



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: «Разработка генераторного узла гидроакустического канала системы
наведения»

Исполнитель: Шестаев Дмитрий Александрович

Руководитель: доктор технических наук, профессор

Никитин Константин Константинович

«К защите допускаю»

и.о. заведующего кафедрой: _____

кандидат географических наук, доцент

Фокичева Анна Алексеевна

« » _____ 2017 г.

Санкт-Петербург

2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет Информационных систем и геотехнологий

Кафедра «Морские информационные системы»

Допустить к защите

зав. кафедрой МИС

А. Фокичева

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

«РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРНОГО УЗЛА ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ»

Направление подготовки – 17.03.01 «Корабельное вооружение»

Профиль - «Морские информационные системы и оборудование»

Исполнитель:

Шестаев Дмитрий Александрович

Руководитель:

д.т.н. профессор Никитин

Константин Константинович

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1.ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОХРАНЕНИЯ ВЫСОКО- ТОЧНОЙ СТВОЛЬНОЙ АРТИЛЛЕРИИ	5
1.1 Анализ исторического развития ствольной и ракетной артиллерии..-	
1.2 Обоснование актуальности скорострельного вооружения.....	15
ВЫВОДЫ.....	22
2. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ.....	24
ВЫВОДЫ.....	27
3. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙ- СТВА НАВЕДЕНИЯ.....	30
3.1. Усилитель акустического сигнала.....	32
3.2. Фильтр низких частот.....	35
3.3. Гидроакустическая антенна.....	38
3.5. Адаптивный предсказатель.....	46
ВЫВОДЫ.....	-
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	55

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире артиллерийский и ракетный огонь боевого флота в основном корректируется с помощью радиолокационного, инфракрасного и телеоптического каналов наведения. Одновременно с развитием систем наведения оружия активно развиваются и средства противодействия таким системам.

Радиолокационный канал наведения является самым перспективным вследствие высокой скорости распространения радиоволн, однако радиоканалы легко засоряемы, средства противодействия включают в себя как активные, так и пассивные системы.

Телеоптический канал наведения может быть неэффективным вследствие применения противником таких средств, как заградительные дымы, либо в ночное время, в условиях тумана, дождя и прочих неблагоприятных погодных условий.

Средства инфракрасного противодействия включают в себя отстреливаемые ложные тепловые цели и стационарные генераторы инфракрасных помех.

В условиях, при которых вышеперечисленные каналы наведения оказываются малоэффективными, либо в них наблюдаются значительные сбои, может быть целесообразным введение дублирующего канала наведения, которым оказывается гидроакустический канал наведения. Данная дипломная работа посвящена его описанию.

Данная выпускная квалификационная работа является комплексной.

Её структура показана на рисунке 1.

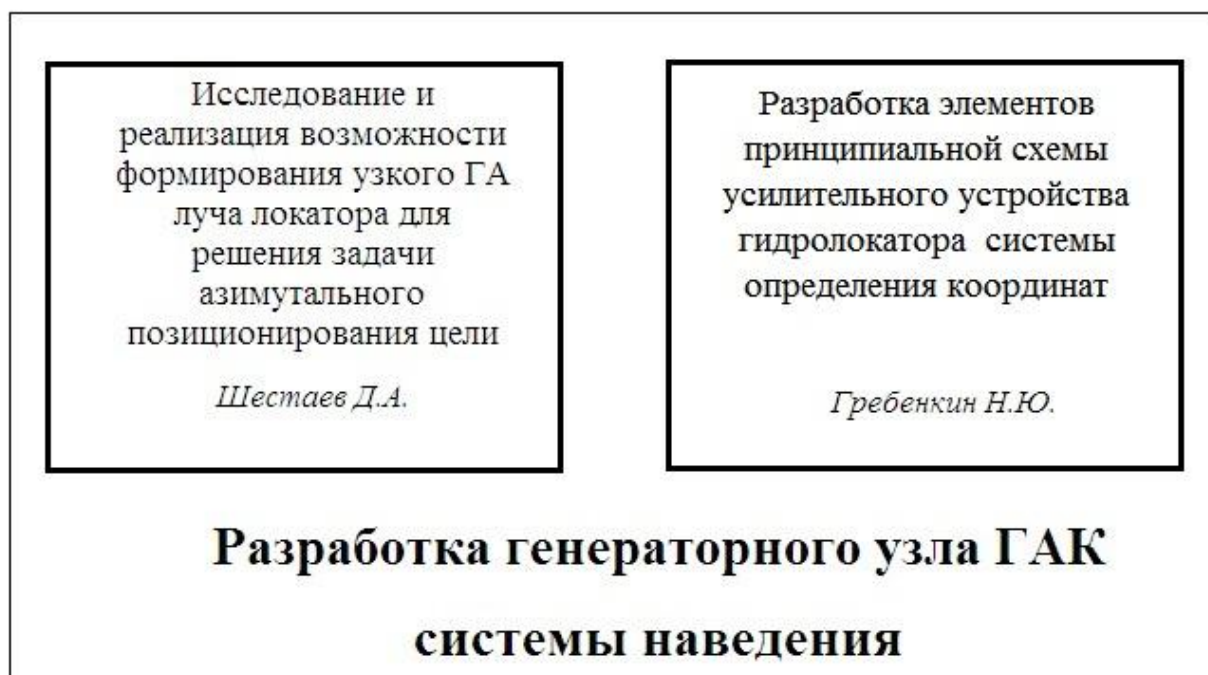


Рисунок 1- структура выпускной квалификационной работы.

Объектом исследования являются каналы систем наведения.

Предметом исследования является гидроакустический канал системы наведения.

Целью работы является исследование и реализация возможности формирования узкого ГА луча локатора для решения задачи азимутального позиционирования цели.

Задачи:

- Обоснование целесообразности сохранения высокоточной ствольной артиллерии.
- Описание алгоритма определения координат.
- Разработка структурно-функциональной схемы устройства.

1 ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОХРАНЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ СТВОЛЬНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

1.1 Анализ исторического развития ствольной и ракетной артиллерии.

Этот обзор претворяет обоснование современного состояния корабельного артиллерийского вооружения и иллюстрирует тот длительный извилистый путь, который был пройден строителями современных кораблей при разработке артиллерийских систем, в первую очередь, противокорабельного боя. Естественно возможно использование их, либо их аналогов и при ведении огня и по береговой линии, и по глубокому тылу далеко за береговой линией, так и зенитного огня и других видов артиллерийского поражения. Будем считать, что современная история корабельного артиллерийского вооружения начинается с последней четверти 19 века, когда артиллерия приняла форму более или менее близкую к современной. Эта форма характеризуется следующими основными особенностями:

- стал использоваться практически во всех орудиях снаряд удлиненной цилиндрической конической формы;
- Повсеместно стало использоваться зарядение с казенной части.
- Процессы заряжания, досылания снаряда и метательных зарядов стали постепенно все более механизироваться и автоматизироваться, что привело к ускорению темпа стрельбы.

Для этого периода характерно начало существенного разделения калибров, размеров артиллерийского вооружения по типу кораблей. Основными типами в то время были следующие типы:

Броненосцы - самоходные небыстроходные потомки плавучих батарей, вооруженные мощным артиллерийским вооружением башенного типа в сравнительно небольшом количестве. Второй особенностью броненосцев было использование всех, в том числе промежуточных, универсальных и малых калибров для ведения борьбы со всеми типами кораблей. Так уже первые броненосцы получили традиционные для достаточно длительного, более чем

50-летнего, периода орудия башенного типа по 2 пушки в башне, калибра в районе 306 мм, т.е. 12 дюймовые орудия. Дальнобойность орудий составляла до 20 км и в сравнительной степени ограничивалась сравнительно малым углом подъема стволов. Учитывая, что броненосцы в подавляющем большинстве случаев применялись для борьбы с броненосцами же противника, этой дальности вполне хватало по очень простой причине: при характеристиках оптики, целеуказания, стабилизации снарядов в полете и прочих параметров, например, таких как точность вывешивания порохового метательного заряда, попадание из броненосца в броненосец даже в идеальных условиях на расстояниях более 20 км было практически нереальным и основные артиллерийские батальоны разворачивались на существенно, в 2-3 раза, меньших расстояниях. Броненосцы имели орудия и других калибров, например 203 мм, 152 мм, 100 мм, 76 мм, последние использовались для борьбы с малыми кораблями противника, для противоминной стрельбы и т.д.

Вторым типом кораблей появившихся в большом количестве на рубеже 19-20 веков были крейсера, потомки парусных фрегатов. Крейсера во многом унаследовали и задачи, решаемые в ходе боевых столкновений и войн. В первую очередь это борьба с крейсерами противника; это задача дальней, в том числе боевой, разведки; это задачи набеговые на объекты противника, в которых использовалась быстрая большая скорость перемещения крейсеров, практически в 1.5-2 раза превышавшая скорость перемещения тяжелых броненосцев. Сказанное определило характер вооружения крейсеров. Крейсера вооружались достаточно большим количеством орудий меньшего калибра, предназначенных для ведения боя с гораздо большим удельным в единицу времени расходом снарядов в связи с тем, что стрельба могла вестись по радикально большему количеству целей, а также по передвигающимся целям и это передвижение могло идти с большими скоростями. К примеру, возьмем бронепалубный крейсер Аврора, крейсер 1 ранга, который имел по 6 орудий с каждого борта, а также баковое и кормовое орудия: итого 14 пушек калибра 152 мм. Скорострельность таких орудий составляла, как правило,

более 1 выстрела в минуту, чем не могли похвастаться медленно заряжаемые орудия броненосцев. Однако, что можно отметить, несмотря на это крейсер был абсолютно бессилён против броненосцев. Не факт, что броненосец достанет его своими выстрелами, попадет в быстроходный крейсер, но и 152 мм орудия крейсеров фактически не могли нанести урона бортовому, палубному, башенному, торпедному бронированию броненосцев. Негласное правило гласило: толщина брони, которая защищала основные узлы бронированных кораблей, должна быть соизмерима с калибром тех кораблей, с которыми рассматриваемые корабли должны были бороться. Поэтому толщина брони у броненосцев была в районе 300 мм, у крейсеров 150 мм, либо в случае использования бронепалубных крейсеров роль бортовой брони выполняли другие устройства, например угольные ямы.

Следующим классом кораблей были миноносцы и эскадренные миноносцы, основным вооружением которых было минно-торпедное вооружение. Эти весьма и весьма быстроходные корабли (достаточно вспомнить блестящие, лучшие в мире русские корабли типа «Новик») несли сравнительно небольшое вооружение калибра примерно 100 мм, и предназначались в основном для активных действий по борьбе с кораблями противника любого ранга, по торпедной борьбе и по артиллерийской борьбе с применением своих калибров и, соответственно, с выбором целей, соразмерных со своими калибрами. К сожалению, военно-морская история мало изучается в современных школах и институтах, военных училищах. Даже в художественных произведениях, таких как фильм «Адмирал», который претендует не только на историческую, но и на военно-техническую ценность, мы видим совершенно смешные, с точки зрения современной науки, фрагменты. Конечно, авторы фильмов, ссылаясь на их художественный смысл, а не техническую значимость, пытаются оправдываться, но по крайней мере баталия, возглавляемая адмиралом Колчаком, эскадренного миноносца и тяжелого немецкого крейсера «Фридрих Карл» выглядит более чем юмористической. В первую очередь любое попадание главного калибра 203 мм «Карла Фридриха» в эскад-

ренный миноносец приведет к выходу последнего из строя, а в фильме «Фридрих Карл» главным калибром неоднократно попадает в миноносец, нанося ему значительный человеческий урон, пожар, но никак не разламывание пополам, и, наоборот, при стрельбе из смешной пушки миноносца (кстати, на миноносце были и более серьезные орудия) при попадании снаряда в смотровую щель боевой рубки наблюдается взрыв колоссальной мощности и уничтожение всех, кто там находился. По крайней мере это вызывает улыбку. Хотя надо сказать, что подобные случаи были, и известен случай, когда близким разрывом снаряда вблизи боевой рубки и попаданием в нее скоростных осколков, отражением их от бронированного потолка рубки были поражены ведущие офицеры и убит капитан русского корабля.

Несколько отдельно от данных кораблей были расположены:

- броненосцы береговой охраны;
- мониторы, как малые корабли, несущие 1 или 2 орудия очень большого калибра;
- канонерские лодки, близкие к мониторам по своему смыслу, да и другие типы.

Однако не будем сосредотачивать внимание радиотехнической дипломной работы на более глубокое знакомство с артиллерией того времени, а проведем временной исторический экскурс. Одновременно с развитием кораблей в соответствии с изменяющимися задачами менялась и артиллерия. Спустя годы после 1 мировой войны главенствующую роль на морях получили броненосные корабли дредноутного типа, впоследствии названные линкорами в русскоязычных источниках и battleship в англоязычных. Линкор есть дальнейшее продолжение линий, исходящих из броненосцев, крейсеров и тяжелых крейсеров. Линкор - это вершина развития артиллерийского флота. На длительный период, примерно с 1907 по 1945 годы, линкоры составляли главную боевую мощь флотов целого ряда стран, в первую очередь Великобритании, США, Франции, Германии, Италии, Японии. Крупнейшими и наиболее совершенными линейными кораблями всех времен и народов стали:

- японский линкор «Ямато», самый крупный и несущий пушки 456 мм, по другим данным 460 мм;
- американские линкоры типа «Айова»;
- немецкие линкоры типа «Бисмарк»;
- французские линкоры типа «Ришелье»;
- итальянские линкоры типа «Литторио».

Вот эти корабли составили элиту линкорного мирового флота. К сожалению, в этом списке отсутствует как Советский Союз, так и Россия. Советский Союз за все время своего существования так и не смог создать ни одного линкора, и в первую очередь это определяется потерей в период революции и гражданской войны ведущих специалистов корабельного дела. Безобразное отношение к царским кадрам, идеологизирование технической деятельности и прочие издержки безрассудной политики большевиков привели к тому, что Советский Союз вообще не смог создать ни одного сколь-нибудь вразумительного и дееспособного боевого корабля. Так Советскому Союзу достались 3 царских линкора, один из которых был потерян из-за пожаров, впоследствии эти линкоры, устаревшие уже в царское время, были отремонтированы и модернизированы советскими инженерами, и надо сказать, что в отсутствие квалифицированных кадров действия новых советских инженеров заслуживали всяческой похвалы. Конечно, в схватке с современным линкором противника советский линкор был бы разодран на части в течение получаса без шансов. Имеются секретные данные царского времени, свидетельствующие о том, что все 8 строящихся царских линкоров последнего поколения были настолько не сбалансированы, что их броневое вооружение абсолютно не годилось для огневого столкновения с линкором противника и пробивалось адекватными снарядами с уже значительно большей дистанции. Ни один из царских линкоров не добился сколь-нибудь значимых побед над противником ни в какое время своего использования. Из серьезных боестолкновений следует отметить погоню линейного корабля «Императрица Екатерина Великая» за тяжелым немецким линейным крейсером «Гёбен» в 1916 году.

Пользующийся существенным преимуществом в скорости «Гёбен», весьма испугавшись боевой мощи «Императрицы Екатерины Великой», надо сказать по объективным данным превышающей мощность «Гёбена» незначительно, действительно дал основательного деру и в течение 30 минут обстреливался орудиями русского линкора на расстояниях до 24 км. К сожалению русские пушки не получили при огромном разбросе снарядов ни одного попадания в «Гёбен».

Вторым фрагментом, касающемся неспособности советских кораблестроителей строить и другие объекты флота, такие как крейсера, было базирование в крейсерском строении на другие решения. Так 3 крейсера, оставшиеся от царского строительства («Красный Крым», «Червона Украина» и переоборудованный в более современные формы и артиллерийское вооружение крейсер «Красный Кавказ», все крейсера типа «Светлана» закладки в первой четверти 20 века) составили основу крейсерского флота Советского Союза. Одновременно с их использованием Советский Союз, и это была огромная удача, за сравнительно небольшие деньги купил у будущего потенциального противника – Италии, теоретические чертежи двух великолепных крейсеров IV поколения - «Раймондо Монтекукколи» и «Эудженио ди Савойя». На базе этих чертежей были созданы советские легкие крейсера проекта 26 и 26-бис, типичными представителями которых являлись «Максим Горький» на Балтийском Море и «Молотов» на Черном Море. Надо сказать, что советские крейсера не полностью повторяли построение итальянских аналогов, они были существенно улучшены, и это улучшение коснулось всех систем и узлов кораблей. Некоторые улучшения, например упрочнение корпуса, были весьма удачными. В тяжелейших условиях при отказе Италии поставить моторы (т.е. турбозубчатые агрегаты) на советские крейсера, эта задача была выполнена Харьковским машиностроительным заводом и крейсера получили мощнейшие, по 130 тысяч лошадиных сил, весьма современные и весьма тяжелые энергетические установки, позволяющие получить заявленный ход в 36 узлов. В связи с отсутствием у советских разработчиков адек-

ватного скорострельного 152 мм орудия крейсера неожиданно получили 180 мм пушки в трех хорошо бронированных трехорудийных башнях, что дало основание многим советским военным историкам и военно-морским стратегам называть советские крейсера легкими по форме и тяжелыми по вооружению. Напомним, что тяжелый крейсер (1 такой крейсер, «Лютцов», был куплен СССР у Германии накануне Великой Отечественной Войны) имел вооружение, как правило, калибра 203 мм в четырех двухорудийных башнях.

Остановимся на этом на описании фрагментов истории развития корабельной артиллерии, отметив лишь несколько фактов. За время военного кораблестроения было построено огромное количество различных кораблей различных типов, в том числе огромное количество линкоров, различными странами и, тем не менее, за все время военных столкновений линкорами, по самым оптимистическим подсчетам, было потоплено всего 9 линкоров противника для всех линкоров всех стран, т.е. основную задачу линкоры не выполнили. Это было связано с тем, что флоты противодействующих сторон берегли свои линкоры и потопление любого из них воспринималось как большая неудача в масштабах всей страны. Также отметим, что развитие артиллерийского вооружения заведомо было тупиковой ветвью развития корабельного вооружения вообще именно в связи с тем, что при увеличивающихся скоростях перемещения кораблей и при все увеличивающейся дальности контактного боя снаряд являлся неуправляемой боевой единицей, и достижение даже 2% оценки количества попаданий из главного калибра было очень сложной задачей. Конечно, есть и обратные примеры, например попадание с 3 залпа линкора «Бисмарк» в английский линейный крейсер «Худ» с колоссального расстояния, вызвавшее его потопление, но как правило история изобилует противоположными примерами. Так, например, в Цусимском сражении процент попадания российских снарядов в японские корабли был настолько низок и настолько усугублялся еще и малыми последствиями попаданий, что это явилось одной из главных причин разгрома и поражения русской эскадры. Следующей особенностью предопределившей закат тяжелого

артиллерийского вооружения стала невозможность резкого увеличения скорострельности орудий большого калибра. Предельная скорострельность в несколько единиц выстрелов в минуту оказалась критически большой и связанной не только с невозможностью всех механических, электрических и других операций в стреляющей орудии, но и малым ресурсом стреляющих орудий, составляющем от нескольких десятков, до нескольких сотен. Дело доходило до такого абсурда, что плохо рассчитанные и плохо сделанные стволы мощнейших пушек советского крейсера «Красный Кавказ» настолько изнашивались каждым выстрелом, что каждый последующий снаряд летел уже по другим законам, чем предыдущий, что предопределило невозможность использования крейсера «Красный Кавказ» для стрельбы по кораблям противника. К счастью кораблей противника, адекватных крейсеру «Красный Кавказ», в Черном море во время ВОВ не существовало, а результаты стрельбы «Красного Кавказа» по берегам оказываются более чем сомнительными, снаряды отклонялись на расстояние в несколько километров.

Можно назвать и другие причины, которые предопределили тупиковость ветви тяжелого артиллерийского вооружения, и одной из таких причин было активное развитие ракетного вооружения в послевоенное время. Первые же опыты по использованию ракетного вооружения показали его принципиальное отличие от артиллерийского. Этих отличий можно назвать несколько:

В первую очередь ракетная пусковая установка оказалась гораздо проще и легче, нежели тяжелое корабельное орудие, а тем более многоствольная башня. Так, если масса крупных башен линкоров типа «Бисмарк», «Литторио», «Айова» составляла несколько тысяч тонн, то масса пусковой установки адекватного ракетного оружия была в десятки и сотни раз меньше. Значительное облегчение кораблей высвободило дополнительное место для энергетической установки, радиотехнической аппаратуры, составляющей в значительной степени начинку современных кораблей, и для других систем.

Второй особенностью ракетного вооружения стал иной принцип поражения кораблей противника, в первую очередь основой этого принципа стала управляемость полета ракеты и отсутствие необходимости первичного прицеливания, второй особенностью явилось то, что в силу баллистических свойств, ракета получила возможность нести существенно большее количество более сильных, чем тротил, взрывчатых веществ. Известно, что тяжелые снаряды линкоров несли всего несколько килограмм взрывчатого вещества, несущего больше вспомогательную роль, а основным поражающим фактором была кинетическая энергия снаряда, в первую очередь энергия пороховых газов при выстреле и энергия снаряда, летящего с очень большой высоты. Ракета же, способная нести в десятки и сотни раз больший заряд, основным поражающим фактором стала иметь именно колоссальную разрушающую силу боевого заряда. Стало примерно ясно, что взрыва в 500 килограмм гексогена достаточно для поражения любого корабля любой степени бронирования. Поэтому бронирование кораблей стало фактически бесполезным. В этой связи и создание бронированных сверхгигантов водоизмещением по 60-70 тысяч тонн, этих плавучих мишеней для артиллерий ракетного вооружения противника, стало совершенно бесполезным. Закончилась эра тяжелого корабельного вооружения.

Последние схватки Второй мировой войны, локальные войны последующих лет предопределили значительную роль других типов кораблей, одними из которых являлись авианосцы. Рассмотрение всей эволюции кораблей выходит далеко за рамки нашего повествования, однако отметим тенденцию: всеобщая уверенность возможности избежать глобальных военных столкновений породила необходимость и возможность создания флотов локальных войн. Для США такими флотами стали авианесущие соединения, эти мировые жандармы, пытающиеся навести американский порядок в любой точке земного шара. Для СССР, еще длительное время после войны шедшего по пути развития артиллерийских систем, последние артиллерийские корабли, опять-таки созданные все по тем же основам «РаймондоМонтекукколи», бы-

ли списаны уже в 70 годы двадцатого столетия. Более того, линкор «Миссури», однотипный с «Айова», принимал участие еще и в конфликтах последних лет двадцатого столетия. Конечно, основным оружием его при этом уже не были грозные 406-мм орудия, но примечателен сам факт использования такого древнего корабля в современное время. Несколько шуточную, но все же завораживающе красивую картину, изобилующую техническими ошибками и блестящей игрой актеров, представляет голливудский фильм «Морской Бой», где американский линкор типа «Миссури» противодействует кораблям космических пришельцев.

Надо сказать, что пессимистические ноты, характерные для нашего повествования и относящие к развитию советского кораблестроения, никак нельзя отнести к артиллерийской его составляющей. Русские, а в последствие советские пушки, были лучшими пушками в мире. Так считают не все, но многие. Орудия царских линкоров в значительной степени на момент своей разработки опережали орудия английских, американских и немецких кораблей, даже пушки калибра 406-мм, предназначенные для несостоявшихся советских линкоров типа «Советский Союз» (строительству их помешала Великая Отечественная Война) многими специалистами признаются лучшими представителями этого калибра, заметно превышающими по своей сути, техническим характеристикам американские, итальянские, французские, немецкие, английские аналоги. Спорный момент хотя бы по тому, что англичане создали сотни орудий, более того они иногда делали не орудия под корабль, а корабль под имеющееся, хранящееся на складе, орудие, примером является английский линкор «Вэнгард», последний в серии английских линкоров. Но 7 русских орудий калибра 406-мм, созданные для Советского Союза, в особенности одно из них, хранящееся на ржевском полигоне, представляет несомненную техническую, историческую и военно-артиллерийскую ценность. Эта пушка (данные всех упоминающихся в данном разделе орудий вынесены в приложение и читатель сможет подробно ознакомиться с ними) была создана в предвоенное время и показала при опытовых стрельбах вели-

колепные технические характеристики, превышая зарубежные аналоги как по скорострельности, так и по мощи залпа и дальности стрельбы, так и по точности стрельбы и рассеянию снарядов. Пушка выработала свой ресурс к началу Великой Отечественной Войны, однако это в условиях острой нехватки советских войск в орудиях особых калибров во время действий по деблокированию Ленинграда привело к тому, что ресурс этой пушки решением комиссии был увеличен на несколько десятков выстрелов. Постепенно блокадная промышленность выпускала эти несколько десятков гигантских снарядов, а пушка методично их расстреливала, наводя ужас, страх и смятение на гитлеровские войска. Из всех выстрелов наиболее удачным был один, когда в районе Ропши была поражена бетонированная система укреплений на базе бывшей ТЭЦ и погребен под обломками немецкий армейский штаб.

Подойдем ближе к основной тематике нашего изложения, а именно к появлению высокоскорострельных корабельных пушек различных калибров, в первую очередь малого калибра, единственно сохранившемся как артиллерийское вооружение, востребованное в настоящее время при наличии ракетного вооружения.

1.2 Обоснование актуальности скорострельного вооружения

После второй мировой войны постепенно стало понятно, что тяжелое артиллерийское вооружение кораблей, к которому относятся орудия калибра более 152 мм, постепенно теряет свой смысл. Это начало происходить по целому ряду причин, некоторые из которых мы сейчас кратко рассмотрим.

Мы уже говорили о крайней малоэффективности артиллерийского огня на больших дистанциях. Дистанции боестолкновения между крупными кораблями в условиях наличия охраны становились все больше и больше. К тому же в среднем возрастали и скорости перемещения водных объектов. В этих условиях, даже при наличии существенно улучшившихся параметров артиллерии тяжелого калибра, попадание снарядов из корабля в корабль начало иметь все меньшую и меньшую вероятность. Причем здесь речь идет не

о принципиальных ошибках, таких, какие были допущены русским флотом во время Цусимского сражения, а о естественных ограничителях дальности стрельбы. Так в ряде случаев стрельба становится загоризонтной и эффективность артиллерийской стрельбы сильно уменьшается в связи с пропаданием оптического канала связи между кораблями. Грубо говоря, становится невозможно прицелиться. Этому способствуют и погодные условия, и ночь, и дымы, которые можно использовать. В этих условиях артиллерия большого калибра становится абсолютно не пригодной. Просто так оставить артиллерию большого калибра на кораблях оказалось невозможным.

Масса корабля очень жестко поделена основными его системами, и, например, если на корабле массой в 50 000 тонн отказаться от артиллерии главного калибра, то высвободившиеся 10 000 тонн можно с пользой использовать для построения других систем. К тому же, после войны активно развивались ракетные системы вооружения, в первую очередь даже не баллистические свойства ракет, а их системы управления и системы, обеспечивающие точность наведения.

С появлением крылатых ракет, баллистические свойства которых заметно улучшились, а дальность их действия заметно возросла по сравнению с обычным ракетным вооружением, стало считаться, что и этот вид вооружения начинает постепенно выигрывать у артиллерийского корабельного вооружения.

Так или иначе, значительная часть кораблей, которые все еще оставались в строю, сохранили свое артиллерийское вооружение. В дополнение к нему было установлено ракетное вооружение, но вновь проектируемые корабли потеряли ствольную артиллерию, как основной вид вооружения, и эта ствольная артиллерия сохранилась лишь в сравнительно небольших приложениях и к тому же претерпела существенные изменения. Рассмотрим эти изменения.

Корабль средних по нынешним меркам размеров, водоизмещением в районе 10 000 тонн, как правило, имеет два орудия главного калибра, и ка-

либр этих орудий резко превышает 100-130 мм. Эти орудия не могут быть эффективным средством полного поражения равноценного корабля, т.е. они не нацелены на задачу ведения межкорабельных боестолкновений с равным противником, в то же время нельзя сказать, что эти орудия оставлены на кораблях в силу исторических традиций. С помощью этих высокоавтоматизированных, весьма скорострельных орудий, несущих снаряды значительной взрывной силы, осуществляется удар по меньшим целям противника: кораблям меньшего размера, катерам, по другим подвижным объектам за исключением средств воздушного нападения. Типичные примеры таких орудий приведены в приложении. Кратко остановимся на их параметрах.

Как правило, это скорострельная пушка, находящаяся под легкобронированным колпаком, не способным противостоять нападению противника с использованием артиллерии равного калибра. Скорострельность этого орудия составляет до нескольких десятков выстрелов в минуту. В некоторых случаях темп стрельбы до израсходования частного боезапаса может составлять один выстрел в секунду. Таким образом, по боевой мощи это орудие значительно превосходит всё артиллерийское вооружение легкого крейсера времен второй мировой войны. Учитывая, что на более больших дистанциях боестолкновение обеспечивается другими видами вооружения, дальность этой пушки может и не быть особенно высокой, что позволяет укоротить ствол, уменьшить заряд метательного пороха и перейти к использованию унитарного способа заряжания. Все орудия, установленные на корабле и имеющие меньший калибр, предназначены в основном для отражения воздушных атак, но могут с успехом использоваться при стрельбе по быстро перемещающимся небольшим целям на поверхности воды. На кораблях используется артиллерия промежуточного калибра, это, как правило, пушки калибра 37, либо 56 мм (так же соответствующие примеры вынесены в приложение), артиллерия малого калибра - это пушки калибром 20 мм и тяжелые пулеметы калибром меньше 20 мм. Вся эта артиллерия характеризуется не только исключительно высоким темпом стрельбы, но и возможностью цен-

трализованного управления ее использованием из пультов управления, находящихся в защищенных системах корабля, с использованием различных каналов наведения, в первую очередь оптических, телеоптических, а так же радиолокационных каналов наведения. Эта артиллерия призвана не только дополнить соответствующее ракетное вооружение, но и работать в тесном с ним контакте. Поэтому отражение воздушной атаки, либо атаки быстро перемещающихся малых надводных целей, происходит совместным применением ракетного артиллерийского вооружения и ствольного артиллерийского вооружения.

Если противник не может применить имеющиеся в его арсенале средства противодействия ракетному вооружению, либо вообще не имеет таких средств, не информирован о возможности ракетного вооружения, то использование ракетного вооружения оказывается в значительной степени эффективнее, нежели использование пушечного вооружения и в общем дешевле. Причем не надо удивляться наличию экономической составляющей в организации артиллерийского вооружения. Если производство одного снаряда для пушки сравнительно недорогая, в отношении целой страны, задача, то обеспечение хотя бы нескольких десятков секунд стрельбы орудия со скоростью, достигающей сотню выстрелов в секунду, требует значительных материальных вложений, а эффект от этой стрельбы может быть не больше, чем эффект от запуска одной-двух ракет. В этом смысле следует отметить, что использование ствольной артиллерии становится целесообразным лишь в условиях действительной невозможности или неэффективности использования ракетной артиллерии.

Рассмотрим основные моменты, препятствующие ракетному нападению на корабль противника. Причем не будем рассматривать такие случаи, когда это ракетное нападение может быть массированным, например, при атаке крупного корабля, несущего ракетное вооружение, на аналогично крупный или очень крупный корабль противника, когда вся экономика отставляется в сторону и главной задачей становится именно поражение, унич-

тожение противника. Пусть речь идет об атаке на современный корабль противника среднего размера. Корабль, водоизмещением около 1000 тонн, перемещающийся с большой скоростью и несущий адекватное вооружение, в том числе противоракетное. Рассмотрим то, что может помешать эффективности ракетного залпа:

Ракета требует как первичного, так и текущего наведения. Важным препятствием к использованию ракетного вооружения становится несостоятельность одного или нескольких каналов наведения. Так, несостоятельность телеоптического канала наведения может случиться в ночное время, при неблагоприятных погодных условиях (туман, снег и т.д.), при активном использовании противником дымовых завес, и при дальностях, не обеспечивающих эффективную различимость замаскированного корабля противника и визуального отличия его от водной поверхности.

Расстояния боестолкновения, составляющие примерно 7-13 км. Именно на таких расстояниях возможно поражение корабля противника и артиллерийским и ракетным огнем. Ракетный выстрел способен поразить корабль и на больших расстояниях, однако в условиях активного противодействия эти параметры нивелируются, и на любых расстояниях противник может активно противодействовать ракетному нападению.

Радиолокационный канал является самым эффективным, в связи с большой скоростью света. Однако системы противодействия радиолокационному поражению, включающему как пассивные системы с использованием слабо отражающих поверхностей, так и активные системы, основанные на постановке активных помех, в значительной степени осложняют задачу эффективного наведения ракетного огня.

В последние годы десятилетия значительное развитие получили системы противоракетного огня. В первую очередь это противоракеты, способные поразить крупные крылатые объекты, посланные для уничтожения противника, и ствольная артиллерия, которая призвана уничтожать малые цели, летящие по не баллистическим траекториям. Современные системы зенитного

огня, способны на некоторое время обеспечить сплошной осколочный заслон препятствующий полету к кораблю любых объектов посланных противником. Ограничением к применению таких систем также является ночное время, когда невозможно использование телеоптического канала наведения такого огня, либо использование противником ракетных средств резко меняющих свое направление движения и появляющихся у цели с совершенно неожиданных направлений.

В любом случае следует отметить, что развитие ракетного вооружения и противоракетного вооружения находится в паритетном равновесии и использование ракетного огня в современном боестолкновении с равноценным противником может оказаться как весьма эффективным, так и весьма проблематичным. В этой связи следует выделить задачу, которая способна эффективно решаться ствольной артиллерией и является весьма востребованной в современном боестолкновении. Возможно, речь и не идет о глобальных войнах, когда смысл использования малых кораблей против малых кораблей будет затерян среди более серьезных боестолкновений крупных морских объектов, но в ряде современных локальных конфликтов возможность обуздания высокоскоростных малых и средних кораблей противников остается весьма актуальной. В этой связи становится актуальной задача создания особо высокоскоростных артиллерийских систем калибра 57 мм (возможно на калибр меньше, т.е. калибр 37 мм и 45 мм и, возможно, на калибр больше, т.е. 76 мм). Это артиллерийское вооружение должно быть эффективно на дальностях до 10-12 км. И должно обладать настолько значительной разрушительной силой, точностью стрельбы, скорострельностью и мощностью залпа, чтобы нанести существенный урон кораблю противника водоизмещением около 1000 т. Вот эта задача и является основной рассматриваемой в дипломе. И эта задача, по контрагитационным случаям взаимодействия с офицерами морского флота, является действительно актуальной.

На данный момент такое вооружение существует, оно также вынесено в приложение и активно развивается. Артиллерия подобного калибра при ка-

чественном наведении способна обеспечить поражение движущегося с большой скоростью объекта противника на расстоянии до 10 км, одновременным попаданием нескольких десятков снарядов калибром 57 мм. Следует отметить, что плавучести корабля такие попадания угрожают незначительно, если, конечно, они не приводят к таким неприятным последствиям, как взрыв боезапаса, повреждение топливных систем, либо особо массивному попаданию, при котором корабль противника оказывается просто разрезанным пополам. Учитывая, что подавляющее большинство кораблей флотов различных стран указанного характера вообще не имеют сплошного бронирования. Подобное вооружение при умелом использовании способно вывести из строя основные энергетические, радиотехнические и другие обеспечивающие объекты корабля противника и нанести заметный урон экипажу.

Естественно, что большинство методов активного противодействия ракетному огню применимо и в случае использования пушечного вооружения. С той лишь разницей, что для пушечного вооружения телеоптический канал наведения является приоритетным, и при его отсутствии наведение даже скорострельной пушки с дальнейшим неуправляемым полетом снарядов становится проблематичным.

Итак, та система, которая анонсируется и разрабатывается в дипломе, рассчитана на ведение активного артиллерийского огня именно при невозможности эффективного использования телеоптического канала управления артиллерийским огнем. В этих условиях радиолокационный канал управления артиллерийским огнем, в работе которого мог наблюдаться существенный сбой, провал и временные выпадения, из-за использования противником активных средств противодействия, должен быть дополнен еще одним каналом наведения в значительной степени свободным от тех помех, которые может выставить противник, в том числе и в условиях его неосведомленности о наличии у нападающей стороны подобного канала наведения. Этим третьим каналом наведения и может стать гидроакустический канал наведения. Рабо-

та гидроакустического канала наведения связана с целым рядом особенностей, подробному рассмотрению которого будет посвящен следующий раздел диплома.

ВЫВОДЫ

Выполнен обзор и анализ исторического развития ствольной и ракетной артиллерии, а так же представлено обоснование актуальности скорострельного вооружения.

История корабельного артиллерийского вооружения начинается с последней четверти девятнадцатого века и продолжается по сей день.

Именно с девятнадцатого века началось существенное разделение калибров, размеров артиллерийского вооружения по типу кораблей, таких как:

- броненосцы
- крейсера
- миноносцы и эскадренные миноносцы

Причины, которые предопределили тупиковость ветви тяжелого артиллерийского вооружения, и введение ракетного вооружения в строй:

- Сложность прицеливания(особенно в плохих условиях)
- Активное развитие ракетного вооружения в послевоенное время
- Большие массо-габаритные характеристики артиллерийских систем большой дальности.

Проведён обзор и анализ артиллерийского и ракетного вооружения, а так же их особенностей, различий и сходств.

Тем не менее актуальной является то, что в этой связи становится актуальной задача создания особо высокоскоростных артиллерийских систем калибра 57 мм (возможно на калибр меньше, т.е. калибр 37 мм и 45 мм и, возможно, на калибр больше, т.е. 76 мм). Это артиллерийское вооружение должно быть эффективно на дальностях до 10-12 км. И должно обладать настолько значительной разрушительной силой, точностью стрельбы, скорострельностью и мощностью залпа, чтобы нанести существенный урон кораб-

лю противника водоизмещением около 1000 т. Вот эта задача и является основной рассматриваемой в дипломе. И эта задача, по контрагитационным случаям взаимодействия с офицерами морского флота, является действительно актуальной.

В этих условиях радиолокационный канал управления артиллерийским огнем, в работе которого мог наблюдаться существенный сбой, провал и временные выпадения, из-за использования противником активных средств противодействия, должен быть дополнен еще одним каналом наведения в значительной степени свободным от тех помех, которые может выставить противник, в том числе и в условиях его неосведомленности о наличии у нападающей стороны подобного канала наведения. Этим третьим каналом наведения и может стать гидроакустический канал наведения. Работа гидроакустического канала наведения связана с целым рядом особенностей, подробному рассмотрению которого будет посвящен следующий раздел диплома.

2 ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ

Исходными данными для начала работы локатора служат предполагаемые азимутальные координаты цели.

Предполагаемое направление освещается достаточно широким лучом, при необходимости сканирующим.

Для понимания сути работы гидролокатора следует рассмотреть основные отличия принципов его функционирования от всем известного радиолокатора.

Радиолокатор посылает к цели простейший импульс радиоимпульс, частота которого, как правило, расположена вблизи 10 ГГц. Длительность импульса составляет единицы микросекунда. Этот импульс достигает цели, отражается от нее, создавая из цели вторичный источник излучения слабой направленности. Приемная система радиолокатора, запертая во время излучения, теперь открывается и принимает отраженный сигнал, регистрируется направление прихода, рассчитывается до цели и её с скорость.

Для получения более подробной информации о цели анализируется несколько передано-принятых импульсов. Каждый следующий импульс посылается позже приема отражения предыдущего.

В гидролокации такой алгоритм не возможен т.к. путешествие импульса до цели и обратно может занять десятки секунд. Если при этом перед отправкой очередного импульса ждать прихода отраженного сигнала от предыдущего, интервал отраженного сигнала от предыдущего, интервал определения параметров цели может достигнуть недопустимо большой величины.

Это приведет к необходимости:

- работать сериями импульсов без связи момента посылки с моментом прихода.
- ввести идентификатор импульсов: в каждый момент система должна знать, какой (по номеру) импульс в излученной серии принял приемник.

Такой подход дает возможность:

- - точно определять расстояния до цели

- - обеспечить работу программируемого адаптивного предсказателя.

Работа предсказателя местоположения цели (описание алгоритма функционирования которого выходит за рамки дипломной работы) заключается в том, что, получив массив откликов от цели (координата, скорость), предсказатель должен, изучив статистику движения цели, предсказать и место положения, и скорость на десятки секунд вперед.

За это время быстроходная цель способна переместится на сотни метров. Столь глубокая во времени работы предсказателя нужна еще и потому что в резервное время включена не только отрезки бега луча до цели и обратно, но еще и время полета снаряда до цели (12...14 с при дальности в 10...12 км).

Учитывая, что предсказатель в качестве исходных данных вводится знание трех параметров: азимута, расстояния и скорости, включая направление перемещения, на выходе предсказателя присутствует эти же параметры.

В ходе работы системы предполагается управление диаграммами направленности как передающего, так и приемного тракта, в т.ч. управление широкой диаграммы и процессом сканирования, а также управление мощности передающего тракта и чувствительностью приемника.

На основании изучения опыта эксплуатации существующих и проектов перспективных систем-анализов можно предположить, что при аппаратуре приемо-передающих систем в 4-6 метров вероятность уверенности сопровождении быстроходных целей с отражающей поверхностью 10м² (расстояние 10.000 м, скорость 40 узлов, маневрирование) составит 0,85...0,95 в зависимости от состояния поверхности воды. Этого вполне достаточно для уверенного поражения цели высокоскоростным артиллерийским огнем с начальной скоростью снаряда 1100...1300 м/с и расходом 1200...1600 снарядов в минуту.

И так алгоритм гидролокационного канала системы наведения представлен в виде блок схемы на рисунке 2.

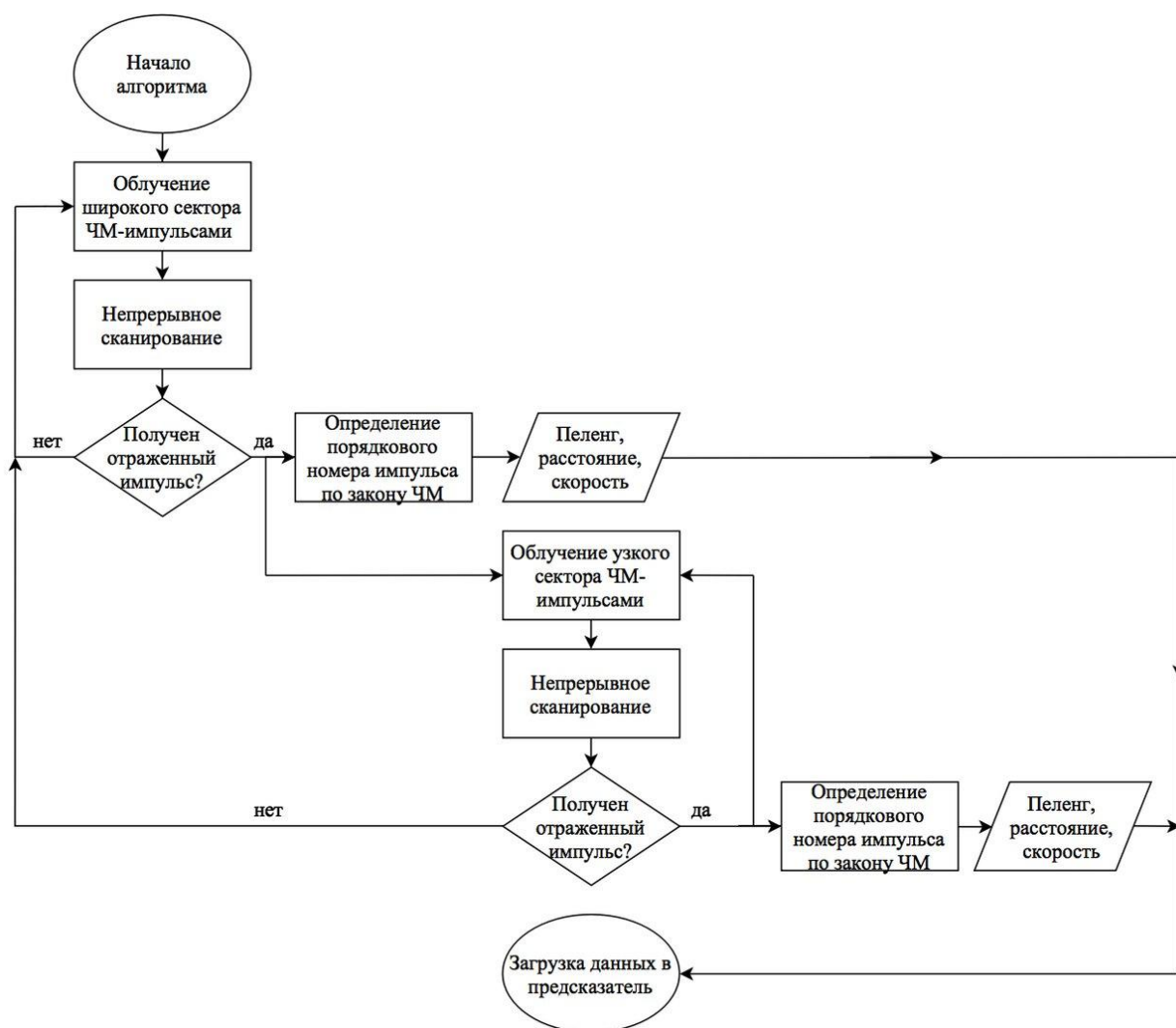


Рисунок 2 – алгоритм гидролокационного канала системы наведения.

После формирования и обработки сигнала охотник посылает в предполагаемом направлении цели непрерывную последовательность гидроакустических импульсов с высокочастотным заполнением. Импульсный характер необходим для создания возможности определения дальности.

Частота заполнения импульсов составляет от 10 до 20 кГц, что определяется необходимостью создания узких (до 1 градуса) лучей.

Длительность импульса составляет около 10,0 имп/с, это позволяет обновлять данные о координатах цели с точностью до 3 м. Заполнение каждого импульса изменяется по частоте, по индивидуальному закону, что позволяет определить охотнику, что за импульс принят, даже в условиях доплеровского смещения.

Узкий луч формируется ФАР, причем на начальном этапе захвата цели луч может быть шире. Далее суживание луча обеспечивает лучшие условия работы приемника. На время между импульсами антенна ФАР работает на прием.

Исходя из дальности до цели, ширина луча, площади отражения от цели, характеристик водной среды, экспертной оценки необходимой мощности в луче является величина порядка 500кВт. Если будут использованы приемники более чувствительные, чем сейчас, эта величина уменьшится. Естественно, если цель крупнее, ближе, то мощность может снижаться в десятки, сотни и тысячи раз. 500 кВт – предельная величина. Создание излучающей системы такой мощности сейчас не представляет технических проблем.

Работа приемника не рассматривается, отметим лишь то, что используется та же антенна в непрерывном режиме со сканирующим в узком секторе веером лучей.

ВЫВОДЫ

Исходными данными для начала работы локатора служат предполагаемые азимутальные координаты цели.

Предполагаемое направление освещается достаточно широким лучом, при необходимости сканирующим.

Для понимания сути работы гидролокатора следует рассмотреть основные отличия принципов его функционирования от всеобщего известного радиолокатора.

Радиолокатор посылает к цели радиоимпульс. Длительность импульса составляет единицы микросекунда. Этот импульс достигает цели, отражается от нее. Приемная система радиолокатора, запертая во время излучения, теперь открывается и принимает отраженный сигнал, регистрируется направление прихода, рассчитывается до цели и её скорость.

Каждый следующий импульс посылается позже приема отражения предыдущего.

В гидролокации такой алгоритм не возможен т.к. путешествие импульса до цели и обратно может занять десятки секунд.

Это приведет к необходимости:

- работать сериями импульсов без связи момента посылки с моментом прихода.
- ввести идентификатор импульсов: в каждый момент система должна знать, какой (по номеру) импульс в излученной серии принял приемник.

Алгоритм определения координат по гидроакустическому каналу включает в себя следующие шаги.

После формирования и обработки сигнала охотник посылает в предполагаемом направлении цели непрерывную последовательность гидроакустических импульсов с высокочастотным заполнением. Импульсный характер необходим для создания возможности определения дальности.

Частота заполнения импульсов составляет от 10 до 20 кГц, что определяется необходимостью создания узких (до 1 градуса) лучей.

Длительность импульса составляет около 10,0имп/с, это позволяет обновлять данные о координатах цели с точностью до 3 м. Заполнение каждого импульса изменяется по частоте, по индивидуальному закону, что позволяет определить охотнику, что за импульс принят, даже в условиях доплеровского смещения.

Узкий луч формируется ФАР, причем на начальном этапе захвата целей луч может быть шире. Далее суживание луча обеспечивает лучшие условия работы приемника. На время между импульсами антенна ФАР работает на прием.

Исходя из дальности до цели, ширина луча, площади отражения от цели, характеристик водной среды, экспертной оценки необходимой мощности в луче является величина порядка 500кВт. Если будут использованы приемники более чувствительные, чем сейчас, эта величина уменьшится. Естественно, если цель крупнее, ближе, то мощность может снижаться в десятки,

сотни и тысячи раз. 500 кВт – предельная величина. Создание излучающей системы такой мощности сейчас не представляет технических проблем.

Такой подход дает возможность:

- точно определять расстояния до цели
- обеспечить работу программируемого адаптивного предсказате-

ля.

3 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА НАВЕДЕНИЯ

Одной из основных задач дипломной работы является разработка структурно-функциональной схемы гидроакустического канала наведения высокоточного орудия.

В современных системах, использующих активную дальнюю гидролокацию, алгоритмы функционирования достаточно хорошо отработаны. Тем не менее, нельзя не отметить решаемые нами задачи и их особенности:

- Во-первых, проектируемая система должна быть способна определить координаты весьма малоразмерных целей (эквивалентный радиус корабля порядка 5-10 метров).
- Во-вторых, эти цели могут быть весьма быстроходные, до 20..30 м/с и более. Основное расстояние активного взаимодействия с целью изменяется от критически малого (600...800м), при котором ничто не может гарантировать сохранность нашего корабля в условиях противодействия противника, до запредельных (10 км и более), когда не только артиллерийский огонь ствольной артиллерии калибра 57 мм становится малоэффективным даже при хорошем наведении, но и весь спектр средств определения направления стрельбы уже не дает результата, обеспечивающего гарантированное попадание.

Отметим ряд технических решений:

1. ГАС должна быть активной. Пассивные станции не обеспечивают достоверного определения координат малошумных быстродвижущихся целей, а также целей, применяющих постановку активных целей.

2. По целому ряду причин должен применяться импульсный режим гидролокации:

- Во-первых, потому что одновременно с излучающим трактом работает приемный тракт и на время излучения зондирующего импульса его нужно запереть.

- Во-вторых, в связи с длительным (до 13..14 секунд) временем путешествия импульса до цели и обратно требуется четкая временная иденти-

фикация зондирующего сигнала, что проще реализовать в импульсном режиме, когда каждый импульс в посылке идентифицируем.

- И передающий, и приемный тракт должны строиться по принципу ФАР для обеспечения эффективного наведения диаграмм направленности антенн на цель.

В соответствии с заданием на дипломный проект, была разработана структурная схема гидроакустического канала системы наведения:



Рис. 3 - Структурная схема устройства системы наведения гидроакустического канала.

Учитывая, что одной из современных тенденций в гидроакустике является возможность снижения излучаемых (и, соответственно, приемных) мощностей в связи с ростом чувствительности приемного тракта и возможности математической обработки сигналов, становится возможен выбор достаточно высоких частот, порядка 10-20 кГц.

3.1 Усилитель акустического сигнала

Любая акустическая система, не основанная на пьезоэлектрическом преобразовании, имеет очень большое преимущество. Основной моторной силой, которая приводит диафрагму излучателя в движение, является катуш-

ка, и сопротивление медной проволоки в конечной итоговой схеме замещения нагрузки оказывается активным омическим сопротивлением соединенным последовательно со всей системой. Это радикально улучшает условия работы и усилитель на такие системы работает очень и очень хорошо.

В наших же системах пьезоэлектрического типа этого резистора нет, и непосредственно к усилителю подключается емкость преобразователя. Емкость преобразователя - это совершенно бесполезное устройство, которое лишь гоняет реактивные токи, бесполезным образом нагружает усилитель и никак не связано с излучением сигнала в пространство (это дает нам активное сопротивление). Именно этот факт говорит о том, что ни при каких условиях не удастся использовать обычные усилители в режимах линейного типа, то есть в режимах А, В, С. Эти усилители не работают на емкостную нагрузку, попросту говоря их коэффициент полезного действия оказывается не только низким, но и уменьшающимся с падением уровня излучаемого сигнала. Последние попытки использовать линейные усилители для гидроакустики состоялись в восьмидесятые годы прошлого столетия и были неудачными. После этого в гидроакустике целиком началась эра усилителей класса D (усилителей с импульсным преобразованием).

Любая акустическая система, не основанная на пьезоэлектрическом преобразовании, имеет очень большое преимущество. Основной моторной силой, которая приводит диафрагму излучателя в движение, является катушка, и сопротивление медной проволоки в конечной итоговой схеме замещения нагрузки оказывается активным омическим сопротивлением соединенным последовательно со всей системой. Это радикально улучшает условия работы и усилитель на такие системы работает очень и очень хорошо.

В наших же системах пьезоэлектрического типа этого резистора нет, и непосредственно к усилителю подключается емкость преобразователя. Емкость преобразователя - это совершенно бесполезное устройство, которое лишь гоняет реактивные токи, бесполезным образом нагружает усилитель и никак не связано с излучением сигнала в пространство (это дает нам актив-

ное сопротивление). Именно этот факт говорит о том, что ни при каких условиях не удастся использовать обычные усилители в режимах линейного типа, то есть в режимах А, В, С. Эти усилители не работают на емкостную нагрузку, попросту говоря их коэффициент полезного действия оказывается не только низким, но и уменьшающимся с падением уровня излучаемого сигнала. Последние попытки использовать линейные усилители для гидроакустики состоялись в восьмидесятые годы прошлого столетия и были неудачными. После этого в гидроакустике целиком началась эра усилителей класса D (усилителей с импульсным преобразованием).

Усилитель класса D имеет высокий КПД. В нем нет места, где могут выделяться мощности. Транзистор либо открыт, либо закрыт и потерь в нем нет, остальные компоненты этого усилителя реактивные, в них тоже потерь быть не может. Реактивные протекающие токи несут энергию, которая в усилителях класса D, в отличие от усилителей обычного типа, способна возвращаться в источник питания. Если реактивная система усилителя и нагрузки потребляет энергию, энергия идет туда, а если в силу реактивных свойств она эту энергию отдает, то эта энергия не рассеивается на транзисторе, а возвращается на источник. Оба объяснения идентичны. Они никак не дополняют друг друга, но и никак не противоречат. В результате мы имеем налицо факт: коэффициент полезного действия усилителей класса D высок и при работе на реактивную нагрузку он падает незначительно. Более того, выделяемые при этом мощности, не связанные с излучением сигнала, оказываются невелики. Поэтому выбор проводится в сторону усилителей с импульсным преобразованием.

Если бы этот диод имел высокое качество, он был бы незаменим для транзисторов, однако это не так, он очень медленный. Только в самых последних, самых лучших классах низковольтных кремниевых транзисторов этот диод оказывается приемлемого качества; в высоковольтных транзисторах этот диод оказывается неплохого качества; в карбид-кремниевых транзисторах научились ставить параллельно ему высококачественный карбид-

кремниевый диод, который перехватывает до 95% токов этого диода. Одно очевидно: в нитрид-галлиевых транзисторах этой проблемы нет.

Следовательно, никакой структурной сложности при обходе этой проблемы не возникает и сам по себе нитрид-галлиевый транзистор позволяет решать вопросы усиления весьма эффективным образом. Современные нитрид-галлиевые транзисторы, позволяющие работать при напряжении 80 В (имеют примерно 100-150 В максимального напряжения) способны коммутировать токи до 20-25 А и имеют размеры не больше спичечной головки. Это, как правило, безкорпусные транзисторы. Таким образом, если мы будем строить наш усилитель по двухканальной мостовой схеме преобразования, то совершенно не представляет труда разместить все его активные части на пространстве, представляющем собой прямоугольник размером 20 на 30 мм. Дальнейшая задача миниатюризации усилителя сведется к тому, что необходимые реактивные элементы (фильтрующие дроссели и трансформаторы) придется так же сделать небольшого размера.

Для уменьшения размеров дросселя целесообразно, используя нитрид-галлиевые транзисторы, поднять частоту коммутации, что возможно для них, до примерно 200-250 кГц на канал, тогда итоговая полоса в двухканальной схеме составит примерно 500 кГц и дроссель, который потребуется – это дроссель фильтра на частоту 40-50 кГц. Такой дроссель окажется соизмеримым по размеру с нашей платой усиления, то есть будет очень небольшим.

Если учитывать небольшую частоту усиления и использовать современные материалы, то можно будет сделать примерно такого же размера трансформатор.

Таким образом, задача размещения всей усилительной системы в пределах одного прибора окажется вполне разрешимой. Единичный усилитель - это мостовая схема усиления на четырех транзисторах, займет она примерно 50-100 кубических сантиметров пространства. Сколько таких усилителей получится разместить в приборе – столько каналов усиления мы получим. Для современной отечественной техники усиления высоких мощностей и частот

это новая задача, и на нитрид-галлиевых транзисторах она никогда не выполнялась.

3.2 Фильтр низких частот

Напомню, что ключевой усилитель имеет на выходе сигнал в виде импульсной последовательности, и преобразование его в исходный усиленный сигнал возможно путем низкочастотной фильтрации, т.е. на выходе усилителя должен быть расположен фильтр нижних частот, состоящий из последовательного дросселя и параллельного нагрузке конденсатора. Частота среза этого фильтра выбирается примерно в два раза более высокая, нежели наивысшая частота исследуемого сигнала. В нашем случае усиливаемый сигнал имеет максимальную частоту 20 кГц, соответственно частота среза фильтра нижних частот выбирается где-то в районе 40 кГц. Нужен индуктивный элемент, который эффективно работает на частотах до 20 кГц и обеспечивает работу такого фильтра. Предварительный анализ этого индуктивного элемента показывает, что индуктивность в нашем случае должна составлять единицы мкГн. Этот расчет с точными цифрами будет представлен далее. Учитывая, что фильтр стоит до трансформатора, также нужно рассчитать ток, на который будет рассчитан этот фильтр. Учитывая, что напряжение на выходе нашего усилителя составляет примерно 60В и определяется напряжением электропитанияборок на нитриде галлия, который мы приняли как основной материал для изготовления ключей нашего усилителя, и мощность канала составляет порядка 500 вольт-ампер, следовательно можно ожидать, что через наш фильтр потечет ток примерно равный 8 А. Ток 8 А и индуктивность порядка единиц мкГн дают основание представлять, что дроссель фильтра будет иметь сравнительно небольшие габариты. Опыт показывает, что он будет составлять порядка 50 кубических сантиметров. Может быть и меньше. Для примера аналогичный дроссель, который был применен в одних из первых наиболее эффективных усилителях - это дроссель системы усиления Рубикон. Он имел индуктивность порядка 25 мкГн при токах порядка 40 ампер.

Этот дроссель был сделан на кольце из материала KoолMц проницаемостью 30 и диаметром 40 мм. В нашем случае мы имеем гораздо более мягкие условия, индуктивность и ток значительно меньше, следовательно, нужно иметь в виду, что такой дроссель может быть выполнен на небольшом магнитопроводе.

В качестве магнитного материала был выбран молибден-пермаллой. Порошковый молибденовый пермаллой – это семейство порошковых материалов, предназначенных для изготовления магнитопроводов и других электронных изделий. Сердечники изготавливаются методом прессования порошка из сплава оксида железа 17%, 2% молибдена, 81% никеля. Мелкодисперсные частицы магнитного сплава диаметром от 5 до 200 мкм, покрытых слоем от 0.1 до 3 мкм полимерного диэлектрического материала, прессуют под давлением около 2 МПа. Выбор был сделан в пользу молибденового пермаллоя, так как это – наилучший материал для фильтров звуковой частоты, среднечастотных низкоуровневых резонансных контуров и сглаживающих дросселей в импульсных источниках питания.

Особенностью работы трансформатора является то, что он работает не на постоянном по амплитуде сигнале. Амплитуда сигнала растет с ростом частоты. Это принципиально меняет подход к расчету трансформатора в той части, в которой это касается выбора магнитного материала. Если традиционно при сигналах, не меняющихся по амплитуде с частотой, расчет трансформатора ведется исходя из того, что потери в магнитопроводе являются максимальными на минимальной частоте, а дальше уменьшаются в связи с падением индукции в материале, в данном случае этого не происходит. Учитывая, что с ростом частоты амплитуда сигнала растет, соответственно и индукция в магнитопроводе будет оставаться постоянной. В этом случае необходимо потери в магнитопроводе рассчитывать исходя не из нижней, а из верхней частоты частотного диапазона. На нижней частоте они будут уменьшаться. Следовательно, к магнитопроводу предъявляются повышенные требования для работы на повышенных частотах, и выбор в данном случае

магнитопровода может быть произведен исходя из нескольких магнитных материалов. Учитывая, что это должны быть материалы с достаточно высокой магнитной проницаемостью, это могут быть:

- Ферриты. Частоты порядка 10-20 кГц являются для них характерными. Они вполне могут иметь индукции в районе 0.3-0.4 Тл.
- Аморфные материалы.
- Нанокристаллические материалы.

Какие из них лучше? Скорее всего, нанокристаллические, потому что удельные потери у них меньше. В дипломе будет приведен сравнительный анализ расчета трансформатора на высококачественном феррите и высококачественном нанокристаллическом материале и будет доказано, что потери в магнитопроводе оказываются меньше именно в нанокристаллическом материале.

Раньше в трансформаторах на рассматриваемых частотах активно применялась электротехническая сталь. Потери в магнитопроводе из стали окажутся радикально больше и хуже, чем в магнитопроводе из нанокристаллического материала. Стальные сердечники могли бы оказаться предпочтительными, если бы частотный диапазон лежал значительно ниже, например, на частотах от 200 до 250 Гц. Это связано с тем, что предельная индукция в стали составляет 1.8-2.2 Тл и на самой нижней границе можно было бы позволить себе иметь такие большие индукции. Наша система другая. По результатам расчета трансформатор тоже окажется соизмерим по размерам с дросселем, и также окажется достаточно маленьким, миниатюрным, порядка 30-35 кубических сантиметров в сумме. Вероятно, было бы правильнее трансформатор, в отличие от дросселя, наматывать не на кольцевом сердечнике, а на сердечнике более сложной формы. Учитывая то, что количество витков в нем может оказаться больше, возможно понадобится намотка с помощью ленты. Однако целесообразно подумать о том, чтобы и трансформатор, и дроссель выполнялись на одном и том же магнитопроводе. В случае трансформатора это может быть магнитопровод не из разрезного материала,

в отличие от дросселя, но в любом случае это вопрос оптимизации. Замечу, что выбор и оптимизация магнитных элементов является одним из важнейших разделов нашей ВКР, равно как и в реальной ситуации, при реальном проектировании подобных устройств электромагнитные компоненты несут очень большую смысловую, физическую и технологическую нагрузку. От того, насколько удачными окажутся эти элементы, в значительной степени зависят не только массогабаритные показатели, но и надежность и энергетические характеристики устройства в целом. Коэффициент полезного действия электромагнитных компонентов должен иметь точкой стремления величину, существенно превышающую 99%, чтобы никаким образом не сказываться на коэффициенте полезного действия всей системы в целом. Этого удастся достигнуть, учитывая то, что наш частотный диапазон достаточно высок. На частотах выше 10 кГц КПД электромагнитных компонентов действительно может быть настолько велик.

3.3 Гидроакустическая антенна

Поскольку система наведения ГАК, это локационная система, формирующая узкий направляемый и сканирующий луч, то сразу становится ясно, что требуется фазированная гидроакустическая антенная решетка. Также можно формировать узкий луч по другому принципу: можно то, что формирует единичный излучатель, поместить перед линзой, сфокусировать, направить этот поток на акустическое зеркало и это зеркало сделать подвижным. Так делались первые локационные станции. Фазированные антенные решетки в локационных станциях появились только в 70-ые годы. Но сейчас и в радиолокации, и в гидролокации используются ФАР. Сама по себе ФАР требует использования достаточно большого количества излучателей и соответственно большого количества усилителей. В антенной решетке есть одно большое преимущество: если формируется узкий луч, то в значительной степени этот луч суммирует мощности большинства излучателей входящих в

систему, установленную в решетке, т.е. решетка обеспечивает не только подвижность и узость луча, но и суммирование мощностей отдельных усилителей. Если решетка имеет развитую структуру по горизонтальной оси, допустим по горизонтали может стоять 20-30 излучателей, то формируется узкий луч в горизонтальной плоскости, т.е. этот луч становится похож на плавник рыбы (широкий в вертикальной плоскости и узкий в горизонтальной). Если ФАР хорошо развита в вертикальной плоскости, то луч сужается в вертикальной плоскости, становится похож на хвост дельфина. Если развита и в вертикальной, и в горизонтальной плоскости, то луч становится узким в обеих плоскостях, то есть сигарообразным. Нам, конечно, нужно получить узкий луч в горизонтальной плоскости, потому что мы занимаемся азимутальным анализом и ищем пеленг цели. Также нам нет смысла светить в небо или дно, нам необходимо сузить луч и в вертикальной плоскости. Поэтому ориентировочно требуется решетка 24×3 канала, а в условиях мелководья вплоть до 24×6 . Это позволит формировать сравнительно узкие лучи с шириной диаграммы в горизонтальной плоскости 3-5 градусов:

$$2\theta = \frac{51 \cdot \lambda}{L}$$

где λ – длина волны, L – длина антенной решетки.

Излучатели в антенной решетке должны располагаться на определенном расстоянии друг от друга:

$$l = \frac{\lambda}{2}$$

Это вытекает из условия получения одного главного максимума излучения.

Тогда общая длина антенной решетки в горизонтальной плоскости составит:

$$L = 24 \cdot l = 24 \cdot \frac{\lambda}{2} = 12 \cdot \lambda$$

Длина волны на частоте $f = 10$ кГц составляет $\lambda = 0.15$ метров. Длина волны на частоте $f = 20$ кГц составляет $\lambda = 0.075$ метров. Если расстояние

между излучателями установить равным $l = 0.075$ м, то на частоте 10 кГц будет сформирован узкий луч, а на частоте 20 кГц диаграмма направленности «развалится». Если расстояние между излучателями установить равным $l = 0.0375$ м, то на частоте 20 кГц будет сформирован узкий луч, а на частоте 10 кГц луч будет формироваться не 24 излучателями, а лишь половиной из них. Выберем второй вариант. Таким образом, общая длина антенной решетки в горизонтальной плоскости составит:

$$L = 24 \cdot l = 24 \cdot 0.0375 = 0.9 \text{ м}$$

Ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости на частоте 20 кГц будет равна:

$$2\theta = \frac{51 \cdot \lambda}{L} = \frac{51}{12} = 4.25^\circ$$

На частоте 10 кГц ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости возрастет в 2 раза и будет равна 8.5° .

Ширина диаграммы направленности в вертикальной плоскости на частоте 20 кГц будет равна:

$$2\theta = \frac{51 \cdot \lambda}{L} = \frac{51}{3} = 17^\circ$$

На частоте 10 кГц ширина диаграммы направленности в вертикальной плоскости возрастет в 2 раза и составит 34° .

Построим диаграмму направленности нашей решетки в азимутальной плоскости. Диаграмма направленности акустической антенной решетки есть произведение диаграммы направленности одиночного излучателя и множителя антенной решетки:

$$D_{\text{о.и.}}(\theta) = \frac{2 \cdot J_1\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \cdot \sin(\theta)\right)}{\frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \cdot \sin(\theta)}$$

$$K_{\text{а.р.}}(\theta, \varphi) = \frac{\sin\left(24 \cdot \frac{u(\theta, \varphi)}{2}\right)}{24 \cdot \sin\left(\frac{u(\theta, \varphi)}{2}\right)}$$

$$u(\theta, \varphi) = \frac{2 \cdot \pi \cdot l}{\lambda} \cdot (\sin(\theta) - \sin(\varphi))$$

где $J_1(\dots)$ – функция Бесселя 1-ого порядка, r – радиус излучателя, φ – фаза подводимого к антенной решетке питания.

При радиусе круглого излучателя $r = 2$ см сектор сканирования антенной решетки лежит в пределах от -60 до $+60$ градусов. Для того чтобы увеличить сектор обзора потребуется установка нескольких идентичных антенн, сканирующих разные сектора.

На рисунке 3.1 в одних координатных осях представлены диаграмма направленности в азимутальной плоскости одиночного излучателя (синяя штрихпунктирная линия), и диаграмма направленной проектируемой антенной решетки с нулевой фазой питающего решетку напряжения (красная сплошная линия).

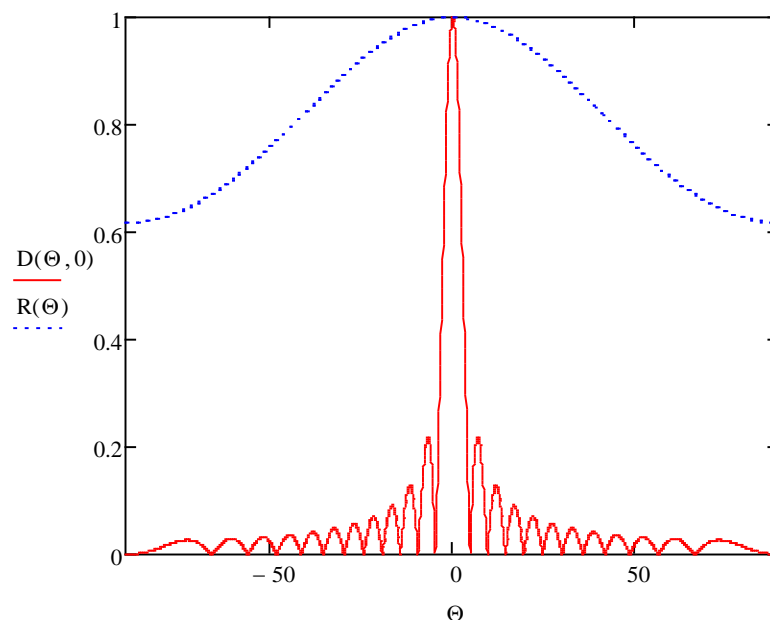


Рисунок 3.1 – диаграммы направленности антенной решетки в азимутальной плоскости при $\varphi = 0$ и одиночного излучателя на частоте 20 кГц.

На рисунке 3.2 в одних координатных осях представлены диаграмма направленности в азимутальной плоскости одиночного излучателя (синяя штрихпунктирная линия), и диаграмма направленной проектируемой антенной решетки с фазой $\varphi = \frac{\pi}{8}$ питающего решетку напряжения (красная сплошная линия).

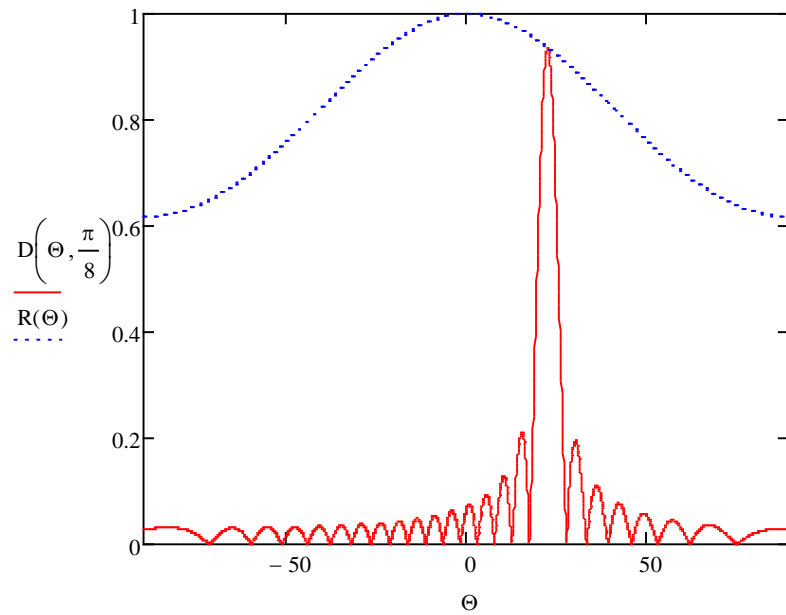


Рисунок 3.2 – диаграммы направленности антенной решетки в азимутальной плоскости при $\varphi = \frac{\pi}{8}$ и одиночного излучателя на частоте 20 кГц.

На рисунке 3.3 представлена диаграмма направленности антенной решетки с нулевой фазой питающего напряжения и диаграмма направленности одиночного излучателя в полярных координатах.

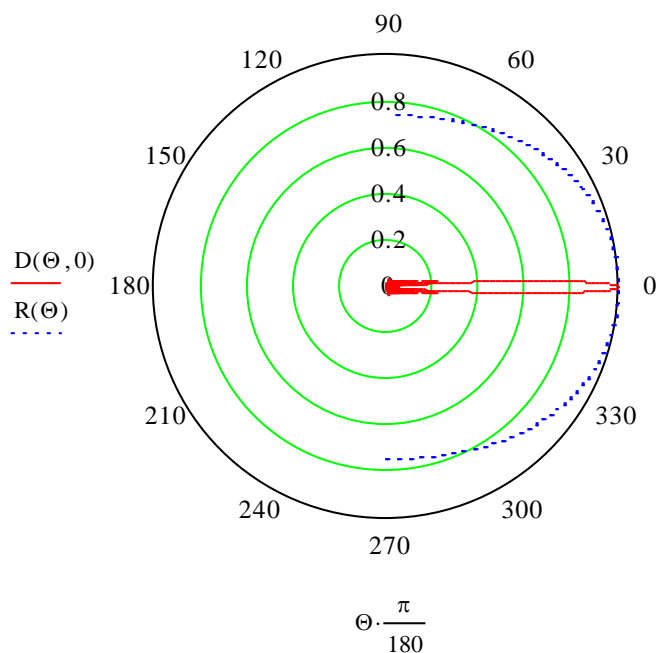


Рисунок 3.3 – диаграмма направленности антенной решетки с нулевой фазой питающего напряжения (красная сплошная линия) и одиночного излучателя (синяя штрихпунктирная линия) в полярных координатах на частоте 20 кГц..

Приемный тракт может обладать существенно большим числом каналов, до нескольких сотен, что обеспечивает определение условных координат цели с точностью до сотых долей градуса. Соответственно размеры решетки получаются не такие уж и маленькие, то есть, если корабль водоизмещением 1600-1800 тонн, то все его переднее пространство, весь этот бульб, который находится на глубине 3-4 метра, будет представлять собой колпак обтекателя ФАР и придется использовать до нескольких сотен излучателей и усилителей.

Учитывая, что мы применяем достаточно высокие частоты, а они нам нужны для получения хорошего разрешения и хорошего фокусирования луча, потребуется применять достаточно большие мощности излучения, потому что высокочастотные колебания сильно поглощаются водой. На дальностях свыше 10 км сигналы с частотой больше 20 кГц лучше не применять, так как они сильно затухнут по пути туда и обратно. Также нужно понимать, что если по пути туда мы можем формировать узкий луч направленности, то обратно сигнал отражается как от изоморфного источника: мы видим сферическую волну лишь за счет того, что и приемная антенна представляет собой ФАР. При удачном стечении обстоятельств мы сможем применять передающую антенну в качестве приемной, для этого надо будет разнести во времени процессы передачи и приема. Частоты придется выбирать в районе 10 кГц.

Сама по себе система будет достаточно широкополосной, каждый импульс должен быть каким-то образом идентифицирован, подкрашен, количество импульсов передаваемых в серии может составлять сотни и тысячи. Для идентификации импульсов ничего кроме частотной модуляции внутри импульса нам применить не удастся и эта частотная модуляция от импульса к импульсу может потребовать достаточно широкой полосы частот, чтобы передать все импульсы. Полоса от 10 до 20 кГц нами будет занята.

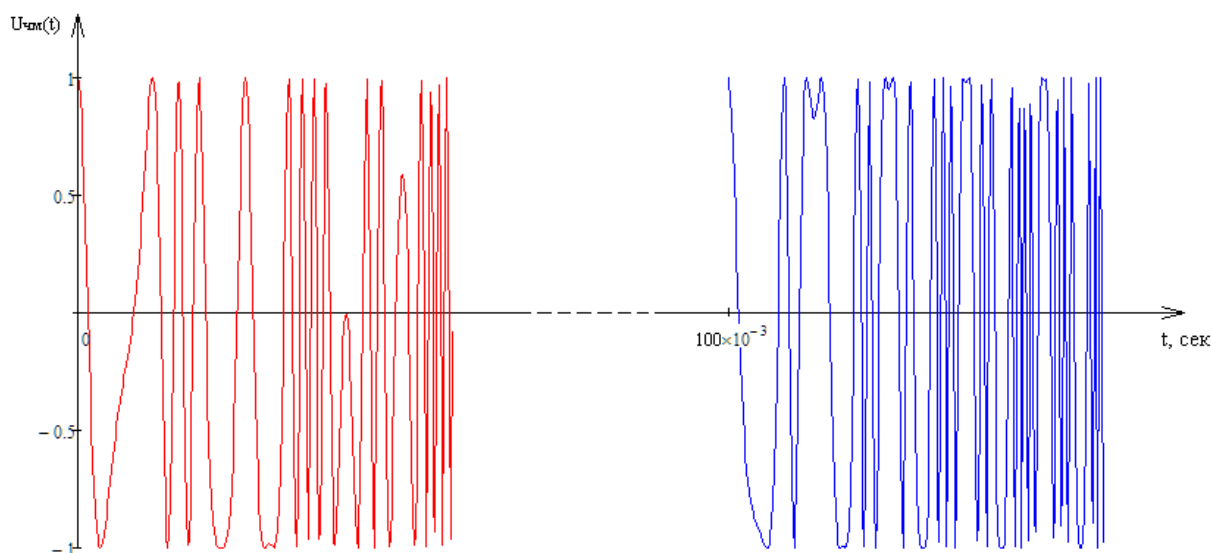


Рисунок 3.4 – пример двух частотно-модулированных импульсов.

В итоге нам потребуется система из примерно 144 усилителей мощностью примерно по 500 Вт каждый, работающих в диапазоне от 10 до 20 кГц. Задача вполне решаемая. Так как энергозапас корабля неограничен, то можно увеличить мощности усилителей или увеличить их количество. Единственное ограничение на мощность накладывают кавитационные процессы. Кавитационный процесс – явление, при котором излучатель сравнительно небольшого размера при попытке излучить достаточно большую мощность разрывает водную среду. Важной характеристикой при работе преобразователя является давление среды. При кавитационных процессах давление водной среды на преобразователь резко понижается, что приводит к разрушению излучателя. Исследования показывают, что при мощностях в 500-700 Вт при излучателях современных размеров и частотах 10-20 кГц кавитационные процессы еще не развиваются.[2]

Требования излучателя к АЧХ очень низкие, учитывая, что АЧХ будет неоднократно искажаться при излучении, прохождении дистанции и возвращении обратно. Нас интересует лишь передача собственно частот, на которые будет усилитель рассчитан, то есть выполнение закона частотной модуляции, а в это внести искажения достаточно трудно.

К нелинейности усилителя требования небольшие. Чем опасна нелинейность? Может возникнуть третья гармоника. Действительно, третья гар-

моника может лежать недалеко от полосы пропускания и ее придется каким-то образом режектировать. Современные усилители имеют искажения в районе единиц процентов, то есть это не те искажения, которых надо бояться.

Эта задача стандартная для современной гидроакустики и решить ее надо будет по-современному в том смысле, что система должна быть высококомпактной, потому что по своей развитости система становится похожа на систему, применяемую на больших атомных подводных лодках. Придется применить новые положения, которые позволят сделать усилитель высококомпактным, для того чтобы его разместить в одном приборе (стойка размером с современный крупный холодильник). Если говорить о размерах, то это 5-6 19-дюймовых приборов высоты 6U и глубиной порядка 300 мм. Естественно, если у нас имеется 144 канала по $500\text{В} \cdot \text{А}$, то суммарная мощность составит порядка $70000\text{В} \cdot \text{А}$ в импульсе. По этой причине система должна иметь достаточно хороший коэффициент полезного действия, иначе большое выделение тепла будет мешать работе прибора.

3.4 Адаптивный предсказатель

Работа предсказателя местоположения цели (описание алгоритма функционирования которого выходит за рамки дипломной работы) заключается в том, что, получив массив откликов от цели (координата, скорость), предсказатель должен, изучив статистику движения цели, предсказать и место положения, и скорость на десятки секунд вперед.

За это время быстроходная цель способна переместится на сотни метров. Столь глубокая во времени работы предсказателя нужна еще и потому что в резервное время включена не только отрезки бега луча до цели и обратно, но еще и время полета снаряда до цели (12...14 с при дальности в 10...12 км).

Учитывая, что предсказатель в качестве исходных данных вводится знание трех параметров: азимута, расстояния и скорости, включая направление перемещения, на выходе предсказателя присутствует эти же параметры.

ВЫВОДЫ

Разработана структурно-функциональная схема гидроакустического канала наведения высокоточного орудия.

В современных системах, использующих активную дальнюю гидролокацию, алгоритмы функционирования достаточно хорошо отработаны. Тем не менее, нельзя не отметить решаемые нами задачи и их особенности:

- Во-первых, проектируемая система должна быть способна определить координаты весьма малоразмерных целей (эквивалентный радиус корабля порядка 5-10 метров).
- Во-вторых, эти цели могут быть весьма быстроходные, до 20..30 м/с и более. Основное расстояние активного взаимодействия с целью изменяется от критически малого (600...800м), при котором ничто не может гарантировать сохранность нашего корабля в условиях противодействия противника, до запредельных (10 км и более), когда не только артиллерийский огонь ствольной артиллерии калибра 57 мм становится малоэффективным даже при хорошем наведении, но и весь спектр средств определения направления стрельбы уже не дает результата, обеспечивающего гарантированное попадание.

Отметим ряд технических решений:

1. ГАС должна быть активной. Пассивные станции не обеспечивают достоверного определения координат малозумных быстро движущихся целей, а также целей, применяющих постановку активных целей.
2. По целому ряду причин должен применяться импульсный режим гидролокации:
 - Во-первых, потому что одновременно с излучающим трактом работает приемный тракт и на время излучения зондирующего импульса его нужно запереть.

- Во-вторых, в связи с длительным (до 13..14 секунд) временем путешествия импульса до цели и обратно требуется четкая временная идентификация зондирующего сигнала, что проще реализовать в импульсном режиме, когда каждый импульс в посылке идентифицируем.

- И передающий, и приемный тракт должны строиться по принципу ФАР для обеспечения эффективного наведения диаграмм направленности антенн на цель.

В структурную схему устройства системы наведения гидроакустического канала входят:

- Усилитель акустического сигнала
- Фильтр низких частот
- Гидроакустическая антенна
- Приемный тракт
- Адаптивный предсказатель

Используется усилитель класса D, который имеет высокий КПД. Коэффициент полезного действия усилителей класса D высок и при работе на реактивную нагрузку он падает незначительно. Более того, выделяемые при этом мощности, не связанные с излучением сигнала, оказываются невелики. Поэтому выбор проводится в сторону усилителей с импульсным преобразованием.

Так как ключевой усилитель имеет на выходе сигнал в виде импульсной последовательности, то преобразование его в исходный усиленный сигнал, т.е. на выходе усилителя должен быть расположен фильтр нижних частот, состоящий из последовательного дросселя и параллельного нагрузке конденсатора.

Поскольку система наведения ГАК, это локационная система, формирующая узкий направляемый и сканирующий луч, то сразу становится ясно, что требуется фазированная гидроакустическая антенная решетка. Также можно формировать узкий луч по другому принципу: можно то, что форми-

рует единственный излучатель, поместить перед линзой, сфокусировать, направить этот поток на акустическое зеркало и это зеркало сделать подвижным.

Работа предсказателя местоположения цели (описание алгоритма функционирования которого выходит за рамки дипломной работы) заключается в том, что, получив массив откликов от цели (координата, скорость), предсказатель должен, изучив статистику движения цели, предсказать и место положения, и скорость на десятки секунд вперед.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы является исследование и реализация возможности формирования узкого ГА луча локатора для решения задачи азимутального позиционирования цели.

В процессе достижения поставленной цели получены следующие результаты.

1. Обоснование целесообразности сохранения высокоточной ствольной артиллерии.

Выполнен обзор и анализ исторического развития ствольной и ракетной артиллерии, а так же представлено обоснование актуальности скорострельного вооружения.

История корабельного артиллерийского вооружения начинается с последней четверти девятнадцатого века и продолжается по сей день.

Именно с девятнадцатого века началось существенное разделение калибров, размеров артиллерийского вооружения по типу кораблей, таких как:

- броненосцы
- крейсера
- миноносцы и эскадренные миноносцы

Причины, которые предопределили тупиковость ветви тяжелого артиллерийского вооружения, и введение ракетного вооружения в строй:

- Сложность прицеливания(особенно в плохих условиях)
- Активное развитие ракетного вооружения в послевоенное время
- Большие массо-габаритные характеристики артиллерийских систем большой дальности.

Проведён обзор и анализ артиллерийского и ракетного вооружения, а так же их особенностей, различий и сходств.

Тем не менее актуальной является то, что в этой связи становится актуальной задача создания особо высокоскоростных артиллерийских систем калибра 57 мм (возможно на калибр меньше, т.е. калибр 37 мм и 45 мм и, возможно, на калибр больше, т.е. 76 мм). Это артиллерийское вооружение должно быть эффективно на дальностях до 10-12 км. И должно обладать настолько значительной разрушительной силой, точностью стрельбы, скорострельностью и мощностью залпа, чтобы нанести существенный урон кораблю противника водоизмещением около 1000 т. Вот эта задача и является основной рассматриваемой в дипломе. И эта задача, по контрагитационным случаям взаимодействия с офицерами морского флота, является действительно актуальной.

В этих условиях радиолокационный канал управления артиллерийским огнем, в работе которого мог наблюдаться существенный сбой, провал и временные выпадения, из-за использования противником активных средств противодействия, должен быть дополнен еще одним каналом наведения в

значительной степени свободным от тех помех, которые может выставить противник, в том числе и в условиях его неосведомленности о наличии у нападающей стороны подобного канала наведения. Этим третьим каналом наведения и может стать гидроакустический канал наведения. Работа гидроакустического канала наведения связана с целым рядом особенностей, подробному рассмотрению которого будет посвящен следующий раздел диплома.

2. Описание алгоритма определения координат.

Исходными данными для начала работы локатора служат предполагаемые азимутальные координаты цели.

Предполагаемое направление освещается достаточно широким лучом, при необходимости сканирующим.

Для понимания сути работы гидролокатора следует рассмотреть основные отличия принципов его функционирования от всем известного радиолокатора.

Радиолокатор посылает к цели радиоимпульс. Длительность импульса составляет единицы микросекунда. Этот импульс достигает цели, отражается от нее. Приемная система радиолокатора, запертая во время излучения, теперь открывается и принимает отраженный сигнал, регистрируется направление прихода, рассчитывается до цели и её скорость.

Каждый следующий импульс посылается позже приема отражения предыдущего.

В гидролокации такой алгоритм не возможен т.к. путешествие импульса до цели и обратно может занять десятки секунд.

Это приведет к необходимости:

- работать сериями импульсов без связи момента посылки с моментом прихода.
- ввести идентификатор импульсов: в каждый момент система должна знать, какой (по номеру) импульс в излученной серии принял приемник.

Алгоритм определения координат по гидроакустическому каналу включает в себя следующие шаги.

После формирования и обработки сигнала охотник посылает в предполагаемом направлении цели непрерывную последовательность гидроакустических импульсов с высокочастотным заполнением. Импульсный характер необходим для создания возможности определения дальности.

Частота заполнения импульсов составляет от 10 до 20 кГц, что определяется необходимостью создания узких (до 1 градуса) лучей.

Длительность импульса составляет около 10,0имп/с, это позволяет обновлять данные о координатах цели с точностью до 3 м. Заполнение каждого импульса изменяется по частоте, по индивидуальному закону, что позволяет определить охотнику, что за импульс принят, даже в условиях доплеровского смещения.

Узкий луч формируется ФАР, причем на начальном этапе захвата цели луч может быть шире. Далее суживание луча обеспечивает лучшие условия работы приемника. На время между импульсами антенна ФАР работает на прием.

Исходя из дальности до цели, ширина луча, площади отражения от цели, характеристик водной среды, экспертной оценки необходимой мощности в луче является величина порядка 500кВт. Если будут использованы приемники более чувствительные, чем сейчас, эта величина уменьшится. Естественно, если цель крупнее, ближе, то мощность может снижаться в десятки, сотни и тысячи раз. 500 кВт – предельная величина. Создание излучающей системы такой мощности сейчас не представляет технических проблем.

Такой подход дает возможность:

- точно определять расстояния до цели
- обеспечить работу программируемого адаптивного предсказателя.

3. Разработка структурно-функциональной схемы устройства.

Разработана структурно-функциональная схема гидроакустического канала наведения высокоточного орудия.

В современных системах, использующих активную дальнюю гидролокацию, алгоритмы функционирования достаточно хорошо отработаны. Тем не менее, нельзя не отметить решаемые нами задачи и их особенности:

- Во-первых, проектируемая система должна быть способна определить координаты весьма малоразмерных целей (эквивалентный радиус корабля порядка 5-10 метров).

- Во-вторых, эти цели могут быть весьма быстроходные, до 20..30 м/с и более. Основное расстояние активного взаимодействия с целью изменяется от критически малого (600...800м), при котором ничто не может гарантировать сохранность нашего корабля в условиях противодействия противника, до запредельных (10 км и более), когда не только артиллерийский огонь ствольной артиллерии калибра 57 мм становится малоэффективным даже при хорошем наведении, но и весь спектр средств определения направления стрельбы уже не дает результата, обеспечивающего гарантированное попадание.

Отметим ряд технических решений:

ГАС должна быть активной. Пассивные станции не обеспечивают достоверного определения координат малошумных быстродвижущихся целей, а также целей, применяющих постановку активных целей.

По целому ряду причин должен применяться импульсный режим гидролокации:

- Во-первых, потому что одновременно с излучающим трактом работает приемный тракт и на время излучения зондирующего импульса его нужно запереть.

- Во-вторых, в связи с длительным (до 13..14 секунд) временем путешествия импульса до цели и обратно требуется четкая временная идентификация зондирующего сигнала, что проще реализовать в импульсном режиме, когда каждый импульс в посылке идентифицируем.

- И передающий, и приемный тракт должны строиться по принципу ФАР для обеспечения эффективного наведения диаграмм направленности антенн на цель.

В структурную схему устройства системы наведения гидроакустического канала входят:

- Усилитель акустического сигнала
- Фильтр низких частот
- Гидроакустическая антенна
- Приёмный тракт
- Адаптивный предсказатель

Используется усилитель класса D, который имеет высокий КПД. Коэффициент полезного действия усилителей класса D высок и при работе на реактивную нагрузку он падает незначительно. Более того, выделяемые при этом мощности, не связанные с излучением сигнала, оказываются невелики. Поэтому выбор проводится в сторону усилителей с импульсным преобразованием.

Так как ключевой усилитель имеет на выходе сигнал в виде импульсной последовательности, то преобразование его в исходный усиленный сигнал, т.е. на выходе усилителя должен быть расположен фильтр нижних частот, состоящий из последовательного дросселя и параллельного нагрузке конденсатора.

Поскольку система наведения ГАК, это локационная система, формирующая узкий направляемый и сканирующий луч, то сразу становится ясно, что требуется фазированная гидроакустическая антенная решетка. Также можно формировать узкий луч по другому принципу: можно то, что формирует единичный излучатель, поместить перед линзой, сфокусировать, направить этот поток на акустическое зеркало и это зеркало сделать подвижным.

Работа предсказателя местоположения цели (описание алгоритма функционирования которого выходит за рамки дипломной работы) заключается в том, что, получив массив откликов от цели (координата,

скорость), предсказатель должен, изучив статистику движения цели, предсказать и место положения, и скорость на десятки секунд вперед.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ю.А. Корякин, С.А. Смирнов, Г.В. Яковлев. Корабельная гидроакустическая техника. Состояние и актуальные проблемы. – СПб.: Наука. – 2004. стр. 92-152.
2. Сборник трудов Первой научно-практической конференции молодых специалистов интегрированной структуры АО «Концерн «Океанприбор» «ИСТОК-2016». – СПб. : Изд-во АО «Концерн «Океанприбор», 2016. – 348 с.
3. Datasheet. LMG5200 80-V, 10-A GaN Half-Bridge Power Stage. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. – URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmg5200.pdf>
4. Datasheet. Сердечники из материала МРР, Молибден-пермаллоя. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. –

- URL:http://www.coretech.com.ua/docs/coretech_MPP_cores_%5B2012%5D.pdf
5. Datasheet. B64290L0082. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. –
URL:http://ferrite.ru/warehouse/index.php?dispatch=attachments.getfile&attachment_id=35915
 6. Datasheet. SIFERRIT material N87. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. –
URL:<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/325617/EPCOS/N87.html>
 7. Datasheet. M-014. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. – URL:<http://ferrite.ru/uploads/pdf/products/magnetec/m-014.pdf>
 8. Datasheet. NANOPERMCores. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. –
URL:<http://www.feryster.pl/polski/nanoperm.php?lang=en>
 9. Акустическая безопасность [Комплект] : учеб. пособие / под ред. В.Н. Павлова ; Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ". – СПб. :Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2004. – 24 с.
 10. ГОСТ ИЕС 61140-2012. Защита от поражения электрическим током. Общие положения для электроустановок и электрооборудования. М.: Стандартинформ, 2014.