

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

(СЕРИЯ СТАТЕЙ РАСКРЫВАЮЩИХ ТЕМУ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ)

Линчик Николай Тамазович - заместитель генерального директора ООО «Экран»

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. АКТУАЛЬНОСТЬ.

Российская Федерация, обладая самой большой в мире протяженностью морских границ (около 39 тыс. км) и значительными энергоресурсными запасами на морском шельфе (около 85 трлн. м³ газа и 17 млрд. т. нефти), сталкивается с принципиально новыми вызовами в области обеспечения безопасности морской инфраструктуры.

Подводная и надводная инфраструктура играет ключевую роль в обеспечении экономической стабильности, национальной безопасности и энергетической независимости государства. К ней относятся:

- Морские трубопроводы (например, «Северный поток», «Турецкий поток»).
- Подводные кабели связи (интернет-магистралы, включая трансконтинентальные линии).
- Портовые сооружения, нефтегазовые платформы, судоходные пути, различные гидросооружения.
- Критическая военная инфраструктура.

В последние годы участились случаи диверсий, кибератак, несанкционированного вмешательства в работу морских объектов. Одновременно растет зависимость мировой экономики от подводной инфраструктуры, что делает ее привлекательной целью для террористических групп, враждебных государств и киберпреступников.

События последних лет обнажили критическую уязвимость российской морской инфраструктуры перед новыми угрозами. Наиболее яркие из инцидентов:

- подрыв «Северного потока» в сентябре 2022 года — крупнейший акт саботажа подводных объектов в истории с ущербом минимум \$500 млн — стал возможен из-за полного отсутствия систем гидроакустического мониторинга на глубинах 70-80 метров.
- Крымский мост неоднократно атакован с воды, несмотря на многоуровневую защиту
- надводные роботизированные системы нанесли несопоставимый ущерб флоту в Черном море и в принципе поменяли парадигму ведения боевых действий.

Несмотря на то, что на современном этапе развития российской гидроакустики имеются существенные достижения в фундаментальных НЧ, ВЧ системах и интеграционных подходах, сохраняется ряд критически важных технологических пробелов

по сравнению с зарубежными решениями, что препятствует достижению полного технологического суверенитета.

НЕДОСТАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ – НЕОБХОДИМОСТЬ ДОГОНЯТЬ

1. Компактные перспективные системы низкочастотного активного обнаружения (SURTASS LFA, HMS):

- В ВМС США и НАТО развёрнуты широкополосные буксируемые и интегрированные НЧ активные массивы (SURTASS, LFA, L3Harris Model 997), обеспечивающие дальнейшее обнаружение на десятки-сотни километров, с масштабируемой архитектурой, эффективным шумоподавлением, передачей данных в реальном времени.[1] [2] [3] [4]
- В России ограниченно реализованы такие «стандартные» буксируемые низкочастотные комплексы с активной фазированной сеткой, интеграцией с цифровыми системами управления и распределённой обработкой.

2. Глубоководные и сверхглубоководные параметрические донные профилографы:

- Европейские компании (Innomar, iXblue Echoes) достигли проникновения до 250 м в морское дно при глубинах работы 6-11 км и разрешении ~20 см при полном цифровом формате обработки, с адаптацией для нефтегазовой разведки и защиты инфраструктуры. [5] [6]
- Российские решения ограничены проникновением 30-50 м, и не охватывают сверхглубоководные сценарии и плотную интеграцию с SBP-обработкой (метод обработки данных, который позволяет адаптивно подавлять сильные помехи и шумы, выделяя полезный слабый сигнал) для комплексной безопасности.

3. Масштабируемые распределённые гидроакустические сенсорные сети (DASN - Distributed Acoustic Sensor Networks):

- В США, ЕС и Японии введены в строй системы на базе Distributed Acoustic Sensing (DAS), использующие волоконно-оптические кабели для мониторинга вибраций на сотни километров, автоматическую классификацию судов, аномалий, угроз с привязкой к AIS (Automatic Identification System - Автоматическая Иденти-

НЕДОСТАТОК	МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ	ПОЗИЦИЯ РОССИИ
Потеря разрешения по дальности в плане под собой	Гидролокатор зоны под собой (ГЗП)	Выход в серию в 2025-2026 гг.
Потеря разрешения вдоль линии движения по мере роста дальности	Гидролокаторы с синтезом апертуры	Проведены начальные эксперименты
Ограниченная скорость движения носителя	Режим мультипинг	Стадия изысканий
Опознавание происходит за счет опыта оператора	Искусственный интеллект	Первые версии ПО анонсированы в 2024 году

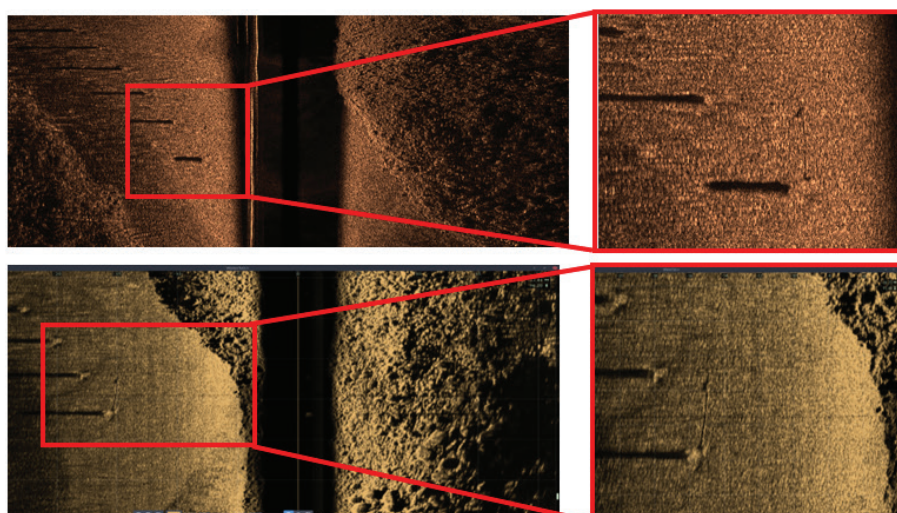
Недостатки ГБО как систем поиска

- фикационная Система) и интеллектуальными методами локализации событий.[7] [8]
- В России отсутствуют масштабные внедрения DASN на коммерческих и государственных морских сетях, нет гибких технологий интеграции с инфраструктурными объектами.
 - 4. AI/ML-классификация гидроакустических аномалий, автоматическая идентификация целей на основе нейросетей:
 - Европейские (Helsing, OKI) и японские компании применяют глубокое обучение для автоматической классификации судов, подводных аппаратов, биоты и событий с точностью >90% даже в шумных акваториях, интегрируя нейросетевые методы непосредственно в сенсорные платформы.[9] [10]
 - Российские решения ограничены традиционными алгоритмами и нуждаются в масштабном развитии специализированного ПО для интеллектуальной фильтрации угроз. Единственная нейросеть, показавшая конкурентные результаты в своей нише создана частной компанией и пока широко не применяется.

5. Массовые автономные гидроакустические платформы и мультистатические сети:

- NATO реализует deployable underwater surveillance systems - DUSS (мобильные и быстроразвертываемые системы для мониторинга подводной обстановки), сетки мультистатических автономных станций с передачей и обработкой данных в реальном времени, обеспечивающих оперативное перекрытие крупных зон для военных и коммерческих задач.[11]
- В России средства мультистатического мониторинга находятся в стадии пилотных НИОКР и не масштабированы до уровня флота или критически важной инфраструктуры.
- 6. Квантовые гидроакустические сенсоры, технологии сверхчувствительного обнаружения:
 - Ведущая разработка в США, ЕС и Азии — системы квантового акустического зондирования для сверхдалёких и малозумных объектов (подлодки, дроны, новые типы аномалий), с чувствительностью на порядок выше классических гидрофонов – пока на стадии R&D. [12] [13]

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГАС.



EdgeTech 4200

Гидра ТМ
модель H5s7

Съемки сделаны двумя ГБО: Гидра™ модель H5s7 и EdgeTech 4200

- Российская наука пока не внедряет подобные квантовые технологии в специализированные морские защищённые комплексы.

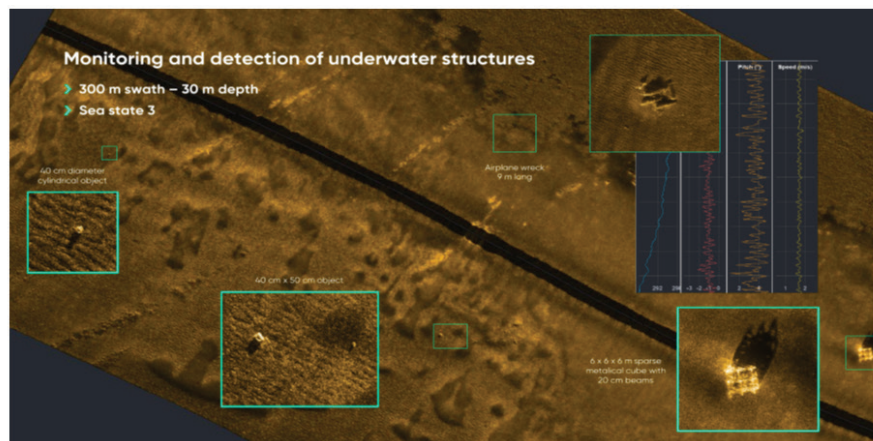
7. Сверхдальние и помехоустойчивые акустические модемы (DSP - Digital Signal Processing (цифровая обработка сигнала), DSSS - Direct-Sequence Spread Spectrum (системы с расширенным спектром), OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением)):

- Ультрадальние американские и европейские модемы (L3Harris, WaterLinked) обеспечивают цифровую связь и передачу голоса на дистанциях до 45 км и глубинах 11 км с диапазоном скоростей динамических платформ, используя распространённые сетевые протоколы, многоканальное корректирование ошибок и поддержку стандарта STANAG.[14] [15]

- Российские цифровые модемы уступают по дальности, надёжности пакетной передачи, особенно для мобильных/многоузловых сценариев.

8. Синтетическая апертура и адаптивная мультичастотная обработка данных (SAS/MBES):

- Зарубежные автономные платформы (AUVs/USVs) оснащают высокомошными боковыми ло-каторы с синтетической апертурой — для де-тальных мультичастотных картографических, поисковых, антитеррористических сценариев. [6]
- Отечественные наработки систем SAS и MBES требуют полноценного завершения НИОКРов и запуска производства готовой к приме-нению продукции, а также импортозамещения специализированной ЭКБ (элементной компо-нентной базы) и применения новых алгорит-мических решений.



Возможности ГАС с синтезом апертуры SAMS-150

КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ СУВЕРЕНИТЕТА, ИЛИ ЧТО ДЕЛАТЬ

Проведенный анализ (не может быть приведен в данной статье в полном объеме, ввиду большого количества материалов) показывает наличие значительного научно-технического потенциала российских гидроакустических технологий, но также выявляет критические пробелы, препятствующие созданию эффективной системы защиты морской инфраструктуры.

Представим ряд приоритетных задач НИОКР на ближайшие годы, основываясь на анализе материалов мировых достижений рассматриваемой темы.

1. Импортозамещение критических компонентов:
 - Цель: локализация >80% компонентов;
 - Критерии успеха: снижение стоимости на 30%;
2. Интеллектуализация обработки данных (2025-2028);
 - Цель: точность классификации >95%;
 - Технологии: компьютерное зрение, машинное обучение;
 - Критерии: снижение ложных тревог в 10 раз.
3. Повышение энергоэффективности (2024-2026):
 - Цель: снижение энергопотребления в 5 раз;
 - Критерии: автономность >30 суток.

Очевидными становятся и приоритеты по критически важным технологиям:

1. Масштабируемые активные буксируемые и фазированные НЧ комплексы:
 - Миниатюризация модулей, интеграция активного шумоподавления;
 - Разработка ЭКБ и сложной цифровой обработки (SDR, FPGA).
2. Мультистатистические и mesh-сетевые решения:
 - Протоколы динамического объединения в сеть;
 - Автоматизация обработки тревог и объединение с физико-химическими сенсорами;
3. Отечественная платформа DAS: от оптики до AI
 - Российские interrogator-системы, алгоритмы сверхдлинного мониторинга;
 - ПО для DAS, адаптированное к трубопроводно-кабельной инфраструктуре.
4. Системы с технологией синтеза апертур:
 - Ориентация на нефтегаз, сети безопасности, разведку;
 - Полная цифровая обработка, отечественная элементная база.



ПУТЬ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ПОД ВОДОЙ – ТРИ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ

5. Квантовые и многокомпонентные гидроакустические сенсоры:

- НИОКР-проекты по внедрению отечественных квантовых систем;
- Кооперация с национальными центрами по квантовым технологиям.

6. AI/ML-ядро для комплексных систем обнаружения:

- Создание российских датасетов, edge-AI архитектур;
- Унификация алгоритмов для комплексной классификации угроз.

7. Высоконадежные цифровые модемы (OFDM, mesh):

- Масштабирование связи до 45 км, снижение ошибок передачи;
- Сертификация для стратегических задач.

Вспомогательные направления:

- Разработка комплексных решений с интеграцией подводных физических, химических и гидроакустических сенсоров.
- Поддержка архитектуры ПО для быстрых обновлений.
- Стандартизация интерфейсов обмена, форматов данных и процедур сертификации.

Необходимые действия для достижения технологического паритета в данной области:

1. Создание отраслевого консорциума для координации НИОКР и интеграции усилий различных предприятий и институтов.
2. Развитие кадрового потенциала через целевую подготовку специалистов и создание центров компетенций.
3. Приоритетное развитие AI/ML-технологий, DAS-систем и квантовых сенсоров как прорывных направлений.
4. Создание единой государственной системы освещения надводной и подводной обстановки.
5. Международное сотрудничество с дружественными странами для ускорения технологического развития.

Технологический суверенитет невозможен без целенаправленного развития отечественных систем по критическим направлениям, масштабной программы импортозамещения и системного государственного сопровождения на всех этапах от НИОКР до промышленного внедрения. Частные компании эту комплексную задачу не решают – нет ресурсов, не хватает специалистов, нет опыта масштабного планирования и решения сложных, как на тактическом, так и на стратегическом уровнях, задач. Открытость, модульность, интеграция новых сенсорных и цифровых решений, развитие отечественного AI/ML — основа конкурентоспособности российских гидроакустических комплексов будущего.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. https://www.nepa.navy.mil/Portals/20/Documents/surtass-lfa/2018/02/LFA_Final_Comp_Rpt_2016.pdf
2. <https://www.jhuapl.edu/Content/techdigest/pdf/V13-N01/13-01-Tyler.pdf>
3. https://www.nepa.navy.mil/Portals/20/Volume_1_Surveillance_Towed_Array_Sensor_System_Training_and_Testing_Draft_Supplemental_EIS-OEIS_1.pdf
4. <https://www.l3harris.com/all-capabilities/model-997-hull-mounted-sonar>
5. <https://www.innomar.com/products/high-power>
6. <https://www.exail.com/news/echoes-product-line-technological-advances-offering-new-levels-data-quality-sub-bottom>
7. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141118725000100>
8. <https://arxiv.org/html/2509.11614v1>
9. <https://www.ship-technolog y.com/news/oki-ai-ship-classification-underwater-sounds/>
10. <https://www.resiliencemedia.co/p/helsing-unveils-ai-powered-acoustic>
11. <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1113097.pdf>
12. <https://idstch.com/military/navy/revolutionizing-underwater-exploration-quantum-sensing-for-advance d-marine-seismic-acoustic-technology/>
13. <https://quantum-systems.com/wasp-weles-acoustic-sensor-payload/>
14. <https://www.l3harris.com/all-capabilities/acoustic-general-purpose-modem>
15. <https://waterlinked.com/modem>
16. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7412097/>
17. <https://patents.google.com/patent/US20120113757A1/en>
18. <https://www.oceansciencetechnolog y.com/suppliers/hydrophones/>
19. <https://www.defenseadvancement.com/feature/measuring-underwater-acoustic-signatures-of-nato-na>