

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 621.391

DOI 10.52575/2712-746X-2023-50-4-883-892

Метод пассивного мониторинга малоразмерных объектов, движущихся в воде

¹ Кукушкин Л.С., ² Бурданова Е.В., ² Заливин А.Н.

¹ Акционерное общество Рязанское производственное техническое предприятие «Гранит»
Россия, 390039, г. Рязань, ул. Интернациональная, 1Г

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: leofrontier@gmail.com, burdanova@bsu.edu.ru, zalivin@bsu.edu.ru

Аннотация. Проблема разработки новых и модернизации существующих методов оперативно-технического мониторинга малоразмерных объектов, движущихся в мелководной среде, становится всё более актуальной. В статье рассматривается новое решение пассивного мониторинга на малых глубинах (4–5 метра), когда применение гидроакустической локации сопровождается значительным ростом уровня помехового фона. Предлагается регистрировать колебания давления, которые появляются в воде в поле неоднородной волны, сопровождающей движение пловца. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили научно-практическую значимость разработанного метода. Даны рекомендации по его использованию.

Ключевые слова: мониторинг, малоразмерный объект, водная акватория, новые физические принципы, составляющие основу измерений, и их реализация, результаты экспериментальных исследований

Для цитирования: Кукушкин Л.С., Бурданова Е.В., Заливин А.Н., 2023. Метод пассивного мониторинга малоразмерных объектов, движущихся в воде. Экономика, Информатика, 50(4): 883–892. DOI: 10.52575/2712-746X-2023-50-4-883-892

Method for Passive Monitoring Small-Sized Objects Moving in Water

¹ Leonid S. Kukushkin, ² Ekaterina V. Burdanova, ² Aleksandr N. Zalivin

¹ Joint Stock Company Ryazan Production Technical Enterprise “Granit”

1G Internatsionalnaya St, Ryazan, 390039, Russia

² Belgorod State National Research University

85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: leofrontier@gmail.com, burdanova@bsu.edu.ru, zalivin@bsu.edu.ru

Abstract. Currently, the problem of developing new and modernizing existing methods of operational and technical monitoring of water areas is becoming urgent. At the same time, issues related to the monitoring of small-sized objects moving in shallow water at depths of up to 5 meters are the least worked out. The article discusses a new solution for passive monitoring, including in conditions of shallow depths, when the use of sonar location is accompanied by a significant increase in the level of background noise. Its essence lies in the registration of pressure fluctuations that occur when an object

moving in water flows around in the field of an inhomogeneous wave accompanying it in the process of movement. It is shown that the peculiarity of the wave created by the flow around the body of the object is characterized by the presence of a unmasking feature in the form of a zone of local varying pressures. Such a zone is formed around an object moving in the water (for example, a swimmer) and spreads with it, and its distinctive features become sharply distinguished in the changing water space next to the object. The conducted experimental studies confirmed the scientific and practical significance of the developed method. Recommendations on its use are given.

Keywords: monitoring, small-sized object, water area, physical principles of selection, wave heterogeneity, water pressure, algorithms and detection methods

For citation: Kukushkin L.S., Burdanova E.V, Zalivin A.N. Method for Passive Monitoring Small-Sized Objects Moving in Water. Economics. Information technologies, 50(4): 883–892 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-746X-2023-50-4-883-892

Введение

Вопросы оперативно-технического мониторинга водных акваторий были актуальными всегда. Об этом свидетельствуют активно проводимые работы. На рисунке 1 приведена ситуационная схема организации и взаимодействия различных инфотелекоммуникационных средств перспективной комплексной системы мониторинга и охраны побережья и прилегающей водной акватории [Кузнецов, 2019; Ширяев и др., 2023].

Из неё следует необходимость: 1) организации как минимум трёх водных рубежей охраны (ближней, средней и дальней) с использованием как активных, так и пассивных средств мониторинга; 2) применения средств электронного наблюдения, радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и поражения средств нападения с использованием как береговых, так и корабельных комплексов и систем обороны. Также перспективные комплексные системы охраны и обороны побережья предполагают массированное использование различных беспилотных аппаратов, а также различных информационных и телекоммуникационных технологий связи и управления.

Статья посвящена вопросам совершенствования методов мониторинга важных объектов и границ прибрежных районов. Основой повышения эффективности мониторинга становятся инновационные методы измерений, представления, обработки и информационной поддержки принятия решений (ИППР) [Гладков, Чаплинский, 2008; Борейко и др., 2014]. Важная их особенность заключается в поиске новых резервов в виде различных нетрадиционных технических решений, использование которых позволило бы вывести ведущиеся в этой области науки и техники работы на качественно новый уровень [Кукушкин, 2003; Кадыков, 2014; Инзарцев и др., 2018; Кузнецов, 2019]. При этом задача связана с обнаружением малоразмерных объектов на мелководье, когда все известные методы гидроакустической локации становятся малоэффективными [Кутателадзе, 1973, Инзарцев и др., 2018]. Мелководье – это хорошо освоенная пловцами среда [Кутателадзе, 1973; Кадыков, 2014; Кузнецов, 2018; Кузнецов, 2019].

Большую актуальность такой мониторинг приобретает при охране важных объектов [Князев, Яцун, Яцун, 2019; Матвиенко, Хворостов, Каморный, 2019], например, атомных электростанций (АЭС), вблизи которых имеются каналы глубиной менее 5 м и объёмные мало глубинные акватории (рис. 1).



Рис. 1. Ситуационная схема перспективной системы мониторинга водной акватории и побережья с использованием инфо-телекоммуникационных средств
 Fig. 1. Situational diagram of a prospective monitoring system of the water area and the coast using information and telecommunication means

Недостатки существующих методов

Условия мелководья усугубляют решение проблемы оперативно-технического мониторинга водных акваторий, при этом использование традиционных методов активной акустической гидролокации не дает ожидаемого эффекта [Кузькин, Матвиенко, Переселков, 2019; Матвиенко и др., 2022]. Из-за многочисленных отражений звука и излучаемых сигналов от дна и водной поверхности использование локационных методов невозможно. Пассивные методы мониторинга, ориентированные на обнаружение подводных объектов, также оказываются малоприменимы. Они реагируют только на объекты мониторинга, которые сами становятся источниками акустического излучения. Например, к ним относится шум винтов подводного аппарата. Пловец на ластах является исключением: создаваемые при его движении волны становятся неразличимыми на фоне естественных шумов водных акваторий. Единственный принцип обнаружения пловца под водой – магнитометрический. При этом отклик извещателя такого типа основывается на железосодержащихся у пловца-нарушителя материалах. [Кадыков, 2014; Zhang, Па, Кнеір, 2018; Казначеева и др., 2021].

Но магнитометрический метод обладает низкой чувствительностью. Эффективное его применение ограничено расстоянием 2-3 м до объекта мониторинга. Этот недостаток связан с наблюдаемым значительным уменьшением мощности сигнала, порядок угасания которой определяется показателем r^{-6} , где r – расстояние до контролируемого объекта. Практическая значимость такого метода существенно уменьшена, поскольку в современной экипировке пловца железосодержащие материалы отсутствуют. Методы мониторинга нарушителя с использованием радиолокации также существенно ограничены, поскольку затухание мощности излучаемого сигнала пропорционально r^{-4} , что не менее, чем на два порядка хуже при его распространении в атмосфере. Единственным методом мониторинга при этом остаётся гидроакустика. Известен метод обнаружения объектов под водой, при этом падающий от излучателя на приемник извещателя звуковой луч пересекается обнаруживаемым объектом. [Кузнецов, 2019; Матвиенко и др., 2019; Олейник и др., 2022].

Однако он обладает сигнализационной надежностью, не удовлетворяющей предъявляемым современным требованиям к извещателям. Основная причина такого положения заключается в многочисленных помехах и высоком уровне неопределённости при измерениях, проводимых в прибрежных водных акваториях техническими средствами охраны. Проведенные исследования показывают, что основной недостаток известных методов обнаружения подводного пловца на мелководье заключается в сложности создания условий для эффективного мониторинга его движения. Явление рефракции звука в реальной, а не идеализированной водной среде негативно сказывается на эффективности известных методов обнаружения. Поэтому эффект маскирования подводного нарушителя становится ярко выраженным. Из-за этого он становится не наблюдаемым техническими средствами охраны при расстояниях более 8 м. При этом проблемным становится возможность обнаружения нарушителя, когда его движение отображается на низких частотах сигнала, к которым оказываются нечувствительны приёмники извещателей из-за помех, создаваемых естественным шумом водной среды. Поэтому особо актуальной становится разработка новых пассивных методов мониторинга малоразмерных объектов, движущихся в воде [Кукушкин, 2018; Кузнецов, 2019; Burdanova et al 2019; Попов и др., 2022].

Сущность метода пассивного мониторинга малоразмерных объектов, движущихся в воде

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости поиска новых приёмов, использование которых позволило бы с заданными показателями сигнализационной надёжности решить задачу мониторинга подводного пловца-нарушителя. Проведенные исследования показывают, что одно из таких нетрадиционных решений связано с обнаружением и регистрацией колебаний давления в поле неоднородной волны в воде, возникающей перед и после проплывающего пловца-нарушителя. Поэтому объектом мониторинга становятся процессы обтекания движущегося в воде объекта. В этом проявляется особенность предлагаемого метода. Его суть заключается в мониторинге особенностей изменений зоны локальных давлений волны, которая образуется вокруг движущегося в воде объекта. Она становится наиболее резко выраженной в контролируемом водном пространстве и поэтому выбрана в качестве информационного критерия обнаружения нарушителя. При этом работа извещателя должна быть направлена на обнаружение различий зон давления, появляющихся впереди и за движущимся под водой объектом мониторинга.

Основной появляющийся при этом вопрос заключается в следующем: «Какие принципы измерений могут быть использованы в качестве теоретической основы построения такого извещателя»? Определим независимые исходные физические параметры, определяющие процесс обтекания тела. Это p – давление в поле неоднородной волны; ρ – плотность среды; U – скорость движения тела. Подлежащие учету исходные данные представлены в таблице 1: l и L – характерные линейные параметры волны давления в поперечном и продольном направлениях; μ – динамическая вязкость воды, в которой движется объект мониторинга; r – расстояние до него и t – текущее время.

При организации измерений необходимо выйти на такую определяемую при измерениях универсальную величину M интенсивности звуковых лучей, использование которой позволило бы повысить эффективность обнаружения наличия пловца в охраняемой водной акватории в условиях. Для повышения эффективности измерений, определяемой показателем достоверности обнаружения пловца, необходимо определить какие комбинации физических параметров могут быть использованы для решения этой проблемной задачи. Для построения системы измерений необходимо, прежде всего, определить такие различные соотношения перечисленных исходных данных, которые были бы безразмерными. Выполненный анализ размерности получаемых при этом величин показывает, что предъявляемым требованиям отвечают следующие отношения:

$$p^2 r / \rho \mu U^3, Ut / L, L / l, \rho U l / \mu \quad (1)$$

Эти комбинации различных отношений отвечают требованиям, определяющим основу построения систем телеизмерений [Гладков, Чаплинский, 2008, Zhilyakov et al., 2020].

Ими, как показали проведенные исследования, и определяется взаимосвязь исходных физических параметров, которая и составляет сущность предлагаемого метода. Кроме того, оказывается, что каждое из полученных безразмерных отношений имеет свою физическую интерпретацию.

Первая комбинация определяет следующую взаимосвязь параметров: плотность среды ρ ; скорость U движения; давление p волны, создаваемой при движении объекта мониторинга; динамической вязкости воды μ , в которой движется объект мониторинга и расстояние до него r .

Второе соотношение, раскрывающее следующую прикладную форму зависимости p от U и r в волне:

$$p \sim U^{1.5} \text{ и } p \sim r^{0.5}. \quad (2)$$

В предлагаемом методе прикладной характер использования соотношений (1) и (2) заключается в следующем:

– в разрабатываемой системе мониторинга должны определяться параметры l и L , знание которых позволяет идентифицировать трансформацию пространственной структуры волны давления p , данная трансформация вызвана влиянием скорости U движения тела на пространственную структуру волны;

– параметры локальных областей сжатий и разрежений в волне должны меняться при изменениях скорости движения объекта или тела, что, в свою очередь, приводит к изменениям формы зависимости давления от U и r .

Движение пловца или объекта создает пространственно-временную характеристику давления в волне, которая определяется безразмерным отношением $U t / L$. В описываемом методе характеристика пространственно-временной периодичности поля давления является универсальной. Её физическое определение происходит в извещателе и имеет вид определённых последовательностей чередования максимумов и минимумов давления в волне. Подлежащие дополнительному определению на основе известных методов технической охраны мелководных акваторий скорость движения тела U и продольный размер поля давления L , влияют на пространственно-временную характеристику давления в волне. Определение отношения L/l должно являться основой метода. Поэтому в статье используется классификация, где безразмерная комбинация параметров является третьей. Её отличительная особенность состоит в том, что появляется двумерная по проявлению характеристика поля давления.

Такое решение отвечает требованиям, которые предъявляются конструктивной теорией измерений и сигнальных определений к создаваемым перспективным извещателям [Гладков, Чаплинский, 2008]. Это направление активно развивается в системах мониторинга, использующих нетрадиционное представление данных измерений образами-остатками и другими замещающими структурно-алгоритмическими преобразованиями (САП) [Кукушкин, 2003, Князев, Яцун, Яцун, 2019, Шишкин, Скатков, 2019]. Многочисленными экспериментальными исследованиями и техническими реализациями показано, что в этом случае активно используется внутренняя структура ($S_{\text{внутр}}$) получаемых данных измерений для достижения комплексного положительного технического эффекта. В этом случае обеспечивается возможность одновременного улучшения не одного, а сразу нескольких показателей эффективности мониторинга.

В существующих научно-методических подходах, ориентированных на традиционно используемую внешнюю структуру ($S_{\text{внешн}}$) представления данных измерений, она не используется, что является их основным недостатком. Эта идея также плодотворно работает

и в других технических приложениях, например, при обнаружении сигналов на фоне шумов в сверхширокополосных радиолокационных системах [Элбакидзе и др., 2018; Олейник и др., 2022]. Применяемую при этом субполосную обработку информации можно рассматривать как полезное использование внутренней структуры ($S_{\text{внутр}}$) данных, получаемых при сверхширокополосной радиолокации.

Предлагаемый подход к мониторингу также отличается от известных решений тем, что используются различные проблемно-ориентированные технические решения. Так, при измерениях учитывается тот факт, что при строгом подходе отношение L/l зависит от параметров движущегося тела или объекта. Данное отношение является постоянным (инвариантом) в условиях проведения экспериментальных исследований, когда движение в водной среде совершает одно и то же тело, объект. При таких условиях проведения эксперимента можно воспользоваться неполной комбинацией параметров. При этом целесообразно использовать зависимости p от r и p от Ut .

Правильность выбранного подхода к построению при создании технических систем охраны извещателей нового типа подтверждается тем, что четвертая безразмерной комбинации становится узнаваемой. Она представлена числом Рейнольдса, известным в гидродинамике. В предлагаемом методе использование четвертого безразмерного отношения величин определяет характер обтекания тела в водной среде. Он может быть ламинарным или турбулентным.

Таким образом, особенность полученных результатов определяется тем, что частный случай построения безразмерных величин, которые составляют основу мониторинга движения пловца, является известным и не вызывает сомнений. Благодаря этому существенно повышается значимость прикладного использования других полученных безразмерных соотношений.

Это служит дополнительным доказательством обоснованности разработанных теоретических положений, которые должны быть использованы при построении извещателей нового типа. При этом необходимо отметить тот известный факт, что по сравнению с извещателями, датчиками и сенсорами, которые используют при технической охране сухопутных границ контролируемых важных объектов, морская тематика их использования разработана недостаточно. Об этом свидетельствует существующая практика охраны водных акваторий.

Проведенные исследования показали, что необходимо учитывать практическое использование рассмотренных соотношений и предлагаемого пассивного способа мониторинга. Использование различных технических приспособлений при передвижении в воде (например, использование ласт) очень сильно влияют на результаты измерений, т.к. вносит дополнительный вклад в формирование поля неоднородной волны давления впереди и сзади пловца (объекта). В этом случае повышение давления перед движущимся объектом, которое появляется за счет скоростного напора среды при его движении, сопровождается обратным процессом: его понижению за его пределами. Образовавшееся различие в давлениях приводит, в свою очередь, к дополнительному притоку воды в разреженную область водного пространства. В результате этого появляются высокочастотные колебания давления, обусловленные импульсной работой ласт и сменой давлений. Все эти теоретические описания составляют основу и для определения технологий измерений, которые, в свою очередь, определяют облик разрабатываемых извещателей и систем технической охраны, построенной на их основе.

Результаты экспериментов по мониторингу движущихся в воде пловцов

Проведенный измерительный эксперимент отличают следующие особенности. Приемник-гидрофон, выполняющий функции измерений, опускали в воду на дно озера на глубину 4 м. При этом на водной поверхности два разметочных буя размещались по линии пересечения с гидрофоном. Дополнительная цель такой разметки заключалась в том,

чтобы она выполняла и функции ориентира для пловца. Кроме того, её использование должно обеспечивать возможность реализации наиболее простой технологии оценивания его скорости на основе определения времени прохождения под водой от одного буя до другого, расстояние между которыми известно. Пловец должен был находиться под водой на глубине около 2 м у одного из буйев. Через определённое время он проплывал на ластах до другого буя над установленным на дне приёмником-гидрофоном. На вспомогательном плавучем средстве с установленным на нём дисплеем компьютера осуществлялся приём сигналов колебаний давления, сформированных приёмником-гидрофоном. Одновременно регистрировался также и фон естественного низкочастотного шума водной среды. Он использовался при проведении экспериментальных исследований для оценки уровня неопределённости получаемых данных измерений.

Проведенные испытания показали, что расхождение теоретических расчётов и полученных при проведении экспериментов количественных оценок зависимости давления p в волне от скорости движения пловца U в виде соотношения $p \sim U^{1.5}$ не превышает 5%.

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволяют сделать следующий важный для прикладного применения метода вывод. При расстоянии между соседними приемниками в цепочке, не превышающим 4-5 м, обнаружение пловца будет обеспечиваться вероятностью $P \geq 0,95$. Следовательно, использование метода также будет ограничено сравнительно небольшими глубинами, не более 4-5 м. Кроме того, для получения обнадёживающих результатов мониторинга необходимо совершенствовать существующие информационные технологии борьбы с помехами, уровень которых может существенно превышать то его значение, которое было зарегистрировано при проведении экспериментальных исследований. Поэтому одна из сопутствующих задач метода должна заключаться в разработке технологий помехоустойчивой обработки сигналов, формируемых приёмниками-гидрофонами [Кузнецов, 2018, Ширяев, Кукушкин, Олейник, 2023]. Также предварительная обработка принятых сигналов, формируемых приемниками-гидрофонами, должна существенно уменьшить объемы передачи данных в центр сбора и принятия решений.

Заключение

В статье описаны и проанализированы основные недостатки существующих методов оперативно-технического мониторинга водных акваторий. На основе полученных выводов о необходимости поиска новых приёмов, позволяющих решить задачу мониторинга подводного водных акваторий, разработан метод обнаружения пловцов-нарушителей, движущихся в воде, на небольшой глубине с использованием приёмников-гидрофонов. Основу его реализации составляет определение безразмерных соотношений между основными демаскирующими признаками движения под водой пловца-нарушителя. Разработанный метод отличается простота реализации. Но в то же время его применение характеризуется и высокими показателями эффективности обнаружения нарушителей. В результате проведенных экспериментальных исследований, было показано, что использование изложенного метода обнаружения позволяет обнаружить пловца-нарушителя с вероятностью $P \geq 0,95$. Также показаны основные ограничения метода, связанные с небольшими глубинами. Экспериментально доказано, что расхождение теоретических расчетов и практических результатов количественных оценок зависимости давления p в волне от скорости движения пловца U в виде соотношения $p \sim U^{1.5}$ не превышает 5%. Описана перспектива совершенствования метода, которая связана с разработкой инновационных технологий обработки сигналов, формируемых приемниками-гидрофонами и искажённых помехами различного происхождения.

Список литературы

- Борейко А.А., Инзарцев А.В., Машошин А.И., Павин А.М., Пашкевич И.В. 2019. Система управления АНПА большой автономности на базе мультиагентного подхода. Подводные исследования и робототехника. 2(28): 23–31.
- Гладков И.А., Чаплинский В.С. 2008. Методы и информационные технологии контроля состояния динамических систем. – М.: Минобороны России, 328с.
- Инзарцев А.В., Борейко А.А., Боровик А.И., Ваулин Ю.В., Каморный А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Сидоренко А.В., Спорышев М.С., Щербатюк А.Ф. 2018. Опыт использования АНПА типа МТ2010 для экологических исследований в бухте Золотой Рог Экологические системы и приборы. № 12. С. 38–45.
- Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Костенко В.В., Матвиенко Ю.В., Павин А.М., Щербатюк А.Ф. 2018. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение. под. ред. Л.В. Киселева. Владивосток: Дальнаука, 367 с.
- Кукушкин С.С. 2018. Способ первичной обработки информации с обнаружением и исправлением ошибок передачи Патент № 2658795, опубл. 22.06.2018, бюл. №18.
- Кутателадзе С.С. 1973. Пристенная турбулентность. Изд. «Наука», Новосибирск, 473с.
- Кукушкин С.С. 2003. Теория конечных полей и информатика, в 2-х т, т. 1 «Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках». – М.: Минобороны РФ, 378с.
- Кадыков И.Ф. 2014. Приемник низкочастотных колебаний давления в водной среде/ Патент РФ №2498251.
- Кузнецов В.И. 2019. Способ оперативно-технической охраны рубежей объектов и границ. Патент РФ № 2705770, G08B 13/02, опубл. 11.11.2019; Бюл. № 33.
- Кузнецов В.И. 2018. Способ первичной обработки информации с использованием адаптивной нелинейной фильтрации. Патент РФ № 2674809, опубл. 14.11.2018; Бюл. №32.
- Князев С.И., Яцун А. С., Яцун С. Ф. 2019. Управляемое движение малогабаритного подводного робототехнического комплекса (МБПК) Балтийский морской форум. Материалы VII Международного Балтийского морского форума: в 6 т. Калининград, С. 40–45.
- Кузькин В.М., Матвиенко Ю.В., Переселков С.А. 2019. Применение интерферометрической обработки для локализации малозумных источников звука // Подводные исследования и робототехника. 4 (30). С. 49–57.
- Казначеева Е.С., Кузькин В.М., Матвиенко Ю.В., Переселков С.А., Хворостов Ю.А. 2021. Оценка дальности обнаружения малогабаритного подводного аппарата по его шумовому полю. Подводные исследования и робототехника. № 4 (38). С. 80–84.
- Матвиенко Ю.В., Новиков А.И., Ремезков А.В. 2019. Концепция создания роботизированного комплекса обследования и мониторинга технического состояния объектов подводной добычи. (Материалы восьмой всерос. науч.техн. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана» (ТПОМО8)). Владивосток, С. 6–10.
- Матвиенко Ю.В., Хворостов Ю.А., Каморный А.В., Глущенко М.Ю., Кузькин В.М., Переселков С.А. 2022. Экспериментальные исследования системы обнаружения Малошумных подводных целей в мелководных акваториях. Подводные исследования и робототехника. 3(41): 4–14. DOI: 10.37102/1992-4429_2022_41_03_01. EDN: CUYKTZ.
- Матвиенко Ю.В., Хворостов Ю.А., Каморный А.В. 2019. Способ обнаружения подводного источника широкополосного шума: патент 201901778 РФ. № 2699923; заявл. 23.01.2019; опубл. 11.09.2019, Бюл. № 24
- Олейник И.И., Орищук С.Г., Головкин М.В., Прохоренко Е.В. 2022. Обнаружение сигналов на фоне шумов в сверхширокополосных радиолокационных системах при субполосной обработке информации. Экономика. Информатика, 49(3): 597–607.
- Попов А.Н., Тетерин Д.П., Яшин А.Г., Харитонов А.Ю., Жилияков Е.Г., Олейник И.И. 2022. Субполосный способ радиолокационного обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. Описание изобретения к патенту RU 2765272 С1 27.01.2022.
- Ширяев А.А., Кукушкин С.С., Борискин С.С., Оберемко А.Г., Кукушкин Л.С. 2023. Способ сжатого помехоустойчивого кодирования данных для передачи и хранения информации (Патент № 2789785 С1 09.02.2023, бюл. № 7).
- Ширяев А.А., Кукушкин С.С., Олейник И.И. 2023. Методы обработки информации при построении высокопроизводительных аппаратных систем на основе распараллеливания потоков передаваемых данных. Экономика. Информатика. 50(2):465–475.

- Шишкин Ю.Е., Скатков А.В. 2019. Информационные технологии обнаружения аномалий в мониторинговых наблюдениях: монография. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 368 с.
- Элбакидзе А.В., Каевицер В.И., Смольянинов И.В., Пивнев П.П., Тарасов С.П., Воронин В.А. 2018. Автономные комплексы для исследования дна и донных отложений мелководных водоемов М. Изв.ЮФУ. Техн. науки. 200(6): 6–18.
- Burdanova E.V., Zhilyakov E.G., Mamatov A.V., Nemtsev A.N., Oleynik I.I. 2019. Decisive rule experimental studies to detect objects on the background of the earth surface using polarization differences of radar signals. COMPUSOFT. An International Journal of Advanced Computer Technology, 8(6): 3166-3170.
- Zhilyakov E.G., Belov S.P., Oleinik I.I., Babarinov S.L., Trubitsyna D.I. 2020. Generalized sub band analysis and signal synthesis. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 1(9): 78-86
- Jun Zhang, Viorela Ila, Laurent Kneip. 2018. Robust Visual Odometry in Underwater Environment. OCEANS 2018 – MTS/IEEE Conf. KOBE, P. 1-9.

References

- Boreyko A.A., Inzartsev A.V., Mashoshin A.I., Pavin A.M., Pashkevich I.V. 2019. ANPA management system of great autonomy based on a multi-agent approach. Underwater research and robotics. No. 2 (28). pp. 23-31.
- Gladkov I.A., Chaplinsky V.S. 2008. Methods and information technologies for monitoring the state of dynamic systems. M.: Ministry of Defense of Russia, 328 p.
- Inzartsev A.V., Boreyko A.A., Borovik A.I., Vaulin Yu.V., Kamorny A.V., Lvov O.Yu., Matvienko Yu.V., Sidorenko A.V., Sporyshev M.S., Shcherbatyuk A.F. 2018. Experience in the use of ANPA type MT2010 for environmental research in the Golden Horn Bay Ecological systems and devices. No. 12. pp. 38-45.
- Inzartsev A.V., Kiselev L.V., Kostenko V.V., Matvienko Yu.V., Pavin A.M., Shcherbatyuk A.F. 2018. Underwater robotic complexes: systems, technologies, applications / ed. by L.V. Kiselev. Vladivostok: Dalnauka, 367 p.
- Kukushkin S.S. 2018. Method of primary information processing with detection and correction of transmission errors Patent No. 2658795, publ. 22.06.2018, bul. No. 18.
- Kutateladze S.S. 1973. Wall turbulence. Publishing house "Science", Novosibirsk, 473 p.
- Kukushkin S.S. 2003. Theory of finite fields and Computer Science, in 2 volumes, vol. 1 "Methods and algorithms, classical and non-traditional, based on the use of the structural remainder theorem". Moscow: Ministry of Defense of the Russian Federation, 378 p.
- Kadykov I.F. 2014. Receiver of low-frequency pressure fluctuations in an aqueous medium. RF Patent No. 2498251
- Kuznetsov V.I. 2019. Method of operational and technical protection of the boundaries of objects and borders. RF Patent No. 2705770, G08B 13/02, publ. 11.11.2019; Bul. No. 33.
- Kuznetsov V.I. 2018. A method of primary information processing using adaptive nonlinear filtering. RF Patent No. 2674809, publ. 14.11.2018; Bul. No. 32.
- Knyazev S.I., Yatsun A.S., Yatsun S.F. 2019. Controlled movement of a small-sized underwater robotic complex (MBPC) Baltic Sea Forum. Materials of the VII International Baltic Sea Forum: in 6 volumes Kaliningrad, pp. 40-45.
- Kuzkin V.M., Matvienko Yu.V., Perestrokov S.A. 2019. The use of interferometric processing for localization of low-noise sound sources. Underwater research and robotics. 4(30): 49-57.
- Kaznacheeva E.S., Kuzkin V.M., Matvienko Yu.V., Perestrokov S.A., Hvorostov Yu.A. 2021. Estimation of the detection range of a small-sized underwater vehicle by its noise field. Underwater research and robotics. 4 (38): 80-84.
- Matvienko Yu.V., Novikov A.I., Remezko A.V. 2019. The concept of creating a robotic complex of inspection and monitoring of the technical condition of underwater mining facilities. (Materials of the eighth All-Russian Scientific and Technical conf. "Technical problems of the development of the world ocean" (ТРОМО8)). Vladivostok, Pp. 6-10.
- Matvienko Yu.V., Hvorostov Yu.A., Kamorny A.V., Glushchenko M.Yu., Kuzkin V.M., Perestrokov S.A. 2022. Experimental studies of a system for detecting low-noise underwater targets in shallow waters. Underwater research and robotics. 3 (41): 4-14. DOI: 10.37102/1992-4429_2022_41_03_01. EDN: CUYKTZ.
- Matvienko Yu.V., Hvorostov Yu.A., Kamorny A.V. 2019. Method for detecting an underwater broadband noise source: patent.

- Oleinik I.I., Orishchuk S.G., Golovko M.V., Prokhorenko E.V. 2022. Detection of signals against the background of noise in ultra-wideband radar systems during subband processing of information. *Economics. Information technologies*, 49(3), pp. 597-607.
- Popov A.N., Teterin D.P., Yashin A.G., Kharitonov A.Yu., Zhilyakov E.G., Oleinik I.I. 2022. A subband method of radar detection of small-sized unmanned aerial vehicles. Description of the invention to patent RU 2765272 C1 27.01.2022.
- Shiryayev A.A., Kukushkin S.S., Boriskin S.S., Oberemko A.G., Kukushkin L.S. 2023. A method of compressed noise-resistant encoding of data for transmitting and storing information (Patent No. 2789785 C1 09.02.2023, byul. No. 7).
- Shiryayev A.A., Kukushkin S.S., Oleinik I.I. 2023. Methods of information processing in the construction of high-performance hardware systems based on the parallelization of transmitted data streams. *Economics. Information technologies*. 50(2): 465-475.
- Shishkin Yu.E., Skatkov A.V. 2019. Information technologies for detecting anomalies in monitoring observations: monograph. Simferopol: IT "ARIAL", 368 p.
- Elbakidze A.V., Kaevitser V. I., Smolyaninov I. V., P. P. Pivnev, S. P. Tarasov, V. A. Voronin 2018. Autonomous complexes for the study of the bottom and bottom sediments of shallow reservoirs M. *Izv.SFU. Tech. nauki*. 2018 Vol. 200, No. 6, pp. 6-18.
- Burdanova E.V., Zhilyakov E.G., Mamatov A.V., Nemtsev A.N., Oleynik I.I. 2019. Decisive rule experimental studies to detect objects on the background of the earth surface using polarization differences of radar signals. *COMPUSOFT. An International Journal of Advanced Computer Technology*, 8(6): 3166-3170.
- Zhilyakov E.G., Belov S.P., Oleinik I.I., Babarinov S.L., Trubitsyna D.I. 2020. Generalized sub band analysis and signal synthesis. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 1(9): 78-86
- Jun Zhang, Viorela Ila, Laurent Kneip. 2018. Robust Visual Odometry in Underwater Environment. *OCEANS 2018. MTS/IEEE Conf. KOBE*, P. 1–9.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 12.09.2023

Поступила после рецензирования 25.11.2023

Принята к публикации 01.12.2023

Received September 12, 2023

Revised November 25, 2023

Accepted December 01, 2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кукушкин Леонид Сергеевич, научный сотрудник, Акционерное общество Рязанское производственное техническое предприятие «Гранит», г. Рязань, Россия

Бурданова Екатерина Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Заливин Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Leonid S. Kukushkin, research associate, Joint Stock Company Ryazan Production Technical Enterprise “Granit”, Ryazan, Russia

Ekaterina V. Burdanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematical and Software Support of Information Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Aleksandr N. Zalivin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia