

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ОТРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ ГАС

П.А. Молчанов

Гидроакустические станции (ГАС) на основе быстро разворачиваемых автономных или кабельных гидроакустических станций с приемными антеннами в звукопрозрачной конструкции в рабочем положении позволяют решать широкий круг задач по контролю морских акваторий, обнаружению, слежению и целеуказанию по угрозам и нарушителям, морским дронам – БЭК и АНПА как в одиночном исполнении, так и в мультистатической системе. Но для эффективного решения этих задач требуется всесторонняя отработка как алгоритмов обнаружения, так и составляющих приемопередающих трактов, которая может быть успешно решена только с помощью использования цифровых двойников. В данной статье рассматривается применение цифровых двойников для отработки различных алгоритмов и трактов ГАС.

**Ключевые слова:** цифровые двойники, цифровая обработка сигналов, автономная гидроакустическая станция, система контроля морской зоны, морские дроны.

## Введение

Для решения задач охраны морских акваторий и противодействия морским дронам используются отдельные гидроакустические станции или мультистатическая система. ГАС позволяют решать широкий круг задач по контролю морских акваторий, обнаружению, слежению и целеуказанию по морским дронам – безэкипажным катерам (БЭК) и автономным необитаемым подводным аппаратам (АНПА), контролю состояния морской среды, подводных нефте- и газодобывающих комплексов [1–6]. Для достижения максимального потенциала обнаружения и точности определения координат, пеленга, дальности цели (КПДЦ) требуется отработка всех алгоритмов и составляющих трактов, для чего необходимы цифровые двойники. Особенно важны цифровые двойники для отработки мультистатической системы и отработки взаимодействия с внешними системами — АНПА, БЭК, надводными кораблями (НК), беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Также цифровые двойники могут использоваться для обучения операторов гидроакустических комплексов.

На сегодняшний момент многие разработчики гидроакустического оборудования имеют аппаратно-программные комплексы моделирования входных

гидроакустических сигналов и их распространения от лучевых до волновых моделей [6–11], реже имитацию ГАС и еще реже полное соединение их в цифровой двойник для отработки в реальном времени штатным образом. На сегодняшний день существующие цифровые двойники ГАС используются в основном только для технической подготовки ГАС к натурным испытаниям. Но нет важного прямого сопоставления и перехода от результатов цифрового двойника к натурным данным. Ниже представлены результаты применения концепции цифровых двойников с переходом к натурным испытаниям с сопоставлением принятых с помощью цифровых двойников решений и полученных характеристик по точности и дальности с натурными данными.

## ■ Концепция применения цифровых двойников

Охраняемая морская акватория в общем случае включает в себя мультистатическую систему, содержащую несколько разнесенных в пространстве активных и пассивных ГАС и разнородных сил и средств противодействия и целей. Решается задача взаимодействия с различными силами противодействия и оптимизации параметров станций и их рас-

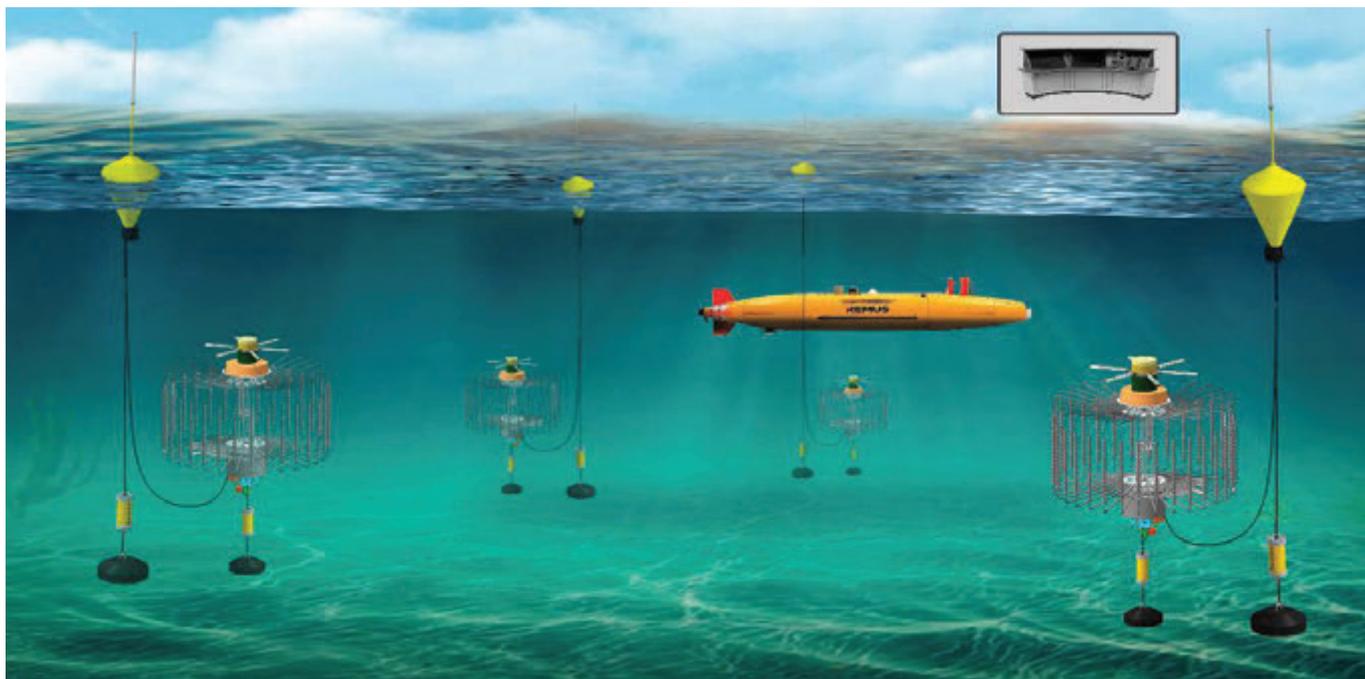


Рис. 1. Общий вид охраняемой акватории с мультистатической системой ГАС

становки в зависимости от решения различных задач.

На рис. 1 приведен общий вид охраняемой акватории с мультистатической системой ГАС.

Цифровые двойники могут создаваться с различной степенью детализации для решения разных задач:

- обработки приемопередающих трактов;
- обработки алгоритмов обработки информации одной ГАС;
- обработки алгоритмов мультистатической обработки системой ГАС;
- обработки алгоритмов взаимодействия системы ГАС с внешними системами — другими носителями, средствами противодействия, общей информационной средой;
- обработки различных сценариев противодействия различным угрозам.

Состав цифрового двойника:

- 1) для обработки трактов приемопередачи:
  - цифровые копии приемопередающих фильтров, усилителей и цепочек преобразования сигнала и керамических элементов. Часть элементов может быть и аналоговой.
- 2) для обработки алгоритмов ГАС:
  - имитатор среды, распространения сигнала и целей;
  - цифровые копии трактов обработки;
  - может содержать и аналоговые части — например, аналогово-цифровой преобразова-

тель (АЦП) и цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП);

- 3) для отработки алгоритмов обработки мультистатической системы ГАС:
  - имитатор среды, распространения сигнала, и целей;
  - цифровые копии отдельных ГАС системы;
  - может содержать и аналоговые части — например АЦП и ЦАП для возможности подключения в качестве одного из элементов реальной ГАС;
  - имитатор связи между элементами системы;
- 4) для отработки алгоритмов взаимодействия системы ГАС с внешними системами — другими носителями, средствами противодействия, общей информационной средой:
  - имитатор среды, распространения сигнала и целей;
  - цифровые копии отдельных ГАС системы;
  - может содержать и аналоговые части — например АЦП и ЦАП для возможности подключения в качестве одного из элементов реальной ГАС;
  - цифровые копии внешних систем — других носителей, средства противодействия;
  - имитатор связи между элементами системы;
- 5) для отработки различных сценариев противодействия различным угрозам:
  - имитатор среды, распространения сигнала и целей;

- имитатор угроз и сценариев;
- цифровые копии отдельных ГАС системы;
- может содержать и аналоговые части — например АЦП и ЦАП для возможности подключения в качестве одного из элементов реальной ГАС;
- цифровые копии внешних систем — других носителей, средства противодействия;
- имитатор связи между элементами системы;

Цифровые двойники могут создаваться с использованием искусственного интеллекта и нейросетей и с использованием регулярных алгоритмов.

**■ Применение цифровых двойников при создании ГАС для отработки задач системы освещения подводной и надводной обстановки (СОПО) и противодействия морским дронам**

У СКБ САМИ ДВО РАН есть опыт применения цифровых двойников на основании регулярных алгоритмов для отработки трактов приема, обнаружения

сигналов, построения трасс целей и мультистатической обработки.

Цифровые двойники тракта приема сигнала использовались для минимизации уровня собственных шумов ГАС.

Цифровые двойники для тракта обработки сигнала представляли из себя следующую схему, рис. 2.

У СКБ САМИ ДВО РАН есть опыт применения цифровых двойников для алгоритмов обработки одной ГАС и мультистатической системы ГАС. Использование цифровых двойников позволяет эффективно отлаживать ПО ГАС, определять точность определения КПД целей и добиваться максимально возможной, а также добиваться минимально возможного порогового отношения сигнал/шум (ОСШ) обнаружения и обнаружения слабой цели на фоне сильной.

Использование цифровых двойников для мультистатической системы ГАС позволяет улучшать точность определения географических координат и зон различной погрешности их определения, обусловленных различным положением ГАС системы и



Рис. 2. Блок-схема цифрового двойника для тракта обработки сигнала одной ГАС

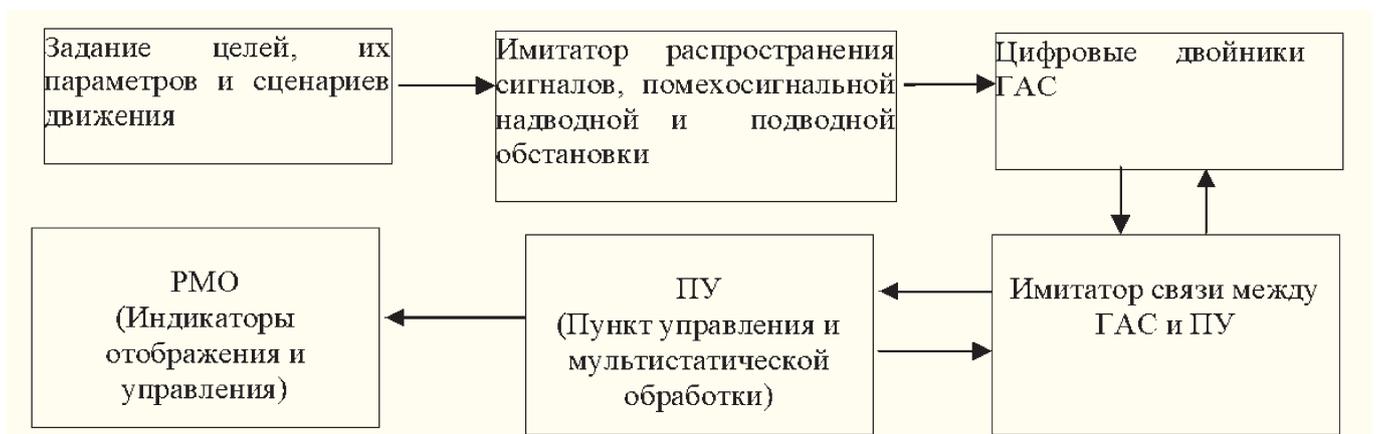


Рис. 3. Блок-схема цифрового двойника для мультистатической системы ГАС. На схеме ПУ – пункт управления, РМО – рабочее место оператора

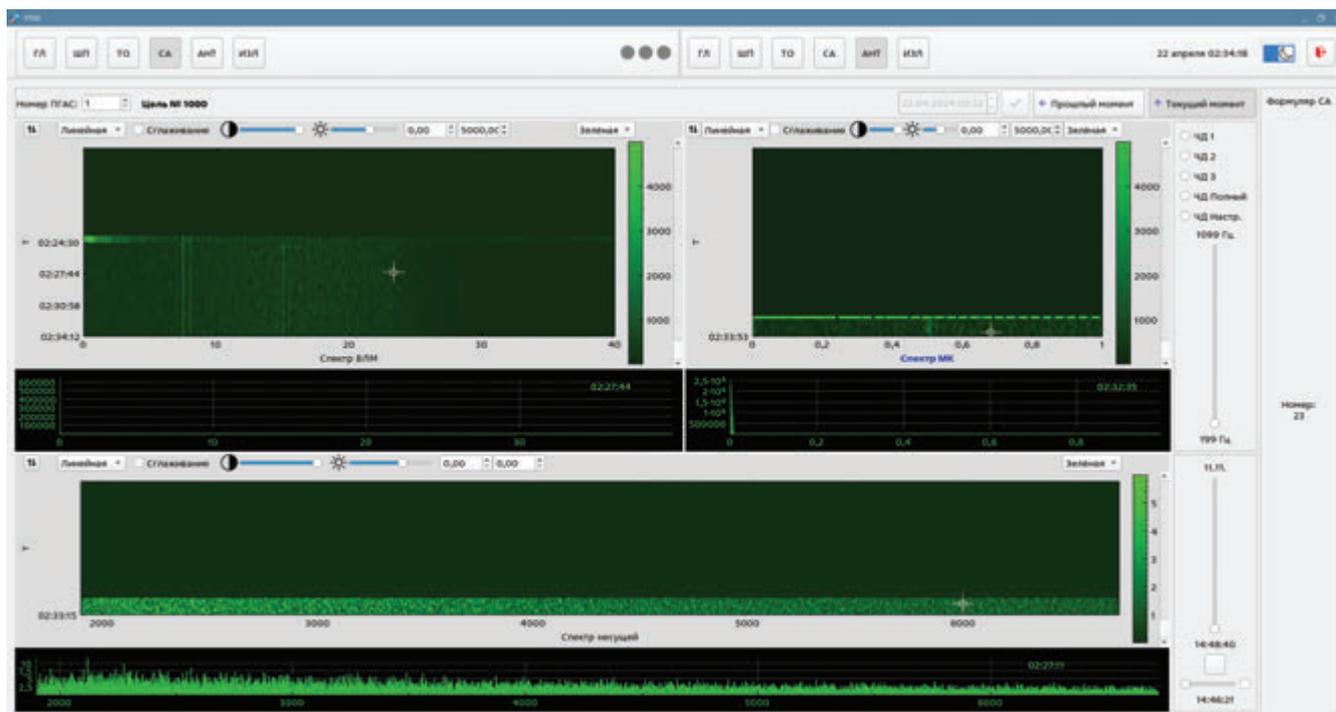
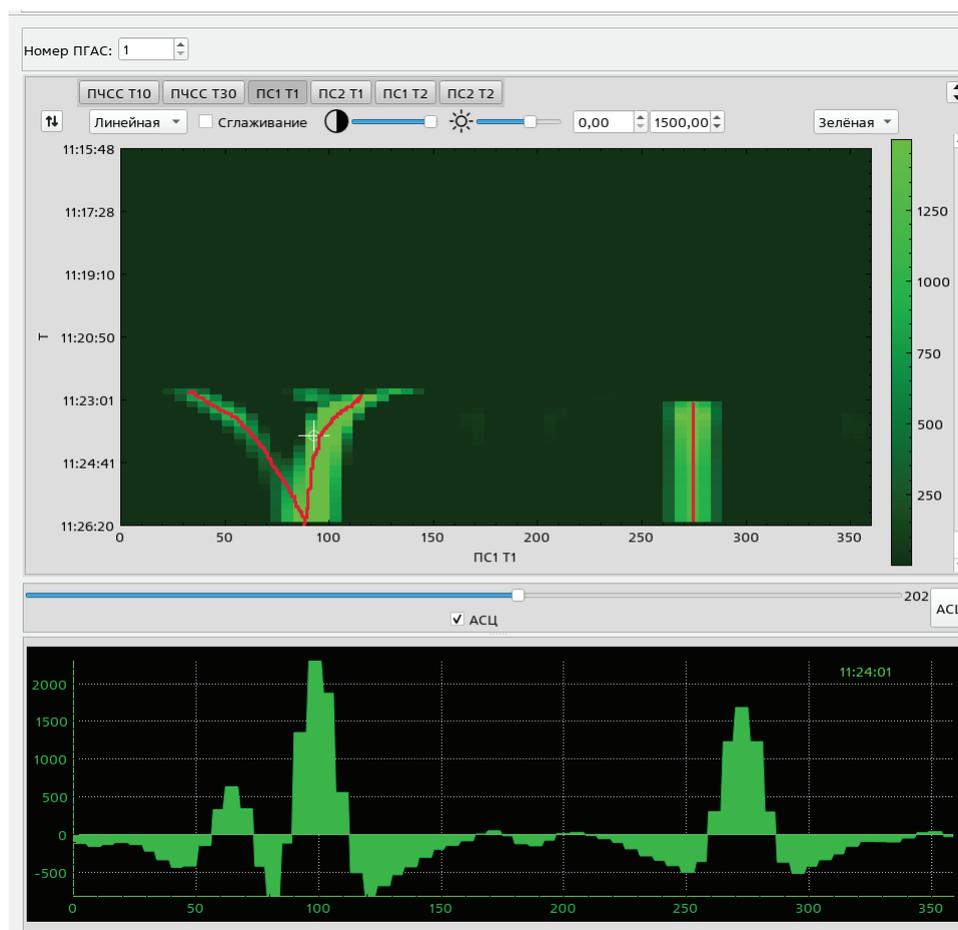


Рис. 4. Обработка алгоритма выделения классификационных признаков — частот модуляции качки (верхний индикатор справа “Спектр МК”), частот вально-лопастной модуляции (ВЛМ) (верхний индикатор слева “Спектр ВЛМ”), несущей (нижний индикатор “Спектр несущей”) на цифровом двойнике. Частоты соответствуют заданным. На всех индикаторах слева отображается ось времени, снизу ось частот. Диапазон отображения для спектра качки от 0 до 1 Гц, для спектра ВЛМ – от 1 до 40 Гц, для несущей – от 1800 до 7000 Гц

Рис. 5. Обработка алгоритма трассового анализа в режиме ШП на трех целях различного уровня, с пересечением двух целей. Трассы соответствуют заданным. Приведен индикатор пространственного спектра (ПСС) и внизу его срезка (сечение в момент времени). На индикаторе слева отображается ось времени, внизу пеленги от 0 до 360 градусов. На срезке слева отображается амплитуда, снизу пеленги от 0 до 360 градусов



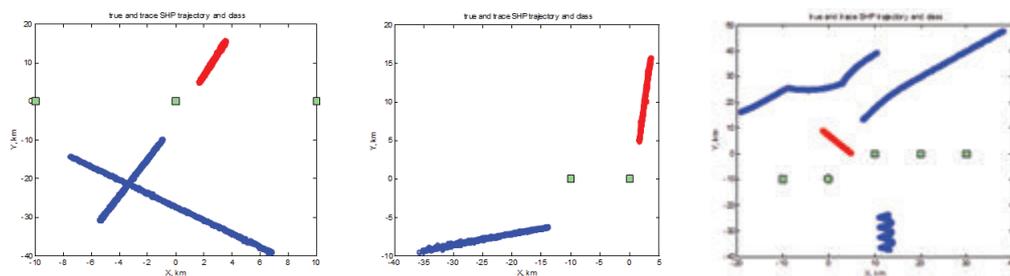


Рис. 6. Отработка алгоритмов мультистатистического комплексирования и классификации различных целей для случая 2, 3, 5 ГАС. Трассы соответствуют заданным. На графиках отображаются ГАС (зеленым цветом), обнаруженные трассы целей с классификацией (отображаются цветом) в декартовых координатах X-Y, км

целей, а также решать задачи по классификации различных целей.

Использование цифровых двойников в гидроакустике позволяет эффективно подготовить систему к реальной морской отработке и провести ее, выбрав оптимальное расположение станций в системе.

На рис. 4–7 приведены результаты отработки алгоритмов ГАС на цифровых двойниках.

Таблица 1. СКО КПДЦ и вероятности для случая двух ГАС

| Параметр                  | Цель   |        |              |
|---------------------------|--------|--------|--------------|
|                           | 1      | 2      | 2 (точки ГЛ) |
| СКО(X), км                | 0.1135 | 0.0742 | 0.0786       |
| СКО(Y), км                | 0.1362 | 0.1062 | 0.0688       |
| СКО(V <sub>x</sub> ), м/с | 0.1047 | 0.7238 | 0.0680       |
| СКО(V <sub>y</sub> ), м/с | 0.2481 | 0.3985 | 0.2234       |
| Ркласс изм.               | 0,9991 | 1,0000 | 1,0000       |
| Ркласс расчет.            | 0,9996 | 1,0000 | 0,9996       |

На рис. 8–9. приведены ошибки определения КПДЦ для системы из двух и трех ГАС, полученные на цифровых двойниках.

Таблица 2. СКО КПДЦ и вероятности для случая трех ГАС

| Параметр                  | Цель   |        |        |              |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------------|
|                           | 1      | 2      | 3      | 4 (точки ГЛ) |
| СКО(X), км                | 0,0635 | 0,0462 | 0,0650 | 0,0483       |
| СКО(Y), км                | 0,0574 | 0,0515 | 0,1482 | 0,0327       |
| СКО(V <sub>x</sub> ), м/с | 0,0921 | 0,0684 | 0,4741 | 0,0745       |
| СКО(V <sub>y</sub> ), м/с | 0,1863 | 0,0759 | 0,2306 | 0,0823       |
| Ркласс изм.               | 0,9924 | 1,0000 | 0,9903 | 1,0000       |
| Ркласс расчет.            | 0,9975 | 1,0000 | 1,0000 | 0,9975       |

Таблица 3. СКО КПДЦ и вероятности для случая пяти ГАС

| Параметр                  | Цель   |        |        |        |              |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------------|
|                           | 1      | 2      | 3      | 4      | 6 (точки ГЛ) |
| СКО(X), км                | 0,0574 | 0,0281 | 0,0351 | 0,0122 | 0,0152       |
| СКО(Y), км                | 0,0282 | 0,0383 | 0,0294 | 0,0240 | 0,0243       |
| СКО(V <sub>x</sub> ), м/с | 0,0631 | 0,2845 | 0,3361 | 0,0485 | 0,2881       |
| СКО(V <sub>y</sub> ), м/с | 0,1048 | 0,0756 | 0,0686 | 0,1042 | 0,1034       |
| Ркласс изм.               | 0,9902 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000       |
| Ркласс расчет.            | 0,9999 | 0,9972 | 1,0000 | 0,9974 | 0,9974       |

На рис. 8 видно, что для системы из двух ГАС в окрестности линии их соединяющей погрешность определения координат может достигать 500 м.

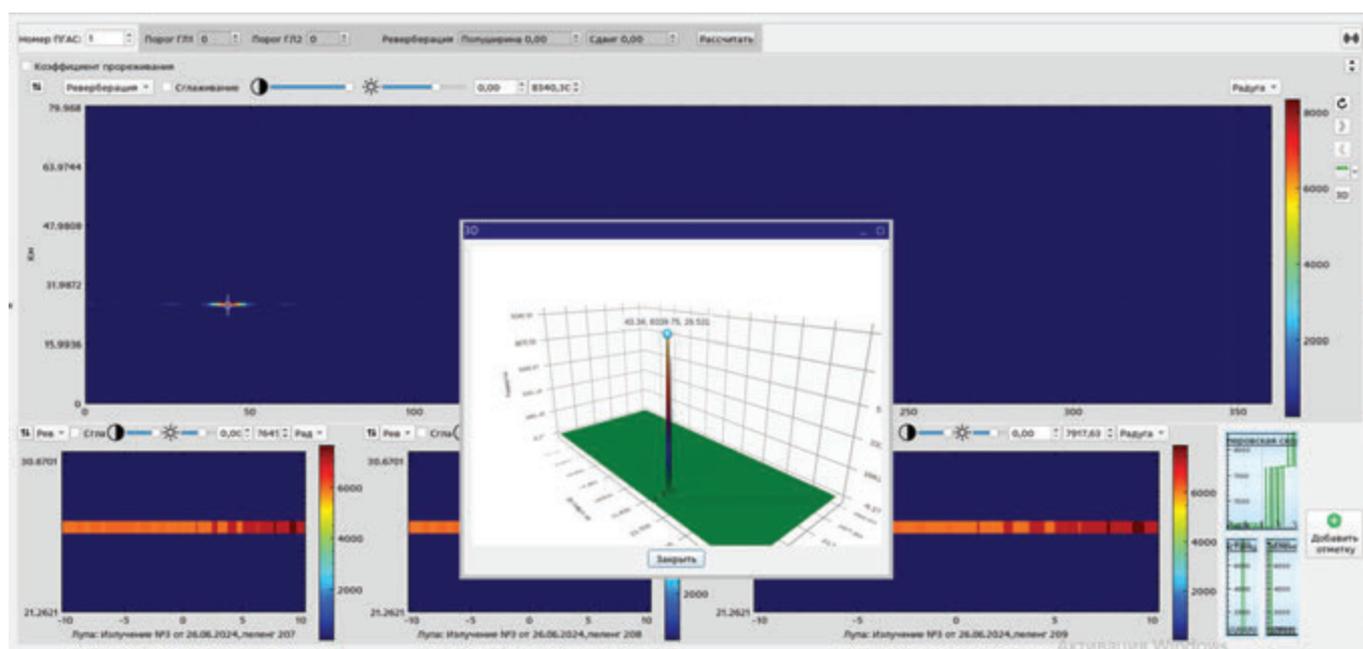


Рис. 7. Отработка алгоритмов ГЛ на ЧМ сигналах. Отметка соответствует заданной цели

Для системы из трех ГАС видно, что погрешность падает почти на два порядка по сравнению с системой из двух ГАС, до 20–50 м, а максимум погрешности имеет сложное распределение.

Опыт натурной отработки системы из двух ГАС и решений, принятых с помощью цифровых двойников, был проведен на озере Тунайча, совмещенный с программой “Архипелаг”. Схема морского полигона на оз. Тунайча приведена на рис. 10.

В полигоне участвовали две ГАС, работающие в мультистатическом режиме, имитатор АНПА, БЭК, БЭК противодействия (анти-БЭК), группировка БПЛА. Обрабатывались сценарии обнаружения в дальней зоне БЭК-нарушителя с помощью ГАС, его сопровождения, обнаружения имитатора АНПА в средней зоне, последующем обнаружении БЭК-нарушителя в ближней зоне группой БПЛА и нейтрализации либо группой БПЛА, либо с помощью анти-БЭК.

Станция использует цилиндрическую приемную звукопрозрачную антенну с числом элементов 256 (8 по вертикали и 32 в окружности) размерами 0,74 × 0,86 м.

Общий облик ГАС и уголкового отражателя – имитатора АНПА с эквивалентным радиусом 1 м приведены на рис. 11.

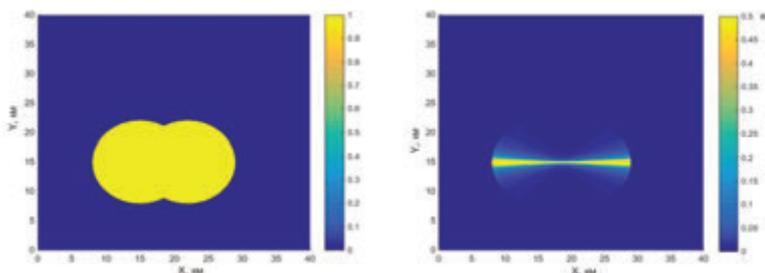


Рис. 8. Расчет для системы из двух ГАС в мультистатике по БЭК. Слева – зона обзора при вероятности обнаружения > 0,9 в декартовых координатах X-Y, км, справа – распределение ошибки определения координат, полученное на цифровых двойниках, при мультистатическом комплексировании, км

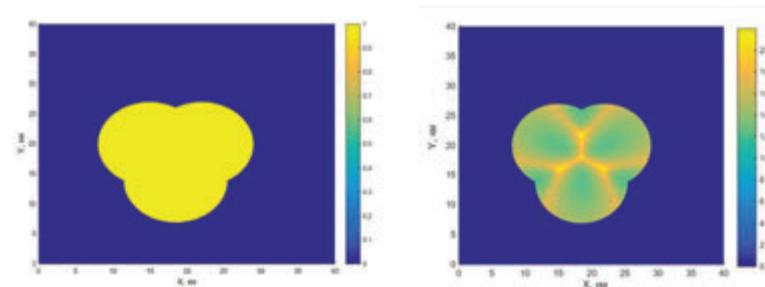


Рис. 9. Расчет для системы из трех ГАС в мультистатике в декартовых координатах X-Y в км. ГАС расставлены в виде равностороннего треугольника. Слева – зона обзора при вероятности обнаружения > 0,9, справа – распределение ошибки определения координат, полученное на цифровых двойниках, при мультистатическом комплексировании, м

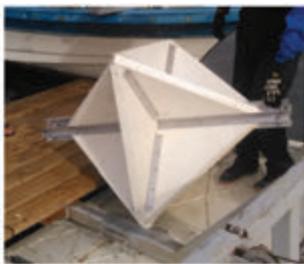
Ниже представлены результаты работы ГАС на морском полигоне. Результаты работы по имитатору АНПА представлены на рис. 12. На 3D развертке гидролокации (ГЛ) хорошо видно, что отметка сильная и имеет уровень 26 дБ.



Рис. 10. Карта-схема морского полигона на оз. Тунайча с нанесенным расположением имитатора АНПА (мишени-отражателя) и двух безэкипажных катеров



Демонстрационные ГАС



Угловый отражатель.

Рис. 11. внешний вид ГАС и углового отражателя – имитатора АНПА

Результаты работы по БЭК приведены на рис. 13–15. На рис. 16. приведены пространственно-частотные спектры (ПЧСС), пространственные спектры (ПСС) ШП и индикатор тактической обстановки (ТО) обнаруженных БЭК на карте местности. Зеленые точки соответствуют положению ДГАС, красные точки – целям режима шумопеленгования (ШП) (БЭК). Видно, что БЭК имеют хорошее ОСШ.

→  
Рис. 14. Индикатор тактической обстановки (ТО) с мультистатической трассой обнаружения БЭК (красные и черные точки) на галсе с дистанции 5 км на скорости ~ 10 уз. Зеленые точки соответствуют положению ГАС

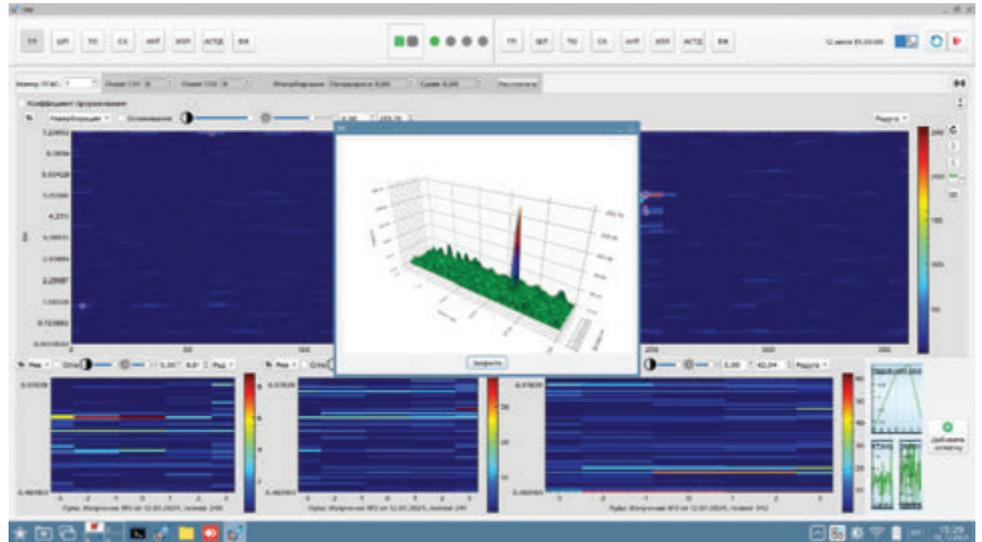


Рис. 12. Развертка ГЛ в 2D и 3D с отметкой от углового отражателя в бистатическом режиме

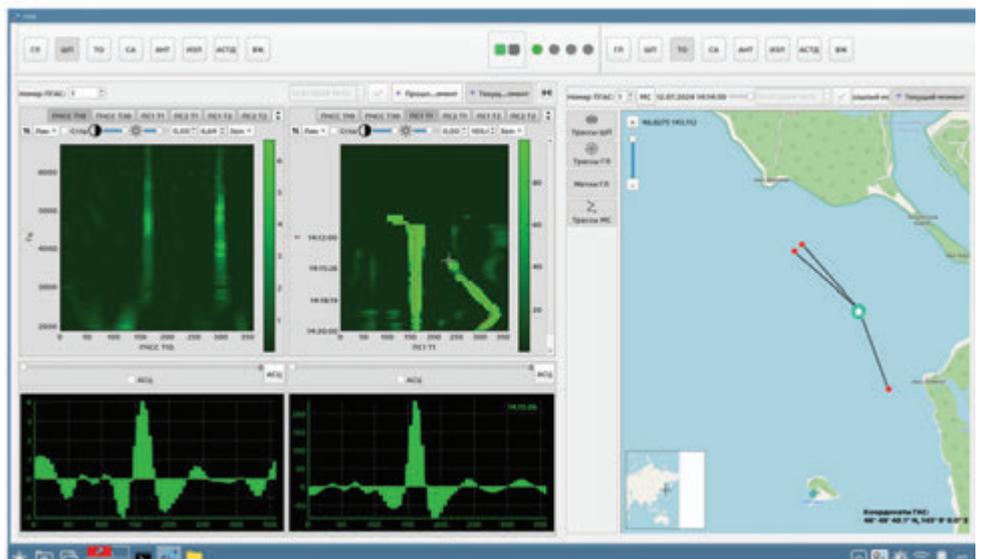
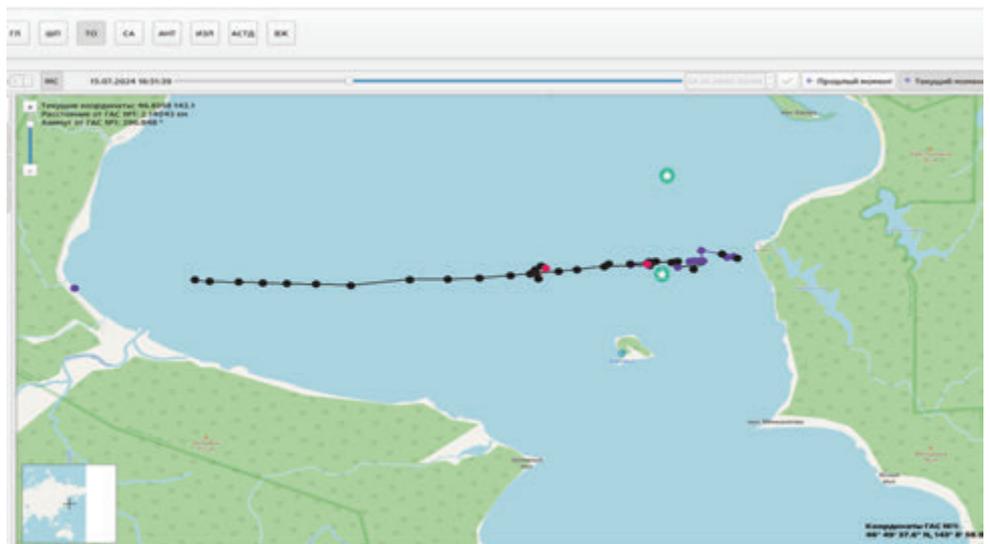


Рис. 13. Индикаторы пространственно-частотных спектров (ПЧСС), пространственных спектров (ПСС) ШП и индикатор тактической обстановки (ТО) обнаруженных БЭК на карте местности. Зеленые точки соответствуют положению ГАС, красные точки – целям ШП (БЭК)



На рис. 14 приведен индикатор тактической обстановки (ТО) с мультистатической трассой обнаружения и сопровождения БЭК-нарушителя при его проходе с дальней зоны с дистанции 5 км. Координаты БЭК-нарушителя сообщались оператором ГАС в пункт управления БЭК-противодействия, группировке БПЛА и в общий центр управления. СКО координат составило 44 м.

На рис. 15 представлен акустический портрет БЭК 2 Sea Project из спектров несущей, качки, ВЛМ. Видно, что никаких характерных частот нет.

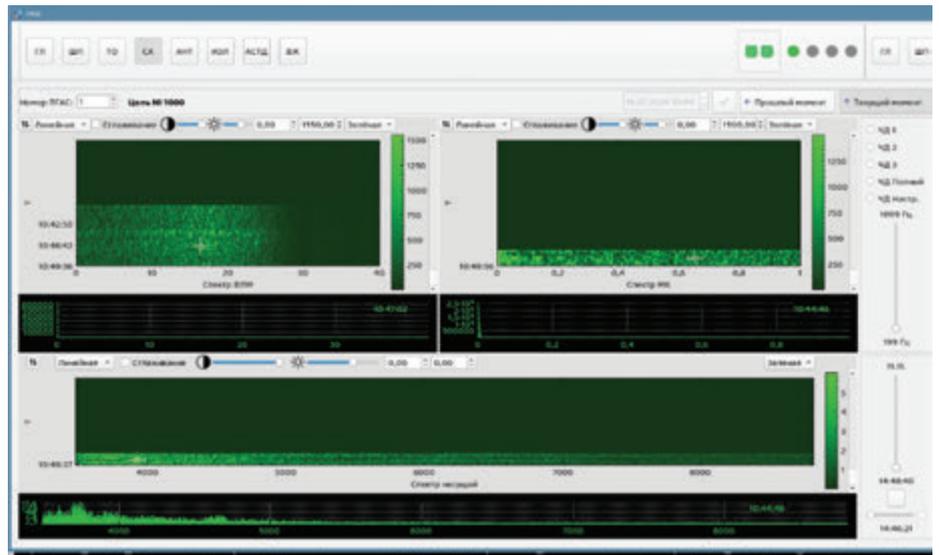


Рис. 15. Акустический портрет БЭК Sea Project. Левый верхний график – спектр ВЛМ, правый верхний график - спектр качки, нижний график - спектр несущей. Видно, что никаких характерных частот нет

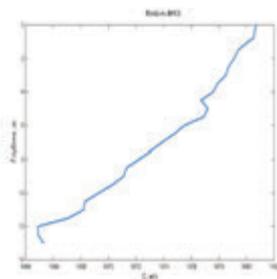


Рис. 16. Профиль ВРСЗ (слева) и результаты пересчета к стандартным условиям в режиме ГЛ

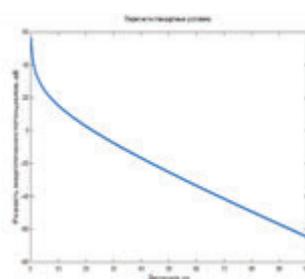
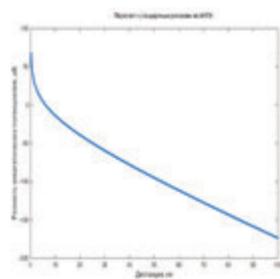


Рис. 17. Результаты пересчета к стандартным условиям в режиме ШП

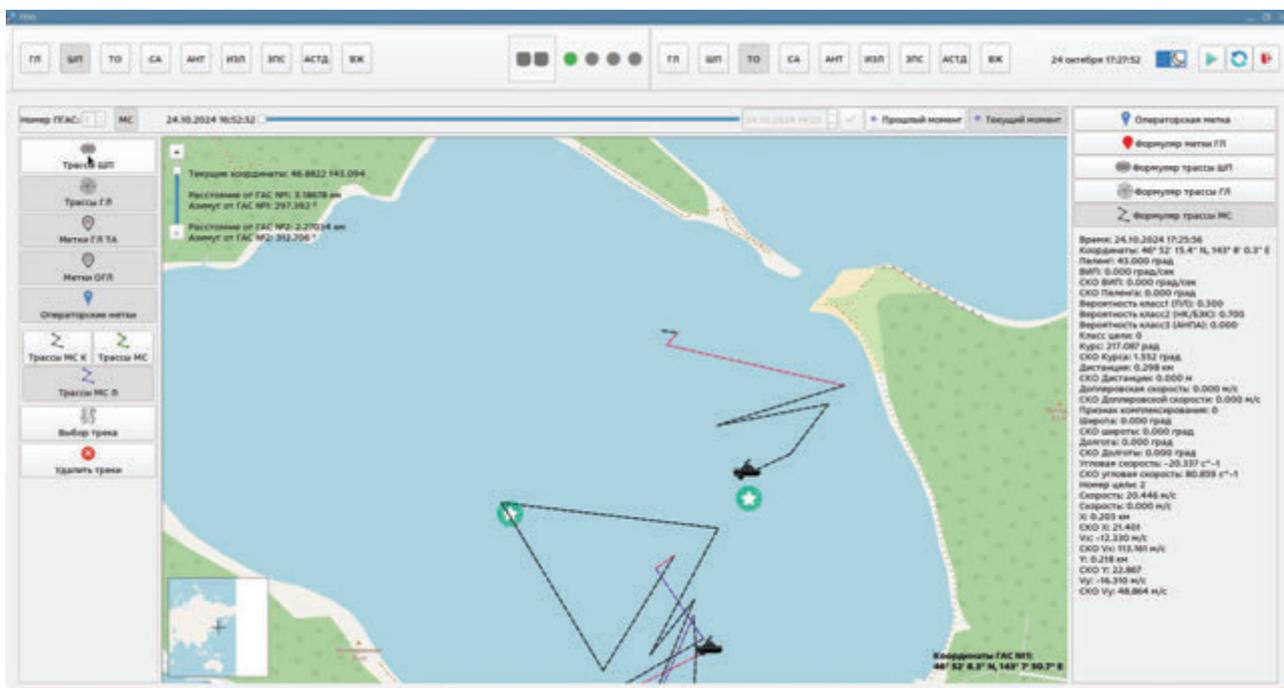
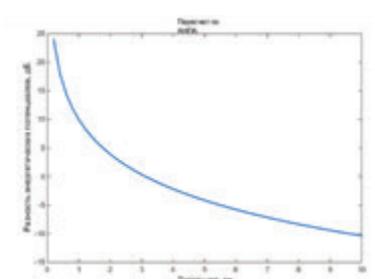


Рис. 18. Индикатор ТО с мультистатической трассой обнаружения БЭК (черные и красные точки) на галсе с дистанции 1 км на большой скорости (~ 40 уз). Зеленые кружки со звездочкой соответствуют положению ДГАС

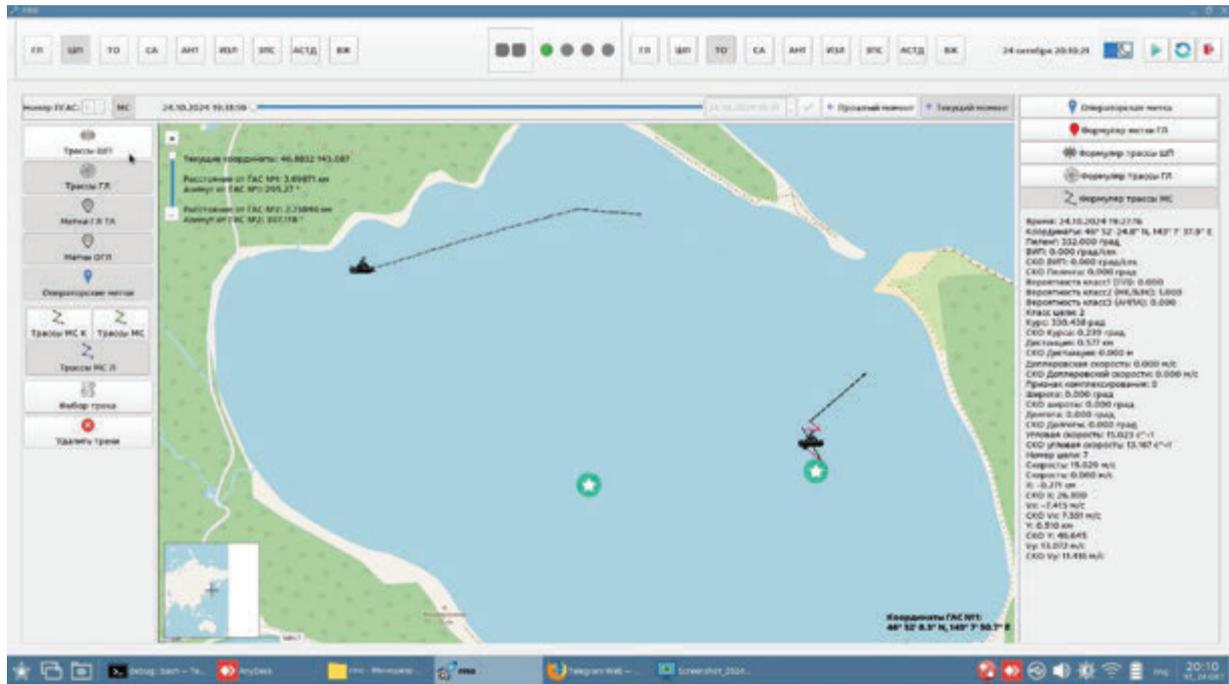


Рис. 19. Индикатор ТО с мультистатистической трассой обнаружения БЭК (черные и красные точки) на галсе с дистанции 1 км на большой скорости (~ 30 уз). Зеленые кружки со звездочкой соответствуют положению ДГАС

Есть небольшое поднятие на спектре несущей в области 3,5 кГц.

По данным, полученным на полигоне по БЭК, имитатору АНПА, измеренным уровням шумов акватории и профилю ВРСЗ был выполнен пересчет к стандартным условиям в режиме ГЛ (рис. 16) и режиме ШП, (рис. 17) по стандартному уравнению дальности [8] с аномалией распространения, рассчитанной лучевой программой расчета поля по измеренному ВРСЗ и рельефу дна.

Средний уровень помех (шумов моря) по данным калиброванного гидрофона Z-lab момент испытаний на

$f_0 P_0=0,0336 \text{ Па/Гц}^{0,5}$ . Пересчет с показал, что дальность обнаружения АНПА с эквивалентным радиусом отражения 1 м в стандартных условиях может достигать 6 км.

Результаты пересчета подтвердили результаты, полученные на цифровых двойниках.

С помощью калиброванного гидрофона Z-lab было произведено измерение шумности БЭК Sea Project. Шумность БЭК, приведенная к  $f_0$ , составила  $P_{f_0} = 0,7 \text{ Па/Гц}^{0,5}$ .

ОСШ на предельной дальности в 7 км составило 6 дБ.

Пересчет показал, что дальность обнаружения БЭК в стандартных условиях может достигать 22 км, а дальность по АНПА  $P_{f_0} = 0,07 \text{ Па/Гц}^{0,5} - 3,2 \text{ км}$ .

Результаты пересчета подтвердили результаты, полученные на цифровых двойниках.

Также была проведена отработка на озере Изменчивое с 23 по 24 октября 2024 г. и в заливе Анива, Новиково, 4–5 октября, двух ГАС, работающих в мультистатике по БЭК и НК в беспроводном варианте исполнения с передачей данных в реальном времени на береговой пост и на удаленный сервер в С-Пб.



Рис. 20. Индикатор ТО с мультистатистической трассой обнаружения НК (черные и красные точки) на галсе с дистанции 20 км на скорости ~ 20 уз. Зеленые кружки со звездочкой соответствуют положению ДГАС. Работа в заливе Анива, Новиково

Станции выводились на дистанции 1 км на озере Изменчивое и на 5 км от берега в заливе Анива, Новиково на специализированном катамаране с помощью БЭК (рис. 18), управляемого с пульта или по заданию и устанавливались на нужную глубину с помощью лебедки. Данные передавались по wi-fi напрямую на удаленный сервер в Санкт-Петербурге и на береговой пост.

Натурная отработка подтвердила характеристики системы ГАС, полученные на цифровых двойниках по дальности и точности КПДЦ.

## Выводы

Рассмотрен опыт применения цифровых двойников при создании ГАС для отработки задач обнаружения БЭК и АНПА и взаимодействия разнородных сил и средств обнаружения и противодействия, оптимизации расстановки ГАС.

Произведена проверка показателей и принятых с помощью цифровых двойников решений в натуральных условиях при отработке на морском полигоне с двумя ГАС в мультистатическом режиме, которая показала возможность эффективного обнаружения АНПА, БЭК и других целей в активном и пассивном режимах и соответствие натуральных результатов результатам, полученным с помощью цифровых двойников.

*Представленные результаты получены в рамках государственного задания СКБ САМИ ДВО РАН (FWWW-2024-0002).*

## Сведения об авторах

**МОЛЧАНОВ Павел Александрович**, к. ф.-т. н., с.н.с.  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Специальное конструкторское бюро средств автоматизации  
морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук  
**Адрес:** 693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25  
**Область научных интересов:** быстро развертываемые автономные гидроакустические станции  
**Телефон/факс:** 8 (4242) 23-69-66, тел. 750-570 доб. 201  
**E-mail:** pashamol@mail.ru

### Для цитирования:

Молчанов П.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ОТРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ ГАС // Подводные исследования и робототехника. 2026. № 1 (55). С. 38–48. DOI: 10.37102/1992-4429\_2026\_55\_01\_04. EDN: MATDAA.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Емельяненко В.Ф., Малашенко А.Е. Непрерывный независимый гидроакустический контроль подводного добычного комплекса // Экологические системы и приборы. 2021. № 11. С. 32–37.
2. Малашенко А.Е., Молчанов П.А., Ким А.И. Мультистатическая система наблюдения на базе автономных гидроакустических станций с автоматической адаптацией по глубине установки // Инженерная физика. 2023. № 5. С. 70–75.
3. Емельяненко В.Ф., Ким А.И., Кондрашова Е.С., Малашенко А.Е., Молчанов П.А. Автономная радиогидроакустическая система обеспечения безопасности мореплавания в районах северного морского пути // Подводные исследования и робототехника. 2022. № 4. С. 16–22.
4. Патент № 2547218 РФ, МПК G01S 7/52, H01Q 9/46. Приемная цилиндрическая антенна гидроакустической станции кругового обзора : № 2014106036/08 : заявл. 18.02.2014 : опубл. 10.04.2015 / Малашенко А.Е., Емельяненко В.Ф., Калёнов Е.Н.; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук (СКБ САМИ ДВО РАН). – 9 с.: ил.
5. Евтютов А.П., Митько В.Б. Примеры инженерных расчетов в гидроакустике. Ленинград: Судостроение, 1981. 255 с. Библиотека инженера-гидроакустика.
6. Шейнман Е.Л., Афанасьев А.Н., Куприянов М.С., Клионский Д.М., Ежов С.Н., Максимов П.Н., Голубков А.М. Имитатор модели сигналов гидроакустических станций интегрированной системы подводного наблюдения // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2016. № 10.
7. Шафранюк Ю.В. Имитатор сигналов на выходе приемных элементов пассивной гидроакустической станции с гибкой протяженной буксируемой антенной // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 4 (80).
8. Гузик В.Ф., Золотовский В.Е., Резников В.Б., Переверзев В.А., Мартиросян В.И. Исследование работы многолучевой гидроакустической станции на системе структурного моделирования // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2004. № 2 (37). С. 75–80
9. Андреев М.Я., Марковский А.О., Охрименко С.Н., Сидоров А.О. Имитатор гидроакустических сигналов для обеспечения морской отработки гидроакустических станций-комплексов // Известия ТРТУ. Тематический выпуск. 2005. № 2(46). С. 16–20.
10. Гладков В.В., Корнеев Ю.А. Применение имитационного моделирования для отладки алгоритмов обработки гидроакустической информации // Вестник РГРТУ. 2009. Вып. 29, № 3. С. 40–48.
11. Фомина Е.С., Миронов А.С. Моделирование процесса выполнения гидролокационной съемки с использованием многолучевого эхолота // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 3. С. 184–202.



# THE USE OF DIGITAL TWINS TO REFINETHE ALGORITHMS OF HYDROACOUSTIC STATIONS

**P.A. Molchanov**

Hydroacoustic stations based on fast-turning autonomic or ship's hydroacoustic stations in multistatic system or in single operation could resolve wide complex tasks on marine control, detection, tracking, target designation on different threats and intruders - unmanned boats and autonomous uninhabited underwater vehicles. But for effective resolve of this tasks it's needed of complex development and improving of detection algorithms and parts of reciving and transmitting system of hydroacoustic stations, which could be resolved only by using digital twins. This paper consider of using digital twins for development and improving different algorithms and systems of hydroacoustic stations.

**Keywords:** digital twins, digital signal processing, autonomic hydroacoustic station, marine control, probability of target detection, unmanned boats.

## List of used sources

1. Emelianenko V.F., Malashenko A.E. Continuous independent hydroacoustic control of the underwater mining complex // Ecological systems and devices. 2021. No. 11. P. 32–37.
2. Malashenko A.E., Molchanov P.A., Kim A.I. Multistatic system based on autonomic hydroacoustic stations with automatic adaption on operational depth // Engeneering physics. 2023. No. 5. P. 70–75.
3. Emelianenko V.F., Kim A.I., Kondrashova E.S., Malashenko A.E., Molchanov P.A. Autonomic radio-hydroacoustic system in region of The Northern Sea Route // Underwater investigation and robotics. 2022. No. 4. P. 16–22.
4. Patent of the Russian Federation No. 2547218. 2014-02-18 Receiving cylindrical antenna of a hydroacoustic station of a circular view.
5. Evtuyutov A.P., Mitko V.B. Examples of engineering calculations in hydroacoustics // Series "Library of engineer-hydroacoustics". Leningrad. "Shipbuilding", 1981 g. 255 p.
6. Sheiman E.L., Afanasev A.N., Kuprianov M.S., Klionsky D.M., Egov S.N., Maksimov P.N., Golubkov A.M. Simulator of the signal model of hydroacoustic stations of the integrated underwater surveillance system // Izvestiya SPbGETU «LETI» № 10/2016/
6. Shafranuk U.V. Signal simulator at the output of the receiving elements of a passive sonar station with a flexible extended towed antenna. //Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics 2012, No. 4 (80)
7. Guzik V.F., Zolotovskiy V.E., Reznikov V.B., Pereverzev V.A., Martirosian V.I. Investigation of the operation of a multipath sonar station based on a structural modeling system // Proceedings of the Southern Federal University // Technical science. 2004. No. 2 (37). P. 75-80
8. Andreev M.I., Markovsky A.O., Ohrimenko S.N., Sidorov A.O. Simulator of hydroacoustic signals to ensure marine testing of hydroacoustic station complexes // Izvestiya TRTU 2005. A thematic issue.
9. Gladkov V.V., Korneev U.A. The use of simulation modeling for debugging algorithms for processing sonar information // Bulletin of the Russian State Technical University. No. 3 (print 29). Ryazan, 2009.
10. Fomina E.S., Mironov A.S. Modeling the process of performing sonar surveys using a multipath echo sounder. // Control, communication and security systems. 2020. No. 3, pp. 184-202.

## Information about author

**MOLCHANOV Pavel Aleksandrovich**, PhD in Physics and Mathematics, Leading Researcher  
Federal State Budgetary Institution of Science Special Design Bureau for Automation of Marine Research of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (SKB SAMI FEB RAS)  
**Address:** 693023, Yuzhno-Sakhalinsk, st. Gorky, 25  
**Research interests:** digital signal processing, sound propagation in water area, marine instrumentation, deep-sea autonomous instruments and systems, hydroacoustic systems and complexes, marine robotics  
**E-mail:** pashamol@mail.ru  
**ORCID:** 0000-0003-1839-9196

