



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОАКУСТИКИ – СРАВНЕНИЕ ДОСТИЖЕНИЙ, ТЕНДЕНЦИИ И ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

(СЕРИЯ СТАТЕЙ РАСКРЫВАЮЩИХ ТЕМУ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ)

ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И АНТРОПОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.

Гидроакустические технологии — искусственное дополнение к человеческой сенсорике которое позволяет нам «видеть шёпот глубин» и, буквально, чувствовать подводное пространство. Это открывает человечеству большие горизонты в вопросах освоения водных просторов Земли.

Исследования морей и океанов, экологический мониторинг, инженерные изыскания, обеспечение безопасности — краткое перечисление сфер применения гидроакустических технологий. Однако исходя из актуальности, рассмотрим роль гидроакустических технологий в обеспечении безопасности от злонамеренных антропогенных угроз, а именно от диверсий, вандализма, террористических актов и военной агрессии.

Гидроакустические технологии имеют несколько важных точек приложения, основные из них:

- слушать и анализировать акустические сигналы;
- мониторить толщу воды;
- мониторить толщу и определять плотности и скорости звука в многослойных донных осадках;
- мониторить поверхность дна;
- передавать/принимать информацию;
- оценивать перемещение (водной массы, относительно дна и воды);
- определять материалы (не химического состава! – ил, песок, камень, дерево, металл, типы осадков) через измерение их физической плотности и упругости.

За последние годы бурное развитие техники позволило создавать уникальные мультифункциональные гидроакустические системы, позволяющие решать различные задачи.

Задача обнаружения движущихся под водой объектов интереса имеет две основных реализации – стационарная и мобильная/быстроразвертывающаяся.

Стационарные системы имеют один существенный минус – они сами являются целью с «фиксированными координатами» и понятными методами их поражения/выведения из строя. Однако, их применение вполне оправдано при построении эшелонированной системы обнаружения.

Мобильные/быстро развертываемые комплексы сложнее в реализации и, до определенного момента



Линчик Николай Тамазович - заместитель генерального директора ООО «Экран»

развития технологий, были слишком дорогие. Однако современные решения показывают очень хорошее соотношение функционал/стоимость и результаты их применения.

КРАТКИЙ ОБЗОР

Система Sea Spear¹, разработки компании Ultra Maritime. Система оснащена большим количеством пассивных датчиков, автоматически разворачиваются создавая высокопроизводительную матрицу с широкой апертурой. Может разворачиваться, как с судов, так и со стационарных платформ.

Мобильность, удобство обслуживания, применима для использования на различных глубинах. В систему включен искусственный интеллект для обработки тактических данных для мониторинга, обнаружения и идентификации угроз. Информация обрабатывается «на борту» и может передаваться по гидроакустическим каналам связи.

Отдельно отметим гидроакустические буи (Sonobuoys, технология DIFAR - Directional Frequency Analysis and Recording) этой же компании - Ultra Maritime. Как правило, буи сбрасываются с носителя (судна или летательного аппарата) и образуют разнесённую сеть (немассивную систему), что позволяет:

- оперативно (за 10 мин.) снимать температурный профиль толщи воды;
- определять координаты (грубое начальное пеленгование на протяжении от 1 до 6 часов) движущейся одной или нескольких подводных целей.

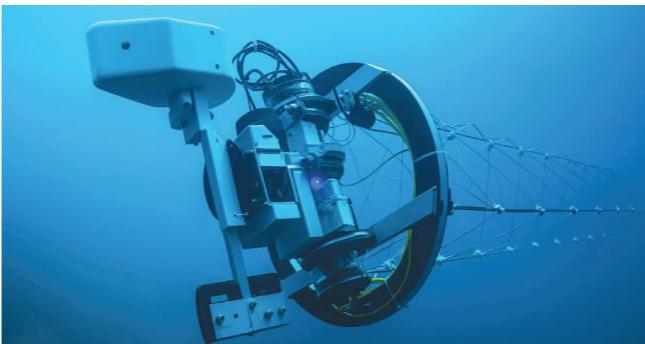


Рис.1 Система Sea Spear в развернутом положении

С учетом развития нейросетевых технологий оператор, используя двустороннюю радиосвязь, сможет управлять сетью данных устройств каждым по отдельности или всеми сразу, изменяя режимы работы и получая информацию в режиме реального времени.

Основой данной технологии является векторный датчик, который измеряет не только скалярную величину — акустическое давление (P), но и векторную величину — скорость колебания частиц (V) воды в точке приёма. Направление колебания частиц воды (акустический вектор скорости) совпадает с направлением на источник звука. Сравнивая фазу сигнала давления и сигналов о компонентах скорости (по разным осям), можно определить пеленг на источник в горизонтальной плоскости.

Современные исследования и разработки ведутся в области создания фазированных решёток, каждый элемент которой является векторным датчиком. Это так называемые векторные решётки. Они объединяют преимущества векторного приёма (компактность на низких частотах, однопунктовое пеленгование) с преимуществами решёток (высокое разрешение, помехозащищённость).

Похожий принцип применяется в системе NiKA², разработанной компанией MetOcean Telematics. Буи, оснащенные гидрофонами (10 Гц – 2,4 кГц, радиус обнаружения сигнала: 9,26 км (5 морских миль) и системой спутниковой связи Iridium Certus® (до 88 Кбит/с). Программируются на определенную глубину или на перемещение в заданных границах глубин. Перемещение в толще воды регулируется пневматикой. При обнаружении и идентификации сигнала буй всплывает и передает свое местоположение и записанные данные посредством спутниковой связи.

Широко известная в прошлом система SOSUS³ (сегодня это Integrated Undersea Surveillance System (IUSS)) претерпела множество изменений и продолжает развиваться. Основными компонентами являются гидрофонные массивы, размещенные на разных глубинах, в том числе на оси SOFAR-каналов (Sound Fixing and Ranging Channel или Deep Sound Channel, DSC) - глубокий звуковой канал (естественный акустический волновод позволяет низкочастотным звуковым волнам в канале распространяться на тысячи километров перед рассеиванием). Подключение массивов осуществляется подводными



Рис.2 Система Sea Spear в процессе развертывания

кабелями, которые связаны с береговыми станциями. К концу 1998 года вся береговая инфраструктура была оснащена общей конфигурацией оборудования. Расширением возможностей IUSS стала мобильная компонента SURTASS^{3,4} (Surveillance Towed Array Sensor System) - система буксируемых антенн. Это сетевая линейная система буксируемого массива пассивной и активной гидроакустики, дополняющая стационарную систему IUSS. Преимущества мобильной компоненты:

- перемещение в требуемые координаты;
- возможность приблизиться к возможным контактам и следить за ними;
- стоимость обслуживания.

Система IUSS явилась прародителем новых разработок:

- DRAPE (Deep Reliable Acoustic Path Exploitation System)⁴ основана на пассивной системе прослушивания с новой коммуникационной способностью для передачи данных. Для этого заложено использование подводных акустических модемов для передачи акустических данных, позволяя создать подводную беспроводную сеть.

Компоненты системы - RAPVLA (Reliable Acoustic Path Vertical Line Arrays) установленные на значительных глубинах (где уровни фонового шума низкие) в открытом океане, получают большой сектор контроля толщи воды. Архитектура размещения данных компонентов — это морской эквивалент космических спутников.

Акустические модемы позволяют передачу данных между узлами (другими гидрофонными массивами, BUV, USV, поверхностными буями), которые затем, либо отправляют данные через спутник, либо на ближайшие корабли.

- SURTASS-E^{5,6} (Expeditionary SURTASS) это модернизация классической системы SURTASS с учетом современных технологий. Является мобильным тактическим элементом глобальной системы подводного наблюдения ВМС США. Полученные акустические данные в реальном времени обрабатываются на борту и могут передаваться через спутниковые каналы связи в общую сеть, для формирования единой оперативной картины.

Всё необходимое оборудование для обработки сигналов, управления и связи размещено в стандартных ISO-контейнерах, которые могут быть быстро погружены на борт корабля-носителя. Алгоритмы обработки сигналов специально настроены для борьбы с реверберацией,

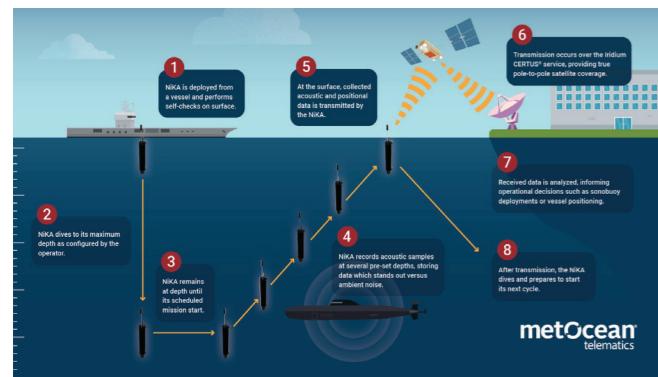


Рис.3 Схема применения системы NiKA

многолучевым распространением и высоким уровнем фоновых шумов, характерных для прибрежных зон.

- SEABED SENTRY⁷. Anduril Industries запустила Seabed Sentry — AI-enabled - мобильную подводную связанный сеть узлов-датчиков для постоянного мониторинга и связи в реальном времени с применением ИИ.

Seabed Sentry состоит из мобильных автономных сенсорных узлов, которые могут обнаруживать, обрабатывать и передавать критически важные данные без зависимости от стационарной инфраструктуры. Система использует искусственный интеллект (ИИ) и развертывается автономными подводными аппаратами (L и XL-AUV) семейства Dive компании Anduril.

ЧТО ЖДАТЬ В БУДУЩЕМ?

Будущее развитие описанных выше систем базируется на внедрении новых технологий и выстраивания новых архитектур.

Задачи остаются прежние – обнаруживать и идентифицировать предметы интереса (от больших до малых размеров) на больших расстояниях – сделать всё водное пространство «прозрачным».

Новые архитектурные решения сегодня проектируются с опорой на существующие:

- каждая новая подсистема дополняет старую (интеграция в единый контур);
- элементы старой системы модернизируются/заменяются на новые с учетом будущего расширения функционала;
- алгоритмы и результаты обработки данных – это колоссальная библиотека для обучения ИИ новых подсистем.

Долгосрочные программы развития (например ONR «Ocean Acoustics»⁸) сетей фокусируются не на антенных, а на фундаментальных исследованиях в области распространения звука, предсказания среды, физической океанографии и продвинутых методов обработки сигналов. Цель — преодоление ограничений, накладываемых самой океанской средой, через лучшее её понимание и моделирование, что является задачей именно обработки и интерпретации данных.

Множество спонсируемых разработок посвящаются алгоритмам: аддитивная обработка, пространственно-временной анализ, классификация

с помощью машинного обучения, подавление помех, сжатие данных для акустических каналов.

Программа DARPA «Ocean of Things»⁹ является логическим продолжением и ярчайшей иллюстрацией данного тренда. Суть программы заключается в создание сети из тысяч дешёвых, простых с точки зрения гидроакустики датчиков (буёв), где ценность системы заключается не в качестве «железа», а в облачной аналитике больших данных, собираемых с этой распределённой сети.

Революция сейчас происходит в области алгоритмов и вычислительных архитектур, в то время как развитие собственно антенных технологий (пьезокомпозиты, векторные датчики и пр.) носит эволюционный и поддерживающий характер.

Ключевые комплексные направления развития:

1. Создание глобальных и региональных подводных акустических сетей и систем распределённого зондирования - интеграция стационарных (донных), мобильных подводных (AUV, буи, ПЛ) и мобильных надводных (БЭК, корабли, буи) гидроакустических средств в единую сеть с общим информационным полем.

Особенности:

- распределённая апертура - множество разнесённых в пространстве различных датчиков работают согласованно;
- сквозной акустический/оптоволоконный канал связи для обмена данными между узлами сети;
- единый центр обработки данных (в т.ч. облачный), где происходит сведение информации и анализ данных.

Перспективы:

- непрерывное всепогодное наблюдение за акваторией;
- сверхдальное обнаружение за счёт синтеза апертуры и глубокой обработки сигналов от разнесённых узлов;
- повышение живучести - отказ отдельных узлов не выводит из строя систему.

2. Гибридные и многокомпонентные активные системы. Переход от классической схемы (приёмник и передатчик в одной точке) в пользу систем, где один или несколько независимых передатчиков освещают акваторию, а множество распределённых при-



Рис.4 Пример архитектуры многокомпонентной распределенной сети

ёмников (на дне, AUV, буях) улавливают отражённые сигналы.

Перспективы:

- колоссальное увеличение зоны контроля с одного носителя;
- повышение скрытности носителей-приёмников - не излучают;
- устойчивость к средствам перехвата, так как приёмники пассивны, а передатчик может использовать сложные LPI-сигналы (с низкой вероятностью перехвата).

3. Интеграция гидроакустики с неакустическими методами обнаружения и системами - создание комбинированных систем, где данные гидролокации дополняются информацией из других физических полей.

Дополнительные компоненты:

- магнитометры для окончательной идентификации и классификации подводных целей (особенно ПЛ);
- оптические/лидарные системы для идентификации в приповерхностном слое и на мелководье с высоким разрешением;
- спутниковые данные для обнаружения поверхностных проявлений;
- гидрофизические датчики для построения точных моделей звукопроводности.

Перспективы:

- резкое снижение вероятности ложной тревоги;
- всепогодность и непрерывность наблюдения;
- получение комплексного портрета цели и среды.

4. Применение искусственного интеллекта и больших данных на всех этапах обработки информации - внедрение машинного обучения и глубокого обучения не только для классификации, но и для управления системами, прогнозирования распространения звука и управления работой сенсоров.

Решаются следующие задачи:

- автоматическая классификация целей (распознавание по акустическому портрету) на основе нейросетевых алгоритмов;
- адаптивное планирование миссий для АНПА на основе прогнозных моделей акустических полей;
- интеллектуальное сжатие и фильтрация данных для передачи по узкополосным акустическим каналам;
- цифровые двойники акустической среды для моделирования и оптимизации работы систем в реальном времени.

5. Развитие автономных носителей, как интегрированных платформ для развёртывания гидроакустических систем и комплексов.

Автономные носители перестают быть просто носителями оборудования, а становятся интеллектуальными мобильными узлами сетевой системы, способными на адаптивное поведение.

Компоненты:

- собственные гидроакустические комплексы на борту;
- акустические модемы для сетевого взаимодействия;

- энергоэффективные двигатели и системы навигации (без GPS);
- бортовая интеллектуальная система для принятия решений (следовать за целью или детально обследовать аномалию и т.д.).

Перспективы:

- масштабируемость и гибкость развёртывания систем;
- возможность работы в запретных для человека зонах;
- создание роевых систем для синхронного зондирования.

6. Переход к программно-определенным и открытым архитектурам — создание гидроакустических систем, где ключевые функции реализуются программно на универсальных вычислительных платформах, что позволяет обновлять и модернизировать систему без или с минимальным количеством замены «железа».

На основании обзора института военных исследований (Institute for Defence Analysis) министерством обороны США сделан вывод о необходимости принятия ряда мер в целях экономии финансовых средств и ускорения внедрения технологий, а именно:

- прекратить практику разработки ЭВМ для военного ведомства «с нуля»;
- принять концепцию COTS (Commercial Off-The-Shelf), допускающую применение в системах военного назначения готовых комплектующих и программного обеспечения коммерческого назначения;
- внедрить в разработку вычислительных систем военного назначения принцип «открытой архитектуры», позволяющий вводить в существующие системы новые структурные элементы, в том числе изготовленные по коммерческим стандартам.

Будущее гидроакустики — это сетевые, интеллектуальные, гибридные и распределённые системы, в которых сами гидроакустические технологии становятся одним из элементов более широкого контура информационного превосходства в подводной среде. Развитие определяется не только прогрессом в отдельных компонентах, сколько их синергией под управлением передовых алгоритмов.

ИСТОЧНИКИ:

1. <https://umaritime.com/>
2. <https://metocean.com/>
3. <https://www.usni.org/magazines/naval-history-magazine/2021/february/66-years-undersea-surveillance>
4. <https://www.navylookout.com/listening-to-the-ocean-the-secretive-enablers-in-the-underwater-battle/>
5. <https://www.crsreports.congress.gov>
6. <https://navy.mil/>
7. <https://www.marineinsight.com/shipping-news/anduril-launches-ai-based-undersea-sensor-network-for-real-time-communication/>
8. <https://www.onr.navy.mil/en/Science-Technology-Departments/Code-32/All-Programs/ocean-battlespace-sensing-322/ocean-acoustics>
9. <https://www.darpa.mil/program/ocean-of-things>