

УДК 551.46.077:629.584

КОМПЛЕКС РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ И ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ШЕЛЬФЕ

**Ю.В. Матвиенко, А.А. Борейко, В.В. Костенко,
О.Ю. Львов, Ю.В. Ваулин**

Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Институт проблем морских технологий ДВО РАН¹

Создан подводный робототехнический комплекс для выполнения обзорно-поисковых работ на шельфе, состоящий из двух автономных и одного телеуправляемого необитаемых подводных аппаратов (АНПА/ТНПА) и комплекта навигационного, вспомогательного и обеспечивающего оборудования. Отличительной особенностью комплекса является сокращение времени поисково-обследовательской операции, что подтверждается приведенными материалами выполнения морских работ. Комплекс может обеспечивать мониторинг состояния дна в выделенном водном районе с размещением аппаратуры управления на берегу, оперативные поисковые работы в различных районах на шельфе, при размещении оборудования комплекса на судне-носителе, а также контроль состояния подводных гидротехнических сооружений, в том числе и корпусов судов. Техническая реализация комплекса предусматривает возможности как одновременной работы всех аппаратов в одной акватории, так и работы каждого из трех аппаратов одновременно в различных акваториях. Комплекс в полном объеме обеспечен технической документацией в соответствии с требованиями действующих стандартов. Эта документация в короткие сроки может быть адаптирована к производству комплекса или отдельных его составных частей в условиях «Центра по проектированию и производству подводных роботов», который в настоящее время построен в г. Владивостоке.

1. Общие сведения

В течение последнего десятилетия ИПМТ ДВО РАН выполнил ряд поисково-обследовательских операций в различных районах Мирового океана с использованием подводных аппаратов собственной разработки, например, в Арктике при обследовании подводного хребта Ломоносова [1], в Охотском море при поиске утерянного радиоизотопного теплоэнергоисточника (РИТЭГ) [2], в Татарском проливе при обследовании акваторий вблизи острова Русский. Идеи, реализованные при разработке настоящего комплекса, его состав, структура, модели применения обобщают опыт поисковых морских операций в мелком море и направлены на значительное увеличение эффективности таких работ. Проблемы, возникающие

при проведении поисковых работ, можно показать на примере поиска РИТЭГ в Охотском море. Автономным необитаемым подводным аппаратом (АНПА) в ходе гидролокационного поиска в обширном мелководном районе было установлено более тысячи целей. Дописк и детальное обследование обнаруженных целей выполнялись бортовыми фотосредствами этого аппарата. Типовая миссия АНПА для фотообследования единичной цели предусматривает движение малой скоростью в окрестности этой цели параллельными плотными галсами. По времени эта операция, даже при надежно установленных географических координатах цели, как правило, не менее продолжительна, чем первичная гидролокационная съемка всего района.

В условиях мелкого моря доиск может быть выполнен телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом (ТНПА) с оптическим каналом связи, причем в составе поисковых комплексов, в которых автономный аппарат, со всеми средствами его обеспечения, дополнен управляемым по кабелю подводным аппаратом и унифицированными средствами управления и навигационной поддержки обоих аппаратов. В составе таких комплексов высокая производительность гидролокационных средств АНПА дополняется высокой оперативностью осмотровых операций, выполняемых ТНПА. Важным условием успешного выполнения

¹ 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а. Тел./факс: (423) 243-24-16. E-mail: yumat@marine.febras.ru

совместных работ является точная навигационная привязка, что достигается способностью аппаратов различных типов работать в одном подводном навигационном пространстве. Характеристики предполагаемых целей и их координатная привязка, получаемые в результате работы автономного аппарата, являются исходными данными ТНПА для дообследования и классификации целей. Причем в случае оперативного поступления исходных данных на борт обеспечивающего судна запуск ТНПА может быть сделан до завершения миссии автономного аппарата и его подъема на борт носителя. Двухэтапное решение поисково-обследовательской задачи позволяет резко сократить время и снизить затраты на выполнение обзорно-поисковых работ [3].

Отличительными особенностями созданного комплекса, направленными на сокращение времени поисково-обследовательской операции, являются также наделение ТНПА автоматической системой бортового управления, аналогичной системе управления АНПА, и расширение интеллектуальных функций автономного аппарата с обеспечением на его борту процедур первичной обработки информации систем технического зрения для выделения целей и определения их географических координат. АНПА также имеет возможность оперативной передачи содержательных текущих данных на борт судна-носителя. После анализа этой информации оператором комплекса и принятия решения о необходимости дообследования выделенных объектов может быть выполнен запуск телеуправляемого аппарата. В посту управления предусмотрена возможность

одновременной работы как автономного, так и телеуправляемого аппаратов без изменений обеспечивающего оборудования навигации и связи. Кроме того, АНПА и ТНПА обладают возможностями автоматического выхода в точку подводного пространства, заданную географическими координатами или обозначенную установленным ранее гидроакустическим маркером. Реализация перечисленных возможностей фактически позволяет говорить о создании новых технологий подводных поисковых и специальных работ на шельфе, включающих:

- сплошное гидролокационное обследование донной поверхности в заданном районе;
- акустическое профилирование верхнего слоя донного грунта, выборочное по маршруту следования или сплошное в заданном локальном районе поиска;
- сплошное фотообследование донной поверхности локального района;
- поиск и отслеживание состояния и размещения объектов подводной инфраструктуры;
- сбор данных для формирования картин полей физико-химических параметров обследуемых районов по номенклатуре датчиков, установленных на борту аппарата;
- детальное фото и видеообследование выделенных целей;
- длительный мониторинг заданных районов акваторий;
- выполнение ряда установленных работ на выделенных объектах.

В составе аппаратуры управления разработанного комплекса также применены современные методы сбора, накопления, обработки и представления доставленной информации в удобном для потребителя виде. Программные

средства аппаратуры управления значительно упрощают технологию применения комплекса, обеспечивая:

- прием и первичную обработку пакетов данных, доставляемых АНПА или ТНПА и включающих абсолютное время, навигационные данные по маршруту следования, данные поисковых средств и измерительных средств (температура, глубина, скорость течений, соленость, скорость звука), данные видеозаписи;
- систематизацию и хранение полученной информации в базе исходных данных с привязкой к карте поискового района на многослойной основе;
- высокоточное картографирование целей, обнаруженных при помощи бортовых поисковых средств на электронных картах;
- высокоточное картографирование, отображение и обработку результатов сопутствующих измерений, получаемых при помощи бортовых средств АНПА (параметры течений, батиметрические измерения, гидрофизические параметры водной среды, поля скорости звука) на электронных картах;
- создание и адресацию текстовых и цифровых фото/видео комментариев (паспортов целей) после обследования и последующей классификации обнаруженных и картографированных объектов;
- нанесение траекторий текущей и ранее выполненных миссий АНПА на картографическую основу обнаруженных объектов, нанесение и редактирование границ районов обследования;
- визуализацию состояния дна и водной среды на основании текущих и накопленных архивных данных;
- построение мозаики съемки гидролокационного поиска

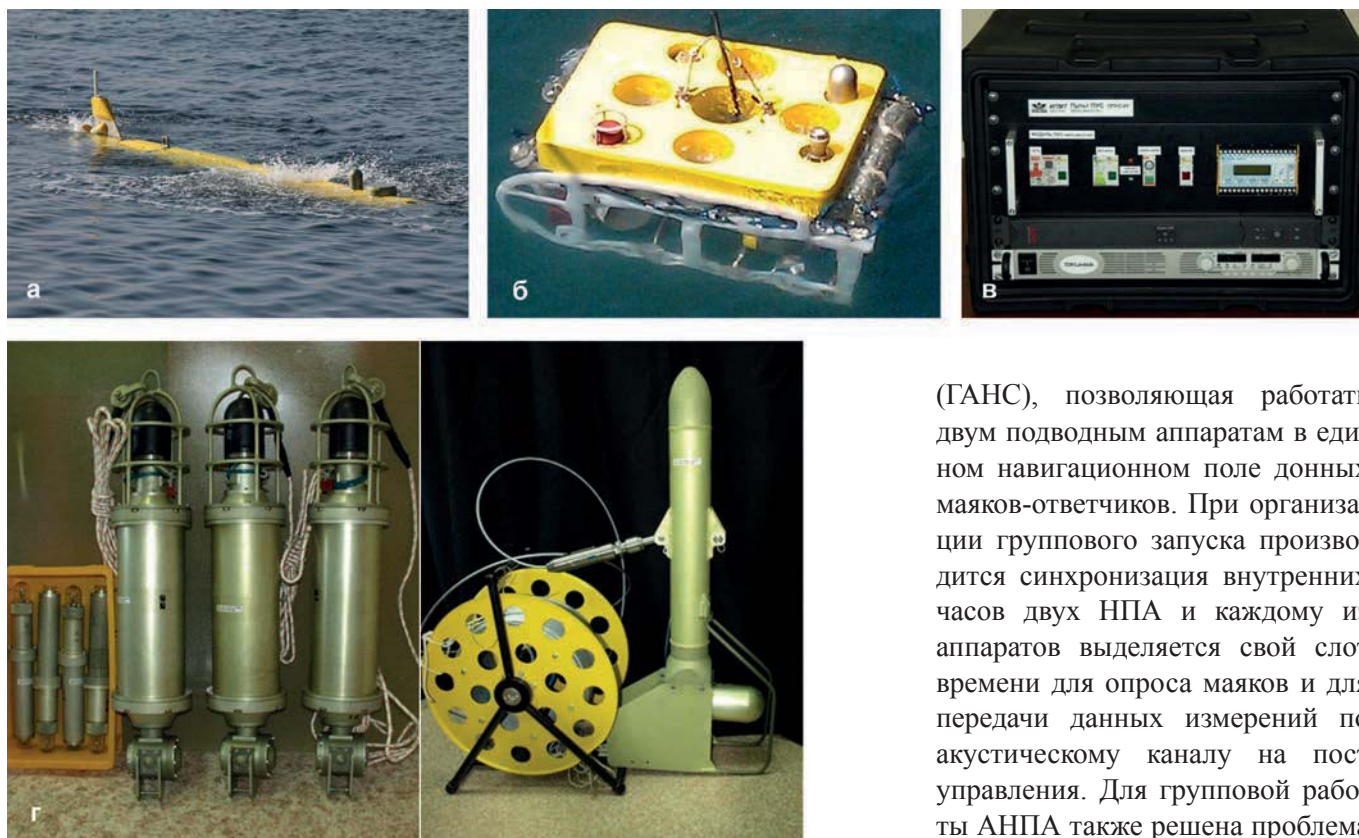


Рис. 1. Оборудование комплекса: а – АНПА; б – ТНПА; в – блок судовой аппаратуры управления; г – гидроакустические навигационные средства

с нанесенными маркерами и привязкой к карте обследуемого района на многослойной основе;

- построение мозаики съемки фотосистемы с нанесенными маркерами и привязкой к карте обследуемого района на многослойной основе;

- ввод, хранение, отображение и выдачу справочной информации, включая тактико-технические данные потенциально опасных объектов;

- стыковку и согласование данных от вышеперечисленных систем, формирование непрерывного отображения данных по маршруту следования и привязку их к электронной карте, выделение объектов, группировку данных по выделенным объектам, создание информационной основы работы средств классификации и идентификации объектов;

- подготовку выходных документов на картографической основе.

2. Технические характеристики комплекса

В состав комплекса входят два АНПА, ТНПА, мобильный пост управления и связи, гидроакустические средства навигации и связи, вспомогательное оборудование. Фотографии некоторых составных частей приведены на рис. 1.

Технические решения составных частей комплекса – автономного НПА, телеуправляемого НПА, средств навигации и связи – в значительной степени опираются на результаты, полученные ИПМТ в ряде ранних проектов. В то же время в данном проекте внедрен ряд новых решений. Отметим некоторые из них.

Была доработана гидроакустическая навигационная система

(ГАНС), позволяющая работать двум подводным аппаратам в едином навигационном поле донных маяков-ответчиков. При организации группового запуска производится синхронизация внутренних часов двух НПА и каждому из аппаратов выделяется свой слот времени для опроса маяков и для передачи данных измерений по акустическому каналу на пост управления. Для групповой работы АНПА также решена проблема телеуправления и радиомодемной связи при их одновременном запуске.

В состав комплекса автономного аппарата интегрирован ТНПА. По своему составу и характеристикам система управления и навигации ТНПА унифицирована с аналогичной системой АНПА. Данный подход по своей сути является инновационным. Благодаря развитой системе управления и высокоточной навигационной системе ТНПА фактически приобрел свойства, ранее характерные для автономных аппаратов [4]. В частности, стало возможным автоматическое управление ТНПА (выполнение программы-задания), использование встроенных функций, таких как стабилизация положения над объектом на основе данных от системы технического зрения; автоматический выход в точку с заданными координатами. Для выхода в точку используются спутниковые навигационные средства, в этом случае ТНПА

движется к месту погружения по поверхности. При движении под водой для выхода к цели используются данные от ГАНС. На основе информации об измеренных дальностях до маяков-ответчиков на борту ТНПА осуществляется коррекция численных координат. Это позволяет существенно повысить точность измерения координат на борту ТНПА и организовывать автоматическое приведение аппарата в целевые точки, координаты которых получены по результатам работы АНПА.

При создании программного обеспечения комплекса применен Qt – кроссплатформенный инстру-

ментарий разработки программного обеспечения (ПО) на языке программирования C++. Данный шаг позволил получить ПО, которое при необходимости можно легко переносить на компьютеры с различными операционными системами. Внедрен и испытан новый интерфейс взаимодействия процессов, также поддерживающий кроссплатформенность.

Программно-аппаратные средства в составе аппаратов комплекса в целом имеют традиционную структуру (рисунки 2–3).

Данная структура имеет следующие особенности:

- Широкое использование микроконтроллеров на нижнем

уровне базовых систем комплекса. На микроконтроллеры возлагается задача подключения внешних измерительных и исполнительных устройств, сенсоров, подсистем, организация предварительной обработки данных, поддержка сетевых интерфейсов для связи устройств с бортовыми компьютерами АНПА, ТНПА.

- Вычислительные задачи на АНПА, ТНПА распределены между бортовыми компьютерами (компьютер системы бортового управления и навигации, компьютер системы технического зрения), разработанными на базе одноплатных вычислителей LX-800. Пост управления содержит два

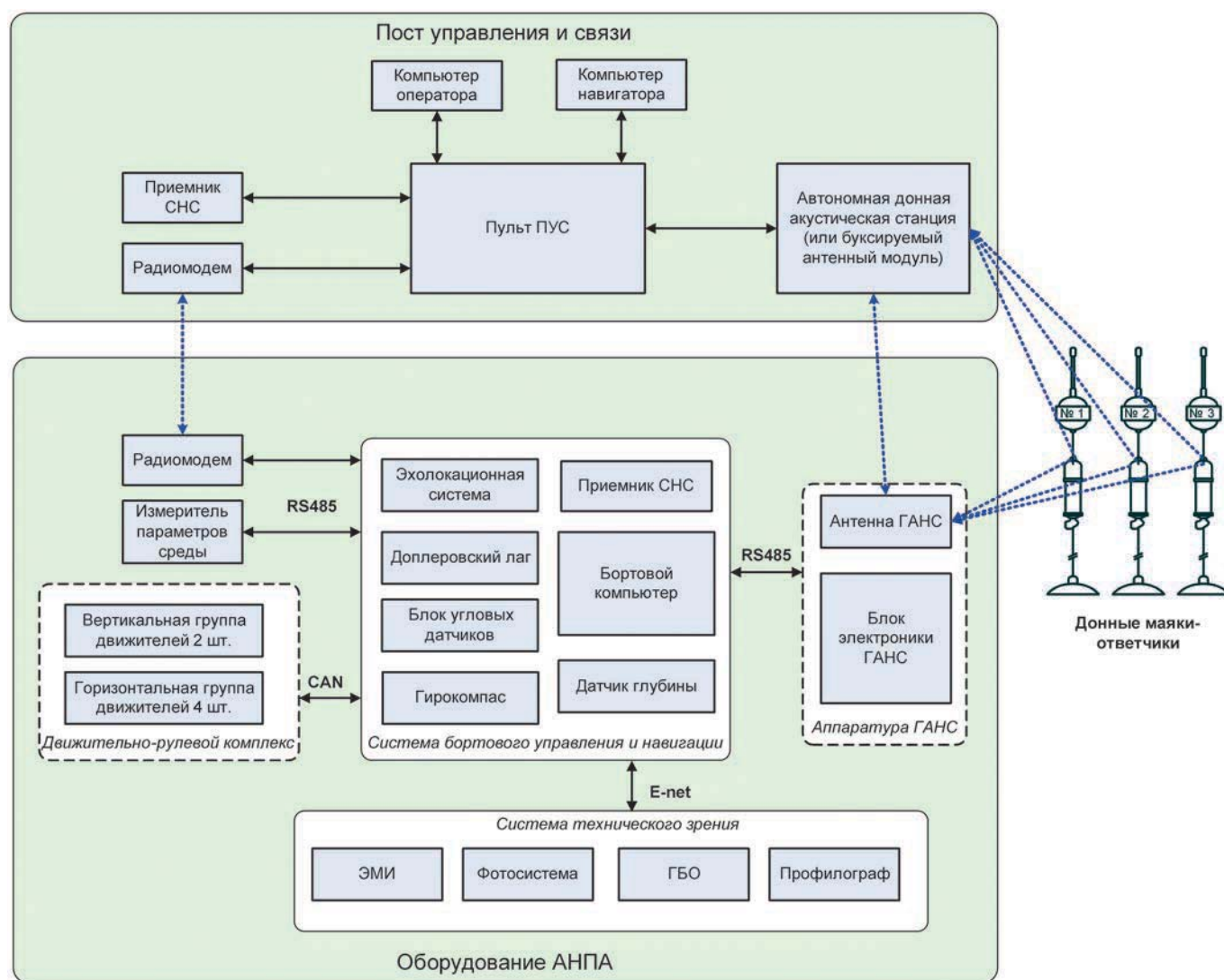


Рис. 2. Функциональная схема АНПА

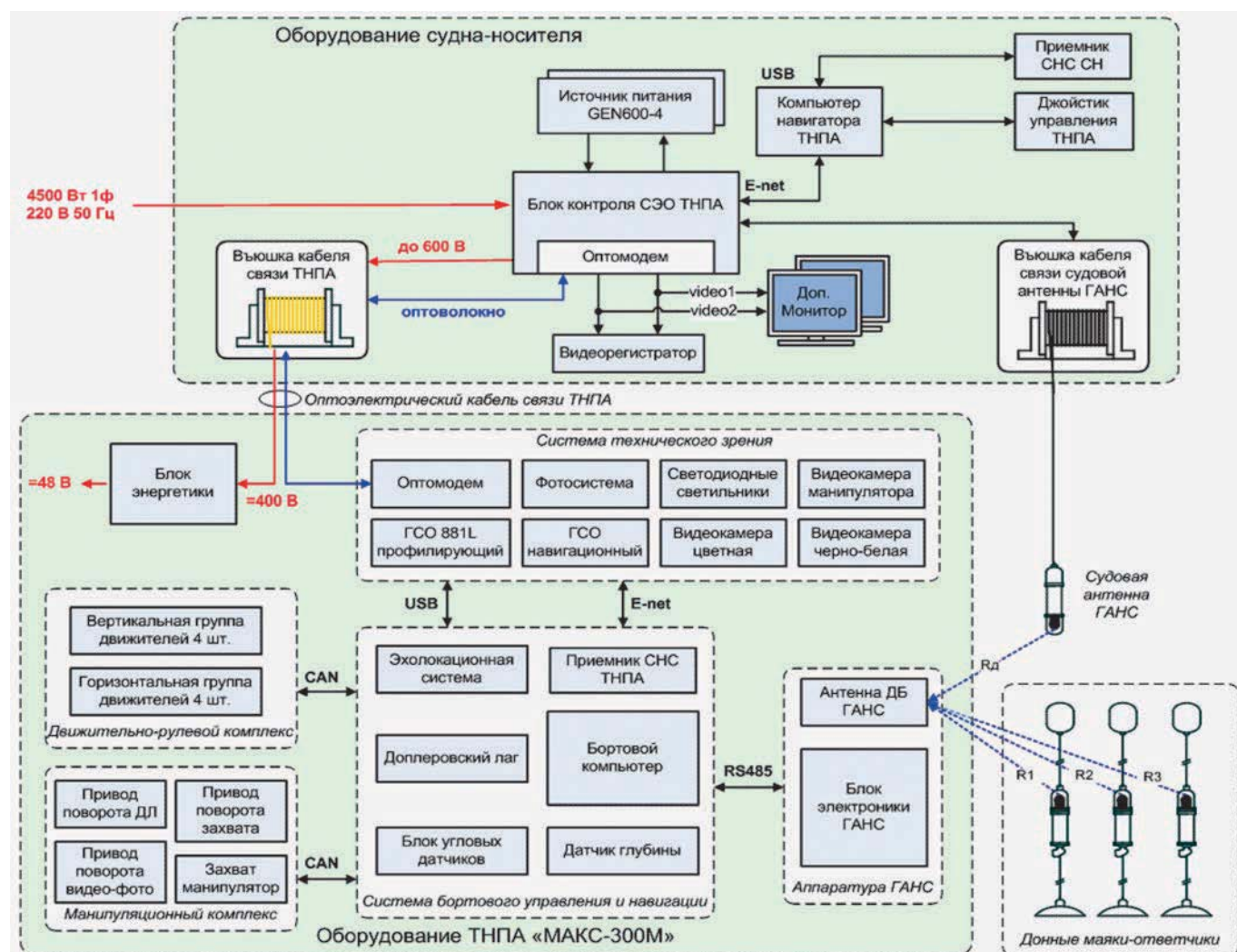


Рис. 3. Функциональная схема ТНПА

мобильных компьютера - навигатора и оператора АНПА.

- Компьютеры и микроконтроллеры комплекса объединены в локальную вычислительную сеть, включающую каналы Ethernet 10/100 и несколько сегментов последовательных интерфейсов RS-485 и CAN. Для связи между пультовым оборудованием постов Оператора и Навигатора с АНПА применяются канал Ethernet, гидроакустический канал связи и радиомодемы с каналом RS-232. Канал Ethernet используется, когда АНПА находится на борту обеспечивающего судна и подключен к пульту оператора через соединительный электрический кабель. Наличие высокоскоростного кана-

ла Ethernet позволяет минимизировать время подготовки АНПА к пуску и время на извлечение данных измерений после окончания работ. Когда АНПА находится на поверхности моря, осуществлять управление движением АНПА можно по радиомодему. Также по радиомодему можно при необходимости загружать новую программу-задание и извлекать небольшие блоки данных. Во время движения АНПА при необходимости используется супервизорное управление аппаратом по акустическому каналу связи.

- Программное обеспечение на бортовых компьютерах и компьютере оператора функционирует под управлением распределенной

операционной системы реального времени QNX 6.5. Отдельные программы и драйвера, входящие в состав комплекса, выполняются в виде параллельных вычислительных процессов с индивидуальными приоритетами, обмен данными между программами производится с использованием встроенного в операционную систему механизма обмена сообщениями.

- Функционально оборудование и программное обеспечение АНПА и ТНПА делятся на два блока. Первый блок – система бортового управления и навигации. В СБУН решаются задачи навигации и управления движением носителя. Второй блок – система технического зрения (СТЗ). В СТЗ

производятся накопление и обработка данных гидролокаторов бокового и секторного обзора, фотосистемы, профилографа, электромагнитного искателя.

Навигационный комплекс АНПА включает в себя систему счисления координат в которую входят: гироскоп и магнитный компас, датчики крена и дифферента, датчики угловых скоростей, датчик глубины, доплеровский лаг, развитая эхолокационная система. Для коррекции численных координат используются данные от спутниковой навигационной системы и данные от ГАНС. Единственным отличием навигационной системы ТНПА от таковой АНПА является отсутствие гироскопа.

3. Особенности АНПА

Общий вид АНПА, его конструктивный облик и размещение навесного оборудования и антенн с установленными блоками плавучести показаны на рис. 4.

Особенности системы бортового управления и навигации (СБУН) нового аппарата

Среди новых технических решений необходимо отметить доработку СБУН за счет сетевой организации его устройств, что делает систему гибкой и открытой для последующих модернизаций. Дублирование измерителей основных параметров (курс, скорость, дифферент, угловая скорость) позволяет обеспечить высокую надежность системы и гарантировать успешное завершение миссии даже в случае отказа ряда датчиков. Использование в локальной сети протокола RS-485 обеспечивает наращиваемость и высокую способность системы к реконфигурации. В локальной сети, разделенной на два сегмента, выделен отдельный сегмент для базовых

устройств, дополнительно обеспечивающий работу АНПА в случае возникновения аварийных ситуаций. В случае аварии возможно отключение от питания отдельных систем, в том числе, при необходимости, возможно отключение бортового компьютера с передачей функций управления на системный контроллер. Для связи бортового компьютера СБУН с другими компьютерами АНПА и с компьютером оператора АНПА предназначен высокоскоростной канал связи Ethernet.

Вычислитель контрольно-аварийной системы (КАС) с аварийными датчиками обеспечивает высокую надежность функционирования СБУН АНПА за счет высокоточного контроля состояния элементов питания по температуре, напряжению, току потребления, а также развитой системы аварийных защит по току, короткому замыканию, температуре.

Основной задачей навигационной части СБУН является

формирование данных о местоположении и ориентации АНПА. Навигационная программа выполняется как отдельный процесс на бортовом компьютере СБУН. Для вычисления местоположения и ориентации АНПА в пространстве система обрабатывает данные о текущем курсе, углах дифферента и крена, скорости и направлении движения и глубине. Для коррекции численных координат используются данные измерений внешних навигационных систем – спутниковых или гидроакустических. Надежность функционирования системы обеспечивается за счет резервирования средств измерений отдельных навигационных параметров.

Навигационные модели основаны на счислении пути и предусматривают работу без поддержки маяков-ответчиков и с их установкой. В случае полного покрытия заданного района работ полем маяков-ответчиков ГАНС на борту АНПА организуется непрерывная

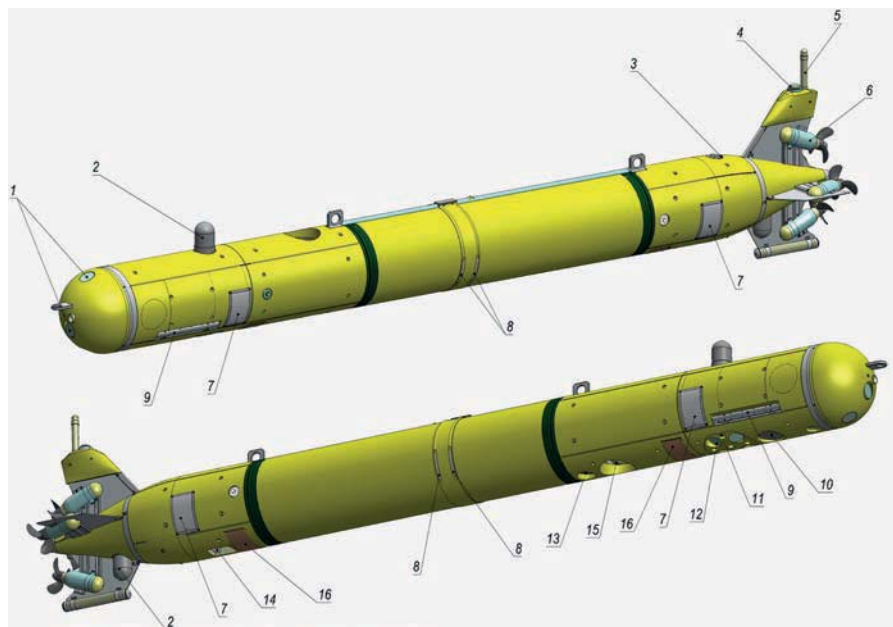


Рис. 4. Конструктивный облик АНПА: 1 – эхолот; 2 – антенна ГАНС; 3 – относительный лаг; 5 – антенна радиомодема; 6 – маршевый движитель; 7 – антенна электромагнитного искателя (ЭМИ) передающая; 8 – антенна ЭМИ приемная; 9 – антенна гидролокатора бокового обзора (ГБО); 10 – антенна передающая акустического профилографа; 11 – антенна приемная акустического профилографа; 12 – антенна доплеровского лага (ДЛ); 13 – фотокамера; 14 – импульсный светильник; 15 – шахта подруливающего устройства; 16 – аварийный балласт

коррекция численных координат по данным измерений ГАНС и повышается точность измерения координат с устранением эффекта накопления погрешности.

Бортовые средства гидроакустической навигации и связи совместно с судовыми средствами обеспечивают определение координат АНПА на его борту и на посту управления в реальном времени, а также обмен телеметрической информацией между АНПА и постом управления.

Оборудование полезной нагрузки АНПА

Оборудование полезной нагрузки АНПА включает систему технического зрения из гидролокатора бокового обзора, акустического профилографа, электромагнитного искателя, фототелевизионной аппаратуры, а также измеритель параметров среды. В основном эти устройства разработаны ранее. Их характеристики можно найти, например, в [5]. Акустический профилограф модернизирован за счет применения новых антенн. Используются две антенны: излучающая, состоящая из одного модуля, и приемная, состоящая из решетки гидрофонов. Раздельные прием и излучение позволяют уменьшить уровень реверберации, что является очень важным фактором при работе на малых глубинах.

Размещение антенн профилографа и пример работы профилографа показаны на рис. 5.

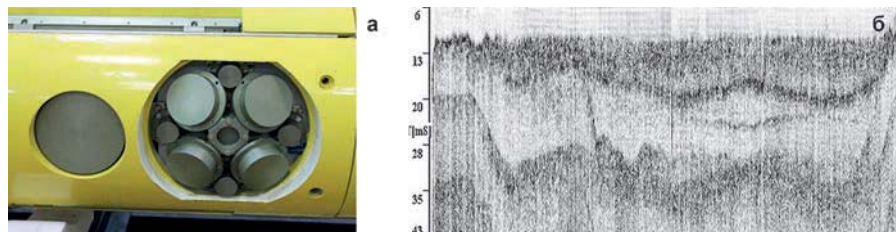


Рис. 5. Вид на антенны профилографа и доплеровского лага (а) и профилограмма дна (б). Общая длина обследуемого участка 1700 метров

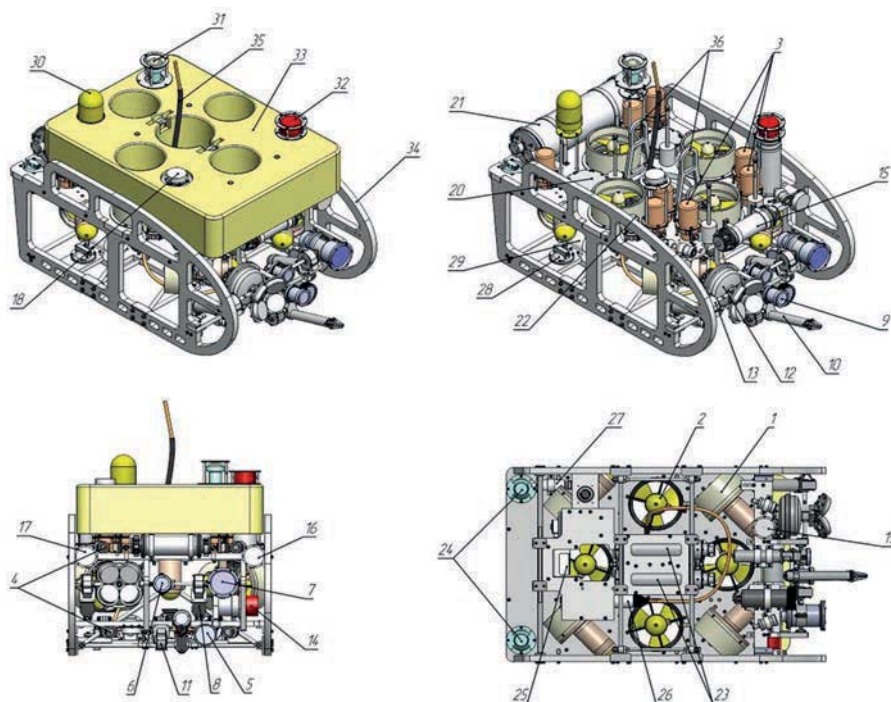


Рис. 6. Конструктивный облик ТНПА: 1 – двигатель горизонтальный; 2 – двигатель вертикальный; 3 – БУД; 4 – светильник; 5 – видеокамера; 6 – поворотная цветная видеокамера; 7 – фотокамера; 8 – привод вращения видеосистемы; 10 – захват-манипулятор; 11 – привод поворота захвата-манипулятора; 12 – доплеровский лаг; 13 – привод поворота доплеровского лага; 14 – профилирующий ГСО; 15 – блок электроники ЭЛС; 16, 17, 18, 19 – антенны ЭЛС; 21 – контейнер блока электроники СБУН; 22 – блок управления приводом поворота ДЛ; 23 – блоки энергетики; 24 – компенсаторы давления заборного монтажа; 25 – импульсный светильник; 26 – наконечник кабеля связи; 27 – датчик давления; 28 – компенсатор давления импульсного светильника; 29 – источник питания импульсного светильника; 30 – антенна ГАНС; 31 – приемник СНС со световым маяком; 32 – навигационный ГСО; 33 – блок плавучести; 35 – кабель связи; 36 – рымы крепления грузоподъемного стропа

4. Особенности ТНПА

Конструктивный облик ТНПА показан на рис. 6. В составе комплекса ТНПА обеспечивает решение задач идентификации подводного объекта, ранее обнаруженного АНПА, и задач контроля состояния подводных гидротехнических сооружений.

Типовой сценарий идентификации донной цели с известными

географическими координатами состоит из следующих этапов:

- вывод ТНПА по поверхности в окрестность цели по данным спутниковой навигационной системы;
- заглубление аппарата и выход к цели по данным от маяков ГАНС;
- допоиск цели в ходе обзорно-поисковой съемки дна с помощью гидролокатора секторного обзора (ГСО);
- наведение по ГСО до визуального контакта с целью;
- детальное обследование донной цели с помощью ГСО, видеокамер и фотосистемы.

При инспектировании гидротехнических сооружений и бездоковом освидетельствовании корпусов кораблей выполняются следующие операции:

- поступательное движение ТНПА вдоль корпуса корабля на заданной дальности обследования со стабилизацией углового положения по сигналам от эхолотационной системы (ЭЛС), доплеровского лага и навигационных датчиков СБУН;

- определение координат ТНПА относительно корпуса обследуемого корабля на основании данных лага на поворотной платформе и ЭЛС;

- гидроакустическая съемка поверхности корпуса корабля ГСО;

- фото-, телевизионная съемка поверхности корпуса корабля с регулированием угла наклона платформы фото-, телекамер в продольно-вертикальной плоскости ТНПА;

- определение координат перемещений ТНПА относительно объекта по данным цифровой фотосистемы;

- передача на корабельный носитель в реальном времени информации, поступающей от видеокамер и ГСО, а также координат ТНПА относительно корпуса обследуемого корабля, определенных средствами СБУН.

Особенности управления и навигации ТНПА

Ключевой особенностью ТНПА является создание системы автоматического управления и комплексированной навигационной системы. По своему составу и характеристикам навигационные системы ТНПА и АНПА унифицированы. Типовая система навигации ТНПА включает в себя магнитный компас, угловые датчики (крен, дифферент), датчики угловых скоростей (рыскание, крен, дифферент) и датчик глубины. В состав разработанного аппарата дополнительно были включены: доплеровский лаг, эхо-

локационная система, приемник спутниковой навигации и приемопередатчик ГАНС. На основе информации об измеренных дальностях до маяков-ответчиков ГАНС осуществляется коррекция численных координат и реализуются алгоритмы комплексирования навигационных данных, что позволяет существенно повысить точность измерения координат на борту ТНПА и организовывать автоматическое приведение аппарата в точку с заданными географическими координатами.

Развитая эхолотационная система обеспечивает возможность высокоточного позиционирования и координатной привязки данных измерений в ходе инспектирования донных сооружений и корпусов судов. ЭЛС ТНПА включает в себя четыре локатора. Для измерения углового положения ТНПА относительно корпуса судна кроме данных ЭЛС также используются четыре дистанции, измеренные ДЛ. Антенны ДЛ ТНПА расположены на управляемой поворотной платформе. Благодаря такому тех-

ническому решению стало возможным направлять ДЛ на осматриваемую поверхность объекта и измерять скорость движения относительно нее. Это может быть полезно, например, при осмотре корпуса судна, когда судно находится в дрейфе, а результаты фото- и видеосъемки необходимо привязать к системе координат, связанной с корпусом судна (рис. 7).

Кроме варианта с простым числением координат по данным лага при осмотре подводных сооружений возможно использование схемы с применением судовой антенны ГАНС (рис. 8). В этом случае судовая антенна ГАНС размещается стационарно на заранее известной глубине погружения и горизонтальном отстоянии от инспектируемой поверхности. СБУН по данным о дальности до судовой антенны ГАНС, глубине погружения судовой антенны и аппарата производит вычисление положения ТНПА в системе координат, привязанной к объекту осмотра.

При работе ТНПА в ряде случаев необходимо обеспечить

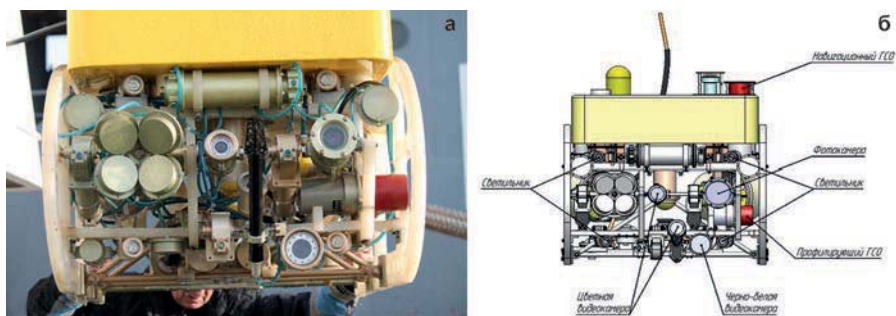


Рис. 7. Вид на носовую часть ТНПА

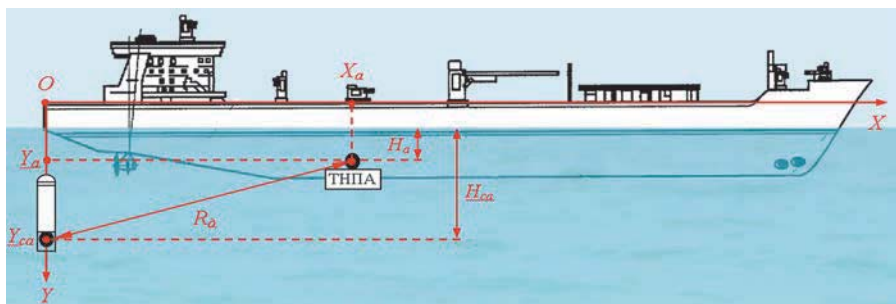


Рис. 8. Позиционирование ТНПА относительно корпуса судна с применением судовой антенны ГАНС

высокоточное измерение линейных и угловых перемещений аппарата относительно характерных объектов как на грунте, так и на обследуемой поверхности. При этом становится возможной реализация высокоточного перемещения ТНПА относительно инспектируемых объектов в режиме детальной видеосъемки, а также «мозаичирование» полученного фотоматериала. Для решения задачи прецизионного позиционирования аппарата над объектами морского дна в режиме видеонавигации в системе управления ТНПА присутствует специализированный модуль, который получает фотоизображения от драйвера телевизионной системы и передает управляющие команды регулятору движения. Основной задачей при этом является определение координат смещения аппарата за период фотосъемки 2 с. Смещение аппарата рассчитывается путем распознавания текущего кадра фотосистемы. В качестве шаблона для распознавания берется предыдущий кадр (при расчете траектории аппарата по счислению пути) или заранее выбранный оператором опорный кадр с объектом позиционирования (для удержания аппарата над выбранным объектом).

Результаты испытаний показали, что ТНПА стабильно удерживается над объектами морского дна в течение длительного времени (самый длительный эксперимент длился около 40 мин) без потери объектов из поля зрения в условиях течения порядка 0,1 м/с.

Развитое навигационное обеспечение позволяет реализовать следующие режимы автоматического движения ТНПА командным уровнем СБУН:

- автоматическое приведение в точку с заданными географическими координатами;
- автоматическое приведение в толще воды в точку донной по-

верхности с заданными географическими координатами;

- автоматическое движение в толще воды по заданной траектории при обследовании донной поверхности;
- автоматическая инспекция подводных сооружений и корпусов кораблей вертикальными и горизонтальными галсами;
- динамическое позиционирование аппарата над объектом по данным цифровой фотосистемы.

5. Некоторые примеры морских работ

В этой части статьи приведены некоторые примеры морских работ, выполненных в ходе отладки комплекса и его применения по назначению.

Автоматическое наведение ТНПА на цель с известными географическими координатами

Подтверждение возможности выхода на цель выполнялась при работе в реальных условиях в комплексе с поисковым АНПА. Предварительно в районе была развернута ГАНС из трех маяков-ответчиков и установлена условная цель. Далее средствами АНПА была произведена гидролокационная съемка донной поверхности. При этом навигация АНПА осуществлялась в режиме с коррекцией счисленных координат по данным ГАНС. На втором этапе производились запуски ТНПА. Локальная система координат ТНПА была привязана к системе координат, в которой проводился локационный поиск. На рис. 9 показан скриншот планшета ТНПА с картой местности и изображением участка съемки.

ГБО-изображение цели привязывается к карте района на географическом планшете оператора

ТНПА, где 3 – ГБОграмма, полученная АНПА, 2 – отметка цели (точка финиша), 1 – отметка ТНПА (точка старта). Далее ТНПА в автоматическом режиме двигался к отметке цели. Траектория движения ТНПА к цели с известными географическими координатами и конечное его положение в районе поиска на момент захвата цели бортовым ГСО также представлены на рис. 9.

Результаты проведенного эксперимента подтвердили, что применение на ТНПА развитой навигационной системы с возможностью счисления координат по данным от ДЛ, пилотажных датчиков и ГАНС позволяет значительно упростить работу по поиску и обнаружению объектов с известными географическими координатами. В ходе испытаний подтверждена возможность управления движением ТНПА в полностью автоматическом режиме по заданной программе как полностью автономным аппаратом. При этом оператор может в любой момент прервать выполнение миссии и взять управление на себя. Практическая целесообразность таких режимов очевидна, например, при площадной фотосъемке дна, возврате ТНПА к обеспечивающему судну, обследовании гидротехнических сооружений и т.п.

Выполнение обследования судовых механизмов и подъемных операций

На рис. 10 приведены материалы, иллюстрирующие возможности ТНПА для осмотра подводной части корпусов судов и подъема подводного объекта.

Одновременная работа двух АНПА в одной акватории

Во вводной части была отмечена одна из особенностей

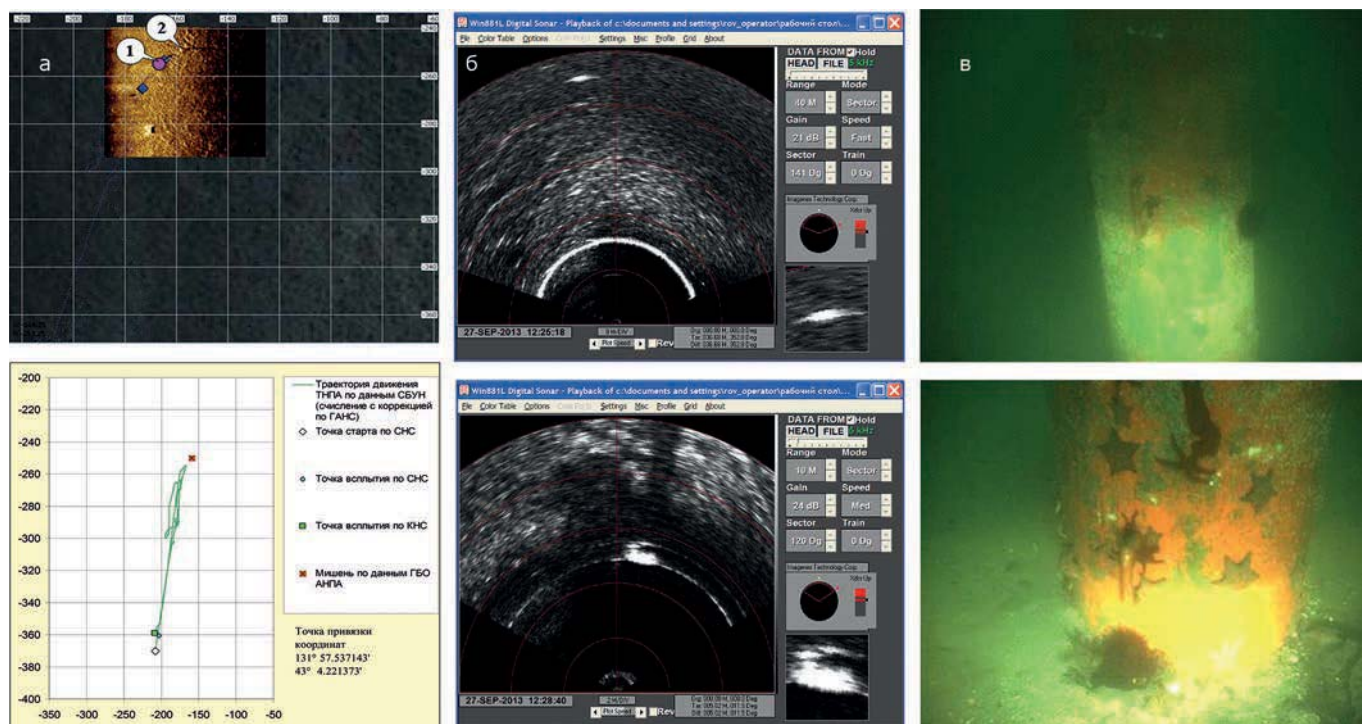


Рис. 9. Автоматическое наведение ТНПА на цель с известными географическими координатами (а); этапы сближения ТНПА с целью по ГСОграммам (б): до цели 36 м (вверху) и 5 м (внизу); фотоснимки выхода ТНПА на визуальный контакт с условной целью в полуавтоматическом режиме (в)

комплекса – возможность работы двух аппаратов в одной акватории. На рис. 11 показаны тра-

ектории аппаратов АНПА 1 и АНПА 2, полученные во время группового запуска. Запуск обо-

их аппаратов осуществлялся с пирса полигона ИПМТ. Процедура запуска включала в себя подготовку индивидуальной миссии для каждого АНПА. Затем, после синхронизации внутренних часов АНПА, оба аппарата были поочередно спущены на воду и находились в режиме ожидания команды на старт движения. После получения команды на погружение по радиомодему (каждому аппарату отдельно) АНПА приступили к выполнению заложенной программы. Слежение за аппаратами во время выполнения миссии осуществлялось с одного поста навигатора, при этом на мониторе навигатора одновременно отображались две траектории. Опрос маяков-ответчиков аппаратами во время группового запуска производился поочередно, таким образом, период опроса маяков для каждого АНПА при работе в группе увеличился с 30 с до 60 с.

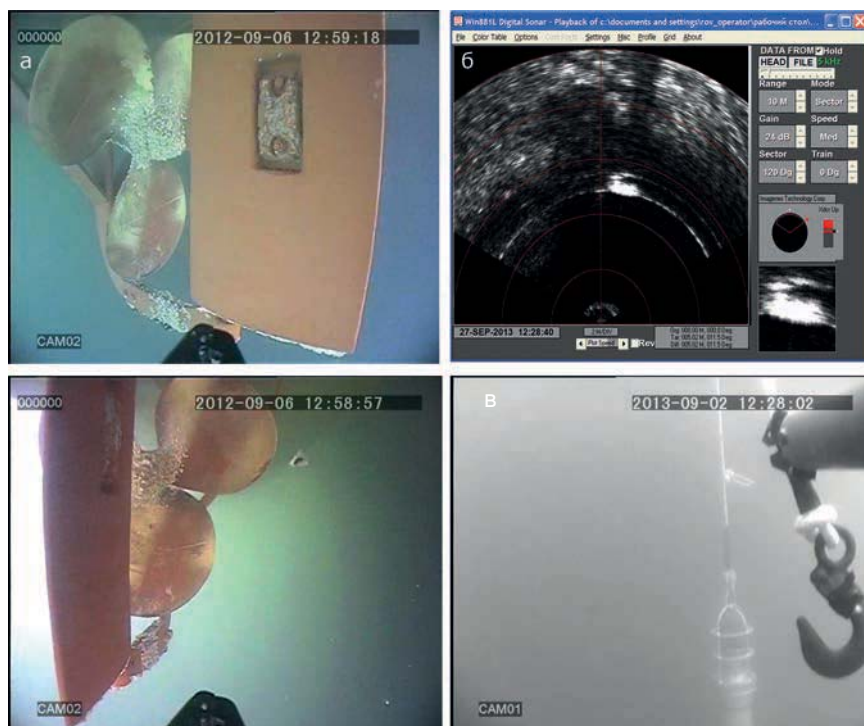
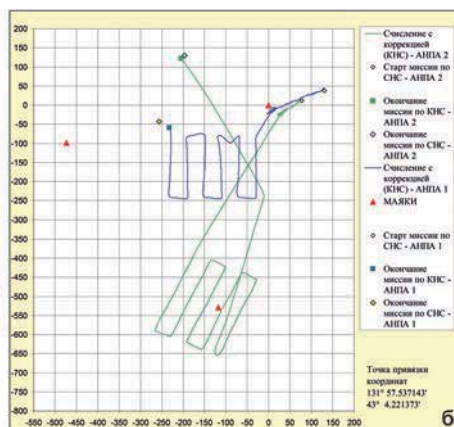


Рис. 10. Выполнение ТНПА обследования судовых механизмов и подъемных операций: а – стоп-кадры видеосъемок винто-рулевой группы НИС «Юрий Молоков»; б – выход на объект подъема по ГСО; в – стропление объекта манипулятором



Рис. 11. Запуск двух АНПА: а – АНПА в исходном состоянии; б – траектории движения аппаратов



Отображение данных в геоинформационной системе

Данные, доставляемые АНПА и ТНПА, импортируются в геоинформационную систему поста

управления. Процедуры обработки обеспечивают отображение результатов работы систем технического зрения и измерительных устройств на многослойных электронных картах и их привязку

к географическим координатам и единому времени. На рис. 12 изображены траектория движения АНПА и полученные данные, среди которых мозаика гидролокационного поиска, поле скорости звука и батиметрическая карта исследуемого района.

Выполнение комплексной поисково-обследовательской операции по поиску малоразмерных целей

В ходе контрольных тренировок по выполнению поисковой операции в мелководном районе было сброшено три небольших металлических предмета. Далее выполнялась поисковая операция,

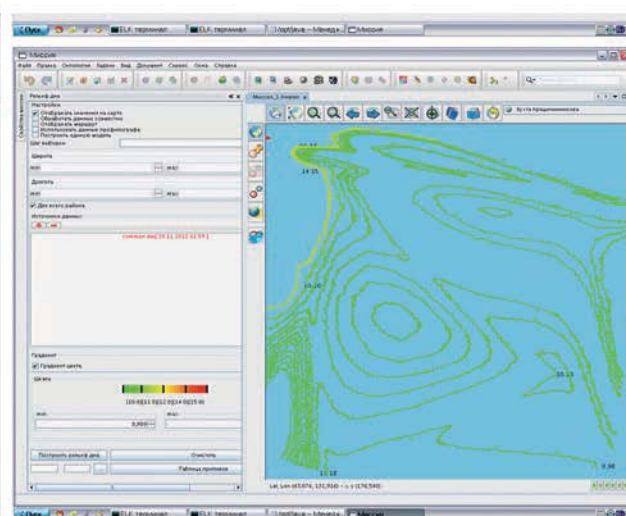
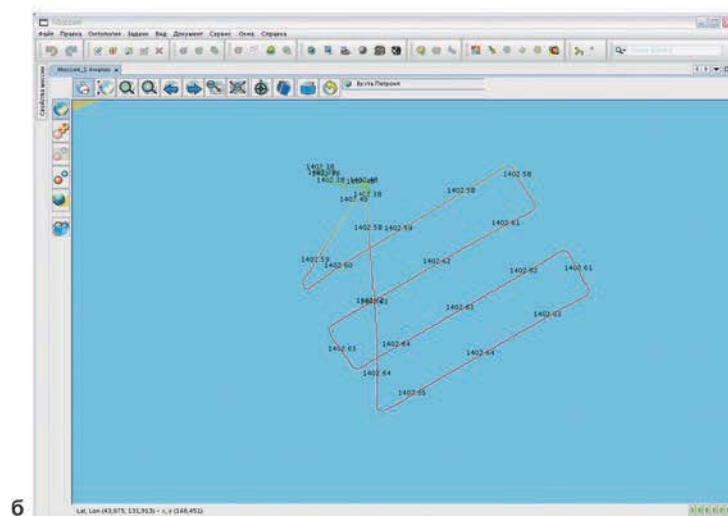
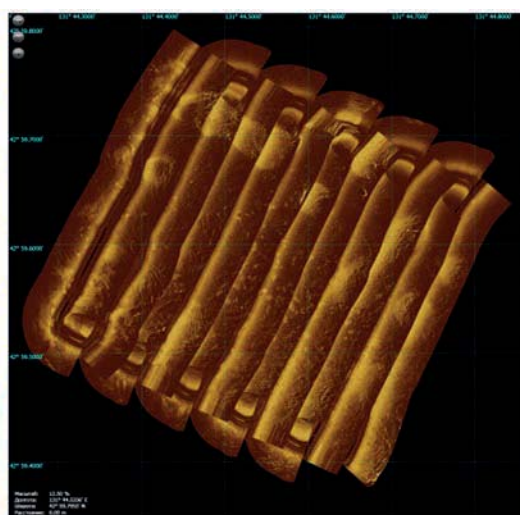
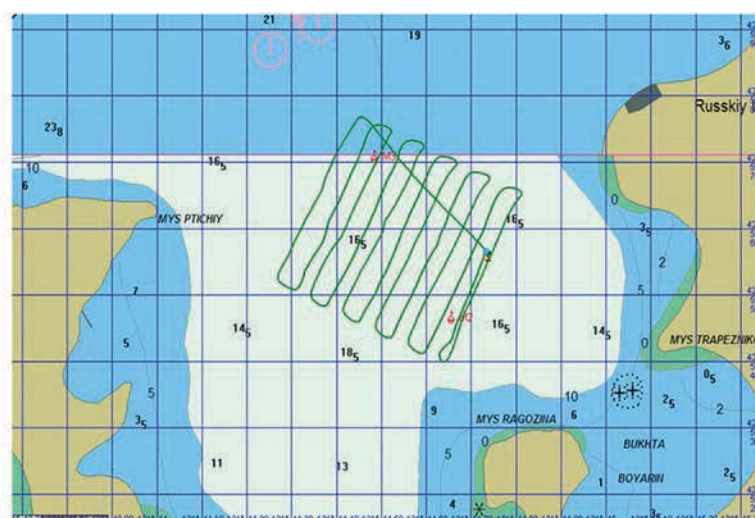


Рис. 12. Отображение данных, полученных АНПА, в геоинформационной системе: а – траектория движения и планшет гидролокационного изображения; б – данные по трассе движения: скорость звука и батиметрическая карта

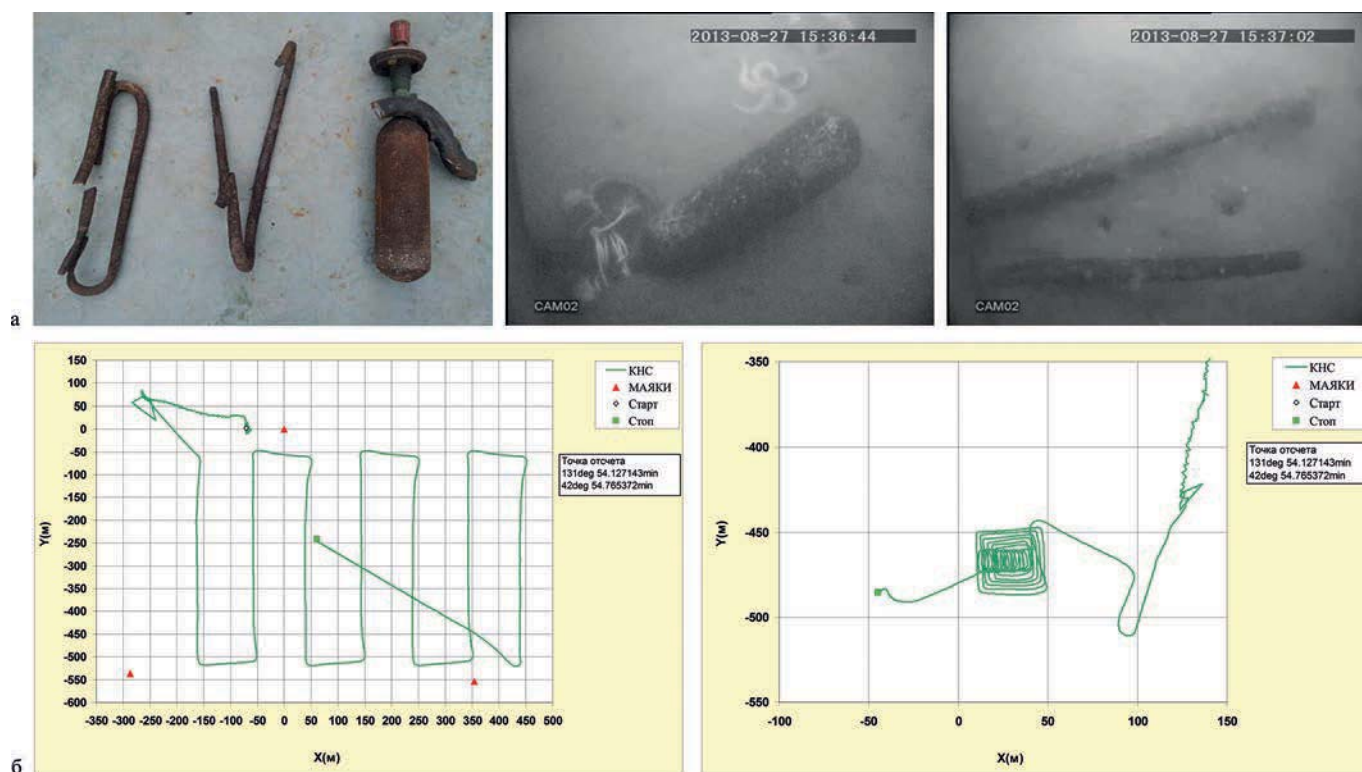


Рис. 13. Поиск малоразмерных предметов на дне моря с использованием АНПА, ТНПА и навигационных средств: а – фотографии объектов перед сбросом и на дне; б – траектории поиска АНПА и ТНПА

состоящая из следующих последовательных действий:

- подготовка донных маяков к установке в районе, выбор мест их установки, установка, определение географических координат маяков;
- подготовка АНПА для выполнения работы по общему освещению донной обстановки бортовым гидролокатором бокового обзора и бортовой фототелевизионной аппаратурой;
- пуск АНПА с рабочей программой поиска, контроль хода выполнения по гидроакустическому каналу связи;
- завершение работы АНПА, подъем АНПА на борт судна;
- считывание и анализ доставленных данных;
- подготовка ТНПА для выполнения дообследования обнаруженных целей;

- пуск ТНПА, выход в назначенную точку, выполнение обследования гидроакустическими и видеосредствами;

- подъем ТНПА;
- сбор установленных маяков-ответчиков.

Общее время такой операции в акватории с глубиной около 50 м составило несколько часов.

Результаты работы иллюстрируются на рис. 13.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. С. 5–14.
2. Кузнецов О.Л., Матвиенко Ю.В., Рылов Н.И., Наумов Л.А. Опыт широкомасштабного поиска подводного потенциально опасного объекта в Охотском море // Подводные исследования и робототехника. 2010. № 2(10). С. 36–43.
3. Наумов Л.А., Матвиенко Ю.В. Подводные робототехнические комплексы для обзорно-поисковых работ на шельфе // Пятая Всерос. науч.-тех. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана». Владивосток: Дальнаука, 2013. С. 4–7.
4. Ваулин Ю.В., Костенко А.В., Павин А.М. Навигационное и алгоритмическое обеспечение ТНПА для эффективного решения задач идентификации донных целей и инспекции морских объектов // Пятая Всерос. науч.-тех. конф. «Технические проблемы освоения мирового океана». Владивосток: Дальнаука, 2013. С. 30–40.
5. Борейко А.А., Горнак В.Е., Мальцева С.В., Матвиенко Ю.В., Михайлов Д.Н. Малогабаритный многофункциональный автономный необитаемый подводный аппарат «МТ-2010» // Подводные исследования и робототехника. 2011. №2. С. 37–42.