности работы комбинированного приемника на борту подводного планера (глайдера) в собственных шумах обтекания, которые возникают при изменении горизонта позиционирования глайдера. Предложено полное описание энергетической структуры звукового поля, включающее 16 информативных параметров. В их число входят квадрат звукового давления, компоненты комплексного вектора интенсивности, компоненты вещественного ротора вектора интенсивности и квадратичные компоненты комплексного вектора градиента давления. Приводятся результаты натурного эксперимента, выполненного в мелком море, в котором глайдер, оснащенный комбинированным приемником, периодически изменял горизонт позиционирования в режиме погружение – всплытие. Анализируются в сравнительном плане уровни шумов обтекания на выходе канала звукового

давления и на выходе векторных каналов при различном определении информативных параметров, характеризующих звуковое поле в скалярно-векторном описании. Приводятся оценки уровня шумов обтекания, подтверждающие преимущества комбинированного приемника в сравнении с гидрофоном при его работе в составе бортовой приемной системы в ближнем поле собственных шумов обтекания. Рассматриваются особенности работы комбинированного приемника на борту подводного планера (глайдера) в собственных шумах обтекания, которые возникают при изменении горизонта позиционирования глайдера. Анализируются в сравнительном плане уровни шумов обтекания на выходе канала звукового давления и на выходе векторных каналов при различном определении информативных параметров, характеризующих звуковое поле в скалярно-векторном описании. Приводятся результаты натурного эксперимента, подтверждающие преимущества комбинированного приемника в сравнении с гидрофоном при его работе в составе бортовой приемной системы в ближнем поле собственных шумов обтекания.

УДК 528.855

DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.006

**Ключевые слова:** Амурский залив, оптически сложные воды, биооптические параметры, глубина проникновения света, спутниковое зондирование, цвет моря, хлорофилл-а, растворенное органическое вещество, мутность, атмосферная коррекция MUMM.

Салюк П.А., Степочкин И.Е., Захарков С.П., Игнатьева Е.С., Яковлева Д.А., Шупило А.И., Качур В.А., Нагорный И.Г. АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПО ЦВЕТУ МОРЯ В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 2 (32). С. 49–55.

Амурский залив испытывает значительную антропогенную нагрузку, поэтому важным является организация многоуровневого мониторинга для осуществления оперативного экологического контроля. Цель данной работы заключается в проведении экспериментальных исследований, ориентированных на решение следующих задач:

- определение оценок эффективности спутникового зондирования цвета моря в оптически сложных водах морских акваторий,
- проведение подспутниковых подводных экспериментов и определение глубины слоев, значимо влияющих на формирование оптического сигнала, регистрируемого из космоса.

Для решения поставленных задач проведено два океанографических разреза, на которых выполнены вертикальные измерения биооптических и гидрологических параметров в морской толще. С этой целью были проанализированы спутниковые изображения радиометров MODIS-Aqua, MODIS-Terra, VIIRS-NPP с применением алгоритмов атмосферной коррекции NIR и MUMM, а также биооптического алгоритма OC-3. Показано, что в водах залива в августе цвет моря формируется в основном в верхнем 10-метровом слое, который подвержен речному стоку и содержит большое количество растворенных и взвешен-

ных веществ. Влияние дна и придонных макроводорослей не должно проявляться на глубинах более 15 метров. Для корректного применения спутниковых данных строго обязательно использование алгоритма MUMM и рекомендуется организация автоматизированной сети подспутниковых наблюдений.

УДК 551.465:550.347

DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.007

**Ключевые слова:** гидрофизический комплекс, сложные низкочастотные сигналы, вертикальная гидроакустическая антенна, широкополосный гидроакустический излучатель, внутренние гравитационные волны.

Пивоваров А.А., Самченко А.Н., Швырев А.Н., Ярошук И.О. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА В НАТУРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА ШЕЛЬФЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 2 (32). С. 56–61.

Осенью 2019 года на шельфе Японского моря в заливе Петра Великого проводился комплексный натурный эксперимент с целью изучения влияния внутренних волн на распространение сложных низкочастотных сигналов. Экспериментальные работы проводились с помощью нового гидрофизического исследовательского комплекса. В состав комплекса входили: вертикальная 8-элементная приемная антенна, автономная широкополосная излучающая станция, многоэлементные термогирлянды и регистраторы гидростатического давления. В течение суток проводились излучение и прием пакетов различных ЛЧМ и фазоманипулированных сигналов с одновременным измерением характеристик поля внутренних волн по трассе распространения. В ходе выполнения натурального эксперимента были подтверждены технические характеристики гидрофизического исследовательского комплекса и получен опыт проведения комплексных океанологических экспериментов. Выявлены различия в использовании линейных частотно-модулированных и псевдослучайных фазоманипулированных сигналов, показано характерное на данной акватории, влияние гидрологических возмущений на распространение акустических сигналов. Осенью 2019 года на шельфе Японского моря в заливе Петра Великого проводилось экспериментальное тестирование гидрофизического исследовательского комплекса. Изучалось влияние внутренних волн на распространение сложных низкочастотных сигналов. В ходе выполнения натурального эксперимента были подтверждены технические характеристики гидрофизического исследовательского комплекса. Выявлены различия в использовании линейных частотно-модулированных и псевдослучайных фазоманипулированных сигналов, показано характерное на данной акватории влияние гидрологических возмущений на распространение акустических сигналов.

УДК 556.04

DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.008

**Ключевые слова:** системы подводного видеонаблюдения, вариации подводных течений, морское волнение, ис-

кусственные и естественные маркеры подводных течений, обработка видео.

Фищенко В.К., Зимин П.С., Голик А.В., Гончарова А.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ СТАЦИОНАРНОГО ПОДВОДНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОДВОДНЫХ ТЕЧЕНИЙ И МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 2 (32). С. 62–73.

Системы стационарного подводного видеонаблюдения, разработанные в ТОИ ДВО РАН, помимо решения задач наблюдения за состоянием морской биоты прибрежных акваторий залива Петра Великого (Японское море) могут применяться для оценивания характеристик морского волнения и подводных течений. Эти характеристики важны как в контексте сопровождения наблюдений за жизнедеятельностью морских организмов информацией о гидрологических условиях их существования, так и сами по себе – как важные параметры состояния природной среды. В статье рассмотрены несколько методик измерения сигналов вариаций подводных течений и оценивания на их основе частотных свойств поверхностного волнения. Основная идея состоит в отслеживании на основе анализа видео горизонтальных движений легких маркеров под воздействием на них течений. В первой части работы приведены примеры использования искусственных маркеров двух видов – закрепленных на тонкой нити теннисных шариков с небольшой положительной либо отрицательной плавучестью и установленных на дне вертушек. Показано, что при небольших глубинах установки камер частотные свойства сигналов горизонтальных движений маркеров хорошо воспроизводятся в сигналах поверхностного волнения в диапазонах ветровых волн, корабельных волн, волнения зыби, сейшевых колебаний уровня моря с периодами от десятков секунд до десятков минут. Во второй части работы рассмотрены технологии измерений, основанные на использовании естественных маркеров – полей органических и неорганических взвесей, перемещаемых водными потоками перед камерой, либо растительности, изменяющей свой наклон под действием течений. Они могут применяться при отсутствии либо выходе из строя искусственных маркеров.

## ABSTRACTS

**Key words:** underwater acoustic communication, carrier frequency, underwater acoustic telemetry, underwater acoustic data exchange.

Kebkal K.G. NUMERICAL MODELING OF HIDING PROPERTIES OF UNDERWATER ACOUSTIC COMMUNICATION SIGNALS WITH LINEAR SWEEP OF THE CARRIER // Underwater Investigation and Robotics. 2020. No. 2 (32). P. 4–12.

Based on the results of the numerical modeling, the vanishingly small differences between the probability distributions of the envelope and phase of the sum of Gaussian noise and (weak) underwater acoustic signal with linear carrier sweep,