

дов восстановления сигналов в комбинации с методами улучшения изображений представляется вполне перспективным направлением в задачах картографирования морского дна и улучшения качества гидроакустических изображений.

## 5. Заключение

Предложен метод двойной фильтрации, решающий задачу улучшения качества гидроакустических изображений, полученных при картографировании морского дна гидролокатором бокового обзора автономного подводного робота. Осуществлена программная реализация метода. Отмечены его хорошая устойчивость к импульсному шуму и лучшее качество восстановления изображений по сравнению с традиционным медианным методом.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-01-98521) и гранта конкурса интеграционных проектов ДВО и СО РАН (проект № 09-II-CO-01-004).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Котельников В.А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи // Материалы по радиосвязи к 1-му Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции связи. М.: Изд-во Управления связи РККА, 1933. С.762-770.

2. Алексеев Г.В., Ковтанюк А.Е. Интерполяционные формулы в классах Винера на локально-неравномерных сетках // Математическая физика и математическое моделирование в экологии. Ч. 1. Владивосток: Дальнаука, 1990. 126 с.

3. Алексеев Г.В. Обратные задачи излучения волн и теории сигналов. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 1991. 140 с.

4. Айзенберг Л.А. Формулы Карлемана в комплексном анализе. Новосибирск: Наука, 1990. 248 с.

УДК 551.46.077:629.584

# МАЛОГАБАРИТНЫЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АВТОНОМНЫЙ НЕОБИТАЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ «МТ-2010»

**А.А. Борейко, В.Е. Горнак,  
С.В. Мальцева,  
Ю.В. Матвиенко, Д.Н. Михайлов**

Институт проблем морских технологий  
ДВО РАН<sup>1</sup>

Сообщается о создании и испытаниях в ИПМТ ДВО РАН нового малогабаритного многофункционального автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) «МТ-2010». Пилотный образец аппарата, получивший название «Пилигрим», был поставлен для МЧС РФ. В новом аппарате развиты идеи и технологии, ранее апробированные при разработке АНПА «ММТ-3000».

В 2006 году в ИПМТ ДВО РАН были проведены натурные испытания нового АНПА «ММТ-3000» [1]. Этот аппарат рассматривался как пилотный образец серии малогабаритных подводных роботов, выполненных на основе единой базовой платформы. Конструктивные особенности аппаратов этой серии были оптимизированы с учетом специфики решаемых задач и состава соответствующего поисково-исследовательского оборудования. Новые аппараты этой серии могли стать дополнением к созданному в то же время большому многофункциональному АНПА «Клавесин» [2] и найти широкое применение за счет возможности работы с необорудованных носителей, упрощения обслуживания и эксплуатации. Однако для оперативного обследования больших районов по широкому

спектру исследований вполне актуальной оставалась задача создания малогабаритного многофункционального робота меньшей автономности. В 2010 году с учетом потребностей реальных потребителей проект был доработан. Новый аппарат получил название «МТ-2010» (рис. 1).

## Общие технические характеристики АНПА «МТ-2010»

Тактико-технические характеристики аппарата приведены в таблице 1.

Перечислим ряд особенностей АНПА, характеризующих его назначение и устройство.

### Области использования:

- картографирование рельефа дна;
- выполнение обзорной гидролокационной и фотосъемки морского дна;
- обследование донных сооружений, магистральных тру-

<sup>1</sup> 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а, тел./факс: (423) 2432416, e-mail: ymat@marine.febras.ru



Рис. 1. АНПА «МТ-2010»

бopовoдoв, пoдвoднoх кaбeлeй, пopтoвoх aквaтopий;

- мoнитopинг мopскoй cpeды, включaя мecтa зaxopoнeния xимичecкиx и взыpвчaтыx вeщecтв и oбcлeдoвaниe пoдвoднoх пoтeнциaльнo oпacныx oбъeктoв;

- изучeниe cтpуктyры дoннoгo гpyнтa;

- фoтocъeмкa выдeлeнныx yчacткoв пoвepxнocти днa и пoдвoднoх oбъeктoв.

#### **Функциональные особенности:**

- иcпoльзoвaниe в aвтoмaтичecкoм рeжимe пo зaдaннoй пpoгpaммe;

- oпepaтивный кoнтpoль и yпpaвлeниe xoдoм рaбoт c вoзмoжнoстью кoppекции зaдaннoй миссии c бopтa нocитeля пo гидpoaкycтичecкoмy кaнaлy;

- вoыcokая мaнeвpeннocть, вoзмoжнocть вoыпoлнeния рaбoт в cлoжнoм рeльeфe и пpи нaличии пpeпятcтвий;

- «интeллeктуaльнaя» бopтoвaя cиcтeмa yпpaвлeния;

- вoыcokая пpoизвoдитeльнocть пoиcкoвoгo oбopyдoвaния и бoльшaя зoнa пoкpытия в xoдe oднoгo пycкa АНПА;

- пoлyчeниe cинхpoнныx дaнныx гидpoлoкaциoннoй cъeмки днa, дoннoгo пpoфилoгpaфa, фoтocиcтeмы, бaтимeтpичecкиx, гидpoфизичecкиx и дpyгих измepeний, нaкoплeниe дaнныx в тeчeниe миссии и их пpивязкa к гeoгpaфичecким кoopдинaтaм пo мapшpyтy cлeдoвaния;

- вoзмoжнocть вoыxoдa в нaзнaчeннyю тoчкy c вoыпoлнeниeм рaбoт пo дooбcлeдoвaнию oбнapyжeнныx цeлeй;

- вoзмoжнocть pacшиpeния бaзoвoй кoмплeктaции и ycтaнoвки дoпoлнитeльнoгo oбopyдoвaния и дaтчикoв;

- вoзмoжнocть пepeбaллacтиpoвки для рaбoты в мopcкиx, рeчныx и oзepныx вoдoeмaх;

- тpaнcпopтaбeльнocть лyбыми видaми тpaнcпopтa;

- вoзмoжнocть рaбoты c нe oбopyдoвaнныx нocитeлeй;

- вoзмoжнocть мoдификaции пo тexничecким тpeбoвaниям зaкaзчикa.

**Состав базовой комплектации:** АНПА, cудoвoй пocт yпpaвлeния и cвязи, cудoвaя гидpoaкycтичecкaя aнтeннa, кoмплeкт вcпoмoгaтeльнoгo oбopyдoвaния.

**Состав расширенной комплектации:** бaзoвaя кoмплeктaция, кoмплeкт мaйaкoв-oтвeтчикoв, рeзepвнaя cудoвaя aнтeннa, инepциaльнaя нaвигaциoннaя cиcтeмa.

## **Устройство АНПА**

### **Общая конфигурация**

От АНПА «ММТ-3000» нoвый aппapaт oтличaeтcя рядoм кoнcтpyктивныx ocoбeннocтeй и cocтaвoм cиcтeм:

- кoнфигypaциeй движитeльнo-pyлeвoгo кoмплeкca, включaющeгo чeтыpe кopмoвыx xoдoвыx движитeлeй и oдин вepтикaльный пoдpyливaющий;

- pacшиpeнным cocтaвoм нaвигaциoннoгo и пoиcкoвoгo oбopyдoвaния;

- yпpocтeннoй cxeмoй рaбoты и oбcлyживaния.

Уcтpoйcтвo и pазмeщeниe oснoвныx cиcтeм в cocтaвe АНПА пoясняeтcя pиc. 2.

Взaимoдeйcтвиe ycтpoйcтв в cocтaвe АНПА, их кoнтpoль и yпpaвлeниe рeaлизyютcя нa пpoгpaммнo-aппapaтнoм ypoвнe в cocтaвe лoкaльнoй вычислитeльнoй cети (ЛВC). В oбщeй cтpyктype aппapaтa выдeлeны бaзoвыe cиcтeмы, oбecпeчивaющиe eгo фyнкциoниpoвaниe кaк нocитeля aппapaтyры, и инфoрмaциoннo-пoиcкoвыe cиcтeмы (pиc. 3).

Opгaнизyющeм ядрoм бaзoвыx cиcтeм являeтcя cиcтeмa пpoгpaммнoгo yпpaвлeния (CПУ), oбecпeчивaющaя yпpaвлeниe движeниeм, кoнтp-

Таблица 1. Тактико-технические характеристики

Максимальная рабочая глубина, м	3000
Вес, кг	300
Габариты, м	Ø 0,45 × 3,0
Скорость, м/с	0-2,5
Автономность, ч (пробег ~ 100 км);	20
Энергетика: емкость батареи литий-ионных аккумуляторов, кВт·ч	2,6

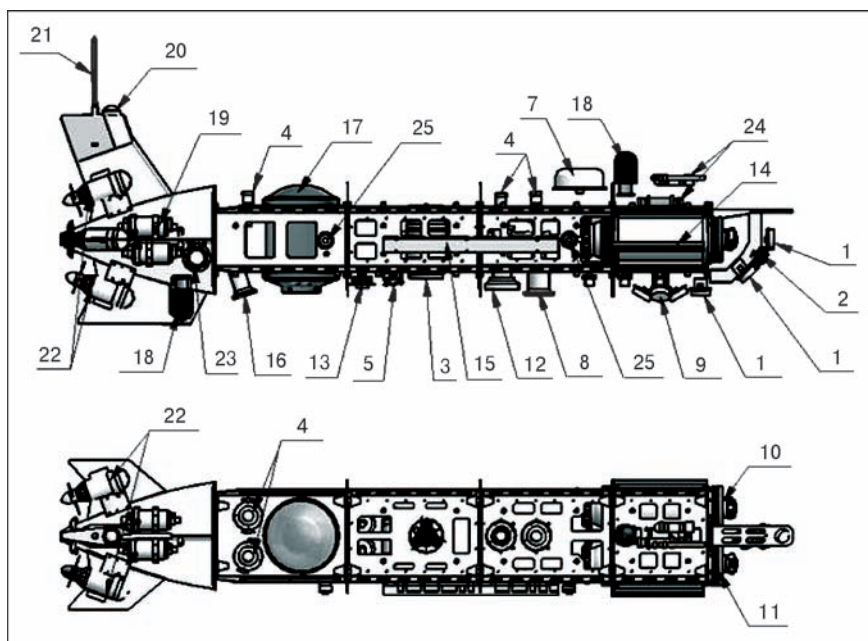


Рис. 2. Расположение основных систем АНПА МТ-2010: 1 – антенны ЭЛС, 2 – электромагнит балласта погружения, 3 – вертикальный подруливающий движитель, 4 – компенсатор давления, 5 – блок управления двигателем (БУД), 6 – датчик глубины, 7 – антенна УКБ ГАНС, 8 – цифровая фотокамера, 9 – антенны доплеровского лага, 10 – контейнер СПУ, 11 – контейнер измерительной аппаратуры, 12 – антенна профилографа, 13 – электромагнит аварийного балласта, 14 – антенна ГБО ВЧ, 15 – антенна ГБО НЧ, 16 – светильник импульсный, 17 – контейнер аккумуляторный, 18 – антенна ГАНС ДБ, 19 – БУД, 20 – СНС, 21 – антенна радиомодема, 22 – двигатель маршевый, 23 – контейнер радиомодема, 24 – измеритель параметров среды, 25 – внешние разъемы

рольно-аварийные и поисковые функции. Для формирования управления используются набор пилотажных датчиков и эхолокационная система (ЭЛС), а для обеспечения безопасности служат аварийные датчики. Движение организуется с помощью движительно-рулевого комплекса. Дистанционное изменение миссии АНПА может осуществляться через гидроакустическую систему связи. Эта же система также используется для оперативного получения данных о текущем состоянии АНПА. Системы поиска используются для обнаружения АНПА на поверхности после окончания выполнения работ.

### Навигационное обрудование

Навигация АНПА обеспечивается средствами бортовой навигационной системы (навигационно-пилотажные датчики, компас и доплеровский лаг) и гидроакустической навигационной системы (ГАНС). Формирование текущей оценки координат достигается за счет комплексирования информации бортового и судового комплекса и активного информационного обмена навигационными данными. При работе АНПА накапливаемая ошибка счисления пути уменьшается за счет коррекции данных бортовой системы навигации данными ГАНС. Для этих целей может быть использована информация о дальностях и пеленгах, получаемая от ГАНС с ультракороткой базой (УКБ). Работа навигационного комплекса поддерживается судовыми средствами, входящими в состав поста навигатора АНПА, и предполагает использование в необходимых случаях комплекта возвращаемых донных маяков-ответчиков ГАНС. В целом навигационный комплекс обеспечивает:



Рис. 3. Общая структура системы управления АНПА



– определение вектора абсолютной скорости АНПА с помощью ДЛ при движении со скоростью до 3 м/с на высоте от 0,5 до 70 м с точностью 0,01 м/с;

– определение углового положения и дальности АНПА по отношению к обеспечивающему судну (ОС) на дистанциях не менее 3 км;

– комплексирование информации от бортовых навигационных средств, датчика глубины, ГАНС, а также данных спутниковой навигации (на поверхности моря) и определение результирующего местоположения АНПА в географических координатах;

– оперативное отображение текущего местоположения АНПА на мониторе поста навигатора, отображение текущих параметров хода выполнения миссии (курс, скорость, глубина, высота над дном и др.).

Основные составляющие навигационного оборудования, разработанные в ИПМТ ДВО РАН: доплеровский лаг, датчик глубины, ЭЛС, ГАНС ДБ с

тремя маяками-ответчиками, ГАНС УКБ.

### *Поисково-измерительное оборудование*

АНПА оснащен акустическим профилографом и двумя гидролокаторами бокового обзора – низкочастотным (ГБО НЧ) и высокочастотным (ГБО ВЧ), цифровой фотосистемой, датчиками температуры и электропроводности. Данные устройства подключены к отдельному компьютеру для анализа, обработки и записи информации. Технические характеристики поисково-измерительного оборудования даны в таблицах 2-4.

### *Комплекс средств связи*

Для двухсторонней связи АНПА и обеспечивающего судна используется радиомодем со скоростью передачи данных не менее 19,2 кбод на дистанции не менее 3 км при нахождении АНПА на поверхности моря. Поддерживаются следующие возможности связи:

– передача на борт АНПА команд, позволяющих управлять его движением по поверхности;

– перепрограммирование и перезапуск АНПА с новой миссией;

– получение данных с борта АНПА.

Система гидроакустической связи, телеуправления и телеметрии обеспечивает на дистанциях до 3 км прием команд управления и излучение сигналов ответа (при общем числе команд 10-12 и скорости передачи – единицы бод), передачу на судно текущей телеметрической информации, содержащей значения скорости, курса, высоты, глубины и координат АНПА, а также прием телеметрической информации с борта судна.

### *Результаты испытаний*

Натурные испытания АНПА «МТ-2010» проводились в различных районах залива Петра Великого. В ходе испытаний проверялась работоспособность отдельных систем, включая системы управления, навигации и связи, движительно-рулевой комплекс, систему энергообеспечения, поисковое и измерительное оборудование. В ходе испытаний оценивались динамические характеристики аппарата и энергопотребление при различных скоростях хода. Кроме того, на специально оборудованном полигоне с установленными целями проверялись возможности выполнения основных задач по назначению, включая сплошной гидролокационный обзор заданного района и сплошное фотообследование выделенных участков района.

Ряд полученных результатов приведен ниже в табл. 5 и на рисунках 4–7.

Таблица 2. Гидролокаторы

Характеристика	ГБО НЧ	ГБО ВЧ
Частота, кгц	80	500
Полоса обзора, м	2'375	2'70
Разрешающая способность по углу, град.	1.5	0.5
Разрешающая способность по дальности, м	0.4	0.05
Производительность, м <sup>2</sup> /ч	4	0,7

Таблица 3. Донный профилограф

Характеристика	Значение
Глубина прозвучивания грунта до, м	30
Разрешение, м	0,3
Производительность, м <sup>2</sup> /ч	150 000

Таблица 4. Цифровая фотосистема

Характеристика	Значение
Изображение	цветное или черно-белое
Разрешение, точек	1392'1040
Фотосъемка во всем диапазоне глубин на расстоянии от объекта, м	1,5-3 м
Период съемки, с	3
Производительность, до м <sup>2</sup> /ч	10000

Таблица 5. Энергопотребление при различных режимах движения

Заданная скорость, м/с	Реальная скорость, м/с	Потребление, Вт
1,0	1,05	124,1
1,5	1,54	268,2
2,0	2,18	600,1
2,5	2,65	1017

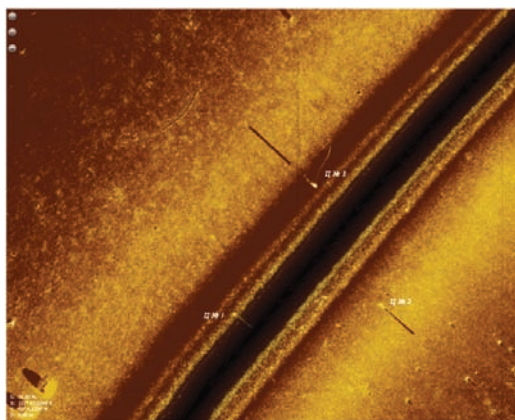


Рис. 4. ГБО-съемка выставленных целей

### Испытания гидролокационных средств

При проведении испытаний АНПА двигался на высоте от 5 до 10 м над дном вдоль ряда ранее установленных целей с известными координатами и геометрическими размерами. В качестве целей ГБО были использованы металлоконструкции в виде цилиндров различной длины с внешним диаметром 0,53 м. Полученное изображение приведено на рис. 4.

При тестировании профилографа использовался режим зондирования донной поверхности импульсными ЛЧМ сигналами. АНПА двигался на глубине 4 м. На рис. 5 представлены фрагменты данных, полученных при работе профилографа.

### Испытания фотосистемы

Фотосъемка проводилась с периодом 3 с при движении АНПА на высоте 3 м. Примеры изображений приведены на рис. 6.

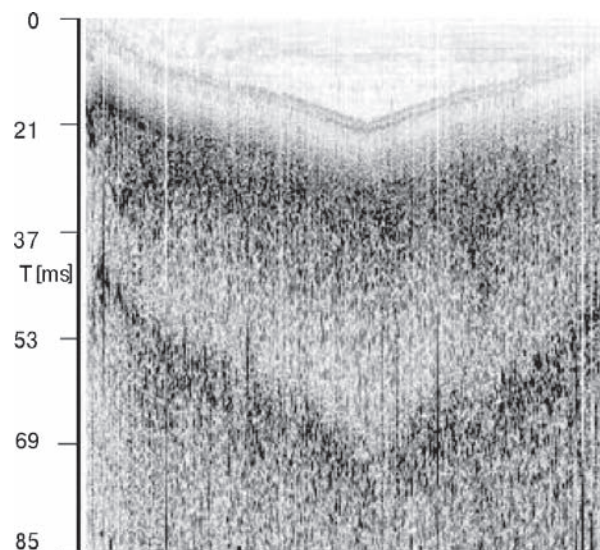


Рис. 5. Профилограмма дна по маршруту движения

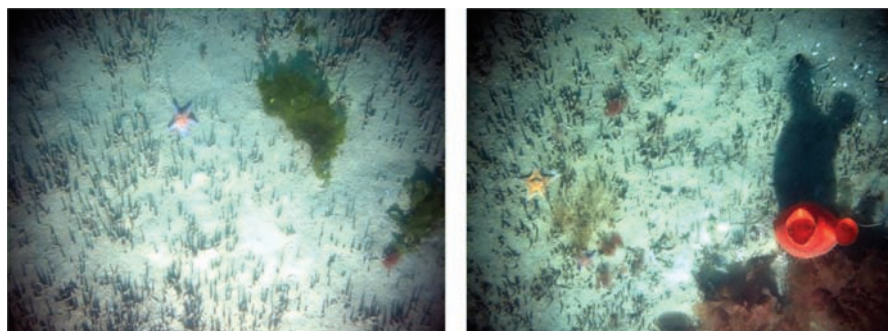


Рис. 6. Результаты работы фотосистемы

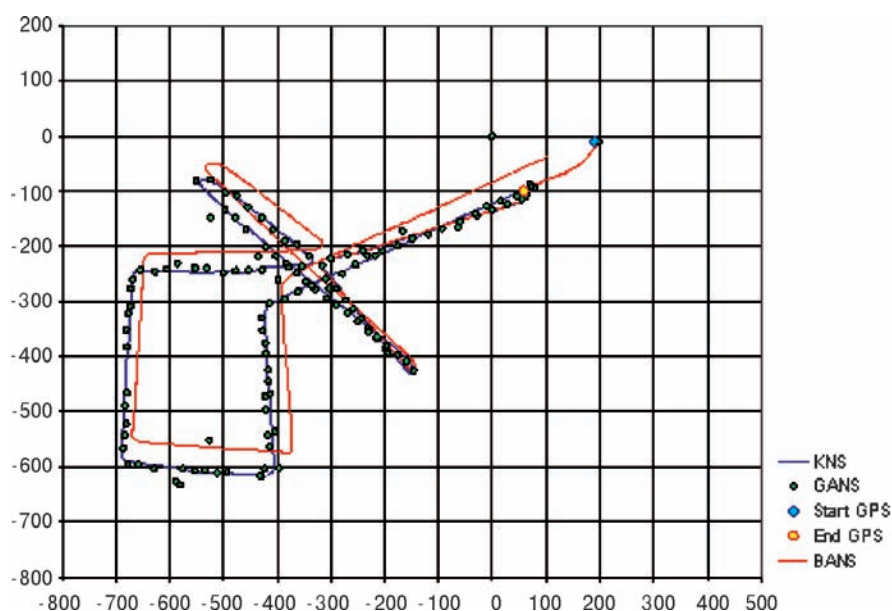


Рис. 7. Траектория движения АНПА по данным БНС



### **Испытания навигационных средств**

На рис. 7 приведена траектория движения АНПА, отображаемая на борту судна во время выполнения контрольного пуска по проверке работы навигационных средств.

На рисунке показаны три траектории. Окружности GANS показывают точки траектории, полученные по данным ГАНС с использованием сети из трех маяков-ответчиков. Вторая траектория KNS обозначена тонкой линией и получена с

применением алгоритмов комплексированной навигационной системы путем коррекции численной траектории по данным ГАНС. Жирной линией обозначена траектория, полученная методом счисления. Общее время выполнения миссии составило 4609 с. Пройденный путь по данным КНС составил 3464 м, по данным счисления – 3501 м. Погрешность измерения пути, полученного счислением (без коррекции от ГАНС), относительно данных КНС не превышает 1%. Погрешность

измерения координат в точке всплытия составила 13 м для координат, полученных с применением коррекции по данным ГАНС, и 81 м для координат, полученных методом счисления.

### **Благодарности**

Авторы считают создание АНПА «МТ-2010» коллективным проектом ИПМТ ДВО РАН и выражают глубокую благодарность всем сотрудникам Института за вклад в работу.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Горнак В.Е., Инзарцев А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Щербатюк А.Ф. ММТ-3000 – новый малогабаритный автономный необитаемый подводный аппарат ИПМТ ДВО РАН // Подводные исследования и робототехника. 2007. № 1(3). С. 12–20.
2. Инзарцев А.В., Каморный А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Рылов Н.И. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для научных исследований в Арктике // Подводные исследования и робототехника. 2007. №2(4). С. 5–14.

