



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра морские информационные системы
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**На тему Обоснование состава и характеристик гидроакустических
средств автономного необитаемого подводного аппарата экологического
мониторинга**

Исполнитель Виговский Кирилл Вячеславович

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат технических наук

(ученая степень, ученое звание)

Попов Владимир Александрович

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю» Заведующий кафедрой

(подпись)

(ученая степень, ученое звание)

(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2018 г.

Санкт–Петербург 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ	6
1.1 Краткое описание необитаемых подводных аппаратов.....	6
1.2 Автономные необитаемые подводные аппараты.....	6
1.2.1 Общая характеристика	6
1.2.2 Этапы развития АНПА.....	8
1.2.3 Обзор современных АНПА.....	11
1.3 Экологический мониторинг, осуществляемый с помощью АНПА.....	22
2. ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АНПА	28
2.1 Гидроакустические системы навигации. Общие характеристики	28
2.2 Гидроакустические системы связи. Общие характеристики.....	30
2.3 Гидроакустические средства бортовой автономной навигации	30
2.4 Задачи разработки гидроакустического навигационного комплекса....	31
3. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АНПА	35
3.1 Задачи, возлагаемые на АНПА экологического мониторинга.....	35
3.2 Выбор и обоснование гидроакустического комплекса для АНПА	36
3.3 Функционирование отдельных модулей АНПА.....	53
3.4 Функционирование гидроакустической системы связи	67
4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВА АНПА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	80
4.1 Описание типового сценария миссии по экологическому мониторингу с использованием АНПА.....	80
4.2 Определение затрат на реализацию экологической миссии АНПА.....	81
4.3 Расчёт затрат на ликвидацию аварии подводного нефтепровода.....	83
4.4 Техничко-экономическое обоснование экологической миссии АНПА ..	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	87

ВВЕДЕНИЕ

Тема ВКР: обоснование состава и характеристик гидроакустических средств автономного необитаемого подводного аппарата экологического мониторинга.

На сегодняшний день происходит бурное развитие в областях создания элементов искусственного интеллекта, малогабаритных энергоемких источников электропитания, новых сверхпрочных материалов, что в свою очередь позволяет создавать все более широкий спектр автономных робототехнических комплексов [1, 2].

Одним из востребованных направлений является создание робототехнических комплексов морского базирования, среди которых можно выделить важную группу – автономные необитаемые подводные аппараты [3].

Комплексы АНПА решают целый спектр важных и актуальных задач гражданских и военных ведомств [1-9]:

- экологический мониторинг водной среды, в том числе наблюдение за изменением флоры и фауны в заданной акватории;

- донная геологоразведка в труднодоступных районах мирового океана и в арктическом регионе;

- поисковые работы и обследование затонувших объектов;

- фото и видеосъемка в научно-исследовательских, промышленных и военных целях;

- патрулирование водных рубежей и объектов;

- сопровождение военных целей;

- обслуживание коммуникаций портов;

- ведение информационной борьбы путем создания ложных целей и помех;

- проведение разведки пунктов базирования вероятного противника;

- установка, обнаружение или уничтожение минных полей;

подводное обследование корпусов судов, платформ, трубопроводов и др.

Расширение территориальных зон применения и усложнение выдвигаемых задач, требует разработки эффективных и надежных систем доведения команд от ПДРЦ БПУ до комплексов АНПА.

В настоящее время обмен данными с АНПА производят как в надводном (спутниковая связь, WiFi и гидроакустический канал), так и в подводном положении (гидроакустический канал) [5, 10].

Безусловно, основным видом связи для АНПА в надводном положении следует считать спутниковый канал обмена данными, что подтверждается достаточным количеством публикаций именно для данного канала связи, например, [1, 2, 4-7, 9, 10].

В работе [10] рассматривается использование спутникового канала связи для подводных транспортных средств (АНПА). Например, для АНПА «STDV» (США) в пределах радиогоризонта применяется двухсторонний УКВ канал для передачи данных, а для организации связи на более длинные дистанции используется направленный спутниковый канал SATCOM. Однако следует указать важный недостаток канала SATCOM, заключающийся в использовании направленной антенны, которая не позволяет обеспечивать связь в приполярных и полярных районах Земли из-за низкого угла места, т.е. не выполняется требование глобальности обеспечения связи.

В свою очередь в работе [11] рассматривается многофункциональная система персональной спутниковой связи «Гонец-Д1М», которая была разработана в рамках Федеральной космической программы РФ на 2005 – 2015 гг. Система «Гонец-Д1М» обеспечивает организацию связи с глобально удаленными объектами, находящимися в любой точке Земного шара. Глобальность связи удастся обеспечить благодаря использованию всенаправленной антенны (верхняя полусфера), которая не требует сложных систем наведения и сопровождения спутника. Также сама аппаратура

комплекса связи «Гонец-Д1М» имеет малые массогабаритные показатели и энергопотребление, ввиду чего ее размещение на АНПА крайне оправдано.

Однако следует вспомнить, что связь для АНПА необходимо обеспечить в условиях сильного волнения моря. Ввиду этого нужно признать, что использование спутниковой связи может стать проблематичным, например, из-за заливания водой антенны или выхода из строя элементов в тракте спутниковой связи. Исходя из вышесказанного, становится ясно, что для повышения надежности выполнения миссий, АНПА следует обеспечить надёжный гидроакустический канал связи.

На основании вышеизложенного, определим объект выпускной квалификационной работы - автономный необитаемый подводный аппарат экологического мониторинга.

Предмет выпускной квалификационной работы – гидроакустические средства автономного необитаемого подводного аппарата экологического мониторинга.

Цель выпускной квалификационной работы – выбор и обоснование гидроакустических средств для подводного аппарата экологического мониторинга.

Задачи ВКР:

- формирование актуальной информационной базы относительно объекта и предмета выпускной квалификационной работы;
- обзор современных гидроакустических средств, применяемых для АНПА;
- выбор и обоснование средств гидроакустики для АНПА;
- экономическая оценка разработанных технико-конструкторских предложений.

1 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Краткое описание необитаемых подводных аппаратов

Основными трудностями создания и эксплуатации автономных НПА являются разработка источников энергии с высокими удельными характеристиками, исключение использования гидроакустических каналов связи (ТАКС) на большом расстоянии, отсутствие передачи больших объемов информации. Исключить подобные трудности попытались в Канаде при создании автономного дистанционно управляемого аппарата (ARCS), предназначенного для обследования ледовой обстановки и выполнения гидрографических работ в Арктике. Автономные НПА стоимостью около 1,5 млн. долларов оснащены пятью отдельными гидроакустическими системами и 23 микропроцессорами, что позволяет им без управления с поверхности выполнять обследование заданного района моря, площадью свыше 3 квадратных миль, двигаясь по заранее заданному маршруту, самостоятельно обходя препятствия и возвращаясь после этого в исходную точку. Одновременно с этим с аппарата по ТАКС на судно-базу передается информация о местоположении аппарата, глубине места, высоте аппарата над дном, температуре и солености воды в данной точке. Кроме того, ТАКС применяется и для управления аппаратом с судна-базы.

1.2 Автономные необитаемые подводные аппараты

1.2.1 Общая характеристика

Автономный подводный аппарат (АПА) (AUV) - робот, который движется под водой самостоятельно без оператора. Такие аппараты являются частью большей группы подводных аппаратов, называемых беспилотные

подводные аппараты, этот класс включает в себя не автономные дистанционно-управляемые подводные аппараты (ROVs) - которые управляются и питаются с берега оператором (пилотом), или с помощью дистанционного управления.

До относительно недавнего времени, АПА использовались лишь в ограниченных областях применения, в зависимости от имеющихся технологий. С развитием технологий обработки данных и высокоэффективных источников питания, АПА стали использоваться чаще и развиваться.

В нефтегазовой добывающей промышленности АПА используются для построения детальных карт морского дна, перед строительством подводной инфраструктуры; трубопроводов и др. АПА позволяют провести точные обследования в районах, где традиционные батометрические средства могут быть менее эффективными или слишком дорогими. Кроме того, теперь становится возможно проводить обследования труб после прокладки.

Ученые используют АПА для изучения озер, океана и морского дна. Большой набор сенсоров может располагаться на АПА для замера концентрации различных элементов или компонентов, поглощение или отражение света водой, и наличие микроскопического жизни. Кроме того, АПА можно сконструировать и как транспортное средство для доставки датчиков в определенные места.

По форме АНПА — это твердое тело торпедообразное вида, перемещается под водой с целью сбора информации о рельефе и строении верхнего слоя дна, о наличии на дне предметов и препятствий. энергопитания АНПА осуществляется от аккумуляторов или другого типа батарей.

По массе и размерам АНПА условно делят на «большие», «Средние» и «малые». Такое деление соответствует в определенной мере назначению аппаратов, особенностям их конструкции и расходам на изготовление и эксплуатацию.

Размеры и масса аппарата определяются в основном типом энергетической и движущей систем, выбор которых определяется, в свою очередь, автономностью аппарата и энергопотреблением.

Классификация и виды АНПА представлены на рисунках 1, 2.



Рисунок 1 - Виды АНПА



Рисунок 2 - Классификация по внешнему облику

1.2.2 Этапы развития АНПА

За последние два десятилетия в подводной робототехнике, как и в других смежных областях, произошел весьма значительный прогресс, и

многие проблемы, казавшиеся раньше трудноразрешимыми, в настоящее время служат предметом интенсивных исследований и реализации новейших проектов. Некоторые из этих проблем идейно сформировались еще при разработке первых простейших образцов аппаратов, однако, реальный прогресс в технологии и функциональном развитии автономных аппаратов и их систем оказался возможным лишь при использовании новых системных, компьютерных и электронных технологий. Поэтому, пытаясь проследить некоторые тенденции этого развития, мы судим о них с позиций сегодняшнего дня, опираясь, главным образом, на те достижения, которые подтверждены практикой [11-23].

Опыт создания и использования автономных необитаемых подводных аппаратов в различных странах представляется достаточно уникальным и, в определенной мере, является результатом «завоевания» автономными аппаратами своего места в комплексе подводных технических средств [11-23].

Наиболее значительные результаты в последнее время стали возможны благодаря участию в разработках специальных фирм по оснащению аппаратов системами промышленного изготовления на основе международных стандартов, измерительными приборами и научным оборудованием. По сравнению с первыми образцами аппаратов, где преобладали элементы самодельных экспериментальных разработок, в последних проектах применяются в большей степени системы и методы, реализуемые на промышленной элементной базе. Самодельными остаются лишь разработки, либо не имеющие соответствующих аналогов, либо требующие осуществления определенных новаций применительно к условиям АНПА. Доля подобных разработок и экспериментальных исследований остается в настоящее время еще довольно значительной, хотя и снижается в результате внедрения более совершенных технологий.

Современные многоцелевые АНПА представляют собой новый класс подводных робототехнических объектов с присущими им задачами и

практическим применением, особенностями технологии и составом систем. При этом системы, входящие в состав АНПА и судового оборудования, отличаются большим разнообразием по назначению и физическим принципам их работы, что порождает достаточно жесткие и противоречивые требования к технологии конструирования и внутренней системной организации. Расширение функциональных возможностей АНПА связано также с решением ряда новых теоретических задач. В первую очередь, это задачи управления и навигации, ориентирования на местности, сбора и накопления разнообразной целевой информации о среде и, наконец, обеспечения безопасности аппарата в штатных режимах и в особых ситуациях. Необходимо отметить, что не только решение, но и сама постановка подобных задач во многих случаях еще требуют теоретических обоснований и проведения экспериментов на макетах и моделях [11-23].

В том случае, когда речь идет о создании экспериментального аппарата, предназначенного для проведения различных натурных экспериментов по отработке бортовых систем, каждая из систем разрабатывается первоначально с некоторым резервом и размещается на аппарате в индивидуальном блоке. Например, для развития средств и алгоритмов бортовой автономной навигации целесообразно иметь отдельный блок, который наряду с реализацией отработанных алгоритмов счисления координат на базе традиционных датчиков позволял бы экспериментировать с введением в управление новых средств и алгоритмов. Это возможно лишь при наличии в блоке резерва по размещению дополнительных электронных схем, подключению новых датчиков, наращиванию алгоритмов на бортовой ЭВМ, входящей в состав блока. То же самое можно сказать и о других системах, претерпевающих какие-либо изменения в процессе экспериментов. Аналогично и сама конструкция аппарата должна допускать возможность применения различных модификаций.

При создании АНПА, который должен служить рабочим инструментом для выполнения конкретных работ в океане, все его функции должны быть

достаточно отработаны для каждой конкретной конфигурации систем. Какой либо резерв здесь, по крайней мере, нежелателен либо вообще недопустим, поскольку приводит к ухудшению тактико-технических характеристик аппарата. Переналадка рабочего аппарата на заданную функцию должна производиться простыми и надежными способами путем подключения, замены или удаления унифицированных программно-аппаратных модулей [11-23].

1.2.3 Обзор современных АНПА

К наиболее известным АНПА стран - мировых лидеров относятся [12, 13]: серия АНПА «Remus» («Hydroid», США) АНПА «Autosub 6000» (Национальный океанографический центр в Саутгемптоне, Великобритания); АНПА «МТ-2010» (ДВО РАН, Россия) и др.

Отметим, что за последние годы на рынке подводной техники появились новые типы АНПА, которые перемещаются в водной толще с использованием «эффекта планера», с использованием энергии океана и т.д. [14].

Однако, вместе с совершенствованием АНПА постоянно возрастают требования к производительности и качества выполняемых ими подводных работ, в частности, к точности управления одиночным АНПА и группой аппаратов при плавании в сложных навигационных условиях и неопределенности характеристик водной среды.

На начало 2016 - 185 проектов АНПА (рисунок 3) [24].

Мировыми лидерами производства АНПА указаны на рисунке 4.

Наиболее часто АНПА использовались для следующих целей (рисунок 4):

- гражданские миссии;
- военно-морские миссии;

- смешанные миссии;
- экспериментально-исследовательские миссии.

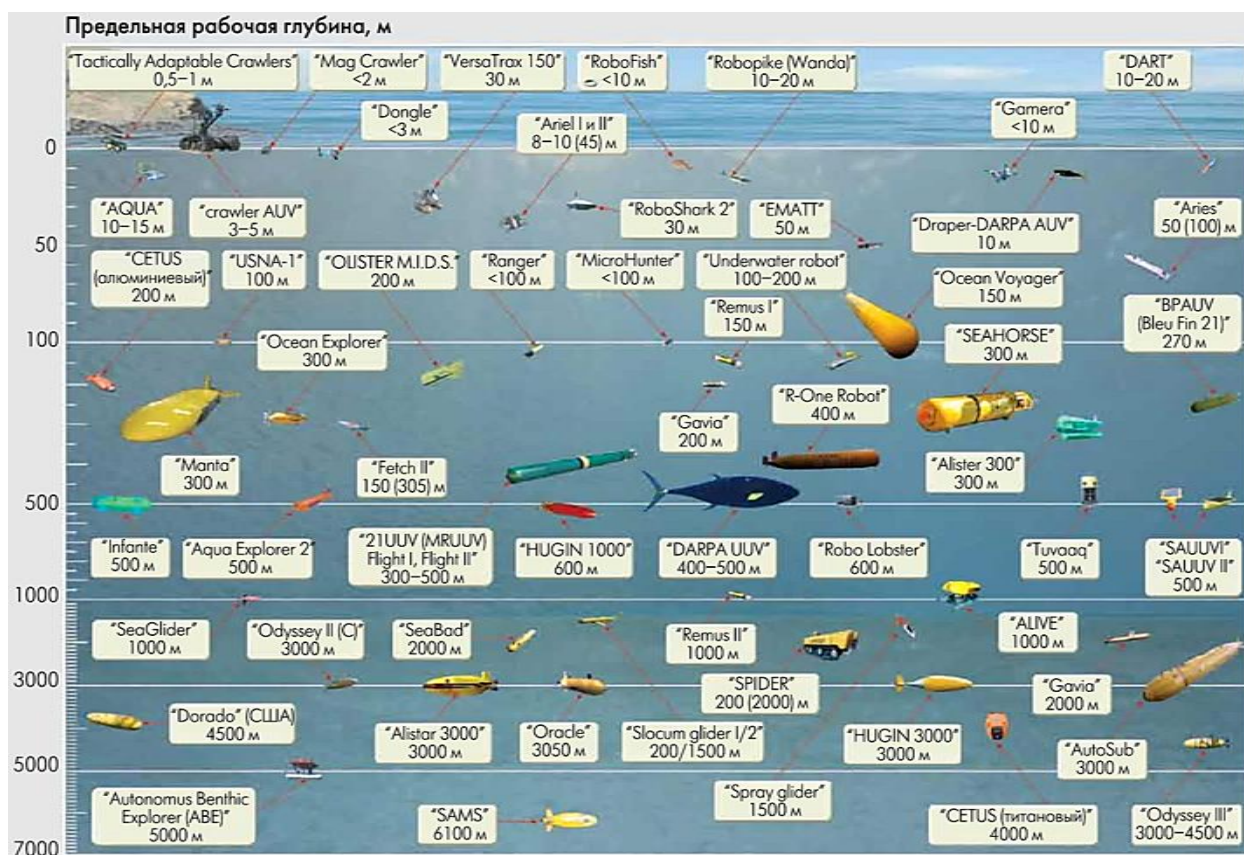


Рисунок 3 - Распределение АНПА по предельным рабочим глубинам

Типовые характеристики современных АНПА представлены в таблице 1.

Внешний вид аппарата показан на рисунке 5. Устройство и размещение основных систем в составе АНПА поясняется рисунке 6.

Структура функционирования основных блоков АНПА указана на рисунке 7.

Технические характеристики поисково-измерительного оборудования даны в таблицах 2-4.

Подводный аппарат GAVIA ОАО «Тетис Про» [26] имеет модульный принцип построения системы, тем самым обеспечивая возможность конфигурации и перестройки в соответствии с требованиями к производимым работам.



Рисунок 4 – Состояние рынка АНПА

Таблица 1 – Характеристика АНПА

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



Рисунок 5 - Внешний вид АНПА

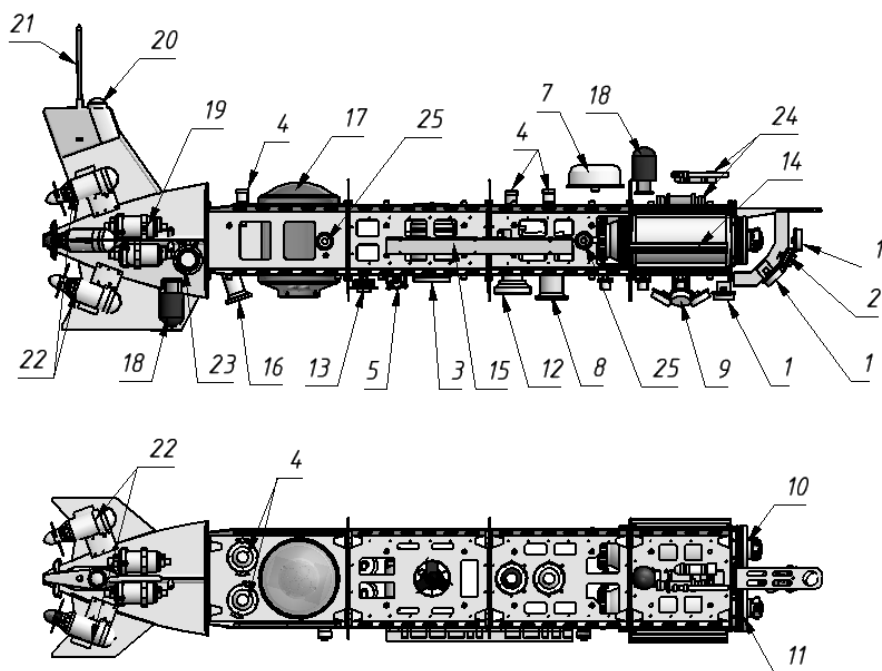


Рисунок 6 - Расположение основных систем АНПА

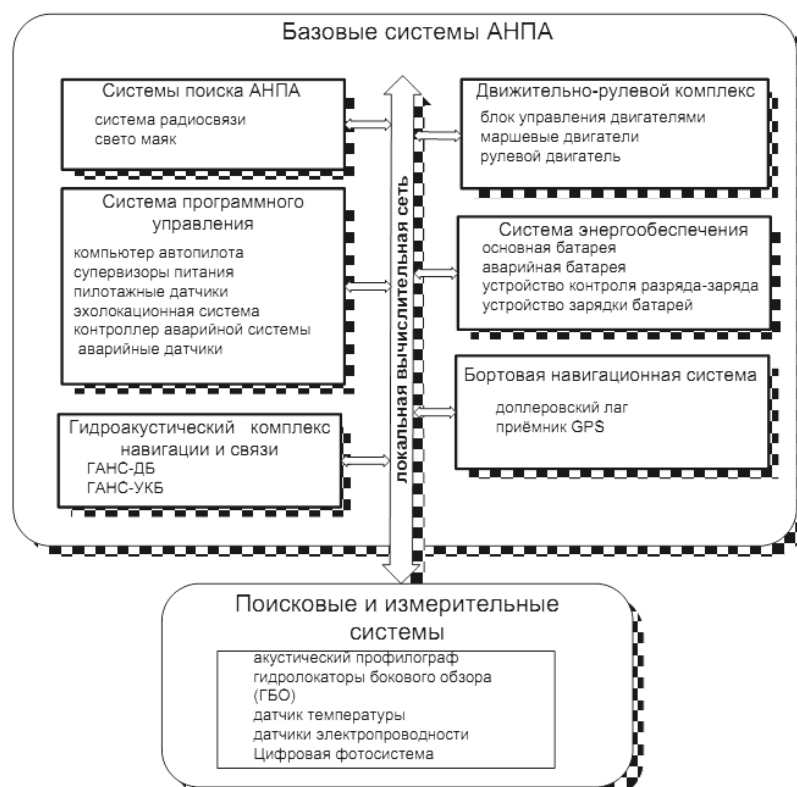


Рисунок 7 - Структура АНПА

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 ² /ч	4	0,7

Таблица 3 - Донный профилограф

Характеристика	Значение
Глубина прозвучивания грунта до, м	30
Разрешение, м	0,3
Производительность, м ² /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 ² /ч	10000



Рисунок 8 – Внешний вид АНПА GAVIA

Основные системы, входящие в состав АНПА: система управления ПА, система энергообеспечения, движительно-рулевой комплекс, навигационный

комплекс, информационно-измерительная система, система передачи данных, комплекс технического зрения.

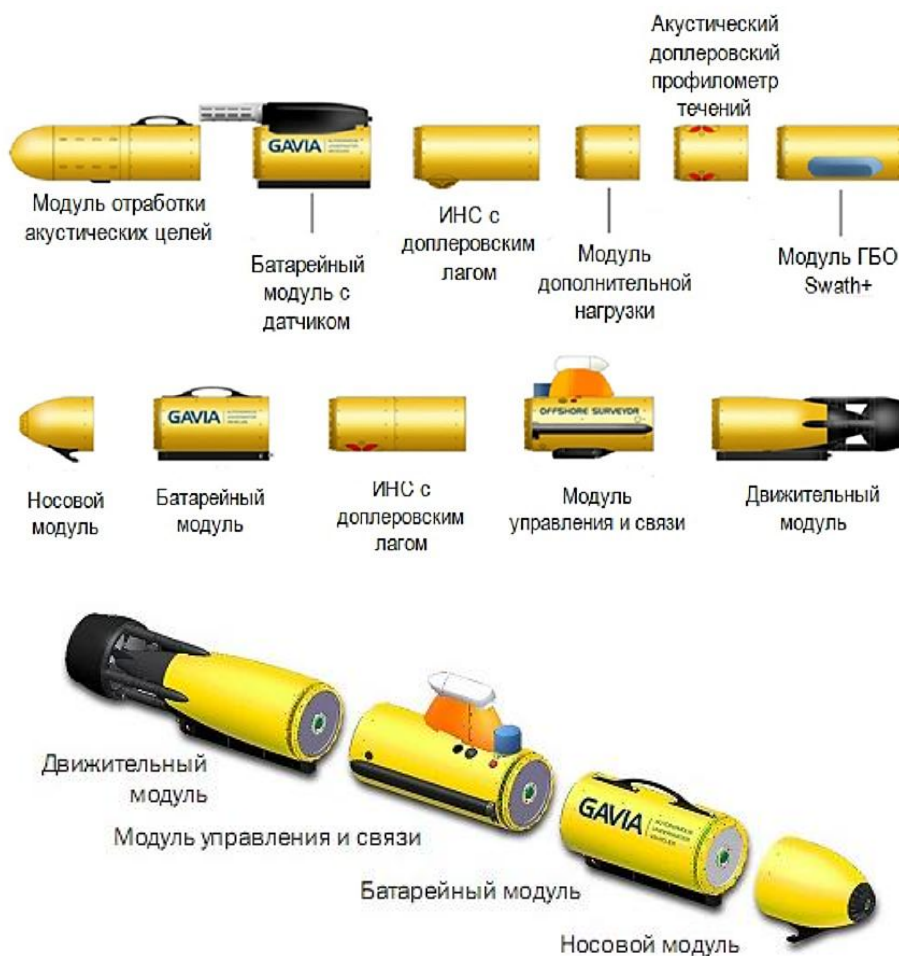


Рисунок 9 – Конструкция АНПА GAVIA

Модуль управления и связи является «ядром» аппарата, представляет собой систему программного управления, содержит основной компьютер аппарата, управляющую электронику, программное обеспечение управления аппаратом, установленное на ПК. Также модуль включает в себя стандартное коммуникационное оборудование: для связи на поверхности – беспроводную локальную вычислительную сеть (Wi-Fi), проводную локальную вычислительную сеть (Ethernet), спутниковую связь Иридиум; для передачи данных в подводном положении — гидроакустическая система связи (ГАСС), реализованная посредством акустической модемной пары. Информационно-измерительная система, реализованная в данном модуле,

содержит измерители основных параметров среды — датчики температуры, давления (глубины), электропроводности, скорости звука и т.д.

Система энергообеспечения аппарата реализована в батарейном модуле, состоящем из литий-ионных аккумуляторов, зарядных устройств, элементов управления питанием.

Автономность ПА зависит от типа энергетической системы.

При минимальном количестве задействованных при прохождении миссии устройств, имея емкость одного батарейного модуля равную 40 Ач, АНПА «GAVIA» может пройти дистанцию около 45 км, при скорости хода 1,53 м/с.

Движительно-рулевой комплекс расположен в движительном модуле. В качестве пропульсивной установки используется гребной электродвигатель. Управление курсом, креном, дифферентом осуществляется за счет независимых рулевых устройств.

Система технического зрения, представленная на рассматриваемом аппарате, состоит из гидролокатора бокового обзора (ГБО), фотокамеры, впередсмотрящего эхолота для уклонения от столкновений. Система получает данные обзора и съемки дна, а также информации, необходимой для управления. Комплекс данной системы может включать гидролокаторы кругового обзора, многолучевые гидролокаторы, интерферометрические ГБО, профилографы.

Навигационный комплекс состоит из бортовой, гидроакустической, спутниковой навигационных систем. Бортовая система представляет собой комплексированную доплеринерциальную систему, состоящую из высокоточной бесплатформенной инерциальной навигационной системы (ИНС).

ИНС корректируется данными доплеровского лага, который измеряет скорость аппарата над грунтом или относительно воды. Использование данных о высоте над грунтом, предоставляемых доплеровским лагом, позволяет АНПА удерживать расстояние от дна, необходимое для

выполнения съемки ГБО или фотографической съемки. Для получения позиции в надводном положении используется приемник DGPS. Гидроакустическая навигационная система обеспечивает определение позиции АНПА с установленным на борту маяком-ответчиком относительно приемо-передающей антенны либо установленных на дне маяков.



Рисунок 10 – Модификации АНПА GAVIA

Модульная архитектура подводного аппарата позволяет интегрировать в систему новые модули, разработанные как производителями оборудования, так и конечными пользователями. Базовая конфигурация служит платформой для различных приложений АНПА, конкретные требования реализуются в виде дополнительных модулей.

Таблица 5 – Техническая характеристика АНПА GAVIA

Параметр	Значение	
Длина, мм	Базовая конфигурация	1800
	Базовая конфигурация, ИНС с доплеровским лагом	2289
	Базовая конфигурация, ИНС с доплеровским лагом, интерферометрическим ГБО Swath+:	2689
	Дополнительный батарейный модуль	400
Вес в воздухе, кг	Базовая конфигурация	49
	Базовая конфигурация, ИНС с доплеровским лагом	63,57
	Базовая конфигурация, ИНС с доплеровским лагом, интерферометрический ГБО Swath+	78,57
	Дополнительный батарейный модуль	14,3
Диаметр, мм	200	
Рабочая глубина, м	500 или 1000	

Параметр	Значение
Аккумулятор	1,2 кВт литий-ионные батареи; Два батарейных модуля могут быть использованы одновременно
Максимальная скорость	5,5 узлов
Автономность	В зависимости от конфигурации и скорости перемещения; в среднем: 4–7 часов
Накопитель данных	Модуль управления и связи: твердотельный накопитель памяти 4 Гб (запись файлов системного журнала файлов ГБО); Дополнительное оборудование: отдельные ПК
Средства связи:	
Беспроводная локальная вычислительная сеть (Wi-Fi)	IEEE 802.11g, скорость передачи данных до 54 Мбит/с, максимальная дальность 300 м, оптимальная дальность 150 м
Спутниковая связь	Iridium
Гидроакустическая связь	Акустический модем, двунаправленная передача данных, скорость передачи данных до 1200 бит/с, дальность до 1200 м
Извлечение данных	Беспроводная локальная вычислительная сеть (Wi-Fi), скорость передачи данных до 19 Мбит/с (140 Мб/мин); Проводная локальная вычислительная сеть (Ethernet), скорость передачи данных до 40 Мбит/с (300 Мб/мин)
Навигация	GPS-приемник (на поверхности); DGPS-приемник с приемом поправок WAAS/EGNOS; Индукционный компас, датчик ориентации (точность: $\pm(1-5)^\circ$); Инерциальная навигационная система: комплексированная доплер-инерциальная система (ИНС, доплеровский лаг), точность: накопление ошибки 3 м/ч при 3 узлах

Пользовательский интерфейс является основным инструментом управления АНПА. При помощи программного обеспечения становится возможно осуществлять:

планирование миссии – разработка пользователем плана миссии для АНПА;

работу и управление - пользователь наблюдает за работой АНПА и имеет возможность вмешаться в его работу;

просмотра миссии и анализа - сбор данных, обработка и презентация, пользователь работает с данными, собранными во время миссии АНПА.

Недавно проведенные компанией ОАО «Тетис Про» испытания Gavia в Геленджике показали успешность использования АНПА при работах на глубинах до 1000 м. Результатом разработанной миссии, в течение которой анализировалась работа и управление Gavia, были обнаружены останки затонувшего самолета.

В перспективе дальнейшего развития автономных аппаратов в области обслуживания гидротехнических сооружений, нефтедобывающих платформ, подводных трасс трубопроводов и строительных площадок для подводных объектов, различие между АНПА и ТНПА будет уменьшаться.

АНПА планируется оснащать рабочими исполнительными устройствами, использовать в качестве средств перемещения груза, вспомогательного аппарата при выполнении некоторых работ ТНПА. Основными требованиями, предъявляемыми к АНПА, будут являться: рабочая глубина до 3000 м, большая автономность, связанная с большей емкостью батарей системы энергообеспечения, точность определения позиции навигационным комплексом, безопасность и быстрота проведения спускоподъемных операций для различных погодных условий.

Круг задач, возлагаемых на автономные необитаемые подводные аппараты, будет постоянно расширяться.

Вопросы создания и совершенствования систем автоматического управления одиночными АНПА в научной литературе рассмотрены достаточно полно [15 - 17]. По автоматизации управления группой АНПА, то эта научная задача находится на начальной стадии развития [18 - 20].

Проблема коллективного поведения и группового управления АНПА требует разработки новой парадигмы управления, новой архитектуры построения системы управления, что, в свою очередь, требует создания новых технологий синтеза и программной реализации систем группового управления. Обусловлено это, прежде всего, особенностями группового функционирования АНПА, которое протекает по наличию следующих неопределенностей характеристик природной среды, параметров объектов поиска и технических характеристик, собственно, АНПА как объектов управления:

- неопределенностей водной среды – характеристик подводные течения, скачков температуры и удельного плотности воды, изменения оптических и гидроакустических характеристик воды и т.д.;

- неопределенностей рельефа морского дна;
- наличие навигационных препятствий на морском дне и в водной толще;
- наличие стационарных и подвижных подводных объектов, в том числе и таких, что опасно маневрируют и создают угрозу столкновения;
- нестационарности собственных технических характеристик АНПА (гидродинамических, энергетических, информационных тому подобное).

Анализ показывает, что в таких условиях применения АНПА наиболее тяжелыми являются два следующие задачи:

- обеспечение эффективной координации групповой поведения АНПА;
- создание программной инфраструктуры (платформы), что поддерживает взаимодействие большого количества разнородных устройств и программ АНПА.

С точки зрения архитектуры современные системы группового управления, в частности, беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), характеризуются такими свойствами, как гибкость и автономность [21]. гибкость понимается как способность системы группового управления изменять в процессе работы пространственную конфигурацию группы аппаратов, а автономность понимается как свойство группы формировать и изменять при необходимости свои текущие цели, работать без вмешательства человека и осуществлять самоконтроль над своими действиями и внутренним состоянием.

Особенно сложными являются задачи управления группами движущихся объектов, когда они должны или координировать свое поведение, например, для избежания столкновений, или кооперироваться для совместного решения задач [22].

Для этих и других аналогичных приложений группы подвижных объектов общими характерными чертами являются:

- сетевая организация информационного обмена в группе АНПА;

- большое количество источников информации, которые генерируют мощные потоки данных, которые необходимо хранить в хранилище группы;
- гибкость систем связи, когда состав узлов сети и ее топология постоянно меняются; по этим причинам в ряде случаев архитектура системы типа «клиент-сервер» оказывается несостоятельной;
- конфиденциальность информации от отдельных АНПА, поскольку данные могут подпадать под понятие «государственная тайна» или носить коммерческий характер.

Указанные особенности предлагается учитывать при создании системы автоматического управления (САК) несколькими группами АНПА, которая должна быть синтезирована как многоуровневая структура.

1.3 Экологический мониторинг, осуществляемый с помощью АНПА

В настоящее время наиболее перспективными инструментами исследования подводной обстановки есть подводные аппараты.

В мелководных прибрежных зонах предлагается использовать автономный подводный аппарат (АПА) с оперативным управлением через радиобудь связи (РБ), который буксируется подводным аппаратом с помощью кабель-буксира (КБ) [1].

Преимуществами такой подводной технологии по сравнению с применением «классических» привязных и автономных подводных аппаратов значительно меньше зависимость от гибкой связи в воде - кабеля - из-за малой глубины, полная независимость от судна носителя, большая рабочая зона и, главное, наличие оперативного двустороннего радиосвязи.

Такой тип АПА со РБ имеет значительно меньшую стоимость за счет малой рабочей глубины и возможности оперативного ручного управления и передачи информации в режиме реального времени.

Автоматизация движения данного типа подводного аппарата усложняется за счет наличия кабельной связи с РБ, на который действуют ветро-волновые возмущения, часто меняют направление и силу своего действия.

Таким образом к основным задачам, которые ставятся перед системой управления движением подводного аппарата можно отнести:

- движение с заданной скоростью;
- отсутствие рывков;
- движение по заданной траектории с обходом препятствий;
- точность позиционирования в точке.

Для решения поставленных задач АПА со СБ должен не только компенсировать влияние внешних возмущений, но и иметь возможность предсказать их. Наиболее неблагоприятной является действие КБ через качку, действующего на РБ. Такое действие является кратковременной и периодической, поэтому система управления должна не только реагировать на изменение силы натяжения, но и прогнозировать ее.

Хотя представлен аппарат является автономный, он может руководствоваться в режиме реального времени оператором, который находится на берегу или судне-носителе. Поэтому систему управления можно построить в виде трехуровневой иерархической структуры [2].

Морские поисковые работы (МПР) является важной составляющей деятельности человека на море и включают поиск, идентификацию, документирование и картографирование подводных объектов природного или антропогенного происхождения, которые находятся на морском дне или в толще воды [1, 2]. Вызовы требуют максимального повышения производительности МПР [3 - 5].

Эффективным методом выполнения МПР применение автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА, в англоязычной научно-технической литературе - Autonomous Underwater Vehicles, AUV) [6]. Однако, использование одиночных АНПА также не решает задачу

обеспечения высокой производительности подводного поиска, поскольку, как правило, необходимо обследовать большие акватории [7, 8].

Очевидно, привлечение к МПР группы АНПА обеспечит максимально возможное повышение поисковых работ, однако теория группового автоматического управления АНПА в настоящее время находится на начальном этапе своего развития и является актуальным прикладным научной задачей.

К наиболее актуальным применениям современных АНПА можно отнести [9 - 11]:

обзорно-поисковые работы, включая поиск и обследование затонувших объектов, инспекцию подводных сооружений и коммуникаций (трубопроводов, водоводов, кабелей) геологоразведочные работы, включающие топографическую и фото видеосъемку морского дна, акустическое

профилирования и картографирования рельефа;

подлёдные работы, в том числе прокладку кабеля на Арктическом дне, обслуживание систем наблюдения и освещение подледной обстановки;

океанографические исследования, мониторинг водной среды;

экологические исследования водной среды;

работы военного назначения, включающих, в частности, противолодочную разведку, патрулирование, обеспечение

безопасности объектов военной техники, обследования минных полей.

Задача АНПА в части экологического прогноза считается, в частности, наблюдение за состоянием морской среды и преждевременное выявление обычных загрязняющих препаратов промышленно-антропогенного нрава.

К главным загрязняющим препаратам аквасреды (ЗВ) относятся нефтяные угле водороды (НУ) и нефтепродукты (НП), хлорорганические фосфорсодержащие соединения (ХОС), тяжкие металлы (ТМ), техногенные

радионуклиды, взвешенные препараты (ВВ) при больших концентрациях и химически отравляющие препараты (ХОВ) [27].

Структура экологического мониторинга, указана на рисунке 11.

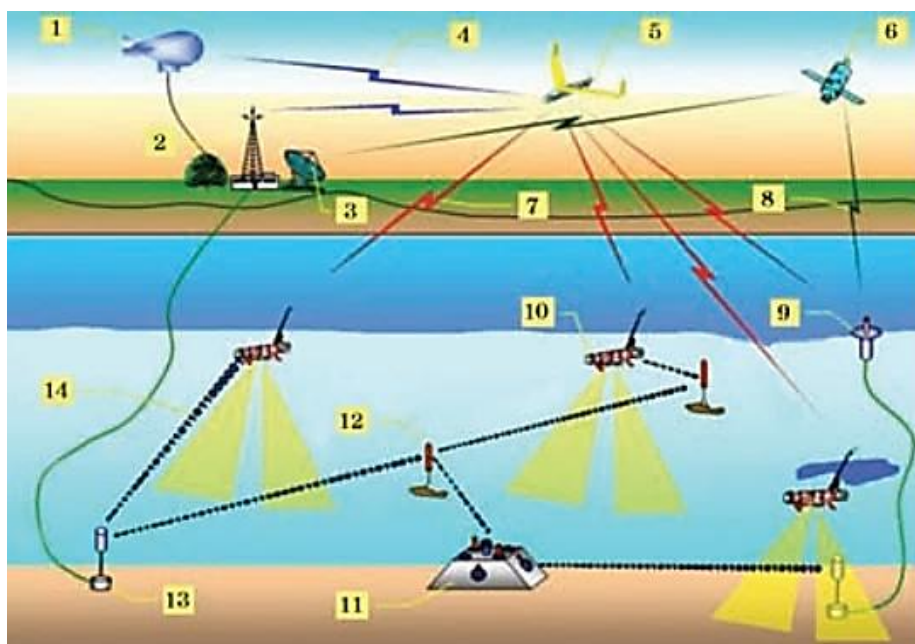


Рисунок 11 - Структура экологического мониторинга, осуществляемого автоматизированными системами.

Загрязнение морской среды считается итогом загрязнения гидросферы, атмосферы, поверхностных частей литосферы и основ. Перенос загрязнителей происходит не только в итоге речного, подземного, плоскостного стока, но еще в итоге трансграничного атмосферного и аква переноса, течениями и льдом. Подавляющая доля загрязнителей поступает в прибрежные воды, которые оказываются более загрязненными.

Источниками поступления НУ и НП в море считаются сточные воды, судоходство, добыча углеводородов в акваториях, буровые платформы, аварийные разливы, линзы углеводородов в толще грунта, нефтеперерабатывающие фирмы, дамппинг. Они приводят к образованию нефтяной плёнки, загрязнению побережий, морских птиц, усилению негативных тенденций промыслов рыбы, моллюсков и ракообразных, сокращению влаго- и газообмена, провоцируют скопление металлов и ядовитых органических соединений, наращивают вторичное загрязнение [27].

Взвешенные препараты поступают в итоге производственной работы на акватории моря и на побережье — смыв, сброс, прокладка трубопроводов, кабелей, дампинг, взрывы на дне и пр. Большущее количество ВВ поступает со стоком рек, в итоге выноса вод из заливов и появляется в итоге вертикального смешивания при сильном беспорядке на мелководье. Они приводят к вторичному загрязнению, наращиванию мутности, понижению фотоактивной радиации (ФАР), биопродуктивности, изменению структуры популяций, смерти бентоса [27].

Эвтрофикация поверхностных вод, объясняемая ключевым образом избытком калорийных препаратов (фосфора и азота), считается необходимой задачей для множества внутренних морей, которая с каждым годом делается всё острее. В Балтийском море следствием эвтрофикации вод считается буйное цветение сине-зелёных водных растений, которое с каждым годом охватывает всё гигантские площади [27].

Выводы к главе

В представленной главе приведены актуальные сведения о конструктивных особенностях АНПА и роли последнего в организации экологического мониторинга и экологической охраны Мирового океана. Приведено определение АНПА - Автономный подводный аппарат (АПА) (AUV) - робот, который движется под водой самостоятельно без оператора. Такие аппараты являются частью большей группы подводных аппаратов, называемых беспилотные подводные аппараты, этот класс включает в себя не автономные дистанционно-управляемые подводные аппараты (ROVs) - которые управляются и питаются с берега оператором (пилотом), или с помощью дистанционного управления. В настоящее время наиболее перспективными инструментами исследования подводной обстановки есть подводные аппараты. В мелководных прибрежных зонах предлагается использовать автономный подводный аппарат (АПА) с оперативным

управлением через радиобудь связи (РБ), который буксируется подводным аппаратом с помощью кабель-буксира (КБ) [1].

Преимуществами такой подводной технологии по сравнению с применением «классических» привязных и автономных подводных аппаратов значительно меньше зависимость от гибкой связи в воде - кабеля - из-за малой глубины, полная независимость от судна носителя, большая рабочая зона и, главное, наличие оперативного двустороннего радиосвязи.

Такой тип АПА со РБ имеет значительно меньшую стоимость за счет малой рабочей глубины и возможности оперативного ручного управления и передачи информации в режиме реального времени.

2 ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АНПА

2.1 Гидроакустические системы навигации. Общие характеристики

Разработка АНПА естественным образом влечет за собой и разработку разнообразных технических средств, обеспечивающих как безопасную эксплуатацию аппарата, так и наиболее эффективное его использование. В этом комплексе технических средств гидроакустические средства занимают особое положение в силу специфики работы самого аппарата. В их числе первыми были разработаны гидроакустические навигационные системы различного типа.

По принципу действия разделяют системы, основанные на измерении дальностей до объекта навигации от системы опорных точек (с длинной или короткой базой), и системы с использованием дальномерных и угломерных данных. Последние называют системами с ультракороткой базой, а навигационная задача решается в результате определения в текущей точке дальности пеленга и угла места объекта навигации.

Первая гидроакустическая навигационная система ИПМТ ДВО РАН, разработанная в 1973-1975 гг. для навигации АНПА «Скат», была дальномерной с длинной базой (ГАНС-ДБ) и предназначалась, как и сам аппарат, для работы в мелком море на шельфовых глубинах. Основу системы составляли радогоидроакустические буи с заякоренными донными акустическими приемниками. В дальнейшем при создании глубоководных аппаратов разработан ряд модификаций глубоководной дальномерной ГАНС. Её основу составили донные маяки-ответчики, синхронный передатчик, устанавливаемый на объекте навигации, приёмопередатчик и судовый блок обработки навигационной информации, устанавливаемые на обеспечивающем судне. Система имела технические характеристики,

близкие к техническим характеристикам известных зарубежных аналогов [11-24].

Заметный прогресс в определении абсолютных координат объекта был затем связан с комплектованием ГАНС и спутниковой навигационной системы GPS, а также с отработкой методики привязки маяков-ответчиков к абсолютным координатам с использованием метода проходных характеристик. Наиболее сложными при разработке ГАНС-ДБ оказались вопросы, связанные с увеличением дальности действия за пределы ближней зоны акустической освещенности в глубоком море. Развитие системы оказалось связанным с решением проблемы дальней гидроакустической навигации в условиях рефракции, а также с решением проблемы точной навигации в мелком море в условиях сильно развитой многолучевости. За последнее десятилетие погрешность снижена от 1° - 2° до $0,1^{\circ}$ - $0,3^{\circ}$ [11-24].

УКБ-системы давно и успешно разрабатываются рядом иностранных фирм: Simrad (Норвегия), Sonardyne (Великобритания), Sonatech, EDO corporation, Trackpoint, Nautromx (США). При анализе публикаций и рекламных проспектов зарубежных фирм можно разделить разработанные УКБ-системы на три группы. К первой группе можно отнести системы HPR400 (Simrad), NS-03I (Sonatech), ATS-S02, RS902-9J6 (Nautronix), Trackpointll (ORE International), для которых погрешность определения направления составляет $0,1^{\circ}$ - $0,3^{\circ}$. Во второй группе систем, включающей HPR309ST (Simrad), NAVTRAK 406 (Edo Western corp.), погрешности определения направления составляют $0,5^{\circ}$ - $1,0^{\circ}$. Во всех известных УКБ-системах используемая аппаратура выпускается ведущими специализированными фирмами. Отдельно можно выделить усилия организаций, которые, видимо, самостоятельно создавали ГАНС для обеспечения своих работ — это Харбинский университет и Массачусетский технологический институт. Последний приводит данные о разработке и испытаниях ГАНС-УКБ для мелкого и глубокого (RATS) моря. Система RATS обеспечивает разрешение по углу $0,25^{\circ}$, а точность составляет $1,46^{\circ}$.

Фирма ORE International выпускает недорогой комплект аппаратуры LXT. В технических характеристиках этой системы приведены следующие данные: разрешение по азимуту составляет $0,1^\circ$, а угловая точность - 5° [11-24].

2.2 Гидроакустические системы связи. Общие характеристики

Важной составляющей навигационного оборудования является аппаратура гидроакустических командного информационного каналов связи.

Обычно навигационные системы конструктивно объединены с низкоскоростной (командной) системой телеметрии и управления, причем разделение систем обеспечивается применением комбинированных сигналов. За счет частотного разделения и кодирования команд системы могут работать с различным числом объектов, а количество жестко заданных команд составляет несколько десятков [11-24].

Информационный канал ГАСС в составе АНПА представляется в двух вариантах:

система высокоскоростной односторонней передачи данных по гидроакустическому каналу для оперативного контроля хода обзорно-поисковых работ путем передачи кадров ТВ и акустических изображений, полученных на борту АНПА;

система двухсторонней передачи данных для контроля и супервизорного управления АНПА.

2.3 Гидроакустические средства бортовой автономной навигации

Характеристики доплеровских лагов представлены в таблице 6 [11-24].

Высокая точность измерения скорости может быть обеспечена при малом времени накопления данных за счёт использования техники обработки сигналов с распределёнными спектрами и применения специальных антенн с переменнo-фазным исключением элементов.

Таблица 6 – Характеристика доплеровских лагов зарубежных фирм

Характеристика	Значение	
	EDO 3050	WN-300 RDI
Диапазон измеряемых скоростей, м/с	0-10	0-5
Диапазон расстояния от дна, м	1-100	1-200
Рабочая частота, кГц	596	596
Погрешность измерения скорости:		
абсолютная м/с	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
относительная, %	0,1	0,4

В настоящее время 90% парка известных зарубежных АНПА оснащены различными модификациями лагов фирмы RD Instruments (USA). Модель доплеровского лага WN-300 имеет характеристики, оптимизированные по критерию, цена-характеристики-сложность. В доплеровских лагах этой фирмы, обеспечивающих измерение двух компонент скорости, в основном используются четырехлучевые антенны с попарной обработкой сигналов называемой схемой Януса. Основным достоинством такой обработки является низкая чувствительность доплеровской частоты к небольшим изменениям крена и дифферента носителя. Появление, например, дифферента на корму приводит к увеличению доплеровской частоты в носовом направлении и одновременно к ее уменьшению в кормовом. В результате значение разностной частоты остается практически без изменения, и влиянием качки можно пренебречь, если дифферент не превосходит единиц градусов.

Навигационные средства АНПА указаны на рисунке 12.

2.4 Задачи разработки гидроакустического навигационного комплекса

Описанная выше структура гидроакустических средств навигационного обеспечения в целом или отдельные её элементы обязательны для любого АНПА, независимо от их целевого назначения, габаритов, условий работы, дальности действия. Известные зарубежные АНПА оснащаются

гидроакустическими навигационными средствами, которые, как правило, выпускаются фирмами, специализирующимися на разработке и выпуске отдельных систем. АНПА «Hugin» укомплектован навигационной системой фирмы Simrad (Норвегия), доплеровским лагом фирмы RD Instruments (США), акустическим модемом АТМ-870 фирмы Datasonic [20-33].

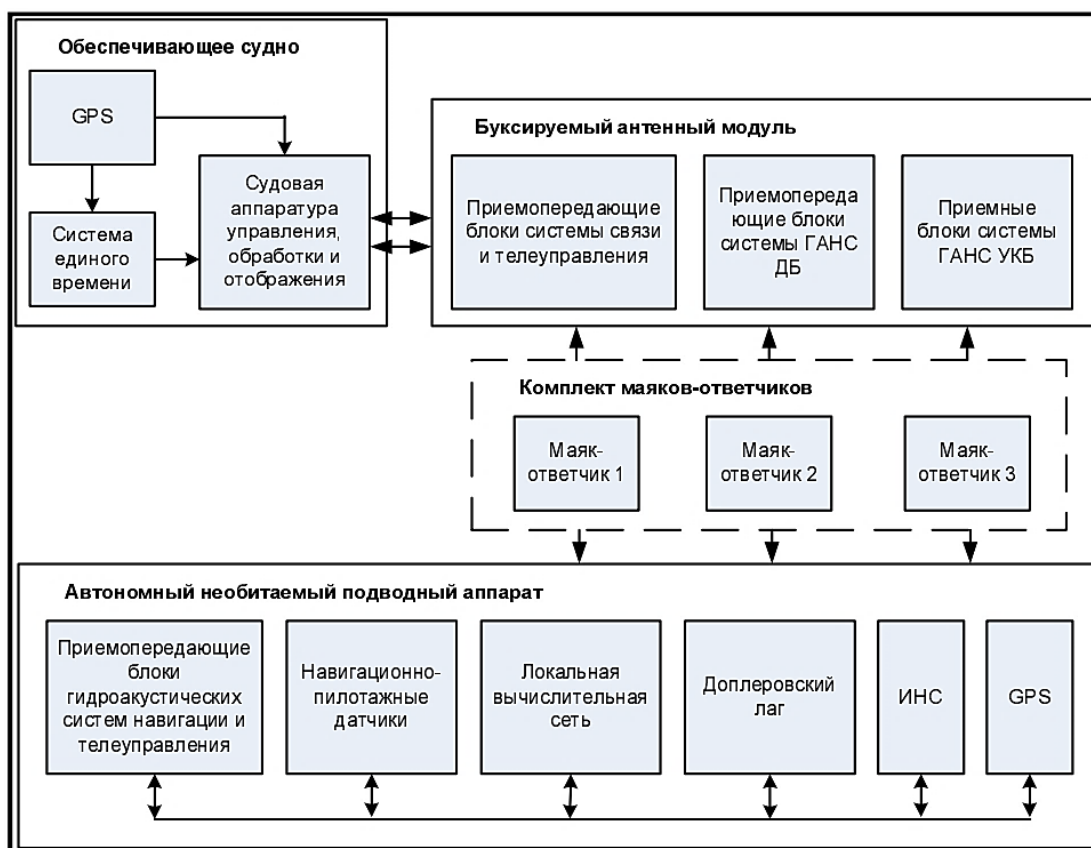


Рисунок 12 - Навигационные средства АНПА

Опыт работы ИМПТ ДВО РАН при проведении реальных операций показал, что средства навигации и управления целесообразно объединить в рамках единого комплекса оборудования. Это позволяет расширить объём оперативной навигационной информации путём передачи данных о ходе выполняемой миссии и параметрах движения аппарата (высоте, глубине, скорости, курсе), а также передачи кадров видео и акустических изображений.

В зависимости от дальности действия и удалённости АНПА от обеспечивающего судна можно выделить три уровня требуемого навигационного оснащения:

- традиционный комплекс, который включает ГАНС (ДБ или УКБ) с дальностью до 10-15 км, систему телеуправления и телеметрии, доплеровский лаг, односторонний канал связи при выполнении обзорно-поисковых работ в глубоком море и на шельфе;

- системы навигации для работы АНПА с выходом за пределы действия обычной ГАНС;

- системы навигации, связи и управления при выполнении процедуры стыковки АНПА с ОС и докования.

Значительным прогресс в разработках систем энергоснабжения привел к появлению АНПА с дальностью действия сотни километров и автономностью десятки суток. Применение ГАНС-ДБ при выполнении длительных миссий с большой дальностью действия невозможно, применение ГАНС-УКБ с движением ОС в режиме сопровождения не всегда рационально. При таком сценарии работ навигация на борту аппарата обеспечивается применением ИНС совместно с доплеровским лагом для измерения и коррекции абсолютной скорости. Коррекция координат производится по данным GPS с обсервациями на поверхности или на глубине поданным сети опорных маяков, размещенных вдоль трассы движения. Кроме того, АНПА дальнего действия целесообразно оснастить средствами приема и (по возможности) излучения низкочастотных акустических сигналов с дальностью распространения, не меньшей дальности действия аппарата, в качестве средства дальнего приведения к борту ОС [20-33].

Проблема докования требует от навигационного обеспечения значительно более высокой точности, обеспечения супервизорного режима управления средствами двухсторонней связи, идентичности отображения навигационной обстановки на бортах аппарата и, высокой оперативности. Для решения задач средства навигации и связи должны быть

высокочастотными, их рабочая дальность обычно не превышает сотен метров. Система может быть реализована по типу КБ (или совместно с УКБ) и объединять в одном комплекте оборудования системы навигации и связи.

Основу системы навигационного обеспечения АНПА, созданных в ИМПТ ДВО РАН составляет гидроакустический навигационный комплекс, в состав которого входят работающие совместно или раздельно ГАНС-ДБ и ГАНС-УКБ. В составе комплекса конструктивно объединены судовые антенны систем, судовое обеспечивающее оборудование, унифицировано программное обеспечение. Выбор режима работы комплекса определяется текущей тактикой использования АНПА. Гидроакустический комплекс и его модификации, в котором кроме навигационной системы были реализованы системы телеметрии и телеуправления, успешно обеспечивал проведение реальных морских операций АНПА в различные годы [20-33].

Выводы к главе

Текущая глава содержит актуальные данные относительно гидроакустических средств АНПА:

- системы навигации совместно с обслуживающим судном;
- системы связи - Информационный канал ГАСС в составе АНПА

представляется в двух вариантах:

система высокоскоростной односторонней передачи данных по гидроакустическому каналу для оперативного контроля хода обзорно-поисковых работ путем передачи кадров ТВ и акустических изображений, полученных на борту АНПА;

- автономной системы навигации.

Также определены задачи разработки гидроакустического навигационного комплекса для целей организации экологического мониторинга и охраны Мирового океана.

3 ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АНПА

3.1 Задачи, возлагаемые на АНПА экологического мониторинга

Экологический мониторинг водных акваторий предполагает измерение гидробиологических, гидрохимических и гидрофизических параметров среды с последующим картографированием данных [11-24, 27, 30-38].

В толще воды с помощью подводных аппаратов можно проводить работы, связанные, прежде всего, с оценкой мутности, освещенности и содержания кислорода для расчета продукционных возможностей планктонных сообществ. Для этих же целей проводится оценка плотности микроводорослей на единицу объема и содержания хлорофилла. Полученные данные позволяют рассчитать первичную продукцию [11-24, 27, 30-38].

Следует отметить, что выбор параметров, которые необходимо оценивать для исследования экологического состояния биосистем и мониторинга вод, зависит, с одной стороны, от наличия и возможностей использования различных датчиков конкретных условиях, а с другой стороны, тем минимальным их набором, который позволяет характеризовать состояние экологической системы и прогнозировать её функционирование. Кроме того, важно использование комбинированных исследований на определённых полигонах с применением традиционных гидробиологических, гидрохимических, гидрофизических исследований и с применением подводных технических средств. Это позволяет количественно исследовать взаимосвязи между экологическими параметрами и биотой на характерных полигонах и затем распространять полученную с помощью подводных роботов информацию на всю исследуемую акваторию с учётом биологических взаимосвязей и характеристик грунта.

В зависимости от задач исследования подводный аппарат может быть проблемно ориентированным и оснащен различными системами датчиков

для измерения параметров среды и видеокамерой с изменяемым углом зрения [11-24, 27, 30-38].

3.2 Выбор и обоснование гидроакустического комплекса для АНПА

К стратегическому уровню относится интерфейс пользователя (ИК) и контрольно- аварийная система (КАС). На данном уровне рассматриваются основные задачи, которые ставятся перед подводным аппаратом.

Основным элементом стратегического уровня является ИК, так как в интерфейсе пользователя настраиваются параметры всех режимов работы подводного аппарата, контроль выполнения миссии, обработка данных измерительного оборудования, расстановка контрольных точек, демонстрация состояния миссии и аппарата оператору и тому подобное.

Интерфейс пользователя передает данные о текущем задании миссии системе управления траекторией (СКТ). К таким данным относятся: режим движения подводного аппарата (скорость движения, параметры выбора траектории), координаты контрольной точки.

В зависимости от миссии работы навесное оборудование должно работать в разных режимах. Заданные режимы работы в зависимости от текущей задачи передаются от ИК до блока контроля навесного оборудования (КНО). Например, во время выхода на точку работы или возврата необходимо выключить все измерительное оборудование, кроме навигационного, для экономии запаса энергии аппарата.

От блока обработки данных (ОД) на ИК передается вся информация: измерительные приборы, состояние внутреннего оборудования аппарата, навигационные данные, видеосигнал и тому подобное. Контрольно-аварийная система (КАС) предназначена для защиты оборудования от ошибочных действий оператора и управления аппаратом в аварийных режимах. к аварийным режимам работы относятся:

- отказ одного или нескольких исполнительных механизмов;

- потеря сигнала от ИК;
- небольшой запас заряда аккумулятора
- опасность столкновения с внешними объектами.

Сигналами от ОД для КАС выступает состояние механизмов аппарата, навигационные данные и данные о окружающих объектах (сигнал от сонара).

Тактический уровень служит для обработки задач от стратегического уровня и формирование команд для исполнительного уровня, а также для формирования обратной связи с стратегическим уровнем.

На тактическом уровне за движение аппарата соответствует СКТ. В данном блоке формируется траектория движения аппарата в зависимости от текущей задачи и с учетом обхождения помех. Информацию о расположении препятствий СКТ получает от ОД. затем формируется сигнал для блока управления движением (БКР), в качестве сигнала используются скорости движения АПА и его курс.

Блок ЕД опрашивает все датчики подводного аппарата и формирует навигационные данные, данные об окружающей среде и состояние аппарата и тому подобное. Для коррекции данных, полученных от сенсоров КНО устанавливает необходимые поправочные коэффициенты и задает настройки работы датчика.

К исполнительному уровню относятся блок управления лебедкой БКЛ и БКР, которые непосредственно включают в себя регуляторы механизмов движения подводного аппарата.

БКЛ контролирует длину вытравленной КБ в зависимости от глубины погружения аппарата, погодных условий (периодичности и силе изменения натяжения от РБ) и скорости движения.

БКР отвечает за обеспечение заданного СКТ параметра движения подводного аппарата. В нем находятся регуляторы движения АПА со РБ. Для простоты управления движение подводного аппарата разделено на две составляющие: вертикальное движение и движение в горизонтальной плоскости.

Регулятор вертикального движения должен обеспечивать содержание заданной глубины или скорости погружения, при пространственном мониторинга подводной обстановки.

Движение в горизонтальной плоскости является более сложным, поскольку помимо содержания необходимой скорости необходимо также обеспечить заданный курс АПА.

Выходами исполнительного уровня является непосредственной сигнал для устройств управления механизмами АПА. Формат сигналов управления зависит от выбранного оборудования аппарата.

На управление движением АПА со РБ в значительной степени влияет качественный контроль вытравлены частью КБ. Особенностью блока управления лебедкой является то, что оба конце кабеля движутся в пространстве, при этом сила натяжения КБ в значительной степени влияет, как на АНА так и на РБ, в отличии от буксировкой с помощью судна носителя.

Наиболее сложной задачей автоматизации работы автономного подводного аппарата является обеспечение его движения, поскольку от качества соблюдения скоростных режимов работы подводного аппарата зависит качество и достоверность, полученной от измерительного оборудования, информации.

Для автоматизации движения автономного подводного аппарата был разработан обобщенную структуру системы управления. Представлена структура системы управления предусматривает не только мониторинг подводной акватории в режиме реального времени, но и возможность возврата аппарата после потери сигнала управления или низком заряде батарей.

На основании вышеприведенных данных и целях, для которых реализуется АНПА, с учётом рекомендаций, отраженных в источниках [39-49], представим методику выбора состава и структуры гидроакустического комплекса АНПА, в состав которого входят, следующие модули:

- ГАНС-ДБ, совмещённая с низкоскоростной системой телеуправления с дальностью 10-15 км и относительной погрешностью 10^{-3} ;
- ГАНС-УКБ, комплексированная с ГАНС-ДБ, с дальностью действия 6-10 км и относительной погрешностью 10^{-2} ;
- ГАСС для передачи информации по одностороннему каналу АНПА-ОС с дальностью 6-10 км, скоростью передачи данных 4 кбит/с и вероятностью ошибки 10^{-2} ;
- доплеровский лаг при работе на высоте от дна 3-70 м для измерения двух компонент абсолютной скорости в диапазоне 0-2 м/с с погрешностью 1-2 %.

Навигационный комплекс должен содержать маяки-ответчики, приёмопередающую аппаратуру АНПА и судовой навигационный комплекс, которые в совокупности обеспечивают навигацию, телеуправление, телеметрию и контроль выполнения миссии путём анализа, передаваемой с борта АНПА информации. В структуре судового оборудования разделяются собственно аппаратура, установленная непосредственно на борту судна, и опускаемый с борта судна на кабель-тросе буксируемый гидроакустический антенный модуль (БАМ) (рисунок 13, 14). Структурная схема представлена на рисунке 15 [39-49].

1 – сопровождающее судно; 2 – БАМ; 3 – АНПА; 4 – маяки-ответчики

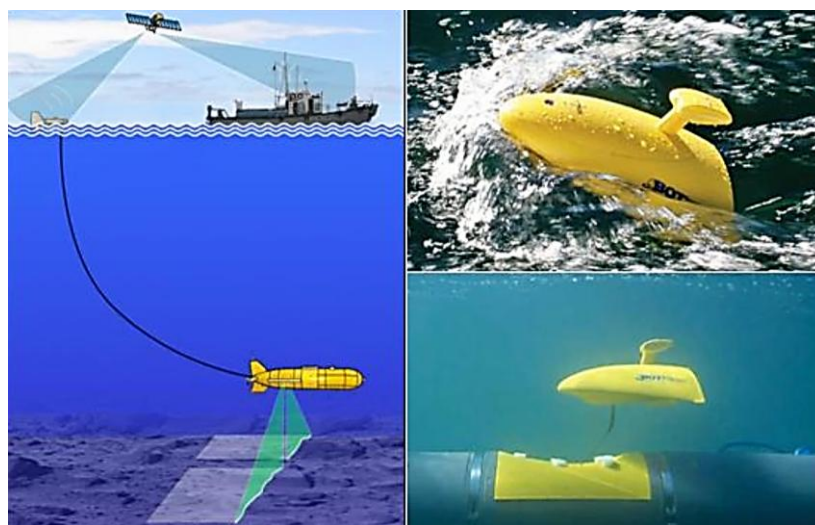


Рисунок 13 - АНПА с буксируемым поверхностным модулем

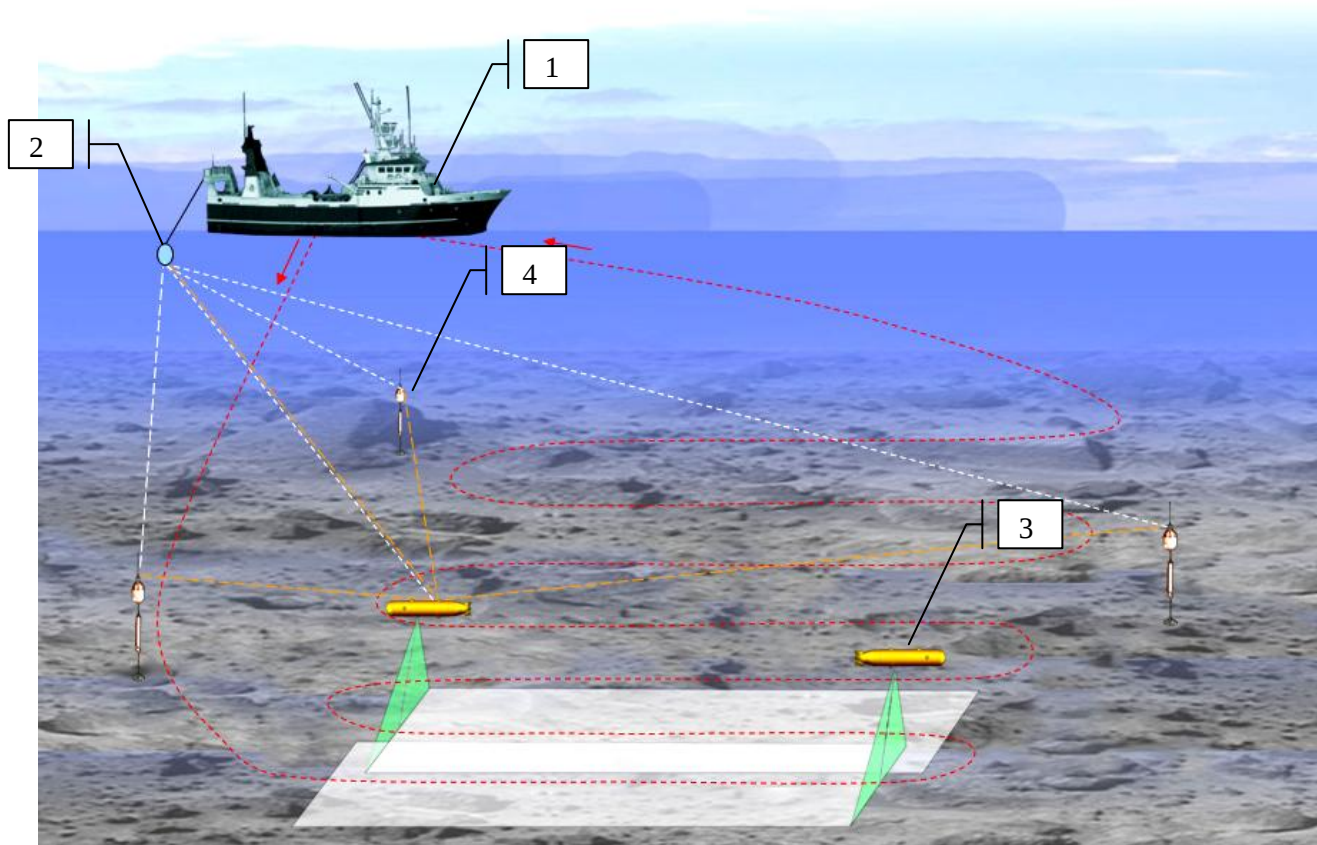


Рисунок 14 – Навигационный комплекс АНПА при выполнении миссии экологического надзора:
а) структура буксируемой системы б) АНПА с БПМ во время тестирования

Функциональный состав АНПА представлен на рисунке 16 и состоит из систем поиска, системы энергообеспечения, системы управления, движительно-рулевого комплекса, гидроакустической системы связи, гидроакустического навигационного комплекса, системы технического зрения, информационно-измерительной системы бортовой навигационной системы.

Программно-аппаратные средства в составе аппаратов комплекса в целом имеют традиционную структуру (рисунок 17).

Эта устройство обладает последующие характерные черты [39-49]:

- обширное применение микроконтроллеров в натальной степени базисных концепций ансамбля. В микроконтроллеры возлагается цель включения наружных замерных и исправных приборов, детекторов,

подсистем, учреждение заблаговременной обработки сведений, помощь сетных интерфейсов с целью взаимосвязи приборов с АНПА [39-49];

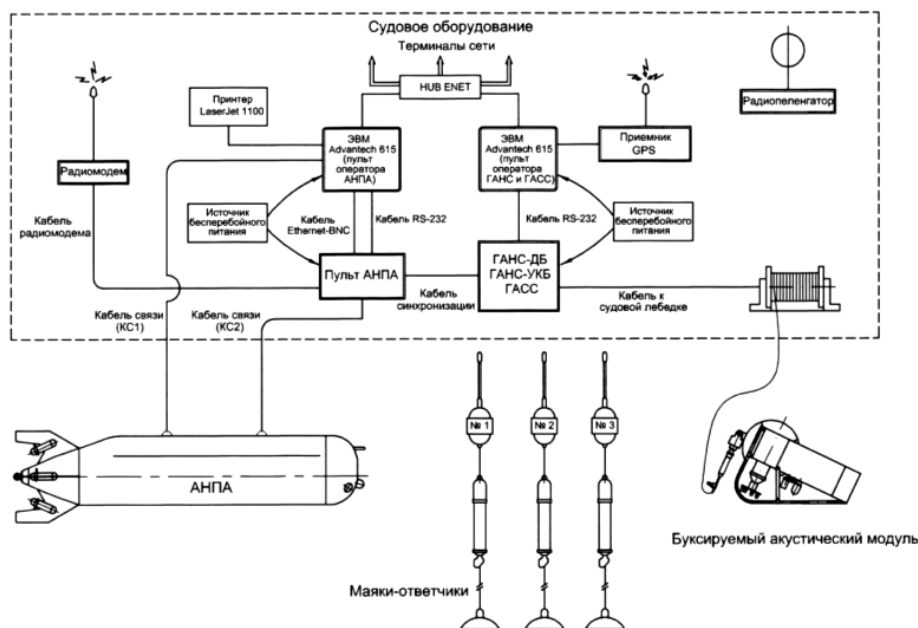


Рисунок 15 - Структура комплекса АНПА и судового оборудования

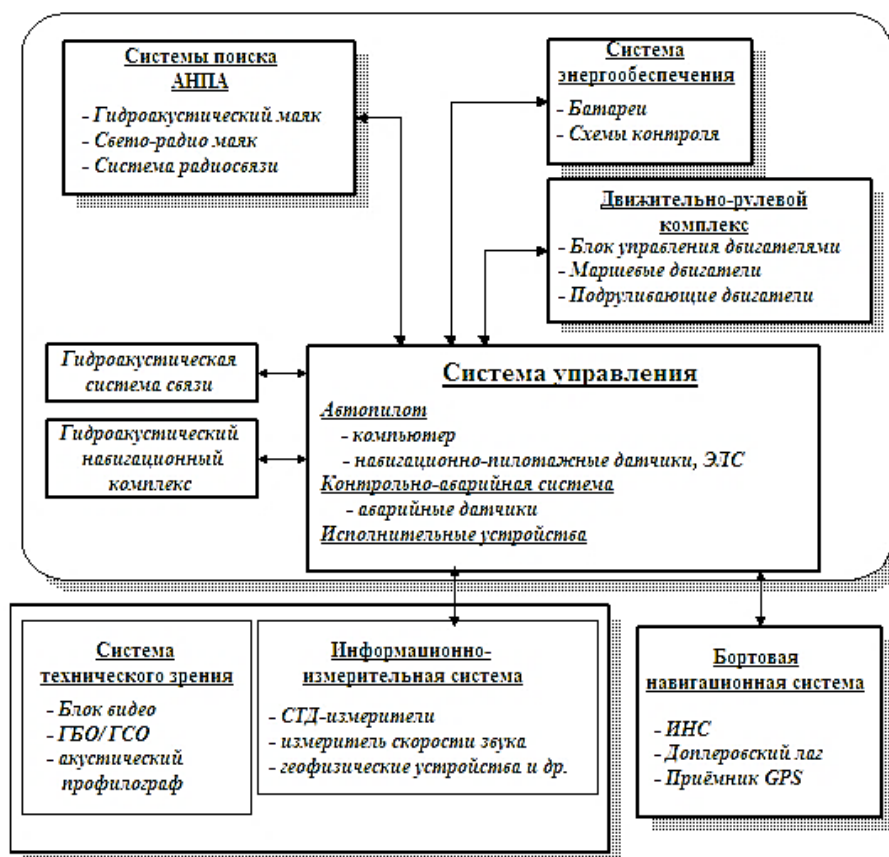


Рисунок 16 – Функциональный состав АНПА

- вычислительные задачи на АНПА, ТНПА распределены меж бортовыми компами (комп системы бортового управления и навигации, комп

системы тех. зрения), созданными на складе одно коммерческих вычислителей LX-800. Пост управления охватывает 2 мобильных компьютера - навигатора и оператора АНПА.

- компьютеры и микроконтроллеры соединены в локальную вычислительную сеть, подключающую каналы Ethernet 10/100 и некоторое количество частей поочередных интерфейсов RS-485 и CAN. Для взаимосвязи меж пультовым оборудованием постов Оператора и Навигатора с АНПА используются канал Ethernet, гидроакустический канал взаимосвязи и радиомодемы с каналом RS-232. Канал Ethernet употребляется, как скоро АНПА располагаться на борту обеспечивающего судна и включен к пульту оператора чрез монтажный гальванический кабель. Присутствие скоростного канала Ethernet позволяет уменьшать время подготовки АНПА к пуску и время на извлечение этих измерений опосля завершения дел. Как скоро АНПА располагаться на плоскости моря, исполнять управление ходом АНПА разрешено сообразно радиомодему. Еще сообразно радиомодему разрешено при надобности занимать новенькую програмку-поручение и получать маленькие блоки этих. Во время перемещения АНПА при надобности употребляется супервизорное управление установкой сообразно акустическому каналу взаимосвязи.

- программное снабжение на бортовых компах и компе оператора работает перед управлением распределенной операционной системы настоящего медли QNX 6.5. Отдельные программы и драйвера, входящие в состав ансамбля, выполняются в облике параллельных вычислительных действий с персональными ценностями, обмен данными меж программами делается с внедрением встроенного в операционную систему приспособления обмена известиями.

- высокофункционально оснащение и программное снабжение АНПА и ТНПА разделяются на 2 блока. 1-ый блок – система бортового управления и навигации. В СБУН находят решение задачки навигации и управления ходом носителя. 2-ой блок – система тех. зрения (СТЗ). В СТЗ изготавливаются

скопление и переработка этих гидролокаторов бокового и секторного обзора, фотосистемы, профилографа, электромагнитного искателя.

Навигацкий ансамбль АНПА подключает в себя систему счисления координат в которую вступают: гироскомпас и магнитный компас, детекторы наклона и дифферента, детекторы угловых скоростей, приёмник глубины, доплеровский лаг, развитая эхолокационная система.

Для устранения численных координат употребляются эти от спутниковой навигационной системы и эти от ГАНС [39-49].

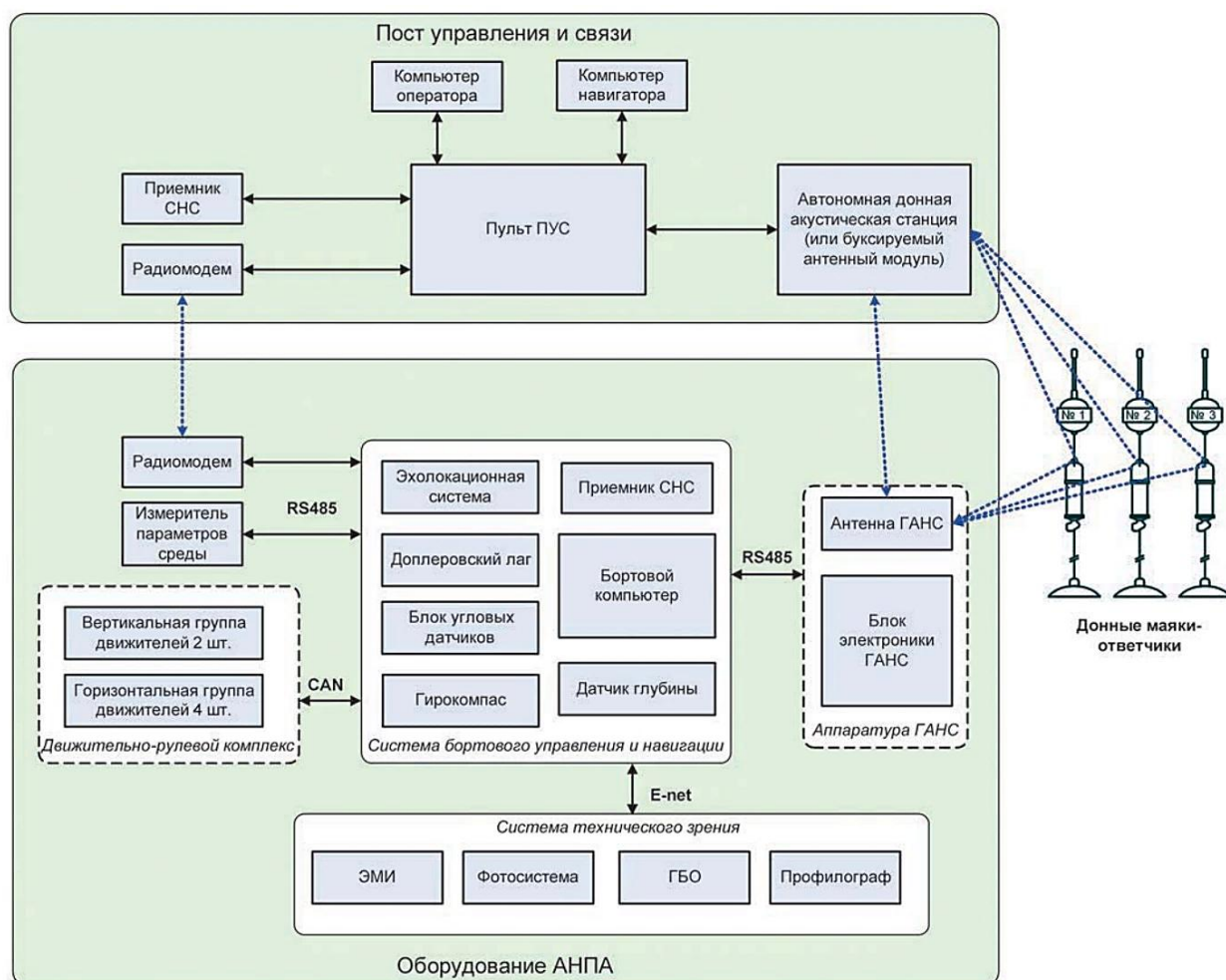


Рисунок 17 - Функциональная схема АНПА

Совместный разряд АНПА, его полезный вид и расположение подвешенного оснащения и антенн с установленными блоками плавучести показаны на рисунке 18.

Посреди новейших технических решений нужно подметить доработку СБУН из-за счет сетной организации его приборов, будто готовит систему эластичной и раскрытой для следующих модернизаций.

Резервирование датчиков главных характеристик (курс, прыть, дифферент, угловая прыть) позволяет снабдить высшую незыблемость системы и обеспечивать удачное окончание миссии в том числе и в случае отказа ряда измерителей. Внедрение в локальной козни протокола RS-485 гарантирует наращиваемость и высшую дееспособность системы к реконфигурации. В локальной козни, разделенной на 2 сектора, выделен единичный сектор для базисных приборов, особо обеспечивающий работу АНПА в случае происхождения аварийных обстановок. В случае трагедии может быть отключение от кормления отдельных систем, в том количестве, при надобности, может быть отключение бортового компьютера с передачей функций управления на целый контроллер. Для взаимосвязи бортового комп-ра СБУН с иными компьютерами АНПА и с комп-ом оператора АНПА специализирован скоростной канал взаимосвязи Ethernet [39-49].

Вычислитель контрольно-аварийной системы (КАС) с аварийными датчиками гарантирует высшую незыблемость функционирования СБУН АНПА из-за счет высокоточного контролирования состояния частей кормления сообразно температуре, напряжению, току употребления, а еще образованный системы аварийных оборон сообразно току, недлинному замыканию, температуре.

Главной задачей навигационной доли СБУН считается создание этих о местоположении и ориентации АНПА.

Навигационная программа производится как единичный процесс на бортовом комп-ре СБУН.

Для вычисления расположения и ориентации АНПА в месте система обрабатывает эти о текущем курсе, углах дифферента и наклона, скорости и направленности перемещения, и глубине. Для устранения счисленных координат употребляются эти измерений наружных навигационных систем –

спутниковых либо гидроакустических. Незыблемость функционирования системы гарантируется из-за счет резервирования средств измерений отдельных навигационных характеристик [39-49].

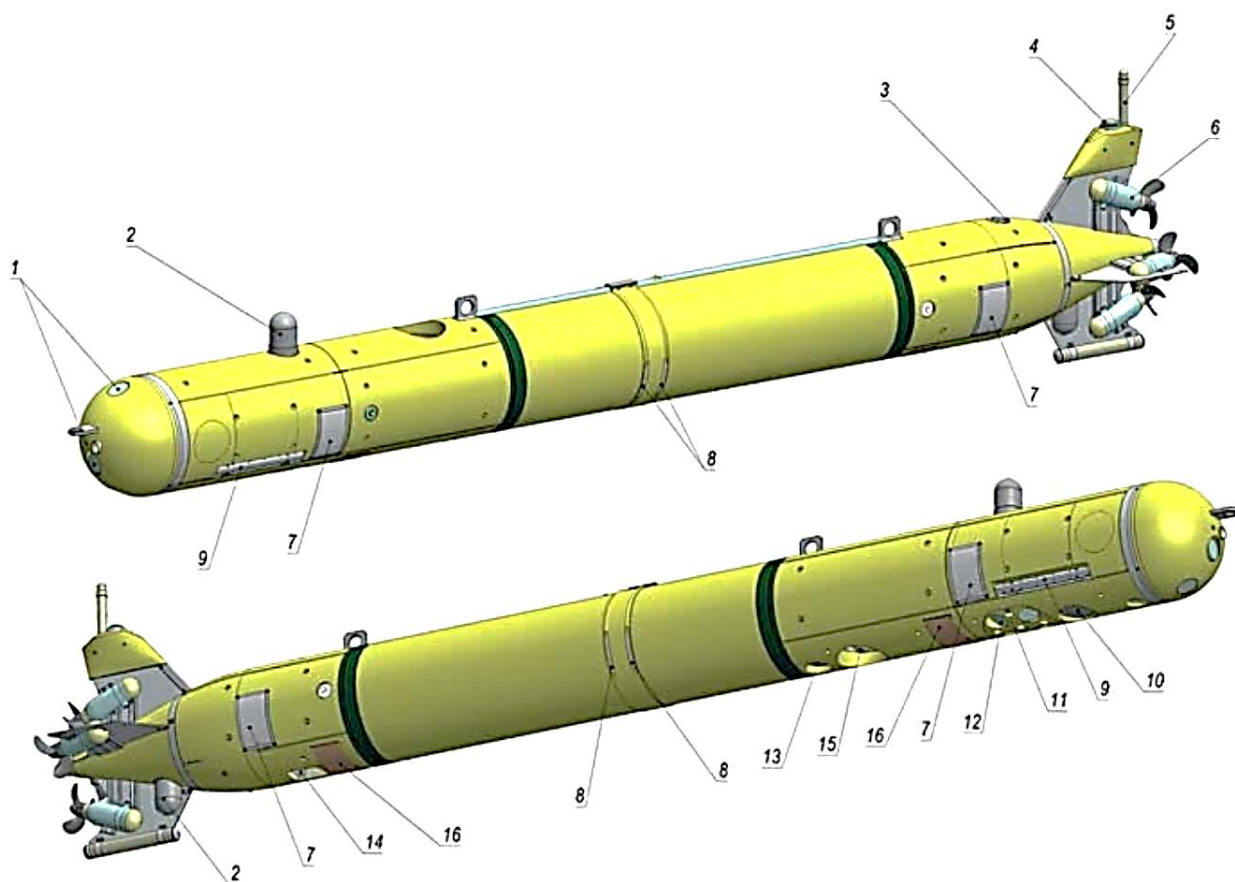


Рисунок 18 - Конструктивный облик АНПА

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

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 коррекция счисленных 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 [39-49].

Разработка средств навигационного обеспечения была и остается одной из приоритетных в общей структуре работ, выполняемых при создании подводных роботов. Как правило, в составе современных подводных аппаратов используются навигационные комплексы, включающие бортовые автономные, гидроакустические и спутниковые системы навигации. В Институте проблем морских технологий (ИПМТ) ДВО РАН имеется многолетний опыт создания и использования АНПА для решения практических задач на глубинах до 6 000 м. Одновременно это и опыт разработки и эксплуатации различных навигационных средств. Созданные за прошедшие годы навигационные средства имели различную дальность действия, различную точность, существенно отличались подходами к построению систем, но в целом были направлены на решение задач, обеспечивающих надежную и достоверную навигационную поддержку АНПА различного назначения.

По опыту всех предшествующих работ перечень этих задач включает [39-49]:

- определение и отображение на борту обеспечивающего судна текущего местоположения АНПА в условиях мелкого и глубокого моря;
- безопасное выполнение рабочих миссий вблизи дна и донных препятствий;
- управление ходом миссии с борта судна;
- получение на борту судна информации о состоянии систем АНПА;
- определение текущих координат АНПА на его борту;
- повышение оперативности и расширение районов работ навигационной системы за счет отсутствия стационарно установленных средств (маяков);

- высокоскоростной обмен информацией между АНПА и судном по гидроакустическому каналу связи;

- приведение аппарата в зону действия гидроакустических средств и обеспечение связи для управления в ближней зоне.

В навигационном оснащении современных аппаратов, создаваемых в ИПМТ ДВО РАН, используются элементы бортовой автономной, гидроакустической и спутниковой систем навигации. Каждая из систем, в свою очередь, представляет собой комплекс устройств, входящих в общий базовый состав систем АНПА и судового оборудования (рисунок 19).

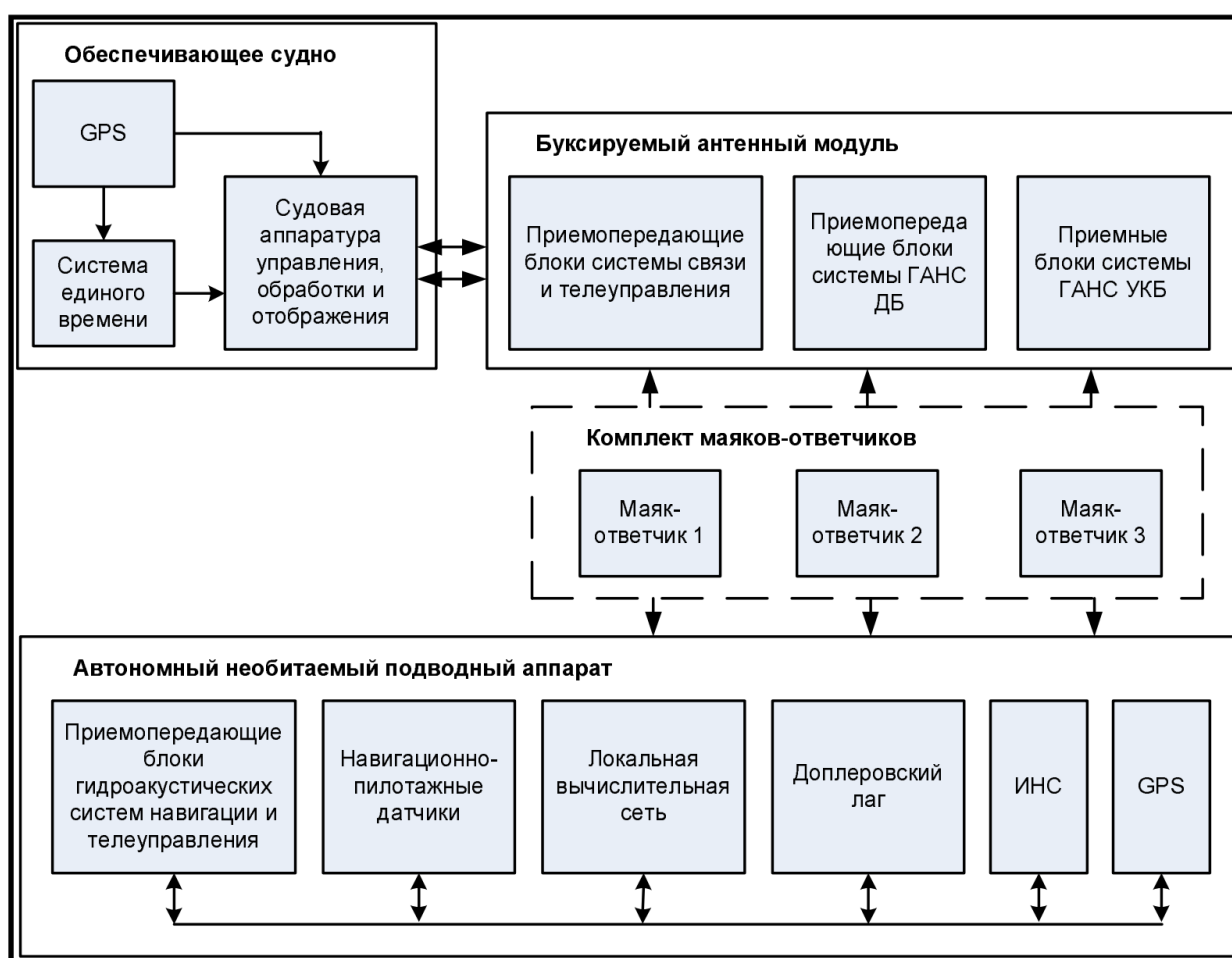


Рисунок 19 - Навигационные средства АНПА

Навигационным оборудованием в различных условиях работ решаются две задачи. Первая заключается в достижении максимальной точности навигационной привязки, характерной для поисковых работ и детального обследования выделенных районов. Вторая состоит в контроле текущего

положения АПР, например, при выполнении перехода в район работ или проведения обзорных гидролокационных съемок [39-49].

Для достижения максимальной точности безальтернативными являются дальномерные ГАНС. При учете основных факторов, определяющих скорость распространения гидроакустических сигналов в районе работ, оценка относительной погрешности измерения дальности может быть не более 10^{-3} . При наличии сети опорных маяков-ответчиков реализуется схема ГАНС ДБ, причем основной ресурс в части увеличения точности – увеличение числа одновременно наблюдаемых маяков. Очевидно, что применение ГАНС ДБ ограничивает район работ аппарата зоной действия маяков и требует много времени на установку, координирование и съем маяков. При отсутствии установленных маяков судовая навигационная антенна обычно используется для работы в режиме ГАНС УКБ и обеспечивает контроль местоположения АПР. В этом случае положение источника навигационных сигналов, установленного на борту объекта навигации, определяется путем измерений его дальности и углового положения с борта ОС при использовании в составе антенны специального многоэлементного приемника для фазовой обработки. В этом режиме определяются координаты объекта на борту носителя, но этого недостаточно для сопровождения миссии АНПА. Во-первых, получаемые координатные данные недоступны на борту самого АПР, во-вторых, отсутствует возможность управления аппаратом с борта судна, в-третьих, из-за меньшей, чем в ГАНС ДБ, навигационной точности. Поэтому судовая антенна в названном режиме наряду с определением текущего положения объекта должна поддерживать с ним информационный обмен [39-49].

Если информационный обмен между АНПА и судовой антенной обеспечен применением сложных навигационных сигналов, в структуре которых передается навигационная информация, то возможности комплекса расширяются за счет [39-49]:

- дополнительного канала измерения дальности и увеличения достоверности навигационных данных;
- уменьшения числа или полного исключения маяков при выполнении миссии АНПА;
- повышения точности координатной оценки, получаемой при работе углового пеленгатора;
- улучшением результатов траекторной обработки дальномерной информации за счет фильтрации данных о текущей скорости, курсе и координатах ПА, переданных на борт ОС по информационному каналу.

Аппаратура ГАНС ДБ содержит комплекты маяков, приемопередающей аппаратуры АНПА и судна. В целом комплекс обеспечивает навигацию, телеуправление, телеметрию и контроль хода поисковой операции путем анализа передаваемых с борта АНПА телевизионных кадров или гидролокационных изображений. Гидроакустический комплекс и его модификации, в котором кроме навигационной системы были реализованы системы телеметрии и телеуправления, успешно обеспечивал проведение реальных морских операций АНПА в течение трех последних десятилетий [39-49].

Бортовая автономная навигационная система (БАНС) представляет собой распределенный модуль, который образуют система счисления пути, ИНС и приемник GPS, работающие под управлением локальной вычислительной сети. Автономные навигационные средства в таком составе способны обеспечить осуществление жестких и корректируемых программных миссий и накопление информации о состоянии аппарата в процессе движения. Решение задач, связанных с обследованием объектов и работой аппарата в условиях повышенной автономности, приводит к необходимости разработки навигационного комплекса, позволяющего производить автономную коррекцию движения по текущим координатам аппарата и заданным координатам целей или ориентиров.

При длительной автономной работе аппарата важно обеспечить определение координат с максимально достижимой точностью, используя интегрированную БАНС. В общем случае навигационная ошибка при определении координат аппарата путем счисления пути зависит от целого ряда факторов: инструментальных ошибок датчиков, в частности, уходов гироскопов, ошибки ввода начальных данных, ошибки измерения скорости, в особенности, при неучтенном течении, ошибки начальной выставки ИНС. Очевидно, что суммарная навигационная погрешность при отсутствии коррекции от внешних измерителей накапливается во времени и при длительной работе аппарата становится недопустимо большой. При работе аппарата в мелководном районе ошибка может быть устранена благодаря возможности проводить коррекцию с помощью GPS при эпизодическом всплытии аппарата на поверхность.

В настоящее время наибольший практический интерес представляют следующие варианты комплексирования и коррекции навигационной информации на борту АНПА:

- коррекция ИНС (в полной конфигурации или в режиме гиросkompаса) от ДЛ (вблизи дна) и GPS (на поверхности моря);
- взаимная коррекция гироскопического и магнитного компасов в различных режимах работы АНПА;
- интегральная обработка информации БАНС и бортового приемника ГАНС-ДБ (УКБ);
- коррекция БАНС по гидроакустическому каналу связи и телеуправления с использованием данных ГАНС и GPS [39-49].

Бортовой навигационный комплекс АНПА выполнен в двух конфигурациях, отличающихся типом используемой ИНС. В одной из конфигураций в качестве ИНС используется оптоволоконный гироскомпас, в другой – механическая ИНС на базе динамически настраиваемых гироскопов. В данной системе программным путем обеспечивается коррекция скорости с использованием измерений, поступающих от

акустического доплеровского лага. Для совместной обработки данных от внутренних источников (гироскопов, акселерометров) и внешних источников (ДЛ, приемника GPS) используется фильтр Калмана [39-49].

На основании представленной информации резюмируем состав гидроакустического комплекса АНПА. Гидроакустический комплекс навигации и связи включает в себя систему с длинной базой (ГАНС-ДБ), систему с ультракороткой базой (ГАНС-УКБ), систему связи (ГАСС), работающую в режимах телеуправления и телеметрии, системы дальнего и ближнего приведения. В состав всего комплекса входят приемопередающие устройства на аппарате, буксируемый гидроакустический модуль со всем необходимым комплексом антенн и навигационных датчиков, выставляемый с борта обеспечивающего судна, комплект донных приемоответчиков ГАНС-ДБ. Географическая привязка всего пространственно распределенного комплекса обеспечивается с помощью приемников спутниковой навигации, а для экстренной связи и телеуправления, когда аппарат находится на поверхности воды, используются радиомодемы.

В состав бортовой автономной навигационной системы (БАНС) входят инерциальная навигационная система (ИНС), эхолокационная система (ЭЛС), приемник GPS, навигационнопилотажные датчики (глубиномер, магнитный и гироскопический компасы, датчики крена и дифферента, измерители относительной и абсолютной скорости - вертушечный и доплеровский лаги (ВЛ, ДЛ), датчики угловых скоростей). В зависимости от конфигурации БАНС доставляемая измерителями информация используется для повышения надежности и точности работы системы. Собственно, БАНС представляет собой распределенный модуль, который образуют система счисления пути, ИНС и приемник GPS, работающие под управлением локальной вычислительной сети. Автономные навигационные средства в таком составе способны обеспечить осуществление программных миссий и накопление информации о состоянии аппарата в процессе движения.

Задача БАНС сводится к измерению курса и скорости, вычислению по этим данным проекций скорости на координатные оси и их интегрированию для определения координат. Если используется относительный лаг, то при вычислении учитываются имеющиеся данные о течении.

На рисунке 20 представлена структурно-функциональная схема комплексированной системы, реализованной в виде вычислительной модели. Алгоритм КНС содержит следующие программные блоки:

- счисление координат на основе данных от навигационно-пилотажных датчиков;
- селектирование откликов от гидроакустических приемоответчиков;
- вычисление «гидроакустических» координат на основе дальномерной информации;
- коррекция координат и оценка скорости течения.

Входными параметрами системы являются курс от гироскопического или магнитного компасов, дифферент, относительная или абсолютная скорости, предварительная оценка составляющих скорости течения (при использовании относительного лага). Выходными параметрами являются пройденный за цикл путь и координаты [39-49].

Процесс предварительной обработки сигналов от приемоответчиков ГАНС обеспечивает фильтрацию (селектирование) ложных сигналов, вызванных многолучевостью, и формирование дистанций для последующей процедуры вычисления координат. Обработка сигналов производится с учетом предыстории, т.е. накопленной за предыдущие циклы дальномерной информации. Преимущество алгоритма обработки сигналов на борту АНПА по сравнению с аналогичной процедурой на борту обеспечивающего судна заключается в том, что на АНПА используется информация о текущих счисленных координатах аппарата, на основе которой вычисляются ожидаемые времена откликов. На основе измеренных дистанций вычисляются координаты [39-49].

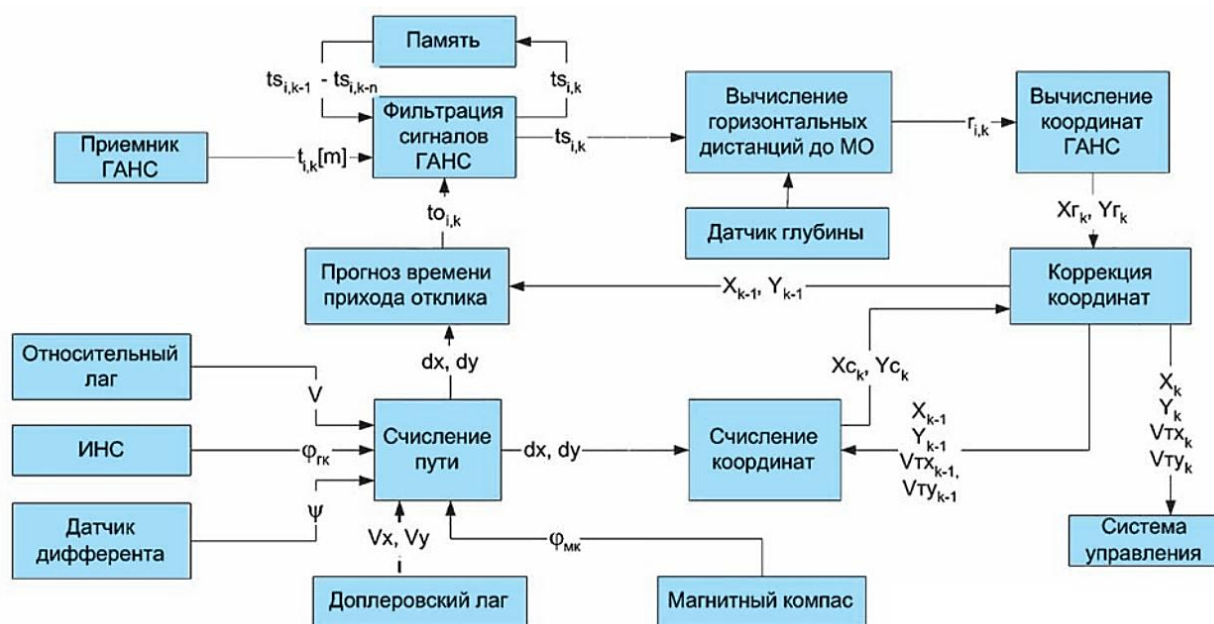


Рисунок 20 – Схема коррекции координат в КНС

3.3 Функционирование отдельных модулей АНПА

Для расширения возможности связи с аппаратом в реальном времени, а также для повышения точности навигации АНПА, может быть применен всплывающий буксируемый поверхностный модуль (БПМ), который движется за автономным аппаратом и связан с ним информационным кабелем. Всплывающий БПМ с навигационными и другими радиоантеннами (GPS, Wi-Fi, UHF) был разработан Brooke Ocean Technology, установлен и испытан на АНПА Bluefin-12. Бортовая лебедка аппарата содержит 30 м коаксиального кабель-троса диаметром 2 мм [39-49].

Эффективность такого технического решения очевидна при обследовании протяженных объектов (десятки километров), когда для навигационного обеспечения АНПА требуется многократное изменение длиннбазовой гидроакустической системы (перестановка и координирование маяков-ответчиков). Для навигационного обеспечения решения такой задачи эффективна мобильная одномаяковая гидроакустическая система. В случае применения буксируемого модуля

функции мобильного маяка выполняет приемник спутниковой навигационной системы, установленный на БПМ.

Буксируемый по поверхности модуль может быть оснащен [39-49]:

- аппаратурой скоростной радиосвязи, обеспечивающей двухсторонний информационный обмен с судном-носителем со скоростью 150-200 Мбит/с на дистанциях до 300 м (Wi-Fi, ненаправленная радиоантенна);

- аппаратурой УКВ радиосвязи, обеспечивающей двухсторонний информационный обмен с судном-носителем со скоростью 115 кбит/с на дистанциях до 7 км (ненаправленная радиоантенна);

- аппаратурой космической радиосвязи (Гонец, Иридиум), обеспечивающей пакетную передачу сообщений в управляющий центр из любой точки океана;

- приемником спутниковой навигационной системы (СНС) GPS/ГЛОНАСС, обеспечивающим определение координат модуля и навигационную коррекцию АНПА;

- акустическим синхронным излучателем, обеспечивающим совместно с УКВ пеленгатором АНПА точную навигационную привязку;

- видеокамерой, позволяющей организовать режим виртуального перископа;

- проблесковым светомаяком.

Комбинация вышеперечисленной аппаратуры в буксируемом по поверхности модуле позволит решать задачи, свойственные буксируемым и телеуправляемым аппаратам [39-49]:

- функции буксируемого аппарата (получение фото, видео, гидролокационных изображений в реальном времени на борту судна);

- функции телеуправляемого аппарата (детальное обследование объектов с помощью гидролокатора секторного обзора, видеокамер и т.п.) [39-49].

Комбинация приемника СНС БПМ и навигационной системы УКВ АНПА позволит существенно повысить точность навигационного

обеспечения АНПА. Оснащенный проблесковым светомаяком буксируемый модуль может быть использован при спускоподъемных операциях АНПА. БПМ может выступать как дополнительная опция для АНПА и подстыковываться герморазъемом к бортовой системе управления, так и штатным оборудованием АНПА с бортовой лебедкой и электроприводом для кабеля связи. В этом случае обеспечивается периодическая скрытная коррекция координат АНПА и передача информации по каналам космической радиосвязи без всплытия АНПА на поверхность.

Варианты реализации БПМ определяются способом передачи информации и типом кабеля связи.

В варианте системы с оптокабелем (рисунок 21) АНПА и БПМ комплектуются оптомодемами, обеспечивающими объединение локальных вычислительных сетей (ЛВС) Ethernet 10/100 аппарата и модуля. Кроме того, БПМ комплектуется автономным источником питания. К достоинствам этого варианта можно отнести отсутствие электрических линий связи (обрыв или затекание кабеля не приведет к выходу из строя аппаратуры АНПА), помехозащищенность канала связи. Недостатками этого варианта являются необходимость согласования времени работы АНПА и БПМ, дополнительные трудозатраты по обслуживанию автономного источника питания БПМ. Вариант системы с оптоэлектрическим кабелем (рисунок 21) отличается от предыдущего отсутствием автономного источника питания.

В варианте системы с электрическим кабелем (рисунок 22) информационный и энергетический обмен могут обеспечить адаптеры PowerLine только по двум проводам.

Существенное влияние на конструктивный облик БПМ оказывает тип кабеля связи с АНПА. В таблице 7 приведены варианты кабеля связи.

Варианты исполнения БПМ приведены ниже в таблицах 8 – 9 и зависят как от типа кабеля связи, так и от состава используемой аппаратуры.

Характеристики автономного источника питания БПМ определяются продолжительностью работы АНПА и потребляемой мощностью аппаратуры

БПМ. Исходя из автономности АНПА 24-30 ч и К.П.Д. преобразования вторичного источника питания БПМ 80%, для БПМ потребуется источник энергии 300-370 Вт·ч. Этим требованиям удовлетворяет полимерная литий-ионная аккумуляторная батарея PL-1055275-7S-TM, которая обеспечит продолжительность работы БПМ-1 43 ч [39-49].

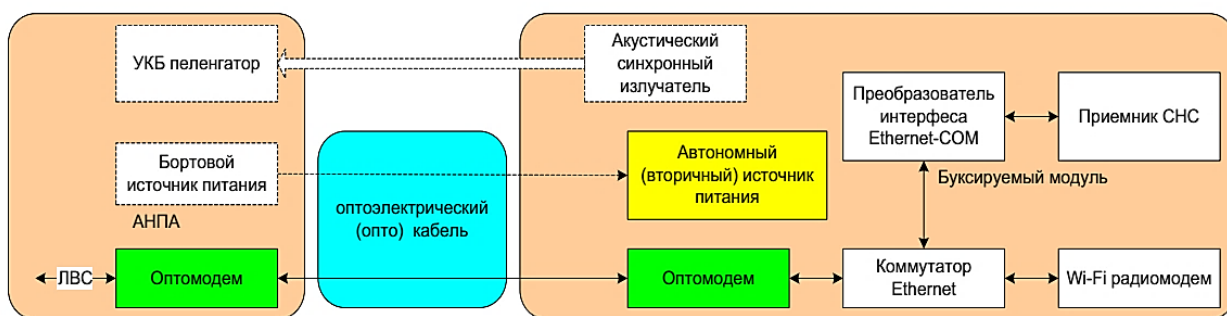


Рисунок 21 - Структура БПМ с оптоэлектрическим/оптическим кабелем

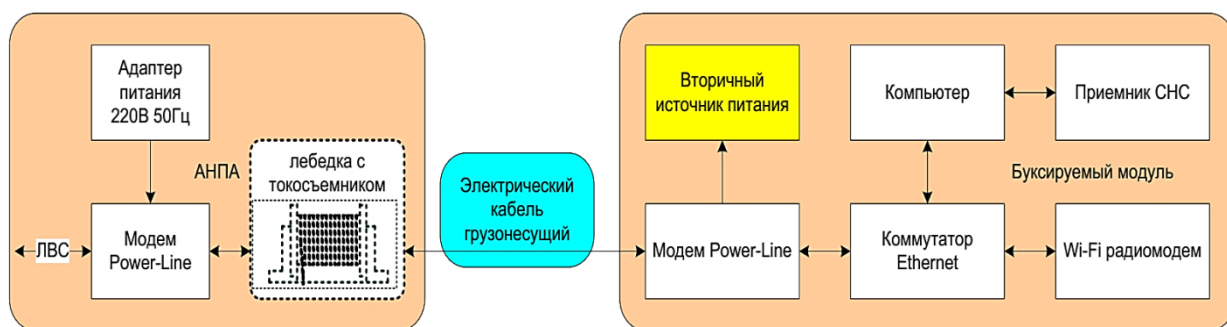


Рисунок 22 - Структура БПМ с электрическим кабелем

Таблица 7 - Варианты кабелей связи АНПА – БПМ

Наименование	Параметры	Вес в морской воде q , кг/км
Оптоволоконный кабель А01-03ОС-SLS/900	Наружный диаметр $\varnothing$ 3.0 мм	2.0
Коаксиальный грузонесущий кабель КГТМ 1К-50-1,0-1 (Псковгеокабель)	Наружный диаметр $\varnothing$ 4.2 мм Разрывное усилие, не менее 1 кН Максимальное давление 30 кг/см ²	4.5
Оптоволоконный грузонесущий кабель ОК-4Е-5 (Псковгеокабель)	Четыре одномодовых волокна Наружный диаметр $\varnothing$ 4.5 мм Разрывное усилие, не менее 5 кН	6.7

Для оценки влияния кабеля на движение комплекса АНПА-БПМ было выполнены расчеты с помощью прикладной программы ZONA. Данная программа позволяет определять силовое воздействие кабеля связи на АНПА и БПМ при их движении в стационарном потоке. Полученные в ходе

моделирования результаты сведены в таблицу 10. В ходе моделирования были приняты следующие исходные данные [39-49]:

- скорость движения привязной системы —АНПА–кабель связи–БПМ» – 1 м/с;
- длина кабеля связи – 60 м;
- форма корпуса БПМ – цилиндрическая с полусферическими законцовками (рисунок 23);
- коэффициент гидродинамического сопротивления всех вариантов БПМ $C_x=0.28$ [39-49].

Таблица 8 - Состав аппаратуры БПМ-1 оптическим кабелем и его основные технические характеристики (размещается в цилиндрическом контейнере Ø 150x500 мм)

Состав аппаратуры БПМ	Потребляемая мощность, Вт	Габариты, мм	Масса, кг
1 Оптомодем OT-V2E1-T/R 2 Коммутатор Ethernet PRV-1059 3 Приемник СНС ГеоС-1 с антенной АСП-2М 4 Преобразователь интерфейса Ethernet-COM XPort™ 5 Беспроводная точка доступа WL-330N3G 6 Аккумуляторная батарея PL-1055275-7S-TM	9.7	91x96x60	3.35
7 Вторичный источник питания THD 15-2411N TRACO (вход 18-36 В, к.п.д. 90%)	15 (5В/3А)	32x20x10	0.015

Основные возмущения, действующие на АНПА в процессе буксировки БПМ, определяются кабелем связи. Поэтому основным требованием при выборе кабеля связи АНПА с БПМ является его минимальный диаметр.

БПМ с оптическим кабелем является наиболее безопасным техническим решением с точки зрения обеспечения живучести АНПА [39-49].

Таблица 9 - Состав аппаратуры БПМ-2 с электрическим кабелем и его основные технические характеристики (размещается в цилиндрическом контейнере Ø 120x300 мм)

Состав аппаратуры БПМ	Потребляемая мощность, Вт	Габариты, мм	Масса, кг
1 Адаптер PowerLine TL-PA2010 2 Коммутатор Ethernet PRV-1059 3 Приемник СНС ГеоС-1 с антенной АСП-2М 4 Преобразователь интерфейса Ethernet-COM XPort™ 5 Беспроводная точка доступа WL-330N3G	8.7	91x96x60	0.65
6 Вторичный источник питания AMEL10-5SMAZ AIMTEC (вход 90-220 В, 50-440 Гц, к.п.д. 77%)	10 (5В/2А)	57x31x25	0.07

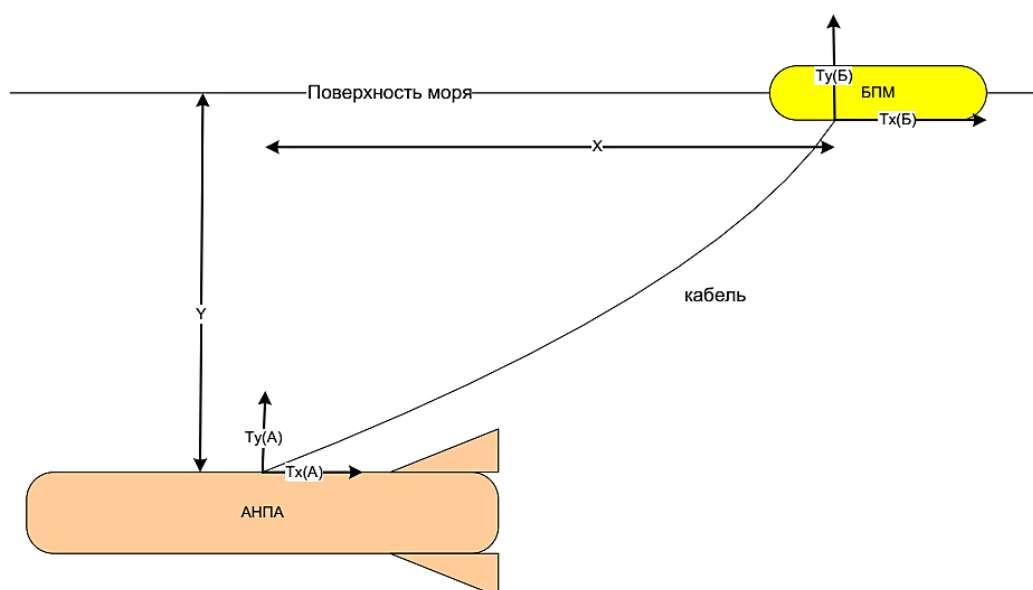


Рисунок 23 - Расчетная схема определения реакции кабеля связи на АНПА и БПМ

Таблица 10 - Результаты расчета сил, действующих на БПМ и АНПА, от кабеля связи

Вариант БПМ	Глубина Y , м	Реакция кабеля, Н			
		БПМ		АНПА	
		$T_x(B)$	$T_y(B)$	$T_x(A)$	$T_y(A)$
БПМ-1 (кабель A01-03OC- SLS/900)	20	3,7	20	25	3
	30	3,7	40	45	12
БПМ-2 (кабель КГГМ 1К-50-1,0-1)	20	6,0	31	33	4
	30	6,0	56	55	14

Навигационный комплекс содержит маяки-ответчики, приёмопередаточную аппаратуру АННА и судовом навигационный комплекс, которые в совокупности обеспечивают навигацию, телеуправление, телеметрию и контроль выполнения миссии путем анализа, передаваемой с борта АНПА информации. В структуре судового оборудования разделяются собственно аппаратура, установленная непосредственно на борту судна, и опускаемый с борта судна на кабель-тросе буксируемый гидроакустический антенный модуль (БАМ (ПМСН)) (рисунок 24). Структура СНК представлена на рисунке 25. В буксируемом антенном модуле конструктивно совмещены приемная антенна ГАНС-УКБ, приёмопередающая антенна ГАНС-ДБ, приемная антенна гидроакустической связи. В составе модуля размещены также контейнеры с блоками электроники и датчиками угловой ориентации [39-49].

Судовой навигационный комплекс обеспечивает решение следующих задач:

- загрузку/инициализацию работы программ БАМ;
- приём и отображение информации GSM, угловых датчиков и глубины;
- обработку информации ГАНС-ДБ, ГАНС-УКБ, вычисление координат и отображение положения БАМ, судна и маяков-ответчиков;
- телеуправление АНПА через каналы ГАНС-ДБ и ГАНС;
- обработку информации ГАНС и отображение принимаемой информации с борта АНПА (данных СТЗ и вектора состояния аппарата) [39-49].

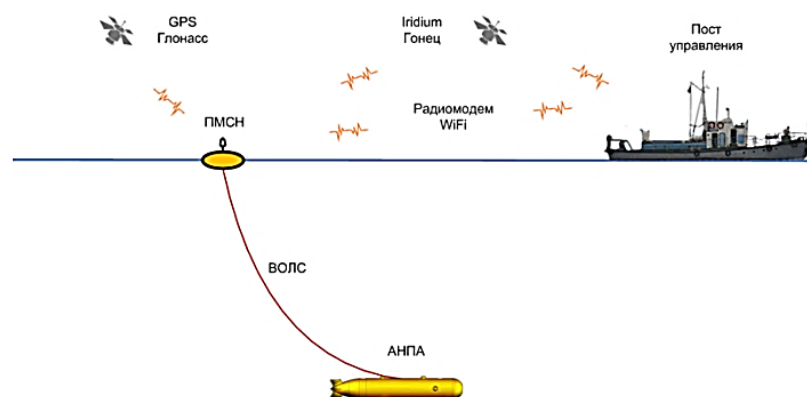


Рисунок 24 – Функционально-структурная схема работы АНПА с БАМ (ПМСН) (буксируемый гидроакустический антенный модуль)

Эффективность использования буксируемых ПМСН особенно очевидна при обследовании протяженных объектов (подводных трубопроводов), когда для навигационного обеспечения АНПА требуется многократная перестановка и координирование донных маяков-ответчиков ГАНС ДБ. Координаты АНПА относительно поплавка можно уточнять в ходе расчета параметров привязной системы «ПМСН – кабель связи – АНПА» в стационарном потоке известной скорости. В целом оснащение АНПА выпускаемым до поверхности ПМСН обеспечивает следующие преимущества проведения подводно-технических работ:

- непрерывная скоростная связь с постом управления и отслеживание активности;

- сбор данных в реальном времени и принятие решения;

- экономия затрат энергии, расходуемой на периодическое всплытие АНПА;

- коррекция времени и ошибки, накопленной бортовой навигационной системой, без использования средств гидроакустической навигации;

- скрытность выполнения сеанса радиосвязи и навигации [39-49].

В состав СНК входят: судовой блок ГАНС-ДБ, судовой блок ГАНС-УКБ и ГАСС, один или несколько персональных компьютеров и приёмник GPS.

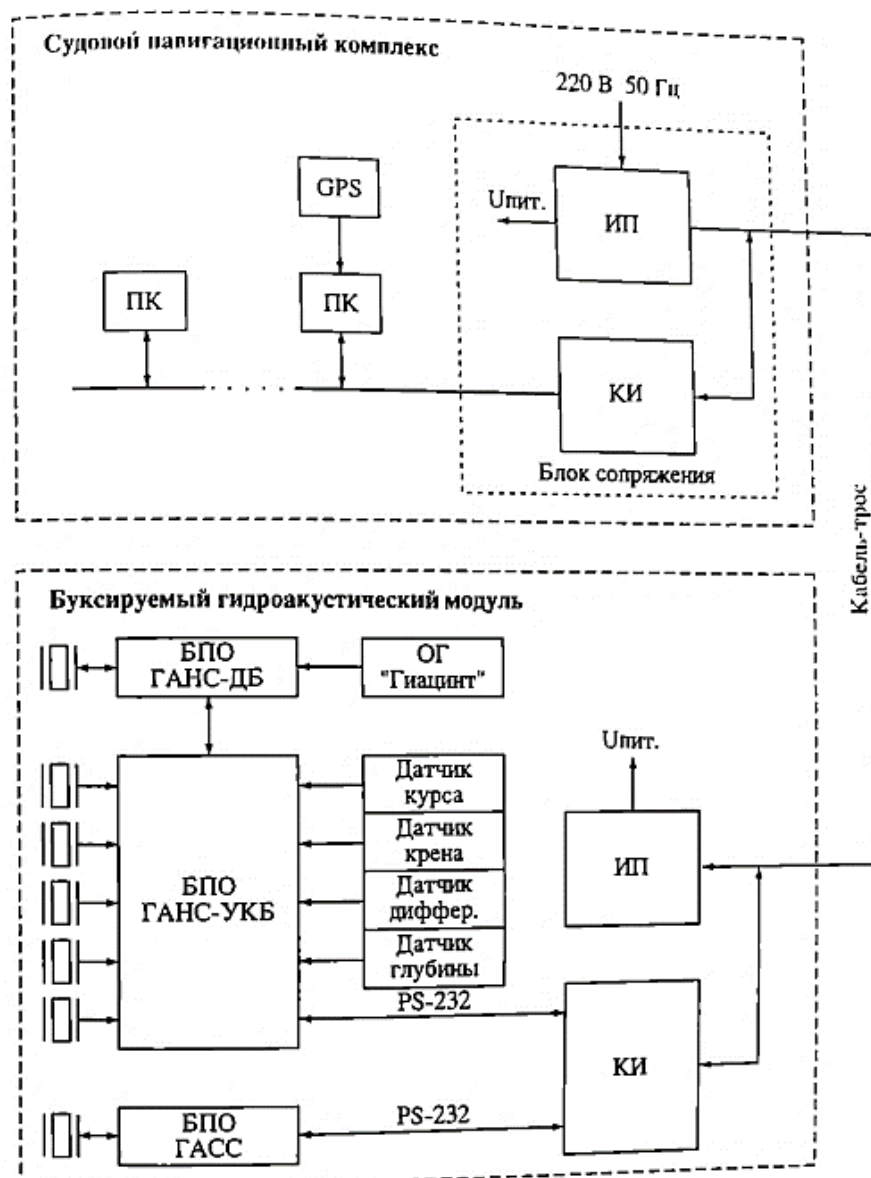


Рисунок 25 – Структурная схема судового гидроакустического комплекса

ПК – персональный компьютер; ИП – источник питания; КИ – кабельный интерфейс; БПО – блок предварительной обработки; ГАНС-ДБ – длинно-базисная гидроакустическая навигационная система; ГАНС-УКБ – гидроакустическая навигационная система с ультракороткой базой; ГАСС – гидроакустическая система связи; ОГ – опорный генератор

Основные технические решения реализации дистанционного управления АНПА через буксируемый ПМСН были опробованы в ИПМТ в 2016 году в ходе отладки систем гибридного АНПА «Чилим» с волоконно-оптическим кабелем связи. С учетом выбранной структуры комплекса, показанной на рисунке 26, был определен конструктивный облик ПМСН, обеспечивающий размещение необходимого состава оборудования,

требуемую ориентацию антенной системы, размещение запаса оптоволоконного кабеля связи с АНПА и необходимые запасы плавучести и остойчивости. Конструктивный облик ПМСН иллюстрирует рисунок 27 [39-49].

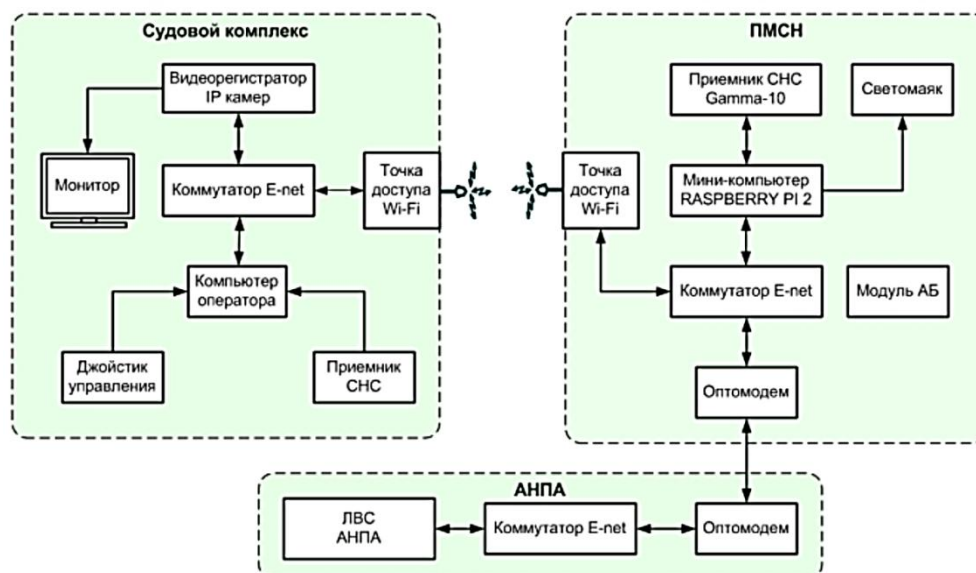


Рисунок 26 - Структура информационного обмена комплекса «АНПА – ПМСН – судно»



Рисунок 27 - Конструктивный облик макета буксируемого ПМСН



Рисунок 28 – Запуск АНПА с БАМ (ПМСН)

Схема работы ГАНС-ДБ состоит в следующем. АНПА излучает акустические навигационные импульсы с заданным периодом следования, заданной частоты и длительности. Приём навигационных сигналов ведется предварительно установленными в районе работ маяками-ответчиками и судовой приёмопередающей антенной. МО ретранслируют навигационный сигнал на собственной частоте. Борт судна и АНПА синхронизированы в момент старта АНПА. На борту судна определяются временные задержки навигационного сигнала, прошедшего по трассам АНПА - судовой антенна и АНПА-МО - судовой антенна. Далее, с использованием методов лучевой акустики, рассчитывается скорость распространения акустических сигналов и определяются дальномерные данные, необходимые для решения навигационной задачи.

Основным режимом работы ГАНС-ДБ является режим определения координат. Кроме того, можно передавать команды телеуправления АНПА, принимать и декодировать данные телеметрии, переданные с борта АНПА и управлять работой маяков-ответчиков: выключать и включать излучение, включать режим автокалибровки донной базы, вызывать маяки-ответчики на подъем. Для передачи команд управления судовой антенна излучает импульсы специальной частоты. Период следования является информационным признаком команды. Эффективная скорость передачи информации составляет единицы бит в секунду. Для передачи

телеметрической информации с борта АНПА используются импульсы частот запроса, задержанные относительно опорного (навигационного) импульса на время, пропорциональное значению передаваемого параметра [39-49].

Структурная схема ГАНС-УКБ приведена на рисунке 29.

Конструктивно система состоит из судового комплекса аппаратуры, включающего подводный и бортовой блоки, и блока излучения навигационных сигналов, устанавливаемого на борту АНПА. Блок АНПА является общим для ГАНС-ДБ и ГАНС-УКБ и предназначен для излучения тональных радиоимпульсов с частотой заполнения 12,5 кГц, длительностью 20 мс и периодом следования 30 с. Уровень излучения 192 дБ относительно 10^{-6} Па/м (4000 Па). Судовой блок и блок АНПА оснащены высокостабильными кварцевыми генераторами, которые синхронизируются перед началом работы. Судовой блок обработки связан одножильным кабель-тросом с подводным блоком. В подводном блоке размещены приёмная антенна в виде шестиэлементной разреженной круговой базы, датчики угловой ориентации антенны, шестиканальный линейный аналоговый приёмный тракт, обнаружитель, АЦП, устройства управления и сопряжения с кабелем [39-49].

Обнаружитель реализован аппаратными средствами и обеспечивает запуск АЦП и блоков обработки при обнаружении навигационного сигнала, излучаемого объектом навигации. Обработка данных выполняется в такой последовательности. Акустический навигационный сигнал, излучаемый АНПА, преобразуется гидрофонами антенны ГАНС-УКБ в шесть электрических сигналов, каждый из которых имеет свою амплитуду и фазу, значение которых зависят от искомых навигационных параметров – дальности, пеленга и угла места. В момент приёма навигационного сигнала фиксируются также показания датчиков угловой ориентации антенны. Эти датчики установлены на одной платформе с антенной [39-49].

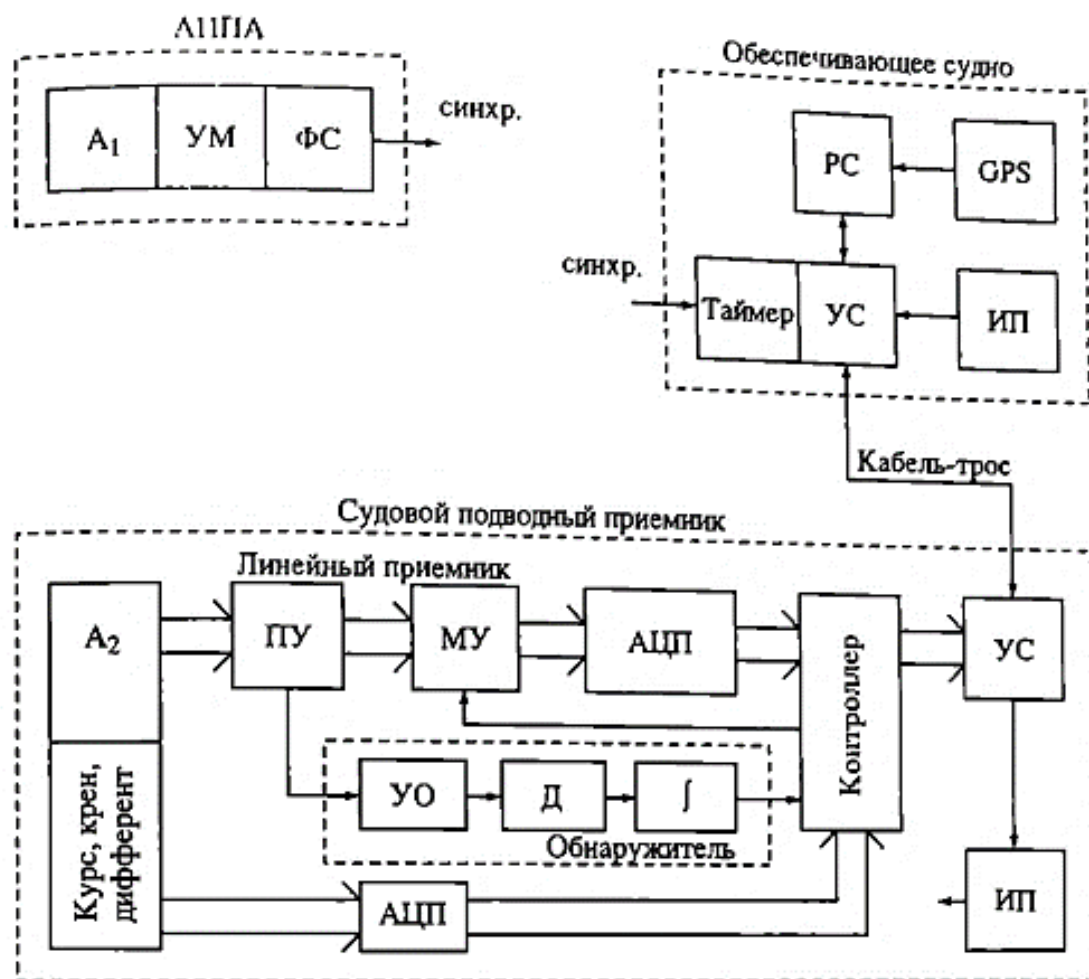


Рисунок 29 – Структурная схема ГАНС-УКБ

A_1 – излучающая антенна АНПА; УМ – усилитель мощности; ФС – формирование сигналов; РС – профессиональный компьютер; GPS – приёмник спутниковой навигационной системы; УС – устройство сопряжения; ИП – источник питания; ПУ – предварительный усилитель; A_2 – приёмная антенна; МУ – масштабный усилитель; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; УО – усилитель-ограничитель; Д – детектор

В приёмнике подводного блока выполняются фильтрация, усиление и аналого-цифровое преобразование сигналов. Затем цифровые отсчеты сигналов по кабель-тросу поступают в судовой блок и специализированный компьютер. В компьютер также вводятся данные антенны спутниковой навигационной системы GPS. Дальнейшая обработка данных обеспечивается программными средствами. Программно реализованы процедуры фазирования, определения дальности, угла места, решения точного уравнения пеленга, определение погрешности текущего измерения пеленга, накопление и фильтрация дальномерных и угловых данных. Структурно-функциональная схема обработки данных приведена на рисунке 30.

По функциональному назначению при обработке выделены блок измерения параметров навигационного сигнала, блок формирования управляемой ХН, блок расчета пеленга и угла места с учетом текущей угловой ориентации антенны, блок обработки и отображения навигационных данных [39-49].

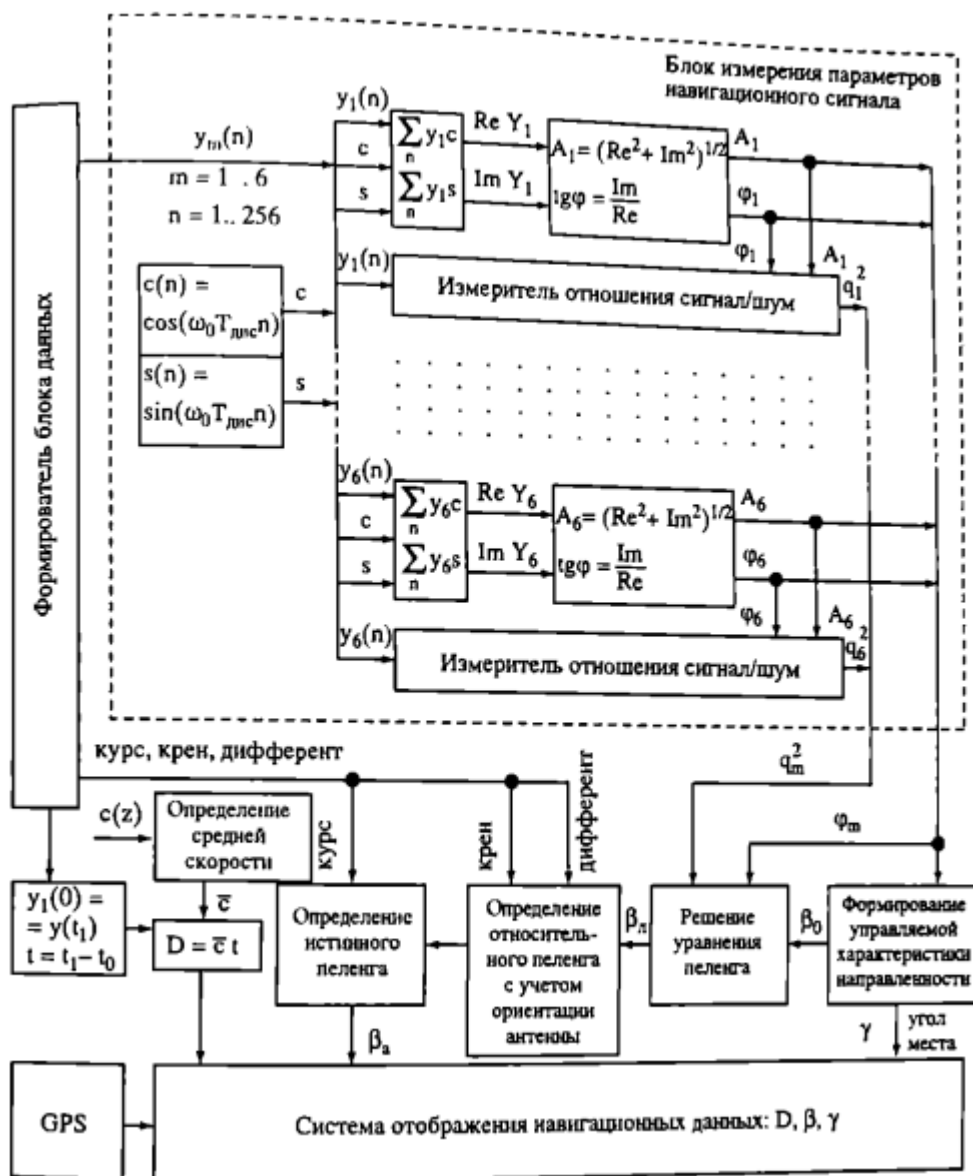


Рисунок 30 – Структурно-функциональная схема обработки данных ГАНС-УКБ

Одним из достоинств ГАНС-УКБ является возможность эксплуатации системы в режиме сопровождения АНПА обеспечивающим судом, буксирующим приёмную антенну. Такой режим является основным, например, при выполнении детальных обследований состояния подводных

трубопроводов, когда необходимо при минимальном числе пусков провести обследование многокилометровых трасс [39-49].

3.4 Функционирование гидроакустической системы связи

Гидроакустический информационно-измерительный комплекс – это техническое средство регистрации гидроакустических сигналов в реальном масштабе времени, состоящие из специальных программно-аппаратных средств цифровой обработки сигналов и технических средств приема и передачи сигналов. Под регистрацией подразумевается цифровая обработка гидроакустических сигналов, решающая задачи обнаружения и оценивания параметров сигнала при осуществлении информационного обмена по гидроакустическому каналу. Информационный обмен может включать в себя задачи обсервации, телеметрии и управления подводными объектами.

Задача обсервации решается вычислением наклонной дальности через измерение времени распространения сигнала в гидроакустическом канале между передающим и приёмным устройствами. После обобщения результатов нескольких измерений выполняется определение относительной позиции подводного объекта [39-49].

В зависимости от принципа измерения времени распространения сигнала системы делятся на пассивные (однопроходный принцип измерения) и активные (двухпроходный принцип измерения). При активном измерении сигнал излучается передающим устройством. Приемное устройство принимает либо отраженный сигнал (пассивный ответ) от препятствия, либо ответный сигнал от маяка (активный ответ). Формирование ответного сигнала предполагает наличие

на маяке приемного и передающего устройств. При пассивном измерении

времени распространения сигнала маяк является источником излучения, а объект

обсервации осуществляет только прием сигнала с целью определения собственного местоположения [39-49].

Задачи телеметрии и управления решаются двухсторонней передачей информационно-измерительных данных. Процесс передачи данных заключается в излучение модулированного сигнала по гидроакустическому каналу на одной стороне и в его приеме и демодуляции (определении информационного символа) на другой.

Существует несколько видов информационно-измерительных данных, которые характеризуются различными показателями скорости и минимального количества ошибок в передаваемых данных [39-49]:

1 Данные управления и контроля – навигационные данные, сигналы управления и взаимодействия с подводными объектами:

- скорость передачи данных до 1 кбит/с;
- относительное число ошибок (BER) от 10^{-4} – 10^{-5} .

2 Телеметрические данные – сигналы состояния подводного объекта, информация от датчиков (гидрофоны, сейсмометры, сонары, датчики течений, загрязнений):

- скорость до 1 кбит/с;
- относительное число ошибок от 10^{-3} – 10^{-4} .

3 Видео- и аудио данные:

- скорость свыше 3 кбит/с;
- относительное число ошибок от 10^{-2} – 10^{-3} .

Объектами информационного обмена могут быть (рисунок 31):

- суда обеспечения с судовыми блоками обработки гидроакустических сигналов;

- автономные необитаемые подводные аппараты или подводные роботы, оснащенные гидроакустическими приемо-передающими аппаратно-программными комплексами для регистрации гидроакустических сигналов;

- гидроакустические маяки;
- стационарные подводные системы сбора данных;

- береговые станции.

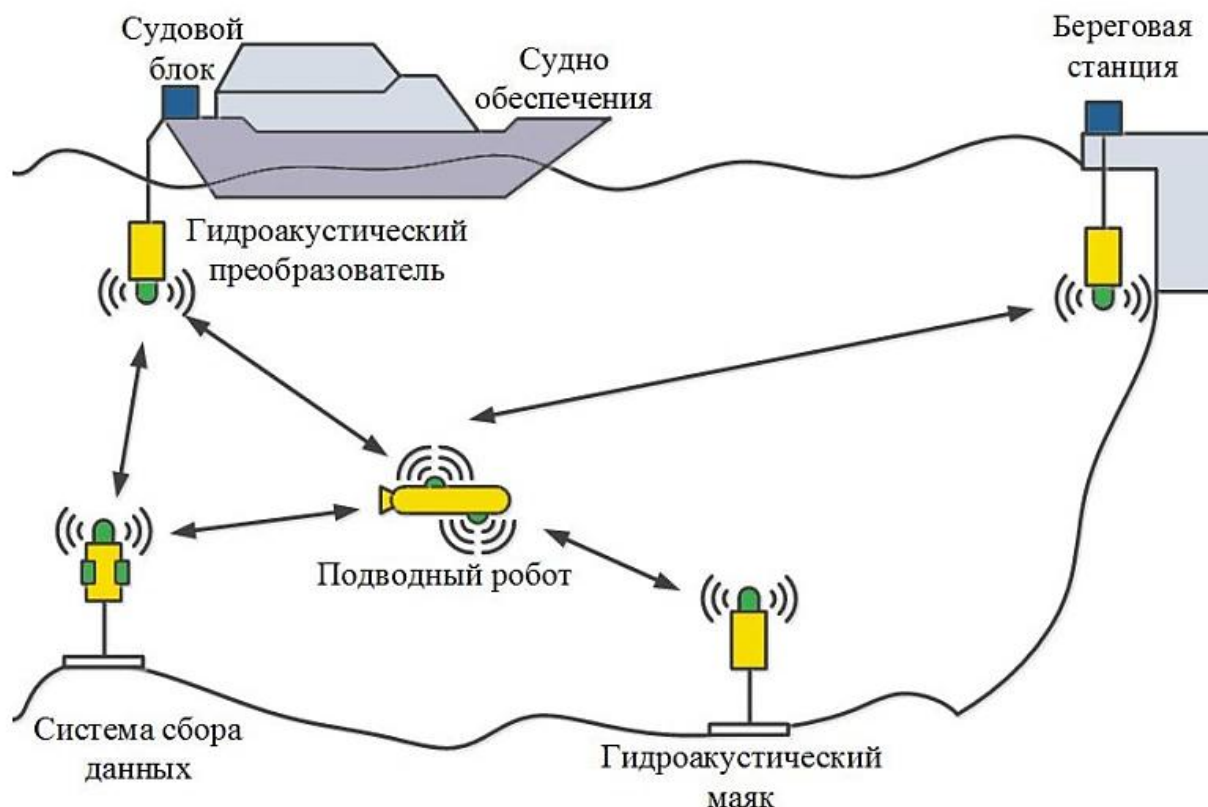


Рисунок 31 - Схема взаимодействия объектов информационного обмена

Можно выделить основные требования, предъявляемые к современным гидроакустическим информационно-измерительным комплексам [39-49]:

- автономность работы, обусловленная повышением функциональности подводного объекта и автоматизацией выполнения миссий;
- низкое энергопотребление, обусловленное ограничением массогабаритных показателей (системы элементов питания составляют значительную часть подводных объектов);
- высокая точность обнаружения момента прихода сигналов для обсервации и высокая помехоустойчивость передачи данных, обусловленные выполнением более сложных миссий без вмешательства человека;
- повышенная дальность функционирования, обусловленная уменьшением количества используемых подводных объектов;
- одновременная работа множества подводных объектов (абонентов), обусловленная усложнением целевых миссий.

В большинстве гидроакустических информационно-измерительных комплексах задачи обсервации и передачи информационно-измерительных данных решают различные устройства. Это, в основном, связано с тем, что они построены на базе специализированных микроконтроллеров и цифровых сигнальных процессоров. Недостатком цифровых сигнальных процессоров и микроконтроллеров является низкая производительность при большом количестве вычислительных процессов в таких задачах, как многоканальная обработка сигналов.

На сегодняшний день ввиду развития микропроцессорных технологий, таких, как программируемые системы на кристалле, позволяющие совместить последовательные и параллельные процессы обработки информации, целесообразным является унифицировать блок цифровой обработки сигналов на данной аппаратной платформе для комплексного решения задачи информационного обмена и увеличения надежности, снижения энергопотребления и массогабаритных показателей. На рисунке 32 обозначено выделение блока цифровой обработки гидроакустических сигналов в каждом объекте информационного обмена.

В таблице 11 представлен сравнительный обзор основных характеристик некоторых информационно-измерительных комплексов для регистрации гидроакустических (ГА) сигналов различных производителей.

Заявленные показатели точности обнаружения момента прихода гидроакустического сигнала, относительного числа ошибок существующих информационно-измерительных комплексов обеспечены при соотношении сигнал/шум (SNR) на входе приемника 6 и более дБ.

Снижение энергетических показателей достигается за счет перехода в спящий режим (отключение на фиксированное время всей системы), что неэффективно при использовании комплексов в задачах, требующих постоянного включения (обзорно-поисковые работы) [39-49].

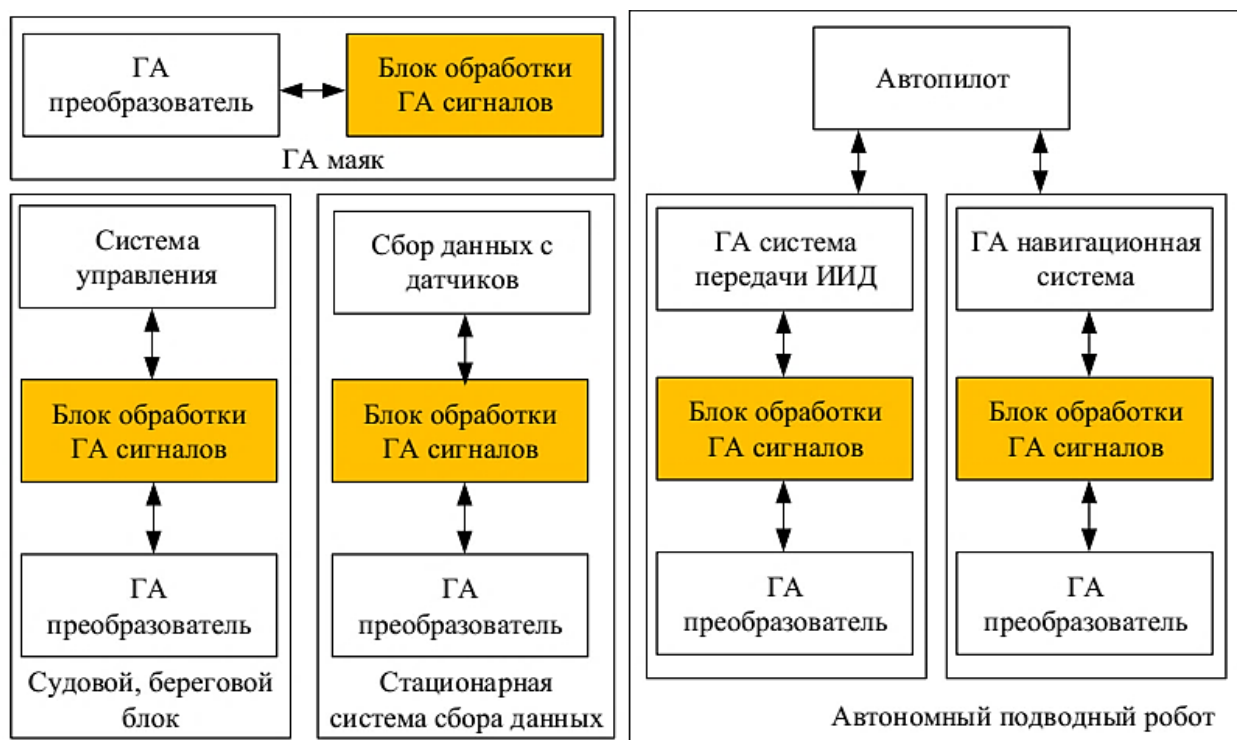


Рисунок 32 – Унификация блока цифровой обработки гидроакустических сигналов

Принцип работы ГАСС основан на излучении и приёме элементарного акустического сигнала минимальной длительности, в котором в качестве информационных признаков выступают частота и фаза сигнала. Структура декодирования принимаемого символа основана на предположении, что в условиях вертикального канала связи прямой сигнал имеет максимальную амплитуду, а уровень донных и поверхностных отражений ниже. Кроме того, вводится защитный временной интервал при передаче данных, чтобы можно было дополнительно разделить прямые и отраженные сигналы с временной селекцией [39-49].

Таблица 11 - Сравнительные характеристики информационно-измерительных комплексов различных производителей

Производитель	Evologics	Sonardyne	ИПМТ	Aquatec	Benthos	Link-Quest
Страна	Германия	Великобритания	Россия	Великобритания	США	США
Модели (передача данных, обсервация)	-S2C-R -LBL	-COMM -Fusion- Ranger	-ГАСС -ГАНС	-Aquamodem -LBL	-ATM -DAT	-UWM -PinPoint
Год	2008	2006	2008	2005	2009	2004
Тип модуляции	S2C	QPSK	MFSK QPSK	DSSS MFSF	MFSK PSK	BASS
Дальность, км	8	7	6	15	10	10
Глубина, км	6	7	6	2	6	7
Энергопотребление в режиме передачи, Вт	3,5-80	50	100	20	20	40
Энергопотребление в режиме приема (сон), Вт	1 (0,003)	1 (0,03)	5 (-)	1,1 (0,005)	1,2 (0,01)	1,3 (0,009)

Производитель	Evologics	Sonardyne	ИПМТ	Aquatec	Benthos	Link-Quest
<i>BER</i> , отн. ед.	10^{-8}	10^{-8}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
Скорость передачи, кбит/с	2	2	1	2	2	2
Погрешность обнаружения момента прихода сигнала, мс	0,2	0,32	1	1	0,23	0,27
Число каналов обработки	32	н/а	10	н/а	16	н/а
Минимальное <i>SNR</i> , дБ	-3	3	6	6	-3	0
Частотный диапазон, кГц	7-17	14-22	11-13	8-12	9-14	7,5-12,5
Массогабаритные показатели	400×130 21 кг	700×120 11 кг	500×100 10 кг	242×165 5 кг	736×127 16,5 кг	580×150 21 кг
Напряжение питания, В	12-24	18-50	24	6-20	н/а	12-24
Интерфейсы	RS232 RS485 Ethernet	RS232	RS485	RS-232 USB	RS-232 RS-422 RS-485	RS232 RS422
Аппаратная платформа	DSP x86	DSP	DSP	DSP RISC	DSP	DSP

Чтобы обеспечить режим выбора максимального сигнала, в течении сеанса связи ведется оценка АЧХ канала связи и выравнивание модулей коэффициентов передачи канала на всех рабочих частотах. Исходящее графическое изображение, полученное в системе технического зрения АНПА, преобразуется в виде последовательных строк. Каждый символ в

строке имеет смысл яркости соответствующего пикселя графического изображения [39-49].

Работой системы управляет автопилот АНПА. Данные ГБО или фототелевизионной системы представляются автопилотом АНПА в виде кадра графического изображения. Непрерывный поток данных, разделенных на строки с использованием строчной и внутристрочной синхронизации, передается передатчиком АНПА и принимается приёмником ГАСС, передаётся по кабельной линии на борт судна, где декодируется в судовом блоке ГАСС и отображается на экране монитора в виде графического изображения.

Приёмник ГАСС состоит из приёмной гидроакустической антенны, предварительного усилителя, размещённого в герметическом контейнере совместно с антенной системы навигации, и судового модуля приёмника, размещенного в судовом блоке гидроакустического навигационного комплекса [39-49].

Для визуализации подводной обстановки с применением телеуправляемых и автономных подводных аппаратов используются главным образом оптические и акустические средства. Оптические средства визуализации благодаря существенно более короткой длине волны обеспечивают наибольшее разрешение. Однако вследствие значительного поглощения света дальность действия оптических средств освещения даже в чистой воде не превышает десятков метров, а в мутной воде, характерной для условий проведения подводно-технических работ, а также для большинства внутренних водоёмов, она не превышает метра. В этом случае практически единственную возможность для получения информации о подводной обстановке предоставляют гидроакустические средства благодаря существенно меньшему затуханию звука в воде [39-49].

Очевидным требованием к гидроакустическим средствам визуализации, кроме высокой дальности действия, является обеспечение высокой разрешающей способности, определяемой как размерами элемента

разрешения, так и числом этих элементов. Стремление одновременно уменьшить весогабаритные характеристики гидролокатора и повысить его разрешающую способность неизбежно приводит к необходимости повышения рабочей частоты. Однако повышение рабочей частоты сдерживается ростом коэффициента поглощения звука и соответственно дальности действия гидролокатора. Существует прямая связь между дальностью действия гидролокатора и оптимальной рабочей частотой, и, следовательно, размерами антенны. В таблице 12 приведены ориентировочные оценки оптимальной частоты и соответственно линейного размера антенны в зависимости от дальности действия для гидролокатора секторного обзора с числом разрешаемых элементов порядка 100 [39-49].

Таблица 12 - Ориентировочные оценки оптимальной частоты и линейного размера антенны в зависимости от дальности действия для гидролокатора секторного обзора с числом разрешаемых элементов порядка 100

Дальность действия, м	20	50	100	200	500	1000
Оптимальная частота, кГц	710	360	220	130	67	40
Длина антенны, м	0,21	0,42	0,68	1,15	2,24	3,75

Следует отметить, что с увеличением дальности действия гидролокатора, с одной стороны, увеличиваются размеры антенны и гидролокатора в целом, а с другой – ухудшается линейное разрешение с увеличением дистанции. Даже при угловом разрешении $0,5^\circ$ на дистанции 100 м линейное разрешение составит порядка 1 м, что неприемлемо при поиске и распознавании малогабаритных объектов. Повышение линейного разрешения в этом случае возможно при приближении гидролокатора к подводному объекту с помощью телеуправляемых или автономных подводных аппаратов [39-49].

В зависимости от решаемой задачи освещения подводной обстановки для установки на подводные аппараты могут быть востребованы все известные типы гидролокаторов: многолучевые эхолоты (МЛЭ) – для картирования дна, поиска объектов на дне и в водной толще, гидролокаторы бокового обзора (ГБО) – для поиска объектов на дне в широкой полосе

обзора, а при использовании интерферометрического ГБО (ИГБО) – и для площадной съёмки рельефа дна, гидролокаторы секторного обзора (ГСО) – для обеспечения навигационной безопасности и поиска объектов по курсу движения подводного аппарата. Особой разновидностью гидролокаторов секторного обзора являются 2D- и 3D-звуковизоры, отличающиеся повышенной разрешающей способностью по углу (не хуже 1°) и по дистанции (порядка 1 см).

Эти звуковизоры могут использоваться для поиска, обследования и распознавания подводных объектов по их акустическому изображению.

Востребованность в различных гидролокаторах для подводных аппаратов учитывается при разработке много функциональной гидроакустической системы (МФГС), предназначенной для площадной съёмки дна и обеспечения навигационной безопасности плавания. Общий вид МФГС с расположением антенн и секторов обзора представлен на рисунке 33.

В состав этой системы входят многолучевой эхолот, гидролокатор бокового обзора, интерферометрический ГБО и вперёдсмотрящий гидролокатор секторного обзора. Все эти гидролокаторы размещаются на одном носителе, который может либо жёстко крепиться к борту судна, либо буксироваться за кабель-трос. Для обеспечения возможности использования отдельных гидролокаторов, входящих в состав МФГС, на телеуправляемых или автономных подводных аппаратах предпринимаются следующие меры:

минимизируются весогабаритные характеристики;

предусматривается возможность механического отсоединения отдельных гидролокаторов;

унифицируются электрический и программный интерфейсы [39-49].

Схема информационных потоков в МФГС представлена на рисунке 34.

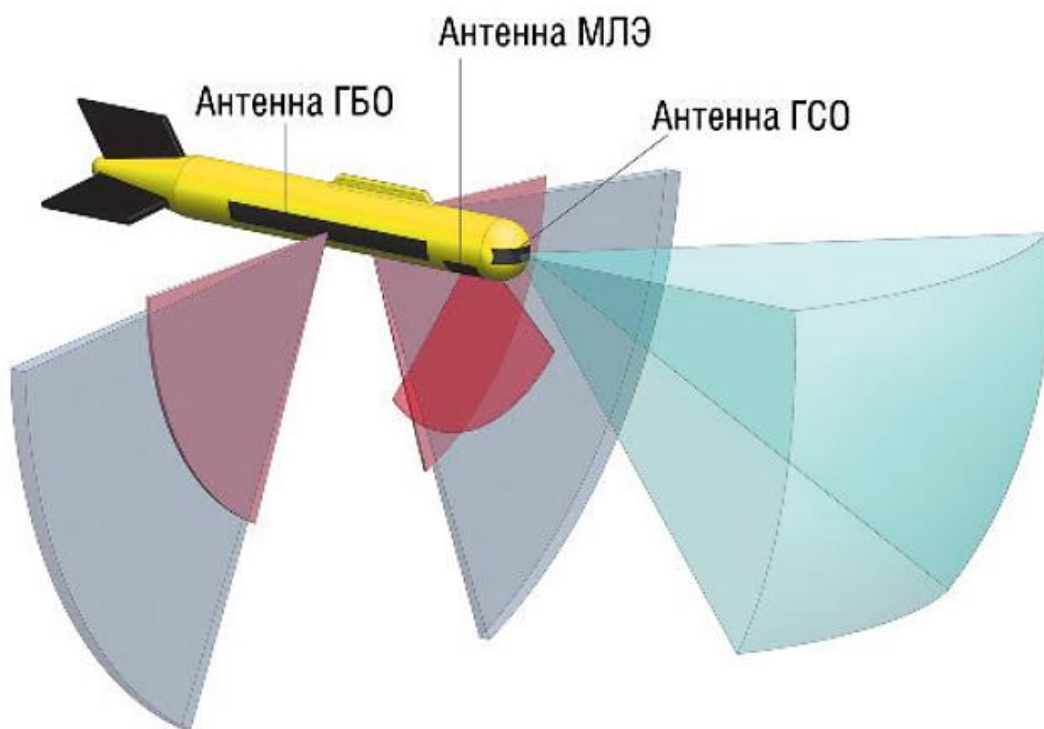


Рисунок 33 - Общий вид многофункциональной гидроакустической системы

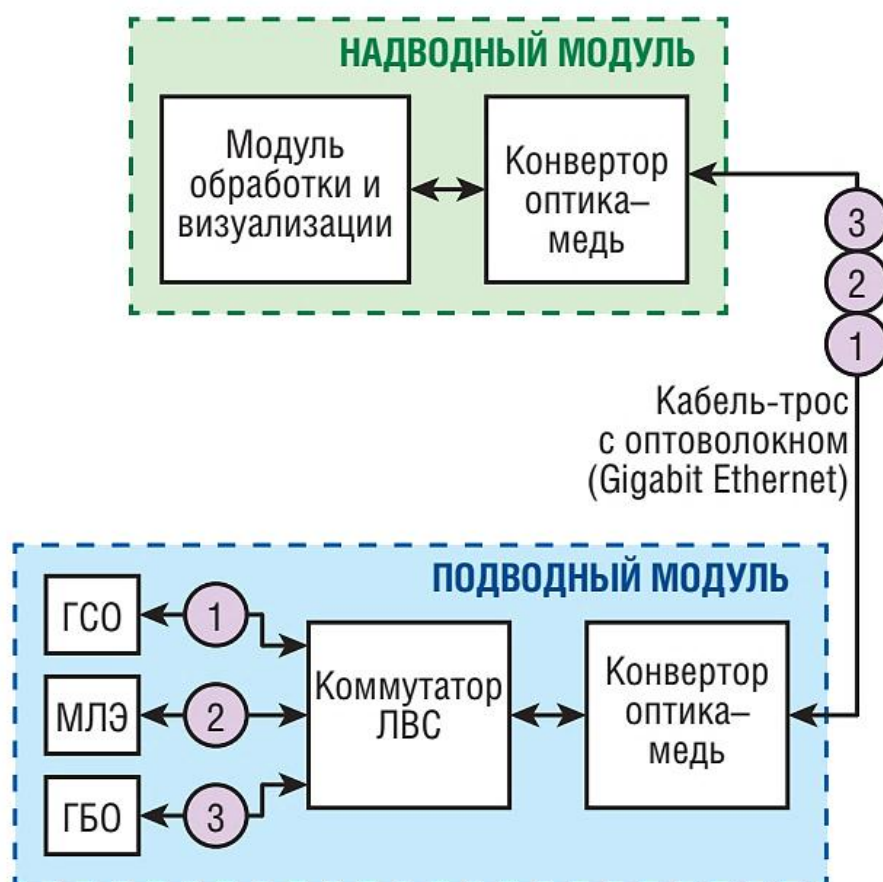


Рисунок 34 - Схема информационных потоков в МФГС

1 – информация от ГСО, формат UDP, 30 Мбит/с; 2 – информация от МЛЭ, формат UDP, 200 Мбит/с; 3 – информация от ГБО, формат UDP, 15 Мбит/с.

Каждый из гидролокаторов предусматривает обмен информацией по стандарту Ethernet. Для обеспечения обмена информацией с каждым из гидролокаторов по одному кабелю используется стандартный коммутатор локальной вычислительной сети (ЛВС). При такой организации информационных потоков каждый из гидролокаторов может использоваться независимо от других.

Далее приводится краткая характеристика отдельных гидролокаторов, входящих в состав МФГС.

Гидролокатор секторного обзора (ГСО) предназначен для обеспечения навигационной безопасности буксируемого тела. Корпус гидролокатора выполнен в виде полусферы диаметром 190 мм. Для размещения антенны часть полусферы выбрана под цилиндрическую поверхность радиусом 100 мм. Антенна состоит из трёх рядов пьезоэлементов (ПЭ), работающих в обратимом режиме. Каждый ряд содержит 20 ПЭ, размещаемых на дуге протяжённостью 106° . Корпус ГСО закрепляется в носовой части буксируемого тела так, чтобы антенна была обращена в сторону его движения, а дуги с ПЭ располагались в горизонтальной плоскости [39-49].

Блок электроники размещается внутри полусферического корпуса ГБО и частично выступает за её пределы. Для обеспечения герметичности блок электроники закрывается крышкой, выполненной в виде цилиндрического колпака. Высота колпака составляет 60 мм.

На задней крышке колпака размещается герморазъём на 8 контактов. К герморазъёму подключается кабель, содержащий 4 витые пары. Две пары используются для связи с внешним потребителем по стандарту Fast Ethernet, а две другие – для подачи питания от внешнего источника тока.

По Ethernet-связи подводный модуль передаёт выборку сигналов со всех элементов приёмной антенны. Оцифровка входных сигналов, а также их цифровая фильтрация, децимация и формирование передаваемых пакетов производятся под управлением программируемой логической интегральной

схемы (ПЛИС), входящей в состав блока электроники. Кроме того, ПЛИС формирует излучаемые сигналы, сигнал управления коэффициентом усиления, осуществляет приём сигналов управления, передаваемых пользователем по Ethernet-связи. Эти сигналы управления позволяют варьировать параметры излучаемого сигнала (длительность, период посылки, полосу частот и форму), длительность выборки, сектора облучения [39-49].

Многолучевой эхолот (МЛЭ) выполнен в форме цилиндра диаметром 120 мм и высотой 170 мм.

Излучающая антенна длиной 120 мм вмонтирована вдоль образующей цилиндрического корпуса. Приёмная антенна имеет форму дуги и располагается на боковой поверхности одной из крышек корпуса. Для совмещения поверхности этой антенны с поверхностью обтекателя буксируемого тела радиус дуги антенны приравнивается радиусу буксируемого тела, равной 95 мм. В угловом измерении длина приёмной антенны составляет 74°.

Блок электроники МЛЭ выполняет те же функции, что и блок электроники ГСО: формирование излучаемых сигналов, усиление сигналов с элементов приёмной антенны с регулируемым по времени коэффициентом усиления, оцифровку этих сигналов, цифровую фильтрацию, децимацию и пересылку пользователю по стандарту Gigabit Ethernet. Для подключения МЛЭ к Ethernet-линии в основании его цилиндрического корпуса монтируется герморазъём на 8 контактов. Подача питания в МЛЭ производится по сигнальным парам проводов с использованием технологии Power over Ethernet (PoE). В состав блока электроники дополнительно включены датчики крена, дифферента и электронный компас [39-49].

Гидролокатор бокового обзора (ГБО) включает в свой состав блок электроники, конструктивно выполненный в виде цилиндра диаметром 96 мм и высотой 270 мм, и две линейные антенны, одна из которых крепится к левому борту буксируемого тела, а вторая – к правому. Подключение антенн

к блоку электроники производится с помощью гибких кабелей и герморазъёмов.

Интерферометрический гидролокатор бокового обзора (ИГБО) формируется на основе одной из секций антенны ГБО и второй линейной антенны, параллельной антенне ГБО и разнесённой с ней в вертикальной плоскости приблизительно на 10 см. Длина второй антенны равна длине одной секции антенны ГБО – 430 мм. Расчётная дальность действия ИГБО составляет 300 м, точность воспроизведения рельефа дна – 0,5 м.

Звуковизор по существу является гидролокатором с высоким пространственным разрешением (не менее 1° по углу и несколько сантиметров по дистанции), позволяющим выделить не только отметку в направлении объекта, но и его форму. Следующее отличие касается требования формировать акустическое изображение в режиме реального времени. По этой причине к звуковизорам не следует причислять упоминавшиеся ранее гидролокаторы бокового обзора и многолучевые эхолоты – эти устройства хотя и могут быть использованы для построения акустического изображения подводных объектов, но лишь при условии механического перемещения антенны и формирования акустического изображения по многим посылкам гидролокационного сигнала [39-49].

Выводы к главе

Настоящая глава содержит разработанные технико-технологические решения по выбору и обоснованию гидроакустического навигационного комплекса АНПА в разрезе задач экологического мониторинга и охраны Мирового океана. Приведены сведения о конструктивных особенностях и функционировании отдельных модулей ГАС и их взаимосвязи.

4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВА АНПА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

4.1 Описание типового сценария миссии по экологическому мониторингу с использованием АНПА

Рассмотрим использование АНПА при обследовании искусственных протяженных объектов (ИПО), к числу которых относятся кабели и трубопроводы.

Цель инспекции ИПО, кроме экологического мониторинга, также заключается в движении АНПА вдоль объекта с покрытием его по всей длине фото или ГБО-изображениями. Детектирование и обследование протяженных объектов производится на основе разнородной и неполной информации от бортовых сенсорных устройств (ГБО, ФТС, ЭМИ, ЭЛС). Для повышения вероятности обнаружения информация из различных источников объединяется в «модель среды» и обрабатывается совместно. «Модель среды» создаётся на основе информации от бортовой навигационной системы и данных от систем распознавания, получаемых на исполнительном уровне. «Модель» включает также оценку вероятности существования объекта с заданными координатами в текущий момент времени. Интегральная оценка местоположения и направления объекта не подвержена существенному влиянию сбойных данных от подсистем распознавания и отражает координаты ИПО, даже когда объект не детектируется в текущий момент времени. Траектория аппарата представляет колебательное движение вдоль объекта инспекции (рисунок 35), причём амплитуда колебаний уменьшается при улучшении условий обнаружения объекта (вплоть до вырождения в прямую линию) [39-49].

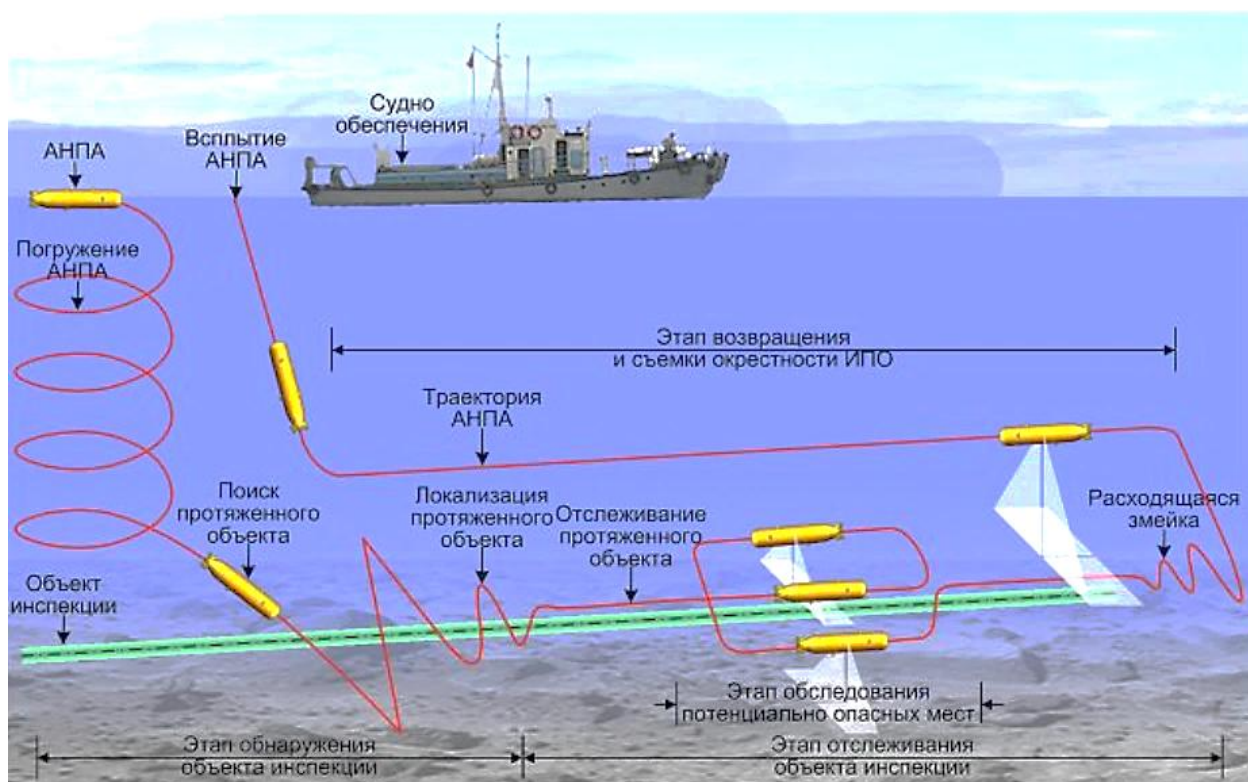


Рисунок 35 - Схема поведения АНПА при инспекции ИПО

4.2 Определение затрат на реализацию экологической миссии АНПА

Согласно данным [50], средняя цена АНПА, оснащенного определёнными в главе 3 настоящей работы комплектом гидроакустических средства составляет 1 400 тыс. руб.:

- ГАНС (ДБ, УКБ) – координирования АНПА на трассе экологической миссии;
- ГАСС – контроль и дистанционное управление АНПА, сбор и передача оперативных данных.

Стоимость вспомогательного оборудования, которое включает буксируемый антенный модуль, комплект маяков-ответчиков, оптокабеля и прочие коммуникации составляет 700 тыс. руб.

Стоимость аренды сопроводительного судна, в среднем составляет 75 тыс. руб./сут.

Продолжительность экологической миссии АНПА составляет – 14 суток.

Сравнение АНПА различных производителей выполнено в таблице 13.

Таблица 13 - Сравнение АНПА различных производителей

Наименование (страна)	ТТХ				Оборудование					Стоим ость, тыс. \$.
	Рабочая глубина, м	Масса, кг	Автоном ность, час	Скорость, уз	Тип СУ	ГАС	ВК	НГС	ФК	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
XP-21 (США)	60	-	28	3-4	П. ИИ	+	-	+	-	22
Sea Sqrt (США)	60	30	10-12	3	ИИ	+	-	+	-	23
UUV (США)	1000	65000	-	До 10	ИИ	+		+		44
ARUS (США)	6000	-	240	5	П. ЭИ	+	+	+	+	168
LR-6000 (США)	>250	12600	350	8	П. ЭИ	+	-	+	-	120
DOLPHIN (Великобритания)	6000	-	100	3-4	п	+	-	+	+	174
DOGGIE (Великобритания)	6000	-	100	3-4	п	+	-	+	+	240
RTV-КАМ (Япония)	30	-	6-7	3	П. ЭИ	+	+	+	+	36
Гавия (РФ)	6000	650	400	5,5	П. ЭИ	+	+	+	+	32
Блюфин-21 (РФ)	6000	420	350	4	П. ЭИ	+	+	+	+	45
Слокум Глайдер (РФ)	1000- 6000	350	350	5,5-6	П. ЭИ	+	+	+	+	62

Обозначения: ВК – видеокамера; ФК – фотокамера; НГС – навигационная гидроакустическая система; П – программа; ЭИ – элементы искусственного интеллекта.

Согласно данным таблицы 13 останавливаем свой выбор АНПА для экологической миссии на роботах отечественного производства, которые соответствуют техническим параметрам зарубежных аналогов ведущих мировых производителей, однако ценовая политика их значительно ниже.

Общая сумма затрат представлена в таблице 14

Таблица 14 - Определение затрат на реализацию экологической миссии АНПА

№ п/п	Статья затрат	Размер затрат, тыс. руб.
1	АНПА, оснащённый ГАНС-ДБ, ГАНС-УКБ, ГАСС, а также соответствующими вспомогательными модулями и коммуникациями	1 400
2	Вспомогательное оборудование: буксируемый антенный модуль, комплект маяков-ответчиков, оптокабеля и прочие коммуникации	700
3	Аренда сопроводительного судна	75x14=1 050
Итого:		3 150

4.3 Расчёт затрат на ликвидацию аварии подводного нефтепровода

В системе магистрального трубопроводного транспорта углеводородов Российской Федерации имеется значительное количество подводных трубопроводов, отсутствие мониторинга и предупредительного надзора за которыми может повлечь за собой аварии со значительными экологическими последствиями.

Согласно данным [51], структура затрат на ликвидацию аварии подводного нефтепровода представлена на рисунке 36.



Рисунок 36 - Структура затрат на ликвидацию аварии подводного нефтепровода

В соответствии с приведенным алгоритмом оценки затрат на ликвидацию аварии подводного нефтепровода выполним соответствующий технико-экономический расчёт, который представлен в таблице 14.

Таблица 15 - Расчёт затрат на ликвидацию аварии подводного нефтепровода

№ п/п	Статья затрат	Размер затрат, тыс. руб.
1	Затраты от потери нефтепродуктов (среднестатистические данные НП «Центр экологии ТЭК», стоимость нефти определена по данными Минфина РФ)	$7450 \times 35,2 = 191\,840$
2	Затраты на аварийные и восстановительные работы	12 000
3	Затраты на сбор и утилизацию разлива нефтепродуктов (среднестатистические данные НП «Центр экологии ТЭК»)	28 000
4	Плата за экологический ущерб (среднестатистические данные НП «Центр	42 000

№ п/п	Статья затрат	Размер затрат, тыс. руб.
	экологии ТЭК»)	
5	Затраты на восстановление нормальной окружающей среды (среднестатистические данные НП «Центр экологии ТЭК»)	25 000
	Итого:	298 840

4.4 Техничко-экономическое обоснование экологической миссии АНПА

Государства и организации, осуществляющие транспорт углеводородов посредством подводных магистральных трубопроводов, должны обеспечить систему экологической безопасности, которая, в частности, включает проведение подводных инспекций всей протяжности транспортных коммуникаций с помощью специализированных аппаратов, таких как АНПА.

Своевременное проведение экологической инспекции на подводном нефтепроводе позволит предотвратить огромную аварию, выполнить предупредительный ремонт и избежать колоссального экологического ущерба, и как следствие, значительных финансово-экономических потерь.

Согласно проведенному оценочному расчёту среднестатистические затраты на ликвидацию последствий аварий подводного нефтепровода составят 298,8 млн. руб.

Выполнение плановой экологической инспекции с применением АНПА составит 3,2 млн. руб.

Следовательно, срок окупаемости мероприятия по экологической миссии АНПА составляет:

$$3,2/298,8=4 \text{ дня.}$$

Как видно, из оценочных расчётов, применение АНПА для экологического мониторинга не только целесообразно с точки зрения экологических аспектов и влияния техногенных факторов на окружающую среду, но экономически выигрышно, т.к. позволяет ценой технического осмотра и проведением ремонтных профилактических работ избежать

значительных затрат на проведение аварийно-восстановительных и ликвидационных работ.

Выводы к главе

Представленная глава посвящена технико-экономическому обоснованию применяемых в соответствии с разработанными технико-технологическими решениями средств гидроакустической навигации АНПА, находящегося в режиме экологического мониторинга и охраны Мирового океана.

Рассмотрена модель применения АНПА при раннем обнаружении выброса нефти в подводном магистральном нефтепроводе, при этом установлено, что экономическая целесообразность применения автономного подводного робота составила 298,8 млн. руб., а срок окупаемости мероприятия плановой трассовой надзорно-экологической миссии – 4 дня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тема ВКР: обоснование состава и характеристик гидроакустических средств автономного необитаемого подводного аппарата экологического мониторинга.

В представленной работе произведено описание АНПА, его основных конструктивных решений, модульных блоков, систем коммутации и управления.

Выбрана и обоснована функциональная схема гидроакустических средства АНПА, включающая ГАНС-ДБ, ГАНС-УКБ, ГАСС, вспомогательные модули и коммуникации. Произведено техническое описание указанного оборудования и алгоритмов его функционирования.

Произведено обобщение задач по экологическому мониторингу вод Мирового океана и роль АНПА при производстве экологических миссий.

Государства и организации, осуществляющие транспорт углеводородов посредством подводных магистральных трубопроводов, должны обеспечить систему экологической безопасности, которая, в частности, включает проведение подводных инспекций всей протяжности транспортных коммуникаций с помощью специализированных аппаратов, таких как АНПА.

Своевременное проведение экологической инспекции на подводном нефтепроводе позволит предотвратить огромную аварию, выполнить предупредительный ремонт и избежать колоссального экологического ущерба, и как следствие, значительных финансово-экономических потерь.

Как видно, из оценочных расчётов, применение АНПА для экологического мониторинга не только целесообразно с точки зрения экологических аспектов и влияния техногенных факторов на окружающую среду, но экономически выигрышно, т.к. позволяет ценой технического осмотра и проведением ремонтных профилактических работ избежать значительных затрат на проведение аварийно-восстановительных и ликвидационных работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Бочаров Л. Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. №7. 2009.
- 2 Киселев Л.В., Инзарцев А.В., Матвиенко Ю.В. Создание интеллектуальных АНПА и проблемы интеграции научных исследований // Подводные исследования и робототехника. №1. 2006. С. 6-17.
- 3 Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А. Мобильные подводные роботы в современной океанографии и гидрофизике. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2010. Том 3. №1. С. 4-13.
- 4 Кузьмицкий М.А., Гизитдинова М.Р. Мобильные подводные роботы в решении задач ВМФ: Современные технологии и перспективы. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2011. Том 4. №3. С. 37-48.
- 5 Белоусов И. Современные и перспективные обитаемые подводные аппараты ВМС США. // Зарубежное военное обозрение. №5. 2013. С. 79-88.
- 6 Сидоренко К.С., Голобоков С.А. Автономные обитаемые подводные аппараты – носители минного оружия. // Россия и АТР. №2. 2009. С. 119-130.
- 7 Красильников Р.В. Системы борьбы с обитаемыми аппаратами – асимметричный ответ на угрозы XXI века. – СПб.: Инфо-да, 2013. 106 с.
- 8 Автономные подводные роботы. Системы и технологии / Под ред. М.Д. Агеева. – С.: Наука, 2005. 398 с.
- 9 Илларионов Г.Ю., Сидоренко В.В., Смирнов С.В. Автономные обитаемые подводные аппараты для поиска и уничтожения мин // Подводные исследования и робототехника. №1. 2006. С. 31-39.
- 10 Robert W. Button, John Kamp, Thomas B. Curtin, James Dryden, A survey of missions for unmanned undersea vehicles. RAND National Defense Research Institute, Santa Monica, CA. 2009. 189 p.

11 Агеев М.Д. и др. Автономные подводные роботы: системы и технологии. Институт проблем морских технологий. - Москва: Наука, 2005. 398 стр.

12 Илларионов Г.Ю., Сиденко К.С., Сидоренков В.В. Подводные роботы в минной войне. Калининград: Янтарный сказ, 2008. — 116 с.

13 Колесников М.П., Мартынова Л.А., Пашкевич И.В., Шелест П.С. Метод позиционирования автономного необитаемого подводного аппарата в процессе приведения к причальному устройству. Известия Тульского государственного университета. Технические науки 2015 №11 Часть 2. Тула: Издательство ТулГУ. — 219 с.

14 Наумов Л.А., Илларионов Г.Ю., Лаптев К.З., Бабак А.В. К вопросу о принципах планирования и особенностях формирования глобальных маршрутов автономных подводных роботов. Известия Тульского государственного университета. Технические науки 2015 №11 Часть 2. Тула: Издательство ТулГУ. — 219 с.

15 Катулин М.С., Перевошиков Л.Л., Шумков С.Г. Создание аппаратно-программного комплекса для подводной навигации с использованием машинного зрения. Известия Тульского государственного университета. Технические науки 2015 №11 Часть 2. Тула: Издательство ТулГУ. — 219 с.

16 Тарасов С.П., Волощенко А.П., Плешков А.Ю. Способ акустической связи между подводными и надводными робототехническими средствами. Известия Тульского государственного университета. Технические науки 2015 №11 Часть 2. Тула: Издательство ТулГУ. — 219 с.

17 Инзарцев А. В., Павин А. М. Управление автономным необитаемым подводным аппаратом при инспекции искусственных протяженных объектов. Мехатроника, автоматизация, управление 2008 №04. М.: Новые технологии. — 80 с.

18 Машошин А.И., Соколов А.И. Интегрированная система управления автономного необитаемого подводного аппарата. Материалы 3-й

Всероссийской научно-технической конференции Суперкомпьютерные технологии-2014. Ростов-на-Дону: Издательство южного Федерального университета, 2014. - 272 с.

19 Перспективы использования магнитного поля Земли для определения координат и скорости автономных необитаемых подводных аппаратов. П. И. Малеев, В. Ю. Бахмутов. Навигация и гидрография 2017 №48. Санкт-Петербург: Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт Министерства обороны РФ, 2017. — 95 с.

20 Проблемы средств навигации автономных необитаемых подводных аппаратов и возможные пути их решения. П. И. Малеев. Навигация и гидрография 2015 №39. Санкт-Петербург: Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт Министерства обороны РФ, 2015. — 70 с.

21 Туфанов И. Е. Разработка системы централизованного управления группой автономных необитаемых подводных аппаратов. Мехатроника, автоматизация, управление 2013 №07. М.: Новые технологии. — 80 с.

22 Перспективы применения средств оптической локации для определения местоположения автономного необитаемого подводного аппарата. С. П. Ширшнёв. Навигация и гидрография 2017 №47. Санкт-Петербург: Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт Министерства обороны РФ, 2017. — 105 с.

23 Коровин В.П. Зарубежные технические средства в океанологии. Учебное пособие. — СПб.: РГМИ, 1994. — 196 с.

24 Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития. Б.Л. Бочаров, к.т.н. ИПИ РАЕН. ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес 7/2009, с. 62-69.

25 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. Подводные исследования и робототехника. 2011. №2 (12), с. 37-42.

26 АНПА GAVIA — подводный исследователь. Цариченко С.С., ведущий инженер отдела НПА и ГАС ОАО «Тетис Про». Гидротехника 2 (22) / 2011, с.112-114.

27 Принципы построения региональной автоматизированной информационной системы экологического мониторинга морских акваторий с применением автономных технических средства и робототехнических комплексов. Д.Д. Минаев. Инженерная школа ДВФУ. Подводные исследования и робототехника. 2011. №2 (12). с. 65-68.

28 Распоряжение Правительства РФ от 31.08.2002 N 1225-р «Об Экологической доктрине Российской Федерации»

29 Romeo J., Lester G. Navigation is Key to AUV Missions // Sea Technology. 2001. – Vo.42. – № 12. – P. 24-29.

30 Киселев Л.В., Инзарцев А.В., Матвиенко Ю.В., Ваулин Ю.В. Навигация и управление в подводном пространстве // Мехатроника, автоматизация, управление. –2004. – № 5. – С. 23-28.

31 Инзарцев А.В., Матвиенко Ю.В., Рылов Н.И. и др. Применение автономного необитаемого подводного аппарата для научных исследований в Арктике // Подводные исследования и робототехника. – 2007. – № 2. – С. 5-14.

32 А.В. Инзарцев, Л.В. Киселев, Ю.В. Матвиенко. Навигация и управление автономных подводных роботов. Известия ЮФУ. Технические науки Тематический выпуск. Раздел IV. Морская робототехника – с. 164-169.

33 Навигационный комплекс автономного подводного робота и особенности его применения в условиях Арктики. Ю.В.Ваулин, А.В. Инзарцев, А.В. Каморный, Л.В.Киселев, Ю.В. Матвиенко, Н.И.Рылов, Р.Н. Рылов. Подводные исследования и робототехника. 2008. № 1(5). С. 24-31.

34 Дистанционный гидроакустический метод экологического мониторинга дна мелководных водоемов и шельфа морей. Г.В. Солдатов,

С.П. Тарасов, Т.А. Чаус. Известия ЮФУ. Технические науки Тематический выпуск. Раздел I. Методы и средства экологического мониторинга водных районов. С. 137-143.

35 Воронин В.А., Ходотов А.В., Скарня А.В., Тарасов С.П., Трусилов В.Т. Использование гидролокатора бокового обзора со сложным сигналом для экологического мониторинга дна и инженерных подводных сооружений // Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Экология 2004 – море и человек»: Материалы Третьей Всероссийской конференции с международным участием. – Таганрог: ТРТУ, 2004. №5 (40). – С. 80-82.

36 Экологические мониторинговые исследования водной среды обитания методом гидроакустической диагностики. Г.В. Солдатов, С.П. Тарасов. Известия ЮФУ. Технические науки Тематический выпуск. С. 223-228.

37 Экологический мониторинг водных бассейнов с использованием гидроакустических технологий. Н.Н. Свинобоев, С.П. Тарасов, В. Л. Чулков. Раздел II. Методы и средства экологического мониторинга водных районов. Известия ТРТУ Тематический выпуск. С.43-46.

38 Экологический мониторинг загазованных участков дна водоемов средствами гидроакустики. А.М. Гаврилов, А.Н. Трехин. Вестник ТГУ, т.19, вып.5, 2014. С. 1659 – 1661.

39 Корякин Ю.А. и др. Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы. СПб.: Наука, 2004. — 410 с.

40 Зыонг М.Х. Математические модели и методы оптимизации систем гидроакустического экранирования для подводных транспортных средств. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы). — Научно- исследовательский и экспериментальный институт автомобильной электроники и электрооборудования. — Москва, 2016. — 219 с.

41 ОСТ5.8361-86 Аппаратура гидроакустическая. Антенны и преобразователи. Методы измерения электроакустических параметров в измерительных бассейнах.

42 Куликов А.В. Волоконные акустооптические антенны и их применение. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 42 с.

43 Горбань И.И. Обработка гидроакустических сигналов в сложных динамических условиях. Монография. — Киев: Наукова думка, 2008. — 275 с.

44 Артельный В.В., Артельный П.В. Фокусировка поля в гидроакустическом волноводе в заданный интервал глубин. Статья. — Опубликовано в Акустическом журнале. — 2015. — Том 61, №4. — С. 477-483.

45 Godin O.A., Palmer D.R. History of Russian Underwater Acoustics. World Scientific, 2008. — 1270 p.

46 Иваненков А.С. Выделение сигналов и локализация их источников с помощью заполненных и синтезированных апертур. Нижний Новгород, 2014, 100 с.

47 Кузнецов В.П. Нелинейная акустика в океанологии. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010 - 259 с.

48 Кулистов В.А. Промысловая гидроакустика. Курс лекций – Керчь: КГМТУ, 2012. – 100 с.

49 Гидроакустический комплекс навигации подводного робота тема диссертации и автореферата по ВАК 01.04.06, доктор технических наук Матвиенко, Юрий Викторович, 2004 г.

50 Официальный сайт каталога подводных роботов: <http://robotrends.ru/>

51 Методика по расчету платы за загрязнение акваторий морей и поверхностных водоемов, являющихся федеральной собственностью Российской Федерации, при производстве работ, связанных с перемещением и изъятием донных грунтов, добычей нерудных материалов из подводных карьеров и захоронением грунтов в подводных отвалах.