



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морских информационных систем

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА**

На тему **ПОСТРОЕНИЕ ОБЛИКА, РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК, ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧАЮЩИХ
СИГНАЛОВ АКТИВНО-ПАССИВНОЙ ГАС, С
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ, РАБОТАЮЩЕЙ
СТАЦИОНАРНО В УСЛОВИЯХ МЕЛКОГО МОРЯ**

Исполнитель Карымов Алексей Владимирович

Руководитель Доктор технических наук, доцент

Селезнев Игорь Александрович

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

Кандидат географических наук, доцент

Анна Алексеевна Фокичева

« » 2017г.

Санкт-Петербург
2017



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морских информационных систем

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

На тему **ПОСТРОЕНИЕ ОБЛИКА, РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК, ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧАЮЩИХ
СИГНАЛОВ АКТИВНО-ПАССИВНОЙ ГАС, С
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ АНТЕННОЙ, РАБОТАЮЩЕЙ
СТАЦИОНАРНО В УСЛОВИЯХ МЕЛКОГО МОРЯ**

Исполнитель Карымов Алексей Владимирович

Руководитель Доктор технических наук, доцент

Селезнев Игорь Александрович

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**

Кандидат географических наук, доцент

Анна Алексеевна Фокичева

«__» _____ 2017г.

Санкт–Петербург
2017

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АЦП - аналого-цифровой преобразователь

ГА – гидроакустика

ГАС – гидроакустическая станция

ГЛ – гидролокация

ДФ – дискретный фильтр

КК – коэффициент концентрации

КПП – коммутатор приема-передачи

СПО – система предварительной обработки

СПВО – система пространственно-временной обработки

ФМ – фазоманипулированный

ХН – Характеристика направленности

ШПС – широкополосный сигнал

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ОБЩИЙ ОБЛИК АКТИВНО-ПАССИВНОЙ ГАС	6
1.1 Общая структура, предназначение.....	6
1.2 Условия рабочей среды	10
Выводы.....	13
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАС.....	15
2.1 Выбор частотного диапазона и обоснование выбора ШПС с помощью «Regon8».	15
2.2 Уравнения ГЛ. Расчет помех работы ГАС (реверберации).....	18
2.3 Расчет параметров обнаружения в Баренцевом и Черном морях.....	25
Выводы.....	31
РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ	35
3.1 Антенная система.....	35
3.2 Системы обработки ГАС.....	38
3.3 Рекомендации и особенности использования широкополосного сигнала, выбор типа модуляции.	46
Выводы.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.	63

ВВЕДЕНИЕ

Облик и структура гидроакустической системы(ГАС) определяют множество параметров, но одними из самых важных, если опустить финансовые и технические возможности, являются тип решаемой задачи и район использования.

В гидроакустике(ГА) особое место занимает мелкое море. Множество помех, в том числе реверберация, существенное влияние на которую оказывает поверхность моря с приповерхностным слоем воздушных пузырьков и различные шероховатости дна. На мелководье выделяется объемная реверберация, из-за множества рыб и другой органики, приводя к еще более существенному затуханию излучаемого звука. Решение данной проблемы является основой проектирования ГАС, работающей в мелком море.

Проблемы, связанные с эффектом реверберации решаются путем использования широкополосного сигнала(ШПС).[20] Вдобавок, шумоподобные ШПС обеспечивают относительную скрытность работы активных ГАС. Много работ посвящены ГА в поглощающих средах, в том числе в мелком море[16, 17, 18, 21, 22, 23]. В большинстве из них рассматривается использование ШПС, как решение проблемы большого поглощения и рассеивания акустической энергии [22, 23].

Актуальность работы заключается в следующем:

- построение структур активно-пассивных ГАС в узконаправленном направлении таком, как гидролокация(ГЛ) прибрежных зон, занимает особое место, в связи с ярким дисперсионным характером распространения звуковых волн в мелком море, что существенно осложняет эхолокацию;

- применение ШПС значительно улучшает помехоустойчивость активных ГАС.

Объект исследования: активно-пассивная ГАС.

Предмет исследования: структура активно-пассивной ГАС, работающей в мелком море.

Цели работы.

- Спроектировать активную ГАС, работающую стационарно в условиях мелкого моря с дистанцией обнаружения до 20-50км(дальность во многом зависит от акустических условий).

- Выработать рекомендации по использованию ШПС в работе активной ГАС.

Задачи работы.

- Разработать общий облик активно-пассивной ГАС, работающей в мелком море, с применением ШПС.

- Рассчитать основные характеристики с помощью уравнений ГЛ с применением выбранных параметров и смоделировать распространение ГА сигнала с применением программы «Regon8»

- Разработка структуры системы и её технических характеристик антенной системы, выработать рекомендации по использованию ШПС.

В первой главе конкретизируется рассмотрена общая структура активно-пассивной ГАС, а также, разобрана рабочая среда.

Вторая глава посвящена основным характеристикам ГАС: найдены параметры с помощью уравнений ГЛ; по результатам расчетов программы «Regon8» выбран оптимальный частотный диапазон, разобраны графики обнаружения целей при различных ГА условиях.

Цель третьей главы разработать структуру активной ГАС, работающей стационарно в условиях мелкого моря: антенная система и системы обработки. Даны рекомендации и особенности использования сложных сигналов в активной ГА в условиях мелкого моря.

Расчеты проводились с помощью программы MATLAB 7.10.0(R2010a) и «Regon8». Рисунки нарисованы в КОПАС-3D, схемы в yEd - Graph Editor.

ОБЩИЙ ОБЛИК АКТИВНО-ПАССИВНОЙ ГАС

1.1 Общая структура, предназначение.

Звуковые волны - уникальный вид энергонесущих колебаний, распространяющийся на дальние дистанции в воде. Гидроакустическая энергия эффективно отражается от неоднородностей и границ раздела морской среды. Распространение звуковых волн и их отражения лежат в основе принципа действия ГА систем.

ГАС - гидроакустическое средство, объединяющее в едином схемно-конструкторском решении различные составные части, предназначенные для решения задач в области гидроакустики, возникающих при функционировании объекта. Различают ГАС: пассивного действия(в нашем случае - шумопеленгаторы), принимающие акустическую энергию; активного действия(гидролокаторы), которые испускают энергию и принимают эхо-сигнал. [8]

Пассивные ГАС предназначены для обнаружения шумящей цели, её направления, и , возможно, расстояния до неё. Пассивная ГАС содержит: ГА антенну, которая принимает энергию и преобразовывает её в электрический сигнал; аппаратура, которая усиливает, отображает, регистрирует и обрабатывает сигнал, устройство формирования характеристики направленности. Особенность данных ГАС - скрытность. . [8]

Принцип работы активных ГАС основан на излучении зондирующих сигналов и приеме эхосигналов от цели. Предназначены для определения координат нешумящих объектов, ГА связи, распознавания, нахождения глубины, толщины льда, навигации, геологоразведки и изучения морской среды. По сравнению с пассивными ГАС, активные шумные. Их работу легко обнаружить, из-за принципа действия. Также , по сравнению с пассивной ГАС, в состав активной содержит: генераторное устройство, которое формирует ГА сигнал определенной формы, антенна, преобразующая сигнал в акустический и

обратно, устройство формирования ХН антенны, коммутатор приема-передачи, переключающий режим работы.

Структуру активно-пассивная ГАС с одной моностатической антенной, учитывая вышесказанное, условно, можно разделить на два раздела: активной и пассивной обработки. В выпускной работе рассматривает активная составляющая ГАС, во всех расчетах, схемах наличие пассивного тракта обработки опускается. Но для примера, рассмотрим обобщенную структурную схему пассивной(шумопеленгаторной) ГАС. [10] (рис 1.1)

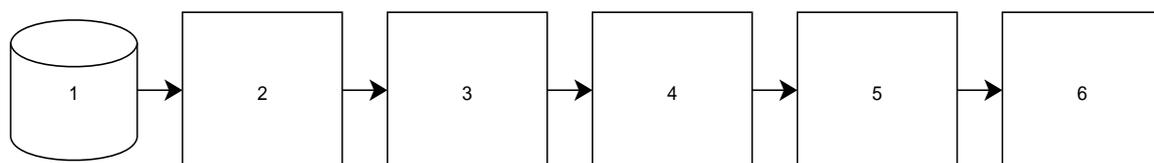


Рисунок 1.1 - Обобщенная структура шумопеленгатора: 1- антенна; 2 - устройство формирования ХН; 3 - полосовой фильтр; 4 - детектор; 5 - осреднитель ; 6 - оператор или вычислительное устройство.

ГАС шумопеленгования - средства наблюдения, предназначены для обнаружения объектов в водной среде, классификации объектов и определения их координат. Работа основана на приеме энергии шумового поля объекта, который он создает в процессе работы. На антенну поступает шум от цели(полезный) и от среды(помехи). Задача обработки сигнала - сказать, есть цель или нет, путем сравнения вероятности наличия полезного сигнала, получаемой в результате обработки, с пороговым уровнем.

В пространственной селекции сигнала(1-2) формируется ХН с применением задержки. Для формирования одного лепестка ХН используется компенсатор, осуществляющий подключение к приемникам и коммутацию звеньев задерживающей цепи. [10] Далее сигналы подвергаются частотной фильтрации(3-4).

В ходе частотной фильтрации из частотного спектра принятого сигнала выделяют, наиболее подходящий к шумовому полю цели(частотный диапазон выбирают заранее, с учетом характеристик цели) сигнал. После поступает на детектор, затем интегрируется (5). Движение цели, и следовательно, постоянного изменение полезного шума на фоне помех, еще лучше способствует процессу обнаружения. С возрастанием времени интегрирования изменение постоянной помехи становится более сглаженным. Потом наступает процесс принятия решения (6). Если выходной сигнал превышает порог, то делается вывод о присутствии цели.

В работе сделан акцент на активной составляющей ГАС. В дальнейшем будем говорить просто об активной ГАС.

Гидролокационные станции работают в режиме излучения и приема. Соответственно, структуру можно разделить на тракт излучения и приема (рис 1.2).

Антенна подключена к коммутатору приема-передачи(КПП). КПП определяет когда и какой тракт обработки подключен. Во время приема сигнала антенна подключается к приемному, во время излучения - к передающему. Генератор(4) предназначен для выработки импульса с выбранной частотой, формой и ряда других параметров. Матрица формирования ХН, распределяет фазы напряжений, подводимых к отдельным преобразователям(передающий тракт). В приемном - в зависимости от способа обзора, формируется один сканирующий лепесток или большее количество лепестков ХН. Соответственно, от этого зависит и многоканальность системы. В приемной тракте происходит обработка сигнала и различного рода регулировки усиления(временная или автоматическая). Временная позволяет подавлять реверберационную помеху во время её пика, автоматическая - поддерживает постоянство сигнал/помеха на выходе тракта при изменении уровня помех на его выходе. Существуют и другие типы регулировки.

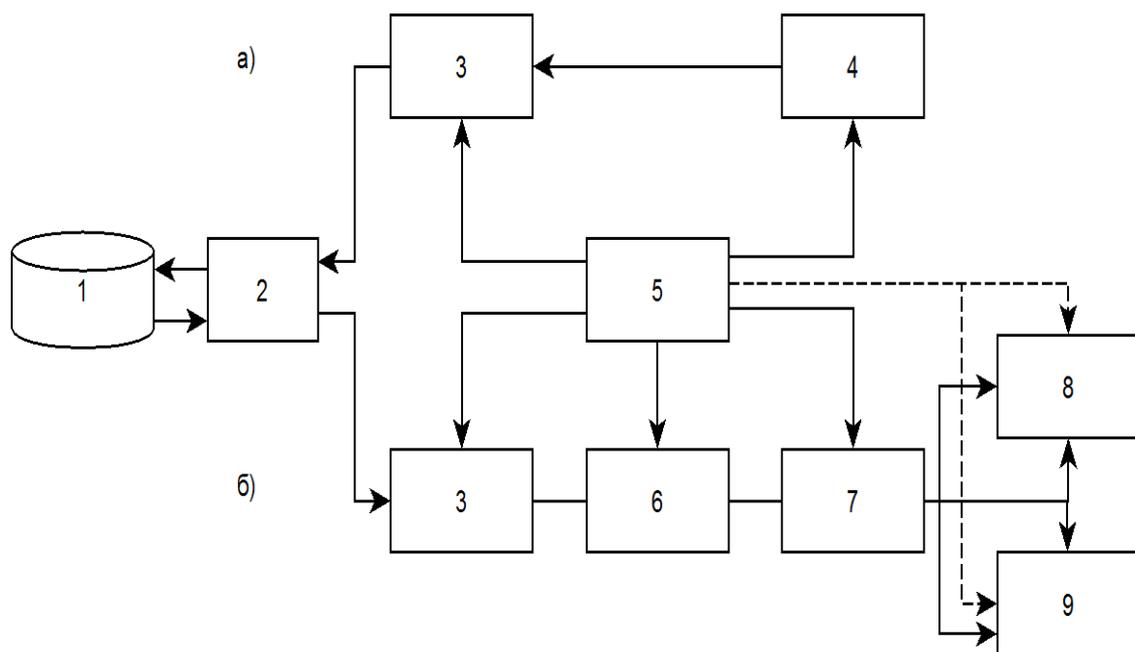


Рисунок 1.2 - Обобщенная структурная схема гидролокатора: а - передающий тракт; б - приемный тракт: 1 - приемоизлучающее устройство; 2 - коммутатор приема-передачи; 3 - матрица формирования ХН; 4 - генератор; 5 - блок синхронизации; 6 - блок автоматических регулировок сигнала; 7 - схема обработки сигнала; 8 - схема выявления наличия сигнала; 9 - индикатор.

При проектировании ГАС необходимо указать её предназначение. Проектируемая ГАС стационарна, направлена на обнаружение крупных, размером от 5м^2 , объектов. При этом сам тип объекта не имеет значение, это может быть как подводный аппарат, так и другие, более экзотические, цели. Дальность обнаружения довольно растяжимое понятие, но в качестве опорной точки пример дальность обнаружения равным 50км.

В активных ГАС, как правило, применяется моностатическая схема приема и излучения(приемная и излучающая антенна совмещены)[2]. Также реализованы гидролокаторы с излучением в одной точке пространства, а прием эхосигнала в другой или даже нескольких точек, данные схемы называются

.бистатистическими и мультистатистическими. В нашей работе ГАС - моностатическая.

1.2 Условия рабочей среды

А теперь перейдем к описанию рабочей среды. В акустике океана мелким морем, считаются водные территории. глубина которых меньше 10-20 длин волн, но данная граница условна, в данной работе мелкое море определяется, как акватория, глубина которой составляет 200 метров.

На распространение звука в мелком море влияют следующие факторы: способность дна к отражению звука, энергии(и условиями её рефракции в воде), отражающей способностью моря [8]. По причине множественных отражений, интенсивность усредненного акустического поля в мелком море выше, чем в глубоком. Если дно слабо отражает звук, то акустическое поле мелкого моря почти не отличается от глубокого моря.

Особенность активного режима работы - реверберация. Данный тип помех свойственен только активной гидролокации. Реверберация серьезно снижает дальность действия активной ГАС и её необходимо учитывать при проектировании средств активной гидролокации. Реверберация - это процесс переотражения звуковой энергии неоднородностями, находящимися в водной среде.

Скорость звука - один из основных параметров среды. Она зависит от упругости воды, плотности. Скорость распространения звука меняется по многим причинам, один из которых - глубина. Также изменения зависят от времени суток и года и от ряда других причин.

Вертикальное распределение скорости звука серьезно влияет на распространение звука. Гидрология Баренцева моря отображена на графиках (Рис1.1, Рис1.2). На графиках явно прослеживается рефракция(искривление звуковых лучей): летом - положительная, а зимой -отрицательная рефракция.

Данные значения взяты из значений годового вертикального распределения звука для Баренцева моря. Также с помощью «Regon8» рассчитано обнаружение в другом, более глубоком, Черном море. Гидрология указана на Рис.1.3. Но из-за технических трудностей, расчеты проводились только для зимнего времени года. Графики построены в MagicPlot Student 2.7.2.

Выбор двух времен года(лето и зимы) объясняется следующим:

- летом, верхние слои теплее, следовательно лучи изгибаются к низу, многократно отражаясь от дна.

- зимой, температура нижних и верхних слоев примерно равно, лучи изгибаются кверху и, в основном, отражаются от поверхности воды.

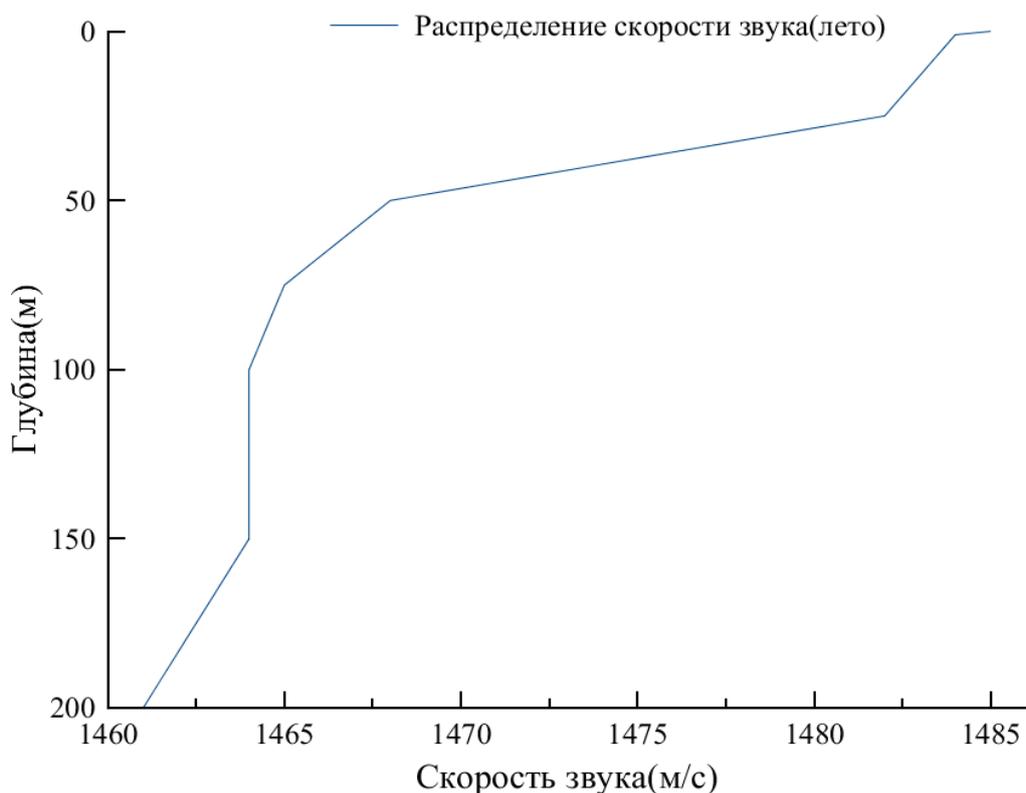


Рисунок 1.3 - График вертикального распределения скорости звука летом



Рисунок 1.4 - График вертикального распределения скорости звука зимой

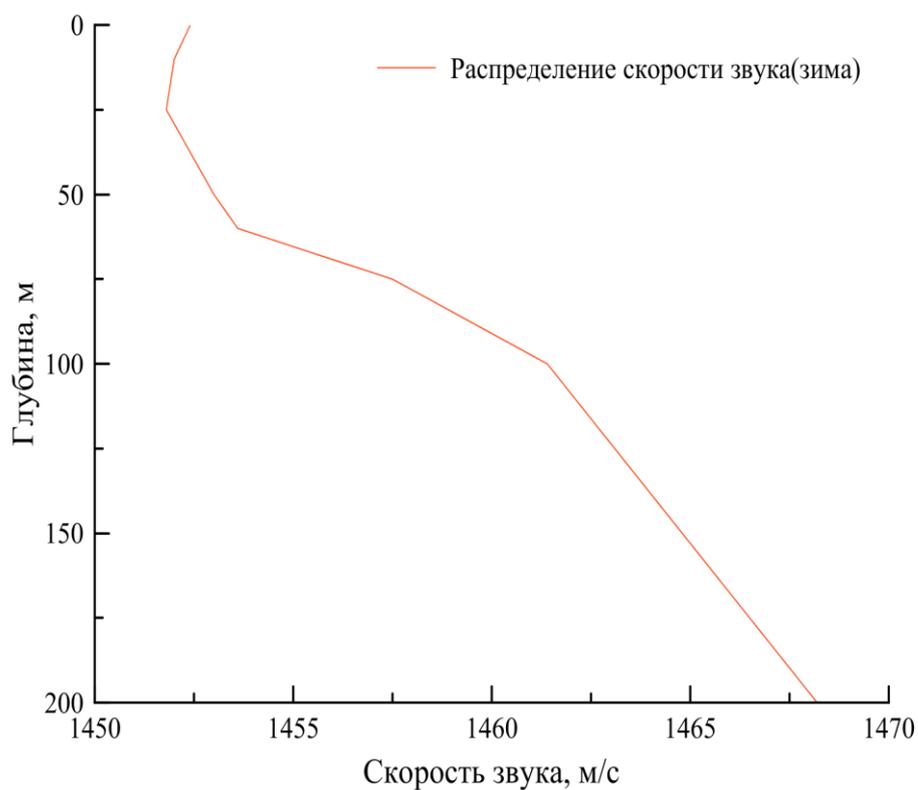


Рисунок 1.5 - График вертикального распределения скорости звука зимой (Черное море)

Выводы.

Акцент в работе делается на активной составляющей ГАС и для простоты, предположим, что ведется разработка активной ГАС, чтобы не учитывать пассивный тракт.

Основываясь на выше написанном, выведем требования к проектируемой ГАС:

- способность обнаружить большой объект(размер 5-10м) на дистанции 20-60км в зависимости от акустических условий;
- стационарность, следовательно весь процесс принятия решения о наличии цели ложится на плечи аппаратуры;
- требуется работа в мелком море, а это тяжелые акустические условия;
- активность режима работы, и как следствие - нужно бороться с реверберацией.

Мелкое море занимает особое место в ГА, из-за высокой дисперсии звуковой энергии и больших потерь. Вдобавок, по сравнению с океаном/глубокими морями, более серьезно влияет дно. А использование гидролокации вводит еще реверберацию. Следовательно, использование сложных ШПС, более чем оправдано и желательно, т.к. позволяет подать больше акустической энергии. Подробнее в разделе 3.3.

Имеет смысл использовать цилиндрическую антенну, т.к. нужно обеспечить полный обзор пространства и данная антенна проще в техническом плане, чем сферическая антенна. [5] Учитывая большую требуемую дальность(50км), которая еще снизится из-за сложных акустических условий мелкого моря, размеры цилиндрической антенны возьмем равными 5м диаметр, 5 высота. Данные параметры позволят подать достаточное количество акустической энергии и эффективно использовать ШПС. Подробнее об антенной системе в 3.1.

Учитывая относительно большой размер цели и высокую дальность распространения, нужно использовать диапазон низких частот. Подробнее о выборе частотного диапазона подразделе 2.2.

Обобщенная структурная схема активного гидролокатора (Рис 1.2) используется как основа для построения системы обработки проектируемой ГАС(раздел 3..2).

Анализ гидроло-акустических условий показал(Рис 1.3, 1.4, 1.5), что в зависимости от глубины расположения ГАС картины акустической засветки района будут существенно различаться

Приведенная гидрология Баренцева моря(лето/зима) используется во второй главе для проведения расчетов в «Regon8», которые позволят более точно и детально проанализировать дальность обнаружения цели. Основываясь на графике вертикального распространения звука Черного моря(зима), также проведены расчеты, с целью посмотреть, как будет вести себя ГАС в другом, более глубоком и южном море .

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАС

2.1 Выбор частотного диапазона и обоснование выбора ШПС с помощью «Regon8».

Для расчета обнаружения цели была использована программа «Regon8». Программа разработана в Акустическом институте имени академика Н.Н. Андреева(научный руководитель профессор В.И. Бородин). Реверберационная модель на базе [25], ядро Тебякина В.П. [24]. Тест драйв программы проходил в АО концерн Океанприбор под руководством Железного В.Б. Несмотря на почтенный возраст, программа используется по сей день [26].

Небольшие особенности программы: есть возможность рассчитывать только прямоугольную антенну. Соответственно, размеры антенны определяем через коэффициент концентрации цилиндра (2.15):

$$K = \frac{4\pi S}{\lambda} . (2.1)$$

Из (2.1) получаем размеры эквивалентной прямоугольной антенны 10x10м .

Цель задается через эквивалентную идеальную сферу. Во всех расчетах радиус сферы выбран 10м. Когерентная обработка сигнала.

Выбор и обоснование частотного диапазона системы.

Для выбора частотного диапазона были выбраны следующие диапазоны(узкополосный сигнал, помехи включены, каменное дно, Баренцево море лето, глубина источника 110м):

- f : 2-12кГц (Рис. 3.2) $f_{cp} = 4.9$ кГц;

- f : 12 - 24кГц (Рис. 3.3) $f_{cp} = 17$ кГц;

- f : 0.3-2кГц (Рис. 3.1) $f_{cp} = 0.77$ кГц.

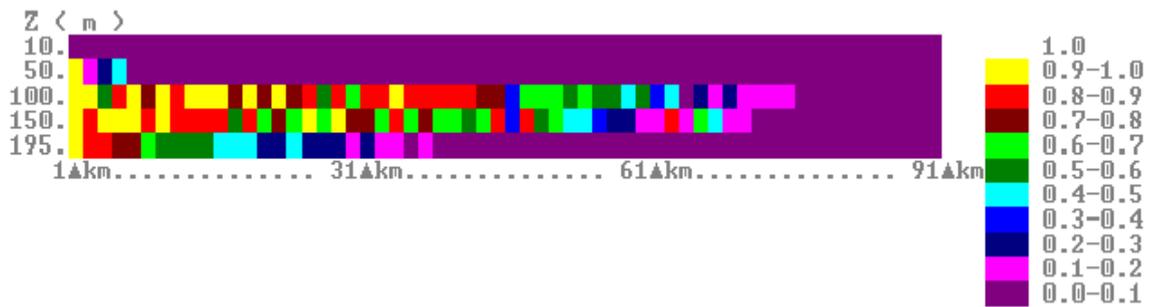


Рисунок 2.1 - Вероятность обнаружения цели при f : 0.3-2кГц

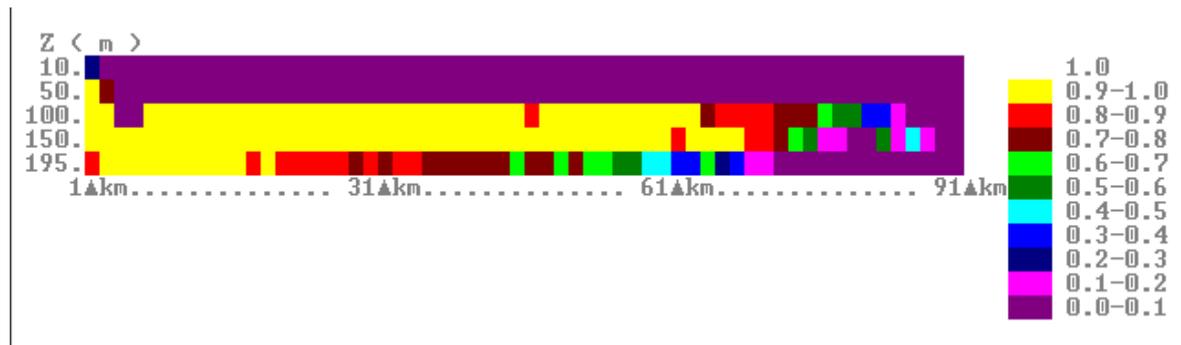


Рисунок 2.2 - Вероятность обнаружения цели при f : 2-12кГц

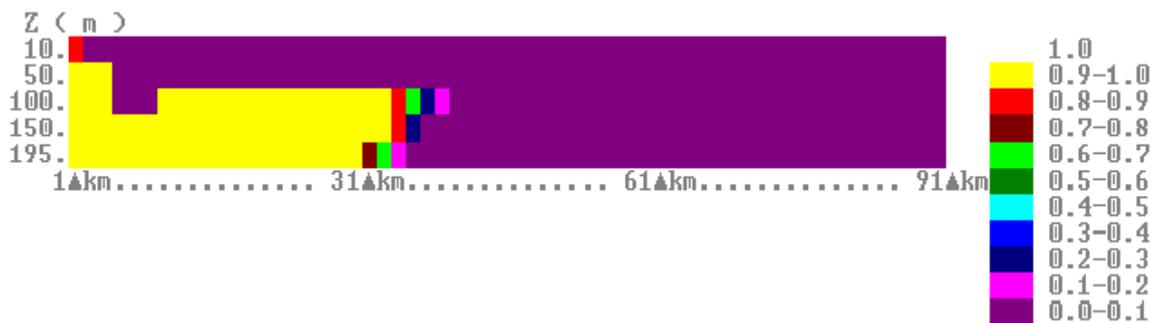


Рисунок 2.3 - Вероятность обнаружения цели при f : 12 - 24кГц

Как видно из графиков, оптимальная дальность и вероятность обнаружения обеспечивается при f : 2-12кГц(Рис 2.2).

Однако, данный результат можно улучшить, используя ШПС, который позволяет побороть часть эффекта реверберации, благодаря тому, что банально, можно послать больше акустической энергии, "размазав" её по полосе.

Результаты расчетов при ШПС: $\Delta f = 500$ Гц(Рис. 2.4). и $\Delta f = 2000$ Гц(Рис. 3.5).

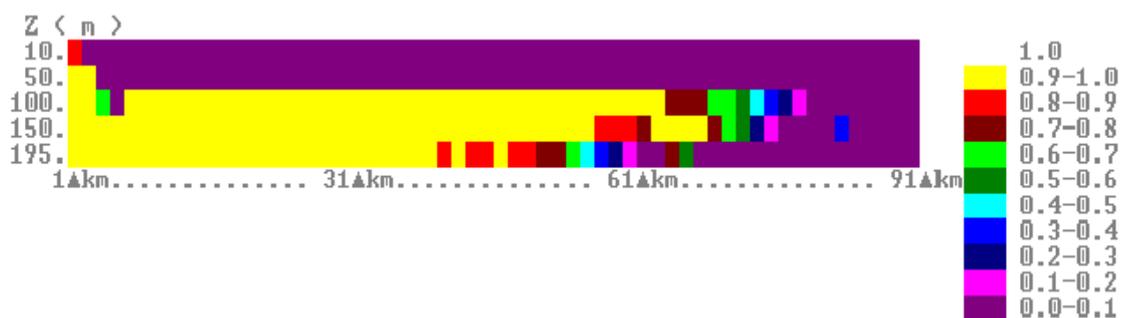


Рисунок 2.4 - Обнаружение цели при $f_{cp} = 4.9\text{кГц}$ $\Delta f = 500\text{Гц}$

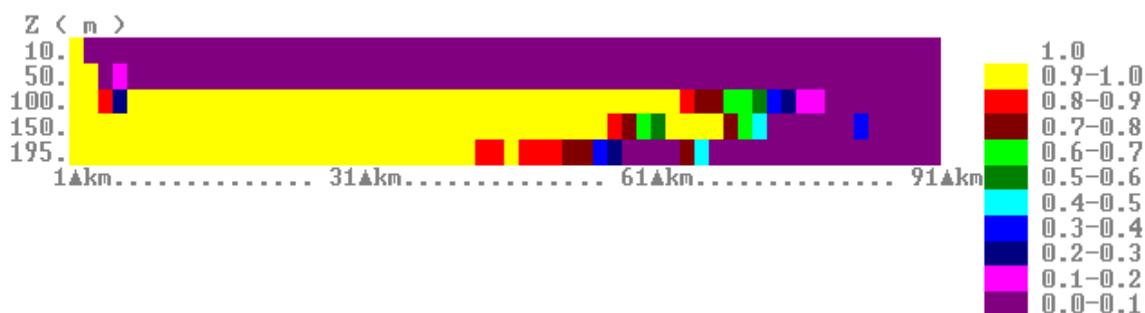


Рисунок 2.5 - Обнаружение цели при $f_{cp} = 4.9\text{кГц}$ $\Delta f = 2000\text{Гц}$

Как видно из графиков (2.4 и 2.5), сильно улучшилась дальность обнаружения на дне. Что только может подтвердить написанное выше - использование ШПС помогает в решении реверберационной проблемы (донного рассеивания, в этом случае). При этом с более широкой полосой дальность обнаружения немного лучше.

Сильное затухание акустической энергии на глубинах меньше 100м (Рис 3.1-3.5), объясняется летним периодом. Летом, верхние слои воды прогреты, а звук стремится в холодные области, на дно.

Также для подтверждения правильной работоспособности программы, сравним результаты, полученные путем расчета уравнений ГЛ (2 раздел), с полученными данными «Regon8» (Рисунок 3.1). Дальность полученная с помощью уравнений ГЛ составляет 50 км, а в программном расчете превышает 60 км. Что только подтверждает правильность программного расчета.

2.2 Уравнения ГЛ. Расчет помех работы ГАС (реверберации).

Процессы и явления в водной среде напрямую влияют на работу ГАС. Данные явления сведены в группы - параметры ГЛ, а последние связаны между собой уравнениями ГЛ. Уравнения ГЛ связывают между собой явления, присущие водной среде. Уравнения ГЛ могут использоваться при проектировании и прогнозировании работы ГЛ. Данные отношения позволяют спрогнозировать рабочие характеристики различных гидроакустических устройств и спроектировать ГАС с установленной дальностью действия. Уравнения ГЛ подробно изложены в книге Дж. Урика "Основы гидроакустики".[1]

Использование уравнений ГЛ поможет спрогнозировать характеристики нашей ГАС и более грамотно использовать её параметры. В дальнейшем, в работе, результаты расчетов используются, как одно из доказательств, правильности математической модели программы «Regon8».

Учитывая то, что основной помехой в работе активных ГА средств является реверберация, то уравнения ГЛ будет выглядеть следующим образом:

$$УИ-2ПР+СЦ=УР+ПО \quad (2.2)$$

, где УИ - уровень излучения, ПР - потери при распространении, УР - уровень реверберации эквивалентной плоской волны, ПО - порог обнаружения.[1]

Первая часть образует уровень эхо-сигнала, который измеряется в воде около акустического приемника. Вторая - уровень маскирующей реверберации.

Приступим к расчету правой части отношения (2.2).

Если грубо, то порог обнаружения - это определенный уровень, выше которого подается сигнал о обнаружении цели(как ложный, так и правильный). Выражается выражением (2.3). Числитель - это мощность сигнала определенной формы. Знаменатель - мощность помехи на выходе. Опорная точка - на выходе акустического приемника.

$$ПО = 10lg \frac{S}{N} (2.3).$$

При принятии решения есть 4 выбора, два правильных (сигнал присутствует или нет) и соответственно два ложных о наличии или нет сигнала. Следовательно надо задавать пороговый уровень, чтобы его превышение говорило о наличии цели. Но если устанавливать его слишком высоким, то будут присутствовать только сильные цели, а если низким, то будет множество ложных тревог и пропусков полезных сигналов.

Для расчетов воспользуемся отношением (2.4), где d - коэффициент обнаружения.

$$ПО = 10lg \frac{d}{2t} (2.4).$$

Коэффициент обнаружения, можно определить зная вероятность обнаружения $P(d)$ и вероятности ложной тревоги $P(FA)$. [1] Так как цель работы - спроектировать ГАС, то мы в праве выбрать данные вероятности следующими: $P(FA) = 0,1$, $P(d) = 80\%$. Следовательно пользуясь таблицей, указанной в работе Дж.Урика [1] получаем $d = 16$. Длительность сигнала нашей ГАС выберем равным $t = 0.2c$. Порог обнаружения получается равным $ПО = 16$.

Вода содержит множество неоднородностей (дно, приповерхностный слой воды, пыль и организмы в толще). Все эти неоднородности, перехватывают, проходящую через них акустическую энергию, и вновь излучают часть этой энергии в среду. Переизлучение называется рассеянием, а вместе - реверберацией. [1] Самый лучший способ представить себе эффект реверберации - представить себе туман. Реверберационная помеха актуальна только для активной гидролокации и является ограничивающим фактором, сильно снижая эффективность ГАС. Соответственно справиться с этой помехой - одна из проблем при проектировании ГАС. В нашем случае использование широкополосного сигнала во многом помогает при борьбе с реверберацией, т.к.

позволяет направить куда больше энергии, своего рода 'размазать' её по всей широте полос, чем при использовании узкополосного сигнала.

Реверберация бывает следующих типов: объемная, поверхностная, донная. Учитывая мелкое море, серьезное влияние будет оказывать донная реверберация. Объемную вызывают морские организмы, неоднородность воды, различные частицы веществ. Поверхностная реверберация возникает от рассеивателей, содержащихся на поверхности или в приповерхностной слое(в основном пузырьки воздуха). Донная создается рассекателями плоскости дна. Последние две часто объединяют в одну - поверхностную реверберацию. [1].

Уровень объемной реверберации может быть рассчитан по (2.4):

$$УР_v = УИ - 40lgr + S_v + 10lgV \quad (2.4).$$

Где V- реверберирующий объем (2.5); S_v - сила обратного рассеивания для объемной реверберации; φ - ширина эквивалентной идеальной характеристики направленности(ХН); УИ - уровень излучения (2.13) :

$$V = \frac{c\tau}{2} \varphi r^2 \quad (2.5).$$

Силу объемного рассеивания берем равным $S_v = -100, дБ.$ [1, Рисунок 8.13]. Скорость звука и длительность импульса. $c = 1465 м/с$ $t = 0.2с$. Ширину эквивалентной идеальной ХН (2.6) $\varphi =$.

$$10lg\varphi = 10lg \int_0^{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} b(\theta, \varphi) * b'(\theta, \varphi) * \cos\theta d\theta d\varphi. \quad (2.6)$$

По (2.5) $V = 55125 * 10^5$, следовательно $УР_v = 37,455$ (2.4).

Для расчета поверхностной реверберации можно воспользоваться следующим выражением:

$$УР_s = УИ - 40lgr + S_s + 10lgA. \quad (2.7).$$

Где A - реверберационная область (2.7), S_s - сила поверхностного или донного рассеяния.

$$A = \frac{c\tau}{2} \Phi r^2 \quad (2.8).$$

Ширину эквивалентной идеализированной ХН Φ по (2.9):

$$10lg\Phi = 10lg \int_0^{2\pi} b(\theta, \varphi) * b'(\theta, \varphi) d\varphi. \quad (2.9)$$

Силу обратного рассеяния в приповерхностном слое можно рассчитать следующим образом :

$$S_s = 3.3\beta lg \frac{\theta}{30} - 42.4lg\beta + 2.6; \quad (2.10)$$

$$\beta = 158(vf^{\frac{1}{3}})^{-0.54}. \quad (2.11)$$

Где θ - угол скольжения, градусы; v - скорость ветра, уз; f - частота, Гц.

$$S_s = -130\text{дБ}$$

Силу обратного рассеяния дна можно найти по (2.10), где значение величины $10lg\mu$, μ - коэффициент пропорциональности находим по графику [1, Рис. 8.27].

$$S_s = 10lg\mu + 10lg\sin^2\theta. \quad (2.12)$$

$$S_s = -46.194\text{дБ}$$

Суммарную реверберацию можно рассчитать следующим образом:
 $УР = УР_s(\text{поверхности}) + УР_v + УР_s(\text{дна}) = 37,455 + 14,72 + 98,53 = 150,705 \text{ дБ}$

Расчет уровня эхо-сигнала.

Рассмотрим физический смысл параметров уровня эхосигнала. Преобразователь создает акустическое поле с уровнем излучения на дальности 1 м в направлении акустической оси. Звук, достигая цели, имеет определенные потери при распространении. Также цель отражает акустическую энергию(сила цели).Соответственно уровень эхосигнала на расстоянии 1 м от цели УИ-ПР+СЦ. Сигнал, возвращаясь к преобразователю, теряет уровень из-за потерь Величина характеризующая уровень эхо-сигнала около преобразователя(2.13):

$$УЭ = УИ - 2ПР + СЦ \quad (2.13)$$

Опорная точка уровня излучения в 1 м от преобразователя. Вычисляется как отношения интенсивности источника на эталонную интенсивность. За эталон берется интенсивности плоскость волны с давлением 1 мкПа.

В работе для нахождения уровня излучения в активном режиме воспользуемся следующим выражением:

$$УИ = 170.8 + 10lgP + ПН_{т}. (2.14)$$

Где P - акустическая выходная мощности, Вт. (В работе примем равным 1000 Вт). ПН_т - показатель направленности излучателя.

Показатель направленности излучения - измеряется в точке на ХН как разность между силой звука излучателя и интенсивностью ненаправленного излучателя, который создает эквивалентную акустическую мощность (и все это в десяти десятичных логарифмах). Показатель направленности можно найти через коэффициент концентрации (КК):

$$ПН = 10lgK, дБ. (2.15).$$

КК - это универсальная характеристика оценка энергетической эффективности антенны направленного излучения. КК уровень концентрации мощности в определенном направлении. Определяют как отношение интенсивности звука в дальней зоне к интенсивности ненаправленного излучателя, при условии что их акустические мощности равны. Однако, зная характеристику направленности и учитывая, что ось симметрии антенны перпендикулярно направлению главного максимума ХН, то можно использовать:

$$K = 2 \int_{-2\pi}^{2\pi} [R^2(\theta) \cos(\theta) d\theta]^{-1} (2.16)$$

ХН рассчитана по формуле 3.3. Коэффициент концентрации K = 533. ПН = 27дБ. Соответственно УИ = 228дБ.

Теперь рассмотрим следующую составляющую эхо сигнала. Сила цели характеристика эхо-сигнала, отразившегося от подводной цели. Целью может

являться любой объект начиная от подводной лодки, мин и заканчивая косяками рыб. Целью не являются: различные неоднородности дна, поверхности и самого объема воды, которые также возвращают звук приемной антенне. Сила цели находится как умноженный на 10 десятичный логарифм отношения интенсивности возвращаемого звука на единичном расстоянии от цели на интенсивность падающей акустической волны. Учитывая то, что наш гидролокатор моностатический(приемник и излучатель в одной точке), то рассмотрим только обратное отражение и обратное рассеяние.

Спроектированная ГАС направлена на обнаружение больших целей, таких как подводная лодка, обитаемые и необитаемые подводные аппараты. Здесь введем понятие радиуса эквивалентной идеальной сферы. Для простоты расчетов мы можем заменить реальный крупный объект изотропной отражающей сферой, с такого же размера. Сила цели большой сферы рассчитывается:

$$СЦ = 10lg \frac{a^2}{4}, \text{ дБ. (2.17)}$$

Результаты отдельных сил цели могут существенно отличаться в зависимости от множества факторов, в том числе от ракурса: траверзный(направление перпендикулярное курсу судна) , носовой или кормовой, промежуточный; расстояние до цели. Поэтому, для простоты расчетов, возьмем $СЦ=14\text{дБ}$ (2.17), что примерно равняется силе цели подводной лодки на траверзе, разумеется это приблизительное значение, но в нашей работе оно более чем подойдет.[1].

Теперь заключающая часть. Как указано в (2.1) и учитывая, то что все параметры рассчитаны, то потери при распространении $ПР = 43.14\text{дБ}$. Для того чтобы, подтвердить, что обнаружение возможно при указанных параметрах найдем потери при распространении.

Параметр потери при распространении - десять десятичных логарифмов отношения интенсивности в 1 метре от источника на интенсивность в некоторой удаленной точке [1]. По сути, это ослабление звука. Звук ослабляется из-за водной среды, довольно сложной для распространения звука.

Источники потери бывают следующие:

- потери на расширение фронта(удаление энергии от источника);
- затухание акустической энергии(поглощение, рассеяние, утечка энергии из звуковых каналов).

Общий параметр потерь при распространении рассчитывается как сумма выше указанных.

$$ПР_{общ} = ПР_з + ПР_p. (2.18)$$

В мелком море, дно и поверхность воды, с некоторыми допущениями, можно принять плоскопараллельными, что соответствует цилиндрическому расширению, в добавок, подобный расчет потерь можно использовать на больших расстояниях(как раз в нашем случае)[1]. Потери при цилиндрическом расширении выражаются как:

$$ПР_p = 10 \lg(r). (2.19)$$

Потери на поглощение можно выразить следующим образом:

$$ПР_з = \alpha r * 10^{-3}. (2.20)$$

Поглощение звука море имеет три основных явления: сдвиговая вязкость, объемная вязкость - зависит напрямую от задержки, которая нужна частицам воды для перетекания под давлением в свободные места структурной решетки. [1]

Потери на затухание имеют сложную структуру и их расчет связан с определенными трудностями. Поэтому ограничимся потерями на расширение фронта звуковой волны.

Потери на распространении получаются равными $ПР = 46,9$. Что приблизительно равно значению из (2.1). Соответственно, можно сказать, что

при заданных параметрах ГАС может обнаружить цель с эквивалентным радиусом сферы 10м на расстоянии 50 км.

2.3 Расчет параметров обнаружения в Баренцевом и Черном морях.

Рассмотрим результаты расчетов в Баренцевом море летом. Летом звук стремится в зону более низких температур, следовательно, на малой глубине дальность обнаружения низкая.

Моделирование проводилось для разных глубин и при разной поверхности дна. Илистое и песчаное серьезно отличаются, с точки зрения потерь энергии. Илистый грунт вызывает гораздо большие потери, чем песчаный (Потери в 16дБ против 4дБ). [1]

Энергетическая дальность, с нулевой реверберацией, с источником на глубине 100 м(2.6). Данный график будет использоваться для сравнения, как "Идеал".

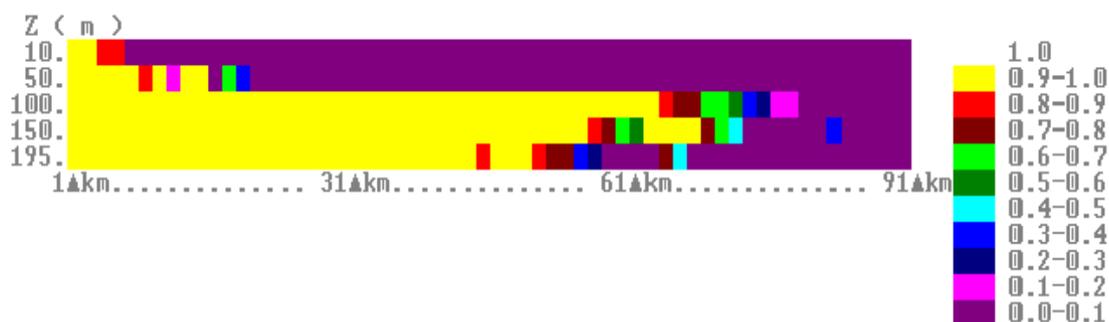


Рисунок 2.6 - Энергетическая дальность, Баренцево море(лето).

Графики распространения акустической энергии в Баренцевом море при илистом дне (рис 2.7; 2.8; 2.9).

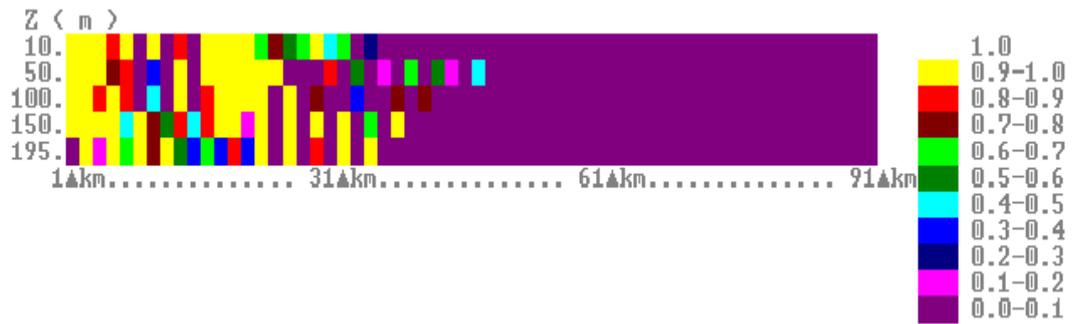


Рисунок 2.7 - Баренцево море(лето).Ил, источник акустической энергии на 15м.

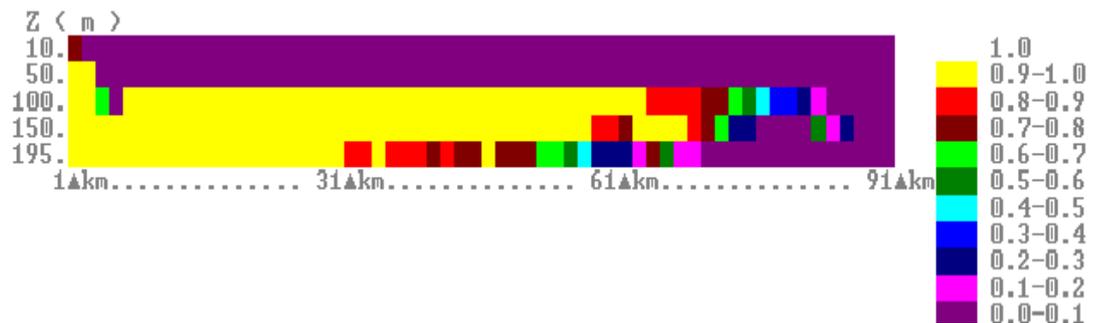


Рисунок 2.8 - Баренцево море(лето).Ил, источник акустической энергии на 110м.

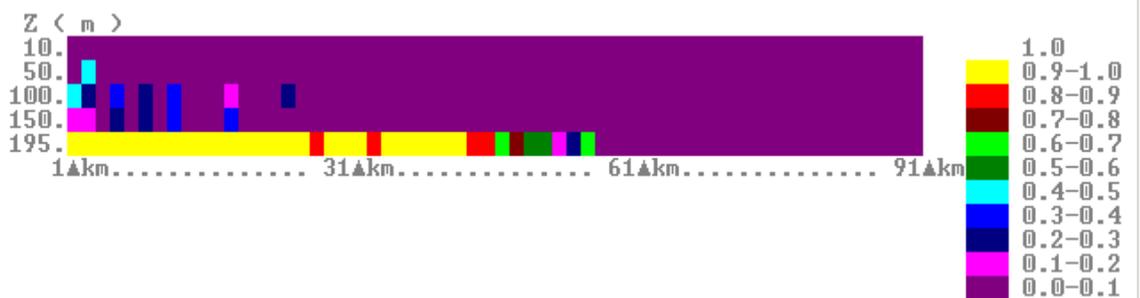


Рисунок 2.9 - Баренцево море(лето).Ил, источник акустической энергии на 170м.

Как видно из (рис 2.7; 2.8; 2.9), самый оптимальный и приближенный к идеалу (рис 2.6) вариант - это расположить антенну на глубине 110м. Это позволяет распространиться звуку(при этом вероятность правильного обнаружения более 0.9) на дистанцию 60км+. Это связано с тем, что звук не успевает быстро рассеяться, как на глубине источника 170м (3.9), и находится в

области низких температур и не стремится ещё глубже. При глубине излучателя 15 м (Рис. 3.7) дальность и вероятность правильного обнаружения оставляет желать лучшего. Приповерхностное рассеяние сильно гасит акустическую энергию, вдобавок, звук пытается попасть в более холодную область, что и объясняет "хаотичную картину".

Результаты расчетов в «Regon8» для Баренцева моря в летнее время (Рис 2.10; 2.11; 2.12). Очевидно, что дальность распространения при песчаном дне гораздо больше, чем при иле. Это связано с тем, что песок гораздо лучше отражает акустические лучи, чем ил. Особенно это видно на Рис.2.12. Оптимальная глубина такая же - около 110 м.

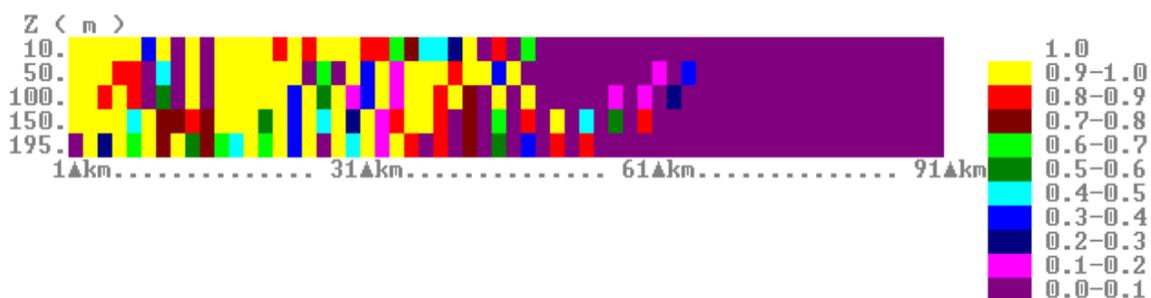


Рисунок 2.10 - Баренцево море(лето).Песок, источник акустической энергии на 15м.

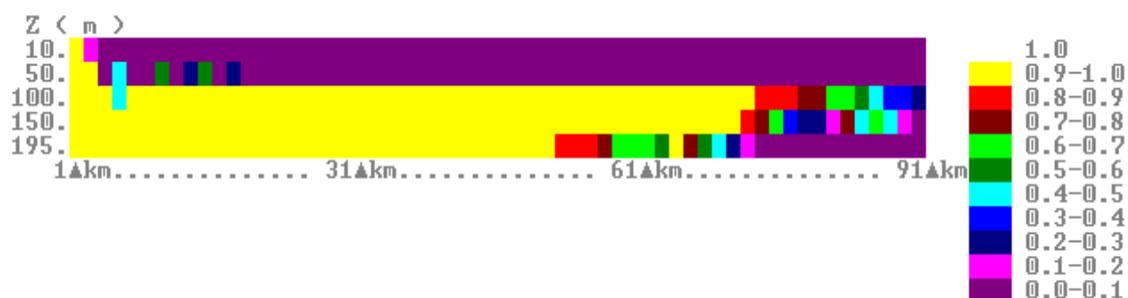


Рисунок 2.11 - Баренцево море(лето).Песок, источник акустической энергии на 110м.

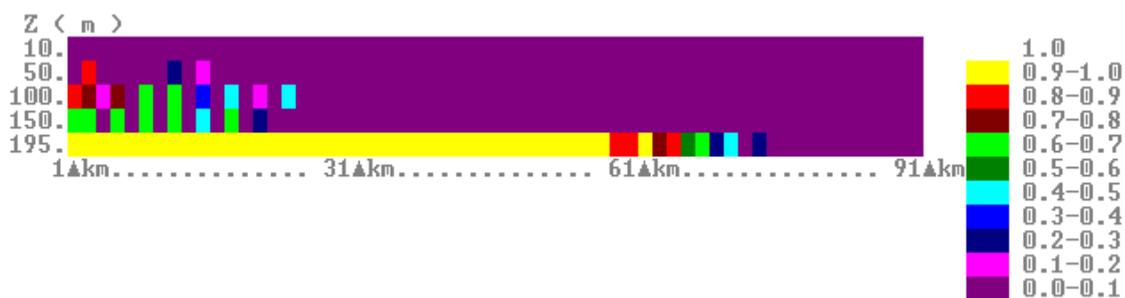


Рисунок 2.12 - Баренцево море(лето).Песок, источник акустической энергии на 170м.

Распространение акустической энергии в зимнее время существенно отличается от летнего. Эту разницу легко заметить сравнив два графика энергетической дальности для лета(рис. 2.6) с зимой (рис. 2.13). Если же в первом случае цель обнаруживалась на глубинах ниже 100м, то зимой, звук не стремится в глубь и спокойно распространяется в приповерхностном слое, т.к. температура на поверхности низкая, даже ниже чем на глубине.

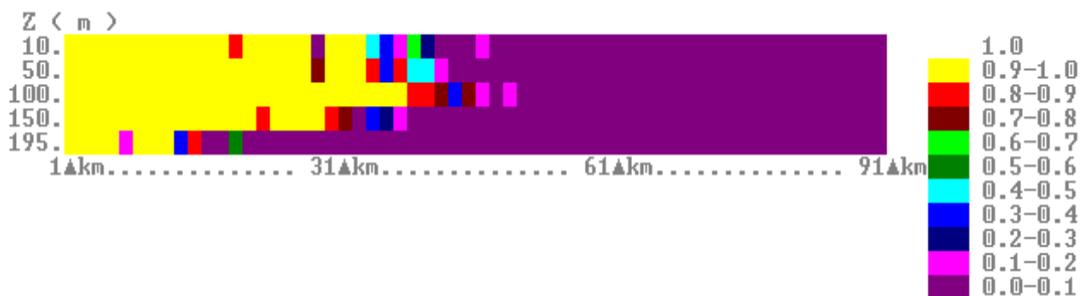


Рисунок 2.13 - Энергетическая дальность, Баренцево море(зима).

Данное распределение также прослеживается в реверберационных условиях(рис. 2.14; 2.15; 2.16). Илистое дно в данном случае, также играет роль (рис. 2.15). На глубине располагается гораздо больше зон тени, чем на графике энергетической дальности (2.13). На это влияет сумма факторов: низкая температура на поверхности, илистое дно, поглощающее акустическую энергию, донные рассеятели.

При этом при нахождении излучающей антенны на глубине 15м(2.14), звук практически не пытается попасть на глубину, по сравнению с (2.10) и (2.7). Если источник находится на глубине(2.16), то звук пытается выбраться на верх, к более низким температурам, и частично, ему это удастся, несмотря на илистое дно, реверберацию, что не наблюдалось в летнее время(2.9 и 2.10).

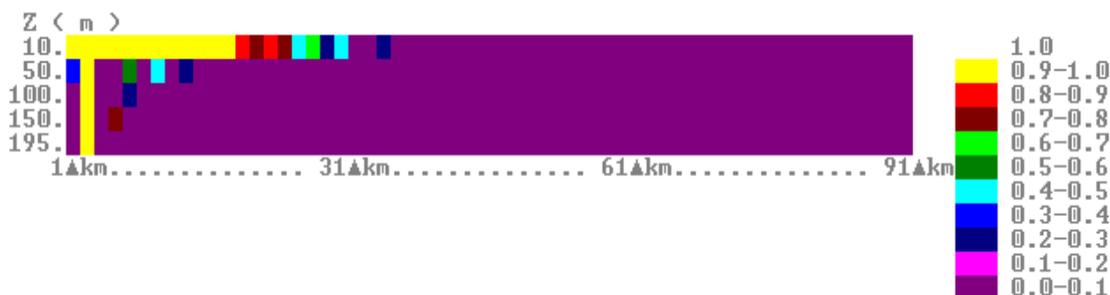


Рисунок 2.14 - Баренцево море(Зима).Ил, источник акустической энергии на 15м.

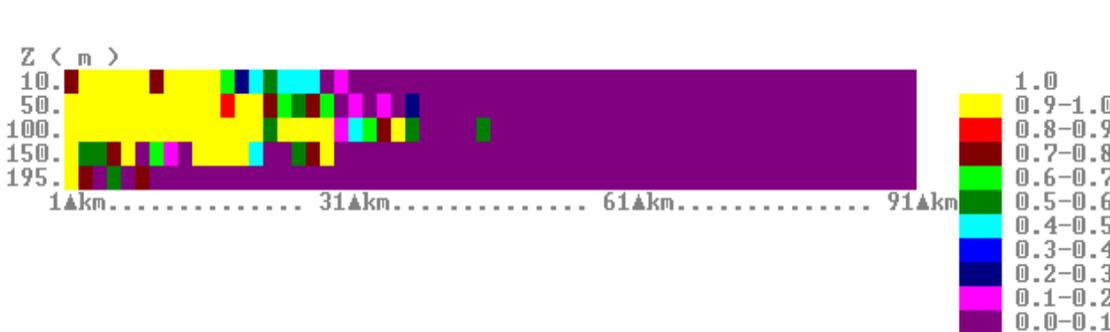


Рисунок 2.15 - Баренцево море(Зима).Ил, источник акустической энергии на 110м.

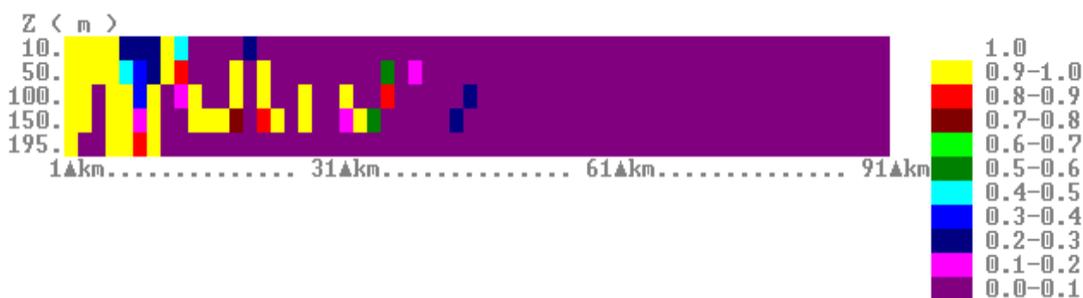


Рисунок 2.16 - Баренцево море(зима).Ил, источник акустической энергии на 170м.

Посмотрим, как себя будет вести ГАС в другом, более глубоком море. Для примера возьмем Черное море в зимнее время года. К сожалению, из-за технических проблем, расчет для Черного моря летом неверный и было бы ошибкой, включить его в работу. В расчетах дно примем илистым.

Энергетическая дальность (2.17) меньше, чем в Баренцевом (2.13). Это связано с тем, что Черное море глубже и в зимнее время, малая доля от общей акустической энергии достигает дна, не говоря уже о переотражении.

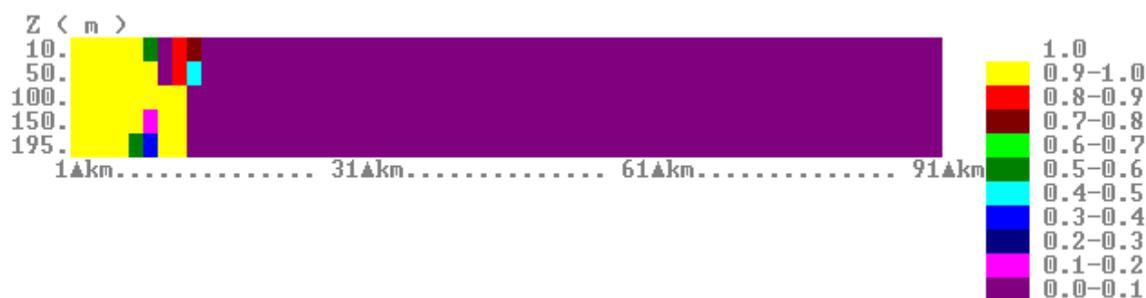


Рисунок 2.17 - Энергетическая дальность, Черное море(зима).

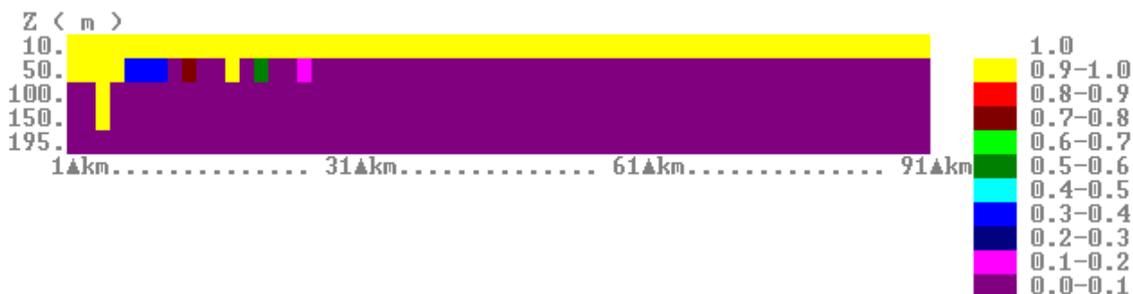


Рисунок 2.18 - Черное море(зима).Ил, источник акустической энергии на 15м.

Также это прослеживается в (2.19) и (2.20). Однако, при расположении излучателя в приповерхностном слое (2.18) можно достичь очень большой дальности обнаружения, больше 90км. Но к сожалению, практической пользы от этого немного.

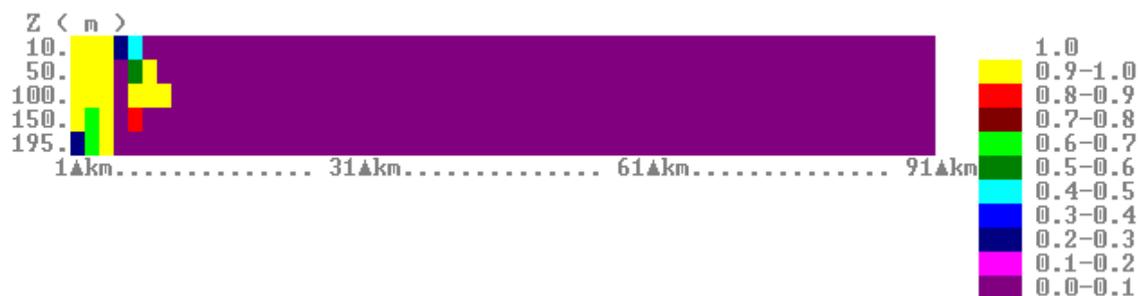


Рисунок 2.19 - Черное море(зима).Ил, источник акустической энергии на 110.

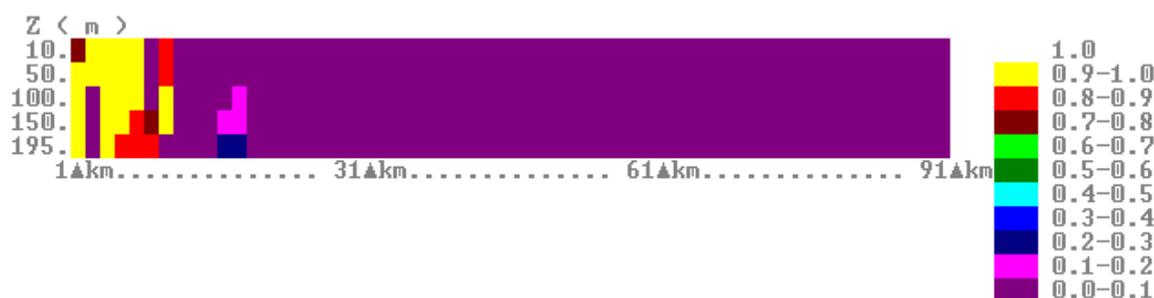


Рисунок 2.20 - Черное море(зима).Ил, источник акустической энергии на 170м.

Выводы

Для расчета обнаружения цели была использована программа «Regon8». По результатам расчета в «Regon8» (рис 2.2)диапазон рабочих частот был выбран $f: 2-12\text{кГц}$, как оптимальный. Правильность выбора ШПС сигнала в борьбе с реверберацией подтверждается расчетами в «Regon8» (рис 2.5), следовательно, по данным расчетам $\Delta f = 2000\text{Гц}$.

В целях подтверждения правильной работоспособности программы, было рассчитано уравнение ГЛ для реверберационной помехи(2.2).

Заданные параметры:

- частота $f = 4.9\text{кГц}$;
- дальность цели $r = 50\text{км}$;

- радиус её эквивалентной идеальной сферы $a = 10\text{м}$ (да он великоват, но во время обучения расчетам в «Regon8» использовался именно такой радиус, и было решено не изменять его, т.к. общий вид картины распространения был мне уже хорошо известен);

- вероятность правильного обнаружения 80%, ложной тревоги 0.1%;

- расчет ХН приведен в 3.3.

В результате расчетов получилось следующее:

- Уровень излучения, один из параметров эхо-сигнала, УИ=228дБ (2.14);

- Сила цели, один из параметров эхо-сигнала, СЦ=13дБ (2.17);

- Уровень реверберации УР=105,705;

- Порог обнаружения ПО=16дБ (2.4);

- Потери при распространении, один из параметров эхо-сигнала ПР=46.9(2.19).

Следовательно, можно, с небольшими допущениями, сказать, что обнаружение заданной цели цилиндрической антенной высотой 5м и диаметром 5 на расстоянии 50 км возможно.

Дальность, полученная с помощью уравнения ГЛ составляет 50 км, а в программном расчете 60 км(Рис 2.2). И учитывая возможную погрешность при расчете уравнения ГЛ, можно подтвердить верность программного расчета.

В программе «Regon8» проделано множество расчетов при различных ГА условиях и разной глубине расположения антенны. Так как нужно проектируемую ГАС расположить в мелком море, для моделирования была выбрана гидрология Баренцева моря в разное время года(рис 1.3-1.4).

Глубины расположения антенны были выбраны следующие: в приповерхностном слое на 15м, в толще воды 110м и грунта на глубине 170м.

Использован разный тип дна: песок и дно.

Краткий анализ результатов расчета:

- тип дна серьезно влияет на распространение звукового сигнала, в случае песчаного дна (2.10; 2.11; 2.12). дальность распространения больше, чем при иле(рис 2.7; 2.8; 2.9).Это связано с тем, что песок гораздо лучше отражает акустические лучи, чем ил. Особенно это видно на рис.2.12.

- в зимнее время (рис. 2.14; 2.15; 2.16) дальность обнаружения существенно снижается, однако есть возможно обнаруживать цель на небольших глубинах, это связано с тем, что акустический сигнал стремится в область более низких температур. Эту разницу легко заметить сравнив два графика энергетической дальности для лета(рис. 2.6) с зимой (рис. 2.13). Если же в первом случае цель обнаруживалась на глубинах ниже 100м, то зимой, звук не стремится в глубь и спокойно распространяется в приповерхностном слое, т.к. температура на поверхности низкая, даже ниже чем на глубине.

- оптимальная глубина в летнее и зимнее времена расположения антенны - 110 м.

- диапазон дальности определения цели составляет 30-65км, при различных акустических условиях, при расположении источника на глубине 110м.

- в летнее время, в мелком море(Баренцево в нашем случае) ГАС лучше размещать на глубине 110м, что обеспечивает довольно большую дальность обнаружения 60 км, не смотря на тип дна. Но в зимнее время, дальность распространения существенно снижается, до 20 км. Соответственно дальность проектируемой ГАС составляет 20-70км, в зависимости от ГА условий.

Рассмотрено использовании ГАС, с данными параметрами, в более глубоком море. В качестве акватории было выбрано Черное море в зимнее время года(летом рассчитать не удалось из-за технических проблем), дальность обнаружения существенно снижается, по сравнению с мелким морем в тоже время года. Результаты:

- энергетическая дальность (2.17) составляет 13км, при глубине источника 110м, что гораздо ниже, чем в Баренцевом море, это связано с глубиной моря: меньше акустической энергии достигает дна, не говоря уже о переотражении.

- с реверберационной помехой дальность ухудшается до 10-11км. (Рис. 2.19; 2.18; 2.20). Однако, при расположении излучателя в приповерхностном слое (2.18) можно достичь очень большой дальности обнаружения, более 90км, но практической пользы в этом мало.

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ

3.1 Антенная система.

Обзор пространства средствами ГЛ желательно осуществлять полноценно, с минимальной зоной тени, при минимальных технических и экономических затратах. Именно поэтому выбор пал на многоэлементные цилиндрические антенны, т.к. они обеспечивают круговой обзор пространства при относительно небольших аппаратных затратах.[2] Имеется сферический тип антенн, но он более сложен в технологическом плане.

Метод обзора пространства в режиме приема следующий. Формируется в секторе 120° статический веер, осуществляется электрическое вращение одной или нескольких компенсированных ХН. Антенну называют компенсированной в некотором направлении, если колебания от всех её элементов складываются в точке наблюдения, расположенной в это направлении, синфазно.[4]. В режиме облучения ХН секторная.

Диаметр и высота цилиндра $D = 5\text{м}$, $H = 5\text{м}$. Рабочая полоса частот 2 - 12 кГц.

У данного типа антенн число каналов ограничено расположением фазовых центров секций, расстояние между которыми равно(3.1). Увеличение расстояние приведет к возрастанию уровня ореолов, боковых лепестков, на углах 90° и к падению коэффициента концентрации(КК). Получается, что число секций в азимутальной плоскости в секторе 360° находится выражением (3.2), где D - диаметр антенны. [3]

$$d = 0,5\lambda .(3.1)$$

$$Q = \left(\frac{2\pi D}{\lambda}\right). (3.2)$$

Получается, что желательное число каналов в горизонтальной плоскости $Q = 104$ и расстояние между фазовыми центрами секций $d = 0.15\text{м}$

В таблице 3.1 приведены основные характеристики проектируемой антенны.

Таблица 3.1. Основные характеристики

Частота	2 - 12 кГц
Количество каналов	104
Количество преобразователей в канале	33
Ширина характеристик направленности	
в горизонтальной плоскости	3.5° градус
в вертикальной плоскости	10° градус
Горизонтальной сектор обзора	120° градус
Габаритные размеры	
диаметр	5 м
высота	5 м
Активная площадь	78.5 м ²

Структурная схема получившейся цилиндрической антенны указана на рисунке 3.1:

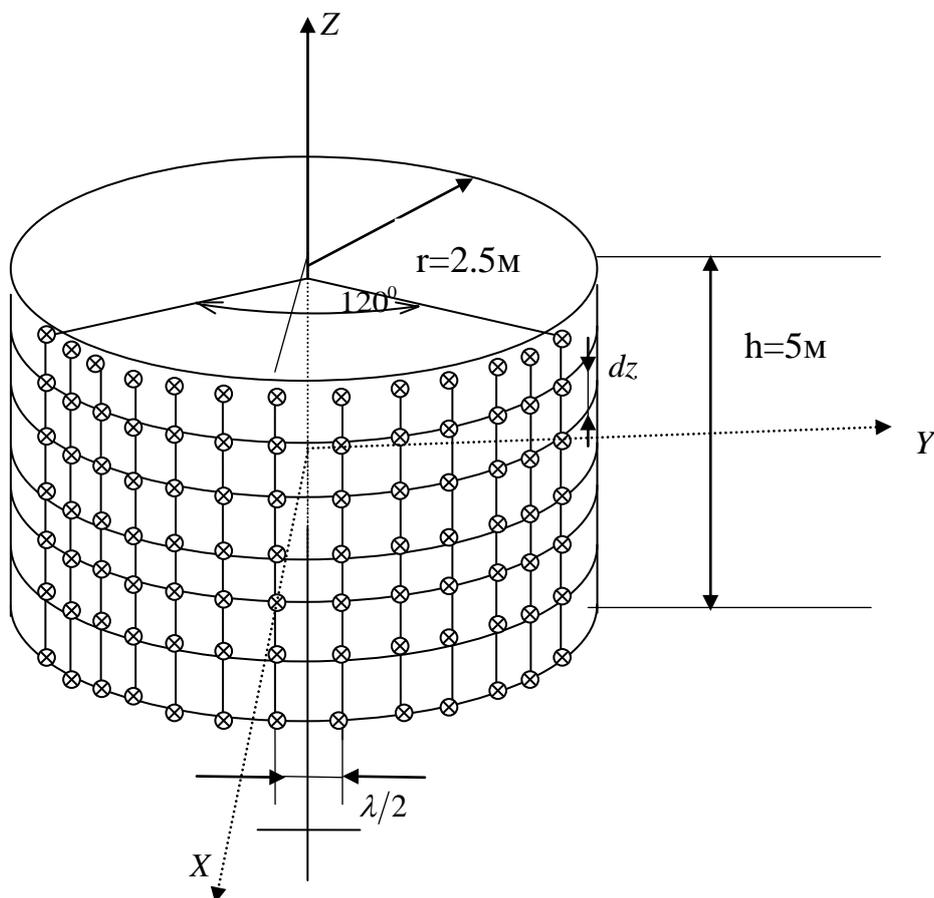


Рисунок 3.1 – Схематическая схема проектируемой круговой цилиндрической антенны.

Для простоты расчетов будем допустить, что ХН цельной цилиндрической антенны и ХН дискретной антенны примерно равны. Следовательно для расчета нормированной ХН цилиндрической антенны можно воспользоваться следующим выражением [9]:

$$R(\theta) = \frac{H_1^{(2)}(ka)}{\cos^2 \theta H_1^{(2)}(ka \cos \theta)} \frac{\sin^2 \left[\left(\frac{kh}{2} \right) \sin \theta \right]}{\left(\frac{kh}{2} \right) \sin \theta}. \quad (3.3)$$

Где

a - радиус цилиндра;

k - волновое число;

h - высота цилиндра;

$H_1^{(2)}(ka)$ - функция Ганкеля второго рода.

Результаты расчета по (3.3) представлены на графике (Рис 3.2).

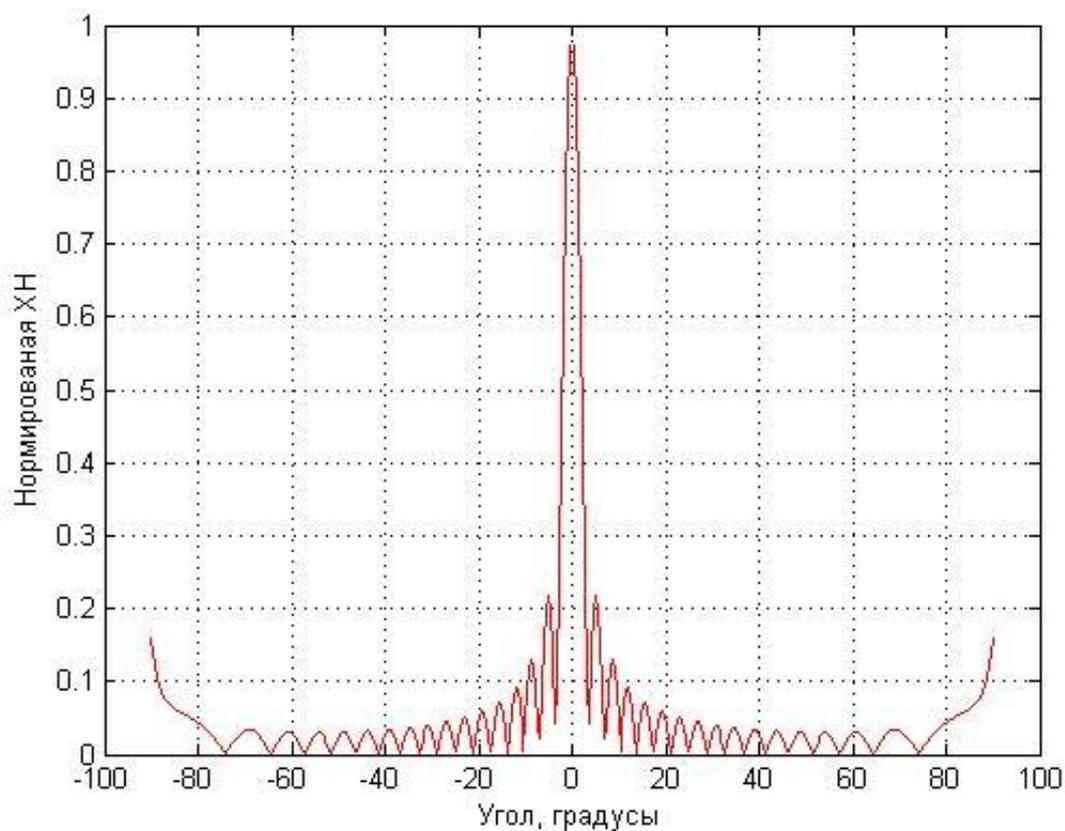


Рисунок 3.2 - Нормированная характеристика направленности.

3.2 Системы обработки ГАС.

Обработка ГА информации и аппаратура, обеспечивающая обработку, на прямую влияет на работу ГАС и во многом обусловлена решаемой задачей.

Отличие аппаратуры обработки ГА информации от других систем радиоэлектронной аппаратуры, заключается в сигналах и помехах на входе ГАС, которые зависят от структуры помех и характера распространения акустических волн в водной среде.

Аппаратура обработки ГА информации может быть разделена на[2]

- система предварительной обработки ГА сигналов;
- система первичной обработки;
- система вторичной обработки;
- система отображения, хранения и регистрации информации.

Данное деление имеет место быть, т.к. указанные системы имеют функционально завершенную структуру, следовательно их можно рассматривать самостоятельно.

Структурная схема активной ГАС представлена на рисунке 3.3.

Рассмотрим структурную схему проектируемой ГАС подробнее.

Приемный тракт.

Сигнал поступающий с антенной системы по множеству каналов, поступает на коммутатор приема-передачи(КПП), обеспечивающий выбор требуемых выходных цепей(приемных или излучающих). Далее он поступает в систему предварительной обработки.

Система предварительной обработки ГА сигналов(СПО) - многоканальная аппаратура, непосредственно подключаемая к выходам электроакустических преобразователей ГА антенны.

Задачи предварительной обработки заключаются в следующем:

- усиление принятых ГА антенной сигналов;
- формирование рабочей полосы частот;
- выбеливание фонового шума в частотной области;
- нормализация уровня шума во временной области;
- многоканальное аналогово-цифровое преобразование.

СПО приемного тракта проектируемой ГАС состоит из усилителей, диапазонных фильтров и аналого-цифрового преобразователя, содержащего в себе также сумматор.

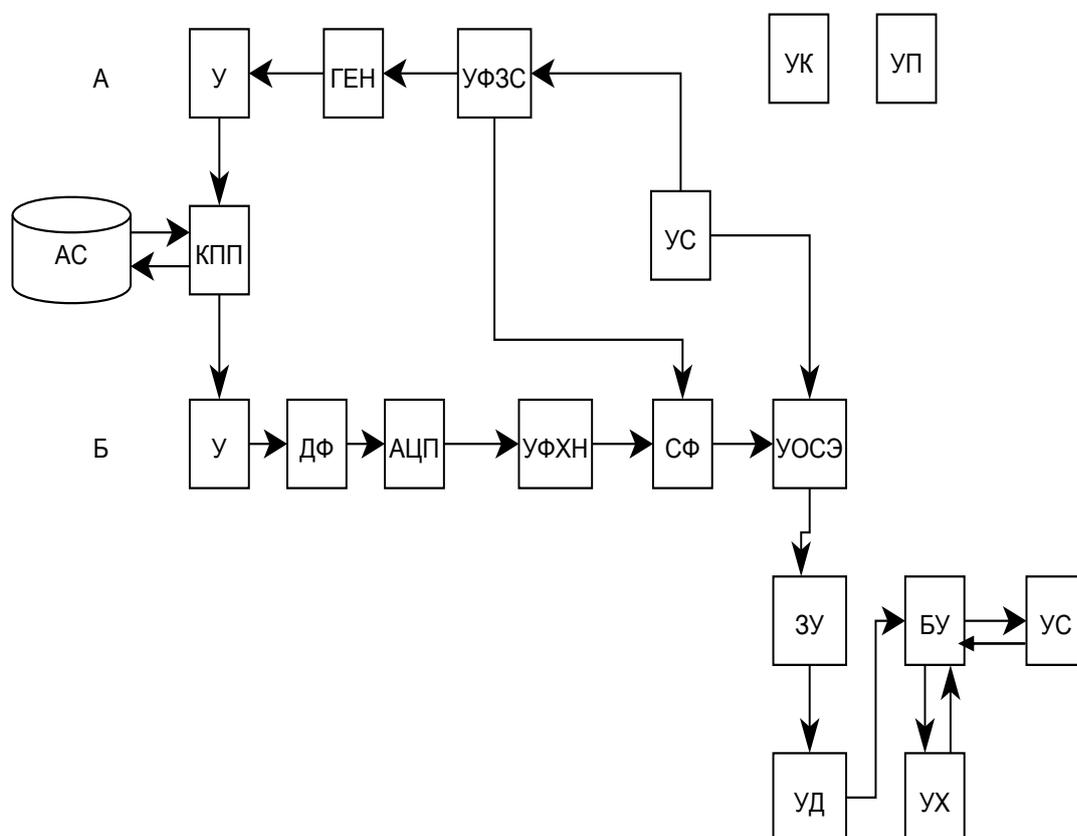


Рисунок 3.3 - Упрощенная структурная схема активной стационарной ГАС с цилиндрической антенной. АС - излучающий тракт; Б - приемный тракт, где: АС - антенная система; КПП - коммутатор приема-передачи; У - усилители; ДФ - диапазонные фильтры; ГЕН - генератор тракта излучения; УФЗС - устройство формирования сложного зондирующего сигнала; АЦП - система аналого-цифрового преобразования; УФХН - устройство формирования ХН в частотной и временной областях; СФ - согласованный фильтр; УОСЭ - устройство обнаружения сложного эхосигнала(пороговое устройство); ЗУ - запоминающее устройство; УД - устройство определения дистанции до цели;

БУ - блок управления; УХ - устройство хранения и классификации данных; УС - устройство связи с внешней средой; УП - устройство питания; УК - устройство контроля.

Диапазонные фильтры формируют рабочий диапазон частот СПО. Качество диапазонных фильтров влияет на качество всей дальнейшей цифровой обработки сигналов, т.к. разброс и нестабильность частотных характеристик влекут за собой потери помехоустойчивости всего приемного тракта ГАС.

Система АЦП предназначена для преобразования аналоговых сигналов, поступающих с выходов ДФ в цифровые сигналы. Цифровые сигналы на выходе системы представлены в виде потоков цифровых кодов, как правило, двоичных. Основным элементом, определяющим характеристики системы АЦП, является АЦП. Выбираем АЦП 32-разрядов чтобы не возникали искажения в процессе обработки сигналов. С другой стороны, АЦП 32-разрядов имеет большой динамический диапазон работы и может принимать одновременно сильную и слабую мощность сигналов.

При работе ГАС в мелком море используют временную автоматическую регулировку усиления в сочетании с автоматической регулировкой усиления в каждом пространственном канале. Нестационарность реверберационного процесса приводит к необходимости использовать временную автоматическую регулировку усиления, при этом закон изменения коэффициента усиления во времени выбирается с учетом типа преобладающей реверберации (донная, поверхностная, объемная).

После АЦП и усиления, цифровой сигнал, обычно в виде двоичного кода, поступает в систему первичной/пространственно-временной обработки сигнала(СПВО).

Система первичной обработки сигналов, по другому СПВО, подключена к выходам системы предварительной обработки (Системы АЦП). В задачи первичной обработки входит:

- максимизация отношения сигнал/помеха (согласованный фильтр),
- порогового обнаружения полезных сигналов (устройство обнаружения сложного эхо-сигнала),
- определение угловых координат цели (устройство определения дистанции до цели),
- выдача информации в последующую систему вторичной обработки.

Функции заключаются в следующем:

- пространственная фильтрация сигналов (формирование ХН антенны);
- временная обработка сигналов (спектральный анализ и оценивание).

Об устройстве формирования ХН.

Различают два основных способа формирования ХН ГА антенны: в частотной и временной области.

В первых ГАС устройство формирования ХН во временной области реализовывались аналоговыми средствами. Но это подходит в основном для небольших по размеру ГАС, с небольшим количеством элементов. Проектируемая антенна ГАС содержит несколько тысяч элементов. В связи с этим, требуемый объем памяти возрастает в разы. Принцип цифровой схемы формирования характеристики направленности показан на рисунке 3.4. Входные выборки вводятся в канал задерживающего устройства. Они последовательно записываются в ячейки ЗУ согласно текущему адресу записи, соответствующему текущему значению времени. Адрес считывания вырабатывается путем добавления приращений к адресу записи. Адресные приращения и весовые коэффициенты считываются из задерживающего устройства с помощью сигналов, обозначающих номер лучей ХН так, что выборки требуемых выходных лучей формируются последовательно с

возрастанием номера луча. Современные задерживающие устройства могут реализовывать даже избыточные параметры для активной ГЛ, соответственно систему формирования ХН упрощают, что позволяет уменьшить габариты, программные и аппаратные затраты, снизить стоимость системы. [2]

Формирование ХН в частотной области на практике возможно двумя способами. Первый основан на преобразовании Фурье к входным сигналам. Применяется в основном для широкополосных сигналов и подходит для проектируемой ГАС. Преобразование Фурье сигнала на выходе устройства $B(f, \theta_m)$ с преобразованием Фурье входных сигналов выражением

$$B(f, \theta_m) = F\{b(t, \theta_m)\} = F\left\{\sum_{n=1}^N a_n x_n [t - \tau_n(\theta_m)]\right\} = \sum_{n=1}^N a_n x_n(f) e^{t_n(\theta_m)}, \quad (3.4)$$

где $F(x,y)$ -символ преобразования Фурье; θ_m - угол компенсации; $x_n(f) = F\{x_n(t)\}$; x_n - выходной сигнал n - го приемного элемента; a_n - весовой коэффициент; t_n - временная задержка, обеспечивающая формирование ХН в заданном направлении.

Второй вид устройства формирования ХН в частотной области вводит фазовые сдвиги в сигналы от элементов антенны без применения дискретного преобразования Фурье. Данный метод применяется для обработки узкополосных сигналов.

Устройство временной обработки сигналов решает следующие задачи: частотная фильтрация сигналов(когерентной для активной ГАС), детектирование сигнала, центрирование, нормирование уровня сигналов, последетекторное накопление. Тракт временной обработки оканчивается пороговым устройством, фиксирующим превышение сигналом заднего порога.

На сегодняшний день, оба этапа первичной обработки сигналов рассматриваются вместе, как пространственно-временная обработка информации. Результатом обработки является факт наличия полезного сигнала(обнаружение цели), поступающей на вход ГАС помех+возможно, полезный сигнал.

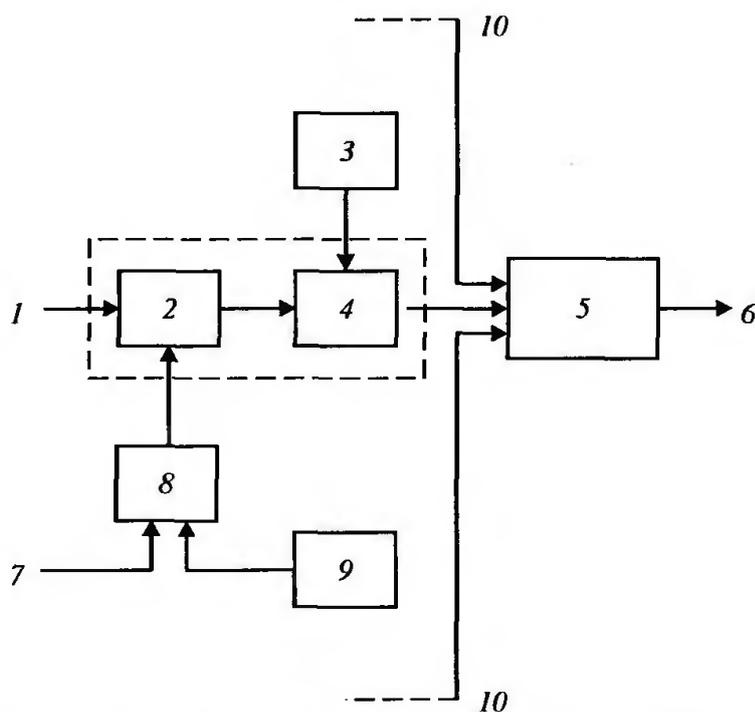


Рисунок 3.4 - Структурная схема цифрового устройства формирования единичной ХН во временной области

1 - входная выборка сигналов с АЦП; 2 - задерживающее устройство; 3 - устройство формирования весовых коэффициентов; 4- умножители ;5-сумматор ;6- сигнал на выходе сформированного пространственного канала ;7- текущий адрес записи ;8-сумматор ;9-устройство формирования адресов считывания ;10- сигналы от соседних каналов антенны .

Учитывая эхолокацию, можно применить согласованный фильтр - устройство обеспечивающее наибольшее отношение сигнал/помеха при известной форме сигнала. Но особенностью ШПС является, то что при их

распространении с частотно-зависимым поглощениемм изменяется не только энергия, но и форма сигнала. Поэтому следует применять перестраиваемый фильтр. Однако, для этого требуется априорное знание расстояния до объекта и параметров среды. Как правило, на практике данные параметры не известны. Поэтому, может оказаться более предпочтительным применение квазиоптимальных алгоритмов фильтрации.[22] В них используется согласование по полосе, т.е. подбирается оптимальная ширина полосы пропускания, при которой получается максимальное отношение сигнал/шум. В стандартном согласованном фильтре согласование идет со всем спектром сигнала. Однако, в проектируемой системе, для простоты, используется согласованная фильтрация, хотя она не совсем применима в реальных ГА условиях.

Система вторичной обработки информации работает с информацией о факте обнаружения сигналов, превысивших границу порогового устройства и с параметрами сигналов. Основные задачи: классификация цели, определение их координат и параметров движения, формирование трасс движения целей и их анализ (все этим занимается блок управления с 32-битным процессором). Выходные данные поступают в систему индикации, регистрации информации.

Учитывая то, что данное разделение является условным, можно устройство определения координат и дистанции до цели расположить в СПВО. Соответственно, в задачи блока управления входят:

- предварительная классификация обнаруженного объекта;
- отслеживание обнаруженной цели;
- запись обработанной информации во внутреннюю систему хранения и индикации данных;
- передача информации на внешнюю наземную базу, для дальнейших операций с полученным сигналом;

- анализ получаемых данных с системы контроля, в случае каких-либо неполадок в работе (нарушение герметизации, сбой в питании), отправлять данные через устройство связи, на внешнюю базу.

Тракт излучения. УФЗХ - устройство формирования зондирующего сигнала, формирует сложный широкополосный сигнал с рабочей частотой 2 - 12 кГц, синхронизированный с излучающим трактом, через устройство синхронизации. Далее сигнал подается на генератор излучения, после усиливается и через КПП излучается антенной системой.

Устройство контроля - это система состоящая из датчиков температуры, давления, влаги, питания, данные с датчиков поступают в блок управления.

Устройство питания должно быть дублированным. Генератор 440В трехфазный (данное значение получено путем анализа различных ГАС с цилиндрической антенной).

3.3 Рекомендации и особенности использования широкополосного сигнала, выбор типа модуляции.

На сегодняшний день, одним из путей улучшения характеристик ГАС, таких как дальность действия, разрешающая способность, помехоустойчивость, считается использование широкополосных зондирующих сигналов. Проблематично обеспечить достижение требуемых на сегодня характеристик ГАС с использованием узкополосных зондирующих сигналов. Проведено множество практических работ по применению ШПС, и большинство из них констатируют, что применение зондирующего ШПС имеет преимущество по сравнению с узкополосным сигналом [27, 28, 29].

Проблемы, связанные с эффектом реверберации, решаются путем использования ШПС. Вдобавок, шумоподобность данного типа сигналов, позволяют обеспечить относительно скрытный характер работы. [20]

Шумоподобный вид сигнала обеспечивается содержанием богатого спектра частот.

Широкополосными(сложными, шумоподобными) сигналами называют такие сигналы, у которых произведение активной ширины спектра F на длительность T много больше единицы. Данное понятие используют для определения сложности сигнала и называют базой сигнала B . База сигнала проектируемого гидролокатора составляет 400.

Конкретизируем цель использования ШПС:

- борьба или подавление реверберации;
- обеспечение шумоподобности сигнала.

Тип модуляции зондирующего сигнала может сильно повлиять на характеристики ГАС. По результатам [30] было выяснено, что наилучшие показатели соотношения информативности и энергетической эффективности имеют фазоманипулированные сигналы. Вдобавок, фазоманипулированные сигналы одни из самых распространенных в системах связи. Их и будет использовать проектируемая ГАС.

Рассмотрим структуру передатчика цифровой системы связи с фазоманипулированным сигналом, в которой передаются дискретные сообщения.

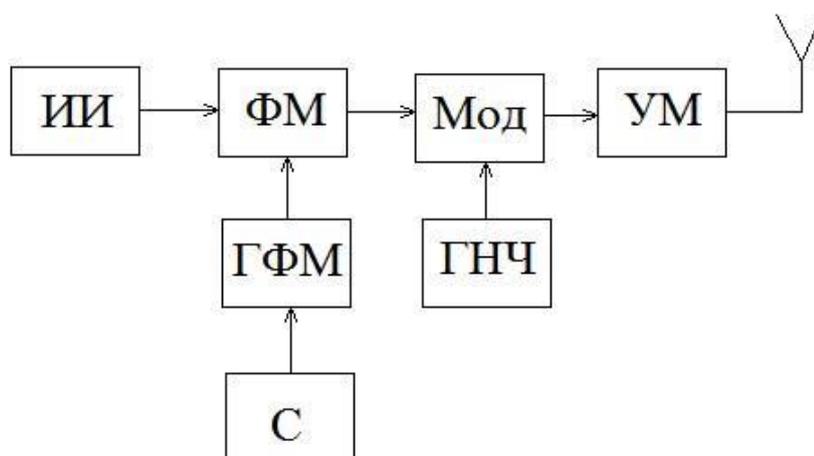


Рисунок 3.5 – Передатчик фазоманипулированных сигналов

В передатчике, изображенном на рис. от источника информации (ИИ) последовательность двоичных 0 и 1 со скоростью T^{-1} $\nu =$ поступает на вход фазового модулятора (ФМ). На второй вход ФМ поступает фазоманипулированный сигнал от генератора ФМ сигнала (ГФМ). Фазоманипулированный сигнал имеет длительность T и представляет собой последовательность видеоимпульсов 1 и 0 длительностью $N T \tau_0 =$, где N – число импульсов. Обычно считают, что база сигнала примерно равна числу импульсов, т.е. $B \approx N$. Ширина спектра ФМ сигнала. Работой ГФМ управляет синхронизатор C , который формирует необходимые сигналы управления и частоты. Последовательность ШПС в виде ФМ сигналов, переносящая информационные символы, поступает в модулятор (Мод), в котором осуществляется балансная модуляция колебания с несущей частотой ФМ сигналом. Колебание с несущей частотой создается генератором низкой частоты (ГНЧ). Усилитель мощность УМ усиливает фазоманипулированный сигнал, а затем через антенну сигнал излучается в водную среду.

Вернемся к ШПС. Использование ШПС позволяет подать больше энергии, не вызывая эффект кавитации. Вкратце, это возможно из-за распределения излучаемой мощности по всей ширине спектра рабочих частот.

Вторая особенность связана с многолучевостью, а точнее, с эффективной борьбой ШПС с многолучевостью. В ГА результирующий сигнал в приемном тракте представляет сумму сигналов отдельных лучей, возможна межсимвольная интерференция. Она заключается в том, что происходит перекрытие сигналов соседних символов. Если эти символы разные и запаздывание одного порядка с длительностью соответствующих им сигналов, то возможны значительные искажения, снижающие помехоустойчивость связи. В случае использования ШПС сигналы не перекрываются при менее жестких условиях, чем в системах использующих узкополосный сигнал. Поэтому

представляется возможным значительно повысить скорость работы. Разделение лучей в широкополосных системах устраняет интерференцию между ними.

ШПС позволяют более эффективно бороться с помехами, сосредоточенными по спектру (узкополосная помеха), чем узкополосные сигналы. Здесь надо заметить, что расширение спектра сигнала выигрыша не дает, т.к. суммарная мощность помех растет пропорционально полосе.

На основе выше изложенного, можно написать определенные рекомендации и особенности по использованию ШПС:

- возможность излучения большей акустической энергии, не превышая порог кавитации, чем с применением узкополосных сигналов, благодаря распределению энергии по всему спектру;

- позволяет использовать при приеме менее жесткие условия, чем узкополосный сигнал, что позволяет повысить скорость работы;

- высокое отношение сигнал/помеха при воздействии сосредоточенной по спектру помехи, по сравнению с узкополосным сигналом, но чрезмерное расширение спектра не дает пользы, из-за увлечения суммарной мощности помех. А при аддитивных помехах (гаусс. шум) помехоустойчивость не зависит от ширины сигнала, соответственно при данном типе помех, узкополосный и широкополосный сигнал идентичен;

- применение ШПС позволяет обеспечить определенную скрытность работы, что может быть полезно в стационарных ГАС;

- однако, в ГА ШПС требует использования большой антенны, следовательно, использование ШПС в активной ГЛ обосновано для обнаружения цели на дальних дистанциях или же в средах с повышенным звукопоглощением, где применение других сигналов либо невозможно, либо осложнено.

Существует еще много вопросов, касающихся особенностей применения ШПС в гидролокации. Предложенные рекомендации и особенности не

являются окончательными. Однако, существующие результаты позволяют сделать о преимуществах применения ШПС в активных гидролокаторах.

Выводы

В заключительной главе проделана большая работа по всей проектируемой ГАС: начиная от антенной системы и системы обработки ГАС, заканчивая выбором типа модуляции излучаемого сигнала, выработки рекомендации по использованию сложных, шумоподобных ШПС.

Выбор пал на цилиндрическую антенну из-за возможности обеспечения кругового обзора и простоты технической реализации, по сравнению со сферической антенной. Основные характеристики проектируемой цилиндрической антенны приведены в таблице 3.1. Метод обзора пространства в режиме приема следующий. Формируется в секторе 120° статический веер, осуществляется электрическое вращение одной или нескольких компенсированных ХН. В режиме облучения ХН секторная.

Диаметр и высота цилиндра $D = 5\text{ м}$, $H = 5\text{ м}$. Рабочая полоса частот 2 - 12 кГц. Ширина ХН в горизонтальной плоскости 3.5° , в вертикальной 10° . Количество каналов 104, преобразователей в каждом канале - 33. Проектируемая цилиндрическая антенна схематически представлена на рисунке 3.1.

Для проектируемой антенны, с некоторыми упрощениями, рассчитана нормированная ХН по формуле 3.3. Результаты представлены на рисунке 3.2.

Структура проектируемой ГАС представлена на рисунке 3.3. Имеется явное разделение на тракт приема и передачи, а также условное на СПО, СВПО, систему вторичной обработки.

Разберем приемный тракт.

Через КПП, обеспечивающий правильный выбор приемной/излучающей цепей, полученный аналоговый сигнал, усиливается и обрабатывается ДФ,

которые формируют рабочий диапазон частот СПО. Их качество существенно влияет на дальнейшую обработку.

Система АЦП предназначена для преобразования аналоговых сигналов, поступающих с выходов ДФ в цифровые сигналы. Выбираем АЦП 32-разрядов чтобы не возникали искажения в процессе обработки сигналов. С другой стороны, АЦП 32-разрядов имеет большой динамический диапазон работы и может принимать одновременно сильную и слабую мощность сигналов. Так как проектируемая ГАС направлена на работу в мелком море, используем временную автоматическую регулировку усиления в сочетании с автоматической регулировкой усиления в каждом пространственном канале. После системы АЦП и усиления, по множеству каналов, сигнал поступает в СПВО для формирования ХН, суммирования.

После применяется СФ, на основе сформированного сигнала в излучающем тракте, для повышения отношения сигнал/помеха, но учитывая возможное изменение сигнала, следует применять перестраиваемый фильтр. Однако, для этого требуется априорное знание расстояния до объекта и параметров среды. Как правило, на практике данные параметры не известны. Поэтому, может оказаться более предпочтительным применение квазиоптимальных алгоритмов фильтрации. Но в нашем случае, остановимся на применении СФ.

После сигнал поступает устройство обнаружения сложного эхосигнала, который является по сути пороговым устройством. Его работа согласована с устройством формирования сложного эхосигнала, который расположен в излучающем тракте.

На этом СПВО заканчивается, данные передаются в систему вторичной обработки. Во вторичной обработке происходит определение дистанции до цели, управление полученной информации - хранение и классификация во внутреннем устройстве хранения данных, предварительный анализ в блоке

управления и передача/получение данных и команд с внешней средой через устройство связи.

При излучении формируется устройством формирования зондирующего сигнала сложный фазоманипулированный ШПС с рабочей частотой 2-12кГц. После генерации и усиления сигнал поступает через КПП в антенную систему, где излучается во внешнюю среду.

Устройство контроля - система состоящая из множества датчиков температуры, влажности, напряжения. Все данные поступают в блок управления, для последующего анализа. Устройство питания - трехфазный генератор на 440 В, обеспечивающий непрерывную работу всей стационарной ГАС.

На основе изложенного в подглаве 3.3 можно написать определенные рекомендации и особенности по использованию ШПС:

- возможность излучения большей акустической энергии, не превышая порог кавитации, чем с применением узкополосных сигналов, благодаря распределению энергии по всему спектру;

- позволяет использовать при приеме менее жесткие условия, чем узкополосный сигнал, что позволят повысить скорость работы;

- высокое отношение сигнал/помеха при воздействии сосредоточенной по спектру помехи, по сравнению с узкополосным сигналом, но чрезмерное расширение спектра не дает пользы, из-за увлечения суммарной мощности помех. А при аддитивных помехах(гаусс. шум) помехоустойчивость не зависит от ширины сигнала, соответственно при данном типе помех, узкополосный и широкополосный сигнал идентичен;

- применение ШПС позволяет обеспечить определенную скрытность работы, что может быть полезно в стационарных ГАС;

- однако, в ГА ШПС требует использования большой антенны, следовательно, использование ШПС в активной ГЛ обосновано для

обнаружения цели на дальних дистанциях или же в средах с повышенным звукопоглощением, где применение других сигналов либо невозможно, либо осложнено.

Выгода от использования ШПС в работе доказана путем расчета в программе «Regon8» (раздел 2.1).

Существует еще много вопросов, касающихся особенностей применения ШПС в гидролокации и построения ГАС, использующих широкополосный сигнал. Предложенные рекомендации, особенности и структура не являются окончательными. Планируется доработка в дальнейших работах. Однако, существующие результаты позволяют сделать вывод - использование в мелком море ШПС в активных ГАС для обнаружения целей на дальние дистанции, выгодней чем применение узкополосных сигналов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель работы заключалась в следующем:

- спроектировать активную ГАС, работающую стационарно в условиях мелкого моря с дистанцией обнаружения до 20-50км(дальность во многом зависит от акустических условий).

- выработать рекомендации по использованию ШПС в работе активной ГАС.

В процессе поставленной достижения поставленной цели получены следующие результаты:

- проанализирован общий облик активно-пассивной ГАС;
- рассмотрены особенности ГА условий среды;
- с применением программы «Regon8» выбран частотный диапазон 2-12кГц, приведено преимущество ШПС над узкополосным, рассчитаны характеристики обнаружения при различных условиях; разная глубина источника, тип дна, время года и различной гидрологии;
- как одно из доказательств адекватной работы «Regon8» параметры проектируемой ГАС рассчитаны с помощью уравнений ГЛ;
- спроектирована структура и характеристики цилиндрической антенны;
- разработана структура системы обработки ГА;
- выбран тип зондирующего сигнала - ФМ-сигнал;
- выработаны особенности и рекомендации по использованию ШПС в активной ГА;

Существует еще много вопросов и проблем, касающихся особенностей применения ШПС в гидролокации и построения активных ГАС, использующих ШПС. Предложенные рекомендации, особенности и структура не являются окончательными. Планируется доработка в дальнейших работах. Однако, существующие результаты позволяют сделать вывод - использование в мелком

море ШПС в активных ГАС для обнаружения целей на дальние дистанции, выгодней чем применение узкополосных сигналов.

Выводы по главе 1.

Акцент в работе делается на активной составляющей ГАС и для простоты, предположим, что ведется разработка активной ГАС, чтобы не учитывать пассивный тракт.

Основываясь на выше написанном, выведем требования к проектируемой ГАС:

- способность обнаружить большой объект(размер 5-10м) на дистанции 20-60км в зависимости от акустических условий;
- стационарность, следовательно весь процесс принятия решения о наличии цели ложится на плечи аппаратуры;
- требуется работа в мелком море, а это тяжелые акустические условия;
- активность режима работы, и как следствие - нужно бороться с реверберацией.

Мелкое море занимает особое место в ГА, из-за высокой дисперсии звуковой энергии и больших потерь. Вдобавок, по сравнению с океаном/глубокими морями, более серьезно влияет дно. А использование гидролокации вводит еще реверберацию. Следовательно, использование сложных ШПС, более чем оправдано и желательно, т.к. позволяет подать больше акустической энергии. Подробнее в разделе 3.3.

Имеет смысл использовать цилиндрическую антенну, т.к. нужно обеспечить полный обзор пространства и данная антенна проще в техническом плане, чем сферическая антенна. [5] Учитывая большую требуемую дальность(50км), которая еще снизится из-за сложных акустических условий мелкого моря, размеры цилиндрической антенны возьмем равными 5м диаметр, 5 высота. Данные параметры позволят подать достаточное количество

акустической энергии и эффективно использовать ШПС. Подробнее об антенной системе в 3.1.

Учитывая относительно большой размер цели и высокую дальность распространения, нужно использовать диапазон низких частот. Подробнее о выборе частотного диапазона подразделе 2.2.

Обобщенная структурная схема активного гидролокатора (Рис 1.2) используется как основа для построения системы обработки проектируемой ГАС(раздел 3..2).

Анализ гидроло-акустических условий показал(Рис 1.3, 1.4, 1.5), что в зависимости от глубины расположения ГАС картины акустической засветки района будут существенно различаться

Приведенная гидрология Баренцева моря(лето/зима) используется во второй главе для проведения расчетов в «Regon8», которые позволят более точно и детально проанализировать дальность обнаружения цели. Основываясь на графике вертикального распространения звука Черного моря(зима), также проведены расчеты, с целью посмотреть, как будет вести себя ГАС в другом, более глубоком и южном море .

Выводы по главе 2.

Для расчета обнаружения цели была использована программа «Regon8». По результатам расчета в «Regon8» (рис 2.2)диапазон рабочих частот был выбран $f: 2-12\text{кГц}$, как оптимальный. Правильность выбора ШПС сигнала в борьбе с реверберацией подтверждается расчетами в «Regon8» (рис 2.5), следовательно, по данным расчетам $\Delta f = 2000\text{Гц}$.

В целях подтверждения правильной работоспособности программы, было рассчитано уравнение ГЛ для реверберационной помехи(2.2).

Заданные параметры:

- частота $f = 4.9\text{кГц}$;
- дальность цели $r = 50\text{км}$;

- радиус её эквивалентной идеальной сферы $a = 10\text{м}$ (да он великоват, но во время обучения расчетам в «Regon8» использовался именно такой радиус, и было решено не изменять его, т.к. общий вид картины распространения был мне уже хорошо известен);

- вероятность правильного обнаружения 80%, ложной тревоги 0.1%;

- расчет ХН приведен в 3.3.

В результате расчетов получилось следующее:

- Уровень излучения, один из параметров эхо-сигнала, УИ=228дБ (2.14);

- Сила цели, один из параметров эхо-сигнала, СЦ=13дБ (2.17);

- Уровень реверберации УР=105,705;

- Порог обнаружения ПО=16дБ (2.4);

- Потери при распространении, один из параметров эхо-сигнала ПР=46.9(2.19).

Следовательно, можно, с небольшими допущениями, сказать, что обнаружение заданной цели цилиндрической антенной высотой 5м и диаметром 5 на расстоянии 50 км возможно.

Дальность, полученная с помощью уравнения ГЛ составляет 50 км, а в программном расчете 60 км(Рис 2.2). И учитывая возможную погрешность при расчете уравнения ГЛ, можно подтвердить верность программного расчета.

В программе «Regon8» проделано множество расчетов при различных ГА условиях и разной глубине расположения антенны. Так как нужно проектируемую ГАС расположить в мелком море, для моделирования была выбрана гидрология Баренцева моря в разное время года(рис 1.3-1.4).

Глубины расположения антенны были выбраны следующие: в приповерхностном слое на 15м, в толще воды 110м и грунта на глубине 170м.

Использован разный тип дна: песок и дно.

Краткий анализ результатов расчета:

- тип дна серьезно влияет на распространение звукового сигнала, в случае песчаного дна (2.10; 2.11; 2.12). дальность распространения больше, чем при иле(рис 2.7; 2.8; 2.9).Это связано с тем, что песок гораздо лучше отражает акустические лучи, чем ил. Особенно это видно на рис.2.12.

- в зимнее время (рис. 2.14; 2.15; 2.16) дальность обнаружения существенно снижается, однако есть возможно обнаруживать цель на небольших глубинах, это связано с тем, что акустический сигнал стремится в область более низких температур. Эту разницу легко заметить сравнив два графика энергетической дальности для лета(рис. 2.6) с зимой (рис. 2.13). Если же в первом случае цель обнаруживалась на глубинах ниже 100м, то зимой, звук не стремится в глубь и спокойно распространяется в приповерхностном слое, т.к. температура на поверхности низкая, даже ниже чем на глубине.

- оптимальная глубина в летнее и зимнее времена расположения антенны - 110 м.

- диапазон дальности определения цели составляет 30-65км, при различных акустических условиях, при расположении источника на глубине 110м.

- в летнее время, в мелком море(Баренцево в нашем случае) ГАС лучше размещать на глубине 110м, что обеспечивает довольно большую дальность обнаружения 60 км, не смотря на тип дна. Но в зимнее время, дальность распространения существенно снижается, до 20 км. Соответственно дальность проектируемой ГАС составляет 20-70км, в зависимости от ГА условий.

Рассмотрено использование ГАС, с данными параметрами, в более глубоком море. В качестве акватории было выбрано Черное море в зимнее время года(летом рассчитать не удалось из-за технических проблем), дальность обнаружения существенно снижается, по сравнению с мелким морем в тоже время года. Результаты:

- энергетическая дальность (2.17) составляет 13км, при глубине источника 110м, что гораздо ниже, чем в Баренцевом море, это связано с глубиной моря: меньше акустической энергии достигает дна, не говоря уже о переотражении.

- с реверберационной помехой дальность ухудшается до 10-11км. (Рис. 2.19; 2.18; 2.20). Однако, при расположении излучателя в приповерхностном слое (2.18) можно достичь очень большой дальности обнаружения, более 90км, но практической пользы в этом мало.

Выводы по главе 3.

В заключительной главе проделана большая работа по всей проектируемой ГАС: начиная от антенной системы и системы обработки ГАС, заканчивая выбором типа модуляции излучаемого сигнала, выработки рекомендации по использованию сложных, шумоподобных ШПС.

Выбор пал на цилиндрическую антенну из-за возможности обеспечения кругового обзора и простоты технической реализации, по сравнению со сферической антенной. Основные характеристики проектируемой цилиндрической антенны приведены в таблице 3.1. Метод обзора пространства в режиме приема следующий. Формируется в секторе 120° статический веер, осуществляется электрическое вращение одной или нескольких компенсированных ХН. В режиме облучения ХН секторная.

Диаметр и высота цилиндра $D = 5\text{м}$, $H = 5\text{м}$. Рабочая полоса частот 2 - 12 кГц. Ширина ХН в горизонтальной плоскости 3.5° , в вертикальной 10° . Количество каналов 104, преобразователей в каждом канале - 33. Проектируемая цилиндрическая антенна схематически представлена на рисунке 3.1.

Для проектируемой антенны, с некоторыми упрощениями, рассчитана нормированная ХН по формуле 3.3. Результаты представлены на рисунке 3.2.

Структура проектируемой ГАС представлена на рисунке 3.3. Имеется явное разделение на тракт приема и передачи, а также условное на СПО, СВПО, систему вторичной обработки.

Разберем приемный тракт.

Через КПП, обеспечивающий правильный выбор приемной/излучающей цепей, полученный аналоговый сигнал, усиливается и обрабатывается ДФ, которые формируют рабочий диапазон частот СПО. Их качество существенно влияет на дальнейшую обработку.

Система АЦП предназначена для преобразования аналоговых сигналов, поступающих с выходов ДФ в цифровые сигналы. Выбираем АЦП 32-разрядов чтобы не возникали искажения в процессе обработки сигналов. С другой стороны, АЦП 32-разрядов имеет большой динамический диапазон работы и может принимать одновременно сильную и слабую мощность сигналов. Так как проектируемая ГАС направлена на работу в мелком море, используем временную автоматическую регулировку усиления в сочетании с автоматической регулировкой усиления в каждом пространственном канале. После системы АЦП и усиления, по множеству каналов, сигнал поступает в СПВО для формирования ХН, суммирования.

После применяется СФ, на основе сформированного сигнала в излучающем тракте, для повышения отношения сигнал/помеха, но учитывая возможное изменение сигнала, следует применять перестраиваемый фильтр. Однако, для этого требуется априорное знание расстояния до объекта и параметров среды. Как правило, на практике данные параметры не известны. Поэтому, может оказаться более предпочтительным применение квазиоптимальных алгоритмов фильтрации. Но в нашем случае, остановимся на применении СФ.

После сигнал поступает устройство обнаружения сложного эхосигнала, который является по сути пороговым устройством. Его работа согласована с

устройством формирования сложного эхосигнала, который расположен в излучающем тракте.

На этом СПВО заканчивается, данные передаются в систему вторичной обработки. Во вторичной обработке происходит определение дистанции до цели, управление полученной информации - хранение и классификация во внутреннем устройстве хранения данных, предварительный анализ в блоке управления и передача/получение данных и команд с внешней средой через устройство связи.

При излучении формируется устройством формирования зондирующего сигнала сложный фазоманипулированный ШПС с рабочей частотой 2-12кГц. После генерации и усиления сигнал поступает через КПП в антенную систему, где излучается во внешнюю среду.

Устройство контроля - система состоящая из множества датчиков температуры, влажности, напряжения. Все данные поступают в блок управления, для последующего анализа. Устройство питания - трехфазный генератор на 440 В, обеспечивающий непрерывную работу всей стационарной ГАС.

На основе изложенного в подглаве 3.3 можно написать определенные рекомендации и особенности по использованию ШПС:

- возможность излучения большей акустической энергии, не превышая порог кавитации, чем с применением узкополосных сигналов, благодаря распределению энергии по всему спектру;

- позволяет использовать при приеме менее жесткие условия, чем узкополосный сигнал, что позволят повысить скорость работы;

- высокое отношение сигнал/помеха при воздействии сосредоточенной по спектру помехи, по сравнению с узкополосным сигналом, но чрезмерное расширение спектра не дает пользы, из-за увлечения суммарной мощности помех. А при аддитивных помехах(гаусс. шум) помехоустойчивость не зависит

от ширины сигнала, соответственно при данном типе помех, узкополосный и широкополосный сигнал идентичен;

- применение ШПС позволяет обеспечить определенную скрытность работы, что может быть полезно в стационарных ГАС;

- однако, в ГА ШПС требует использования большой антенны, следовательно, использование ШПС в активной ГЛ обосновано для обнаружения цели на дальних дистанциях или же в средах с повышенным звукопоглощением, где применение других сигналов либо невозможно, либо осложнено.

Также, выгода от использования ШПС в работе доказана путем расчета в программе «Regon8» (раздел 2.1).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Урик Роберт Дж. Основы гидроакустики/ Пер. с англ. - Л.: Судостроение, 1978. - 448с.
2. Корякин Ю.А., Смирнов С.А., Яковлев Г.В. Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы. - СПб.: Наука. - 410 с. 177 ил.
3. Орлов Л.В., Шабров А.А. Гидроакустическая аппаратура рыбопромыслового флота. - Л.: Судостроение, 1987. - (Библиотека инженера - гидроакустика).
4. Карлик Я.С., Марапулец Ю.В. Рыбопромысловая гидроакустика: Учебно-методическое пособие. - Петропавловск - Камчатский: КамчатГТУ, 2004. - 260с.
5. Борисенко К.П., Митько В.Б. Гидроакустические комплексы надводных кораблей. Принципы построения и решаемые задачи. - СПб.: СПбГМТУ, 2012. - 236 с.
6. Смарышев М.Д. Направленность гидроакустических антенн. Л.: Судостроение, 1973. - 279с.
7. Смарышев М.Д., Добровольский Ю.Ю. Гидроакустические антенны. - Л.: Судостроение, 1984 - 292 с.
8. Терминологический словарь - справочник по гидроакустике/ Р.Х. Бальян, Э.В. Батаганов, А.В. Богородский и др. - Л.: Судостроение, 1989 - 368 с: ил. - (Библиотека инженера - гидроакустика).
9. Свердлин Г.М. Прикладная гидроакустика: Учеб. пособие . - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Судостроение, 1990. - 320 с., ил.
10. Евтютов А.П., Колесников А.Е., Корепин Е.А., и др. Справочник по гидроакустике. 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Судостроение, 1988. - 552 с.: ил. - (Библиотеке инженера - гидроакустика).

11. Бурдик В.С. Анализ гидроакустических систем. Пер. с англ. - Л.: Судостроение, 1988. - 392 с.: ил. (Библиотека инженера - гидроакустика). -Пер. изд.: Хэмел Хэмпстед (Великобритания), 1984.
12. Р. Дж. Боббер Гидроакустические измерения. Пер. с англ. - М.: Мир, 1974 - 358с.
13. Евтютов А.П., Митько В.Б. Инженерные расчеты в гидроакустике. 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Судостроение, 1988. - 288 с, ил. - (Библиотеке инженера - гидроакустика).
14. Гийес Л., Сабате П. Основы акустики моря. Пер.с франц. - Л.: Гидрометеорологическое издание, 1967 - 210с.
15. Евтютов А.П. В. Б. Митько. Примеры инженерных расчетов в гидроакустике. - Л.: Судостроение, 1981. - 256 с., ил. - (Библиотека инженера - гидроакустика).
16. Target detection and localization in shallow water: An experimental demonstration of the acoustic barrier problem at the laboratory scale / Обнаружение и локализация цели в мелких водах. Экспериментальная демонстрация проблемы акуст. барьера в лабораторном масштабе. JASA, т. 129 №3 Март 2011, с. 85-97.
17. A depth-dependent formula for shallow water propagation / Формула распространения звука в мелких водах с зависимостью от частоты. JASA, т. 136 №2 Август 2014, с. 573-582.
18. Finite element modeling of reverberation and transmission loss in shallow water waveguides with rough boundaries / Моделирование по методу конечного элемента реверб. и потери при передаче в волноводе с неровными границ. в мелких водах. JASA, т. 129 №3 Март 2011, с. 1273-1279.
19. Вислоух А.А. Основные направления и предварительные результаты проектирования комплексной гидроакустической системы обзора

подводной обстановки на базе СГАК "ДНЕСТР - ЭМ". СПб.: ОАО "Концерн Океанприбор", 5с.

20. Стационарные гидроакустические станции и системы освещения подводной обстановки ВМФ СССР и РФ: прошлое, настоящее, будущее. Арсенал отечества № 2(16), 2015, - 68-69с.

21. Покровский Ю.А. Разработка и исследование методов измерения координат объектов в толще донных осадков с помощью сверхширокополосных гидроакустических сигналов. Диссертация, 2007. - 208 с.

22. Мусатова М.М. Разработка и исследования алгоритмов обнаружения локационных объектов с помощью сверхширокополосных сигналов в поглощающих средах. Диссертация, 2007, - 218с.

23. Хромов А.В. Методы анализа широкополосных волновых полей и обработки сигналов в задачах акустики мелкого моря. Диссертация, 2010, - 152с.

24. Тебякин В.П, и др., Raymod 52 - базовый комплекс программ для вычисления звуковых полей в слоистом неоднородном океане лучевым методом // Отчет АКИН М., - 1990г.

25. Андреева И.Б. Гончаров В.Н. Методы расчета многолучевой реверберации и контрольное сравнение с экспериментом // Проблемы акустики океана / под редакцией Л.М. Бреховских, И.Б. Андреевой М.: Наука. - 1984, с. 69-227.

26. Железный В.Б. Оценка условий превышения сигналов объемной реверберации над сигналами донной и поверхностной реверберации // Труды XII Всероссийской конференции Прикладные технологии и гидрофизики - СПб., - 2016, с. 352-327.

27. Активный гидролокатор со сверхширокополосными зондирующими сигналами [Электронный ресурс] <http://www.dspra.ru/> : Цифровая обработка сигналов - научно-технический журнал. URL:

http://www.dspsa.ru/articles/year2012/jour12_2/art12_2_11.pdf (дата обращения 19.06.2017).

28. Современные теоретические объяснения процесса влияния гидроакустического канала на зондирующий сигнал и алгоритм его обработки с целью выделения гармонического эхо-сигнала [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/>: Научная электронная библиотека КиберЛенинка URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/sovremennye-teoreticheskie-obyasneniya-protssesa-vliyaniya-gidroakusticheskogo-kanala-na-zondiruyuschiy-signal-i-algoritm-ego> (дата обращения 19.06.2017).

29. О перспективах использования в гидролокации сверхширокополосных зондирующих сигналов [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/>: Научная электронная библиотека КиберЛенинка URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/o-perspektivah-ispolzovaniya-v-gidrolokatsii-sverhshirokopolosnyh-zondiruyuschih-signalov> (дата обращения 19.06.2017).

30. Выбор типа зондирующего сигнала для активного гидролокатора с помощью теории передачи данных в каналах связи [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/>: Научная электронная библиотека КиберЛенинка URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/vybor-tipa-zondiruyuschego-signala-dlya-aktivnogo-gidrolokatora-s-pomoschyu-teorii-peredachi-dannyh-v-kanalah-svyazi> (дата обращения 19.06.2017).

31. Русско-английский фразеологический словарь практического использования гидроакустика [Электронный ресурс] <http://rao.akin.ru/>: Российское акустическое общество URL: http://rao.akin.ru/Spravka/Idc/slov_rc.idc (дата обращения 19.06.2017).

32. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. - СПб.: БХВ - Петербург, 2005. - 1104с.: ил.