

РАЗВИТИЕ АППАРАТУРЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ПЕРИОД С 1950 ПО 2005 ГОДЫ

Казаков М.Н. Email: Kazakov1162@scientifictext.ru

Казаков Михаил Наумович – инженер, пенсионер,
г. Санкт–Петербург

Аннотация: в статье анализируется структура последовательно разрабатывавшихся станции и трактов обнаружения гидроакустических сигналов. Выявлены следующие основные этапы развития этих средств: создание первой специализированной станции обнаружения гидроакустических сигналов, использование схемы ШОУ (широкая полоса – ограничитель – узкая полоса) для обнаружения сигналов, разработка пеленгатора с автоматической регулировкой усиления в широком динамическом диапазоне, создание точного пеленгатора с автоматическим сопровождением целей, введение электронной вычислительной машины в состав трактов, позволившее увеличить число измеряемых параметров сигналов, повысить точность измерения, осуществить группировку сигналов по целям и увеличить зону обзора. Проведенный анализ определил задачи, которые должны решаться аппаратурой обнаружения гидроакустических сигналов.

Ключевые слова: гидроакустические сигналы, обнаружение сигналов, пеленгование, измерение параметров, автоматическое сопровождение.

DEVELOPMENT OF SONAR DETECTION EQUIPMENT FROM 1950 TO 2005

Kazakov M.N.

Kazakov Mikhail Naumovich - Engineer, Retired,
ST. PETERSBURG

Abstract: the article analyzes the structure of successive stations and paths for detecting hydroacoustic signals. The following main stages of development of these means are revealed: creation of the first specialized station of detection of hydroacoustic signals, use of the SHAW scheme (wide band-limiter – narrow band) for the detection of signals, the development of direction finder with automatic gain control in a wide dynamic range, the creation of an accurate direction finder with automatic tracking of targets, the introduction of an electronic computer in the tracts, which allowed to increase the number of measured parameters of signals, improve the accuracy of measurement, to carry out grouping of signals on the purposes and increase the viewing area. The analysis determined the tasks to be solved by the sonar signal detection equipment.

Keywords: hydroacoustic signals, detection of signals, direction finding, measurement parameters, automatic tracking.

УДК 623.983

Задача обнаружения сигналов активных гидроакустических средств (прежде всего сигналов гидролокаторов) первоначально возлагалась на станции шумопеленгования (ШП) [1]. Однако станции ШП не могли обеспечить выполнение этой задачи. Причины следующие:

Частотный диапазон активных средств значительно шире частотного диапазона станций ШП;

Динамический диапазон шумовых сигналов заканчивается там, где начинается динамический диапазон принимаемых сигналов активных средств;

Время осреднения принимаемых входных процессов (время накопление энергии) в станциях ШП во много раз превышает длительность сигналов гидролокаторов и других активных средств.

Гидроакустическая станция «Свет»

Первой специализированной станцией обнаружения гидроакустических сигналов (станцией ОГС) стала станция «Свет» (в серийном исполнении МГ-13). Станции ОГС иногда называют станциями перехвата (перехвата излучений) по аналогии со станциями радиоперехвата. Станция «Свет» была разработана, как и все разработки, рассматриваемые в данной статье, в научно-исследовательском институте, который позднее стал называться ЦНИИ «Морфизприбор». В настоящее время этот институт входит в состав объединения АО «Концерн «Океанприбор»[2].

Сотрудник ЦНИИ «Морфизприбор» С.М. Шелехов [3] разработал структуру станции «Свет», на которую он получил авторское свидетельство на изобретение. Станция измеряла 2 параметра: курсовой угол (КУ) на источник сигналов и частоту сигналов. Измерение КУ (режим КУ) производился по схеме, показанной на рис.1. Приём сигналов осуществлялся акустической антенной, состоящей из 4 магнитоотрицательных приёмников, формировавших в горизонтальной плоскости характеристики направленности (ХН), оси которых были расположены под углами $0^\circ, \pm 90^\circ, 180^\circ$ к диаметральной плоскости (ДП) корабля. Каждый приёмник представлял собой, установленную вертикально,

тонкостенную никелевую трубку, внутри которой помещалась магнитная система с обмоткой. С тыльной стороны приёмники были экранированы. Экран был мягким (пористая резина). Поэтому ХН в горизонтальной плоскости имела форму окружности [4], а зависимость ХН от угла прихода сигнала α , который отсчитывался от оси ХН, равнялась $\cos \alpha$. Усиленные (коэффициент усиления устанавливался оператором) и детектированные сигналы (блок УС + Дет), принятые приёмниками антенны, подавались на 4 отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Поскольку ХН пересекались, сигнал в общем случае действовал в двух соседних каналах. Смещение луча в направлении одной пластины ЭЛТ равнялось $a \cdot \cos \alpha$, где a - чувствительность пространственного канала по выходу на индикатор. В направлении другой пластины смещение было равно $a \cdot \cos (90^\circ - \alpha) = a \cdot \sin \alpha$. Геометрическая сумма смещений равнялась a (независимо от угла α). Угол поворота луча на экране был равен $\alpha_{\text{элт}} = \arcsin(a \cdot (\sin \alpha) / a) = \alpha$. То есть этот угол совпадал с направлением прихода сигнала и был равен КУ. Для измерения частоты сигналов (режим ИЧ) к каналу, в котором сигнал наибольший, подключалась гребёнка из 4 фильтров, имевших косинусную частотную характеристику. Вместо пространственных каналов к пластинам ЭЛТ подключались выходы фильтров. Угол поворота луча зависел от частоты сигнала. Частота считывалась оператором с круговой шкалы частот. Необходимость регулировки усиления была вызвана ограниченностью динамического диапазона индикаторного устройства.

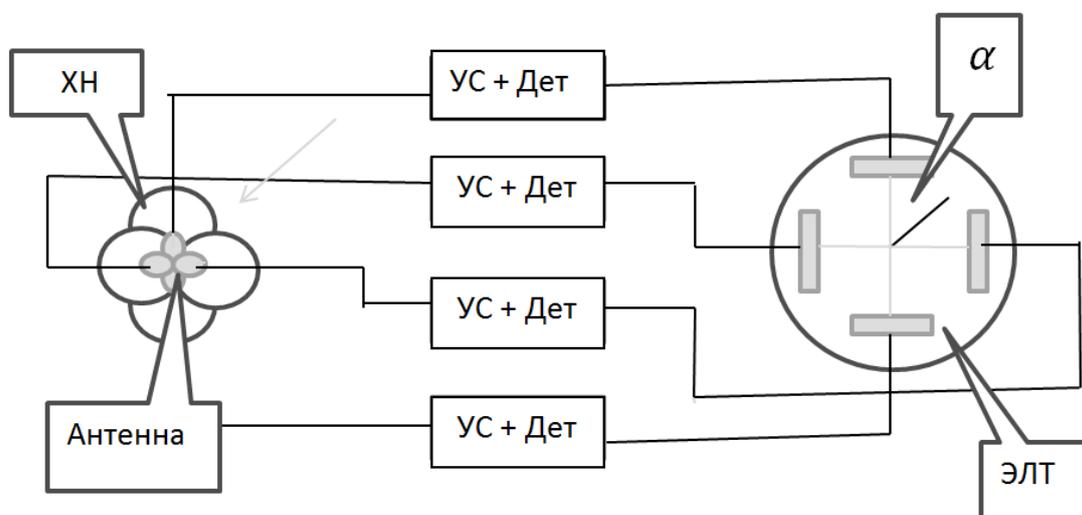


Рис. 1. Структурная схема режима КУ

Станция «Свет» устанавливалась на дизельных подводных лодках. Антенна станции размещалась в обтекателе на верхней палубе в носовой оконечности ПЛ над антенной станцией гидроакустической связи «Свяга» [6].

С началом разработки гидроакустических комплексов (ГАК, комплексов станций) аппаратура ОГС стала входить в их состав в качестве одной из подсистем (одного из режимов) комплекса.

ГАК «Рубин»

Разработка ГАК «Рубин» началась в 1958 году. Главным конструктором был директор института Н.Н. Свиридов [7]. Инженерной разработкой комплекса руководил заместитель главного конструктора С.М. Шелехов. Ответственным разработчиком режима ОГС был И.М. Стрелков [9].

По сравнению со станцией «Свет-М» в режиме ОГС ГАК «Рубин» было увеличено число пространственных каналов (с 4 до 20), расширен рабочий частотный диапазон. Частотный диапазон был разбит на два диапазона. В качестве антенны для приёма сигналов в первом (низкочастотном) диапазоне использовался специальный (нижний) пояс преобразователей главной антенны комплекса. Для приёма сигналов во втором диапазоне была разработана высокочастотная антенна. Направление на источник сигналов определялось по максимальному напряжению в пространственных каналах (максимальный метод пеленгования [10]). Был применён новый метод формирования ХН (метод некомпенсированных дуг окружности), обеспечивающий стабилизацию раствора ХН в широком диапазоне частот [11]. Для формирования 20 ХН антенна ОГС разбивалась на 15-градусные сектора, в пределах которых сигналы акустических приёмников суммировались. Таких секторов было 21 (кормовые сектора не использовались, так как были затенены). ХН каждого из 20 каналов формировалась суммированием сигналов двух соседних секторов. Для измерения частоты сигналов и измерения их уровня потребовался ненаправленный канал, для создания которого суммировались сигналы всех секторов. Для приёма сигналов с кормовых направлений (для обеспечения кругового обзора) были установлены специальные антенны. Для вывода на экран сигналов пространственных каналов, которых стало несколько десятков, было использовано изобретение А.Д. Яковлева. Сигнал от каждого канала проецировался на оси X и Y

прямоугольной системы координат. Ось У совпадала с ДП ПЛ. При проецировании в качестве угла использовалось угловое положение ХН канала в пространстве. В результате создавались две составляющие сигнала (синусная и косинусная), которые подавались на пластины ЭЛТ, охватывающие направление на сигнал. В результате сигнал на экране отклонялся в направлении оси ХН, указывая направление прихода сигнала с точностью до полуширины ХН. К каждой пластине ЭЛТ подключалось по 10 составляющих. Для исключения взаимного влияния, составляющие подключались к пластинам через развязывающие диоды.

С.М. Шелехов настаивал на создании автоматической регулировки усиления (АРУ) в пространственных каналах. Однако этого сделать не удалось, так как не был найден элемент регулировки, обеспечивающий одинаковое усиление в пространственных каналах в широком динамическом диапазоне. Регулировка усиления в пространственных каналах осталась ручной.

Способ измерения частоты был существенно переработан. Для измерения частоты сигналов в каждом диапазоне была применена схема ШОУ (широкая полоса – ограничитель – гребёнка узкополосных фильтров). На вход схемы ШОУ подавался сигнал с ненаправленного канала. Это исключило необходимость переключения входа гребёнки. Ограничитель нормировал уровень сигнала, поэтому отпадала необходимость в регулировке усиления. Число фильтров гребенки равной относительной ширины было равным 20. Сигналы с фильтров в режиме ИЧ выводились на экран ЭЛТ так же, как пространственные каналы в режиме КУ. Частота считывалась оператором с круговой шкалы.

В состав аппаратуры был включён измеритель уровня сигнала, подключенный к ненаправленному каналу. Измеритель уровня представлял собой усилитель с отводами, соответствующими разным коэффициентам усиления. К отводам были подключены пороговые схемы. По числу сработавших пороговых схем определялся уровень сигнала, что облегчало регулировку усиления в режиме КУ и позволяло оценивать расстояние до цели.

В ходе разработки комплекса заказчики из института радиоэлектроники военно-морского флота (НИИ РЭ ВМФ) потребовали автоматизировать процесс обнаружения сигналов. Нужно было освободить операторов комплекса от необходимости непрерывного наблюдения за экраном индикатора подсистемы ОГС [1]. Это требование было выполнено: к выходам пространственных каналов двух диапазонов были подключены пороговые схемы на тиратронах. Торцы тиратронов были выведены на лицевую панель одного из блоков пульта. При приходе сигнала срабатывала пороговая схема, и поджигался тиратрон, сигнализирующий об обнаружении сигнала. Рядом с тиратронами была шкала курсовых углов, по которой определялось направление, с которого пришёл сигнал, то есть определялся КУ на цель.

Для проведения испытаний опытный образец комплекса «Рубин» в 1965 году во Владивостоке на «Дальзаводе» был установлен на дизельную ПЛ проекта 611, специально переоборудованную для этого [1]. Первый же выход в море показал, что частота ложных срабатываний при автоматическом обнаружении сигналов с использованием пространственных каналов во много раз превышает допустимое значение. Это было связано с тем, что реальные акустические помехи существенно отличаются от гауссовых помех, которые использовались в качестве модели при проектировании аппаратуры. В реальных помехах наряду с гауссовыми помехами существуют шумовые и тональные импульсы (выбросы), которые широкополосный линейный усилительный тракт без ослабления передаёт на пороговые схемы. На выходах же узкополосных фильтров схем ШОУ выбросы, благодаря ограничению и последующей узкополосной фильтрации, значительно ослаблены. Стало ясно, что обнаружение сигналов – это самостоятельная задача, которая должна предшествовать измерению параметров сигналов. При этом для обнаружения сигналов нужно вместо пространственных каналов следует использовать схемы ШОУ. Использование схем ШОУ в гидроакустике было предложено И.Г. Астровым [7]. Первоначально именно эти схемы использовались для подавления импульсных помех (в радиосвязи) [12], [13]. Комплекс «Рубин» находился на стадии испытаний, поэтому доработку аппаратуры для использования схем ШОУ при обнаружении сигналов реализовать не удалось.

ГАК «Рубин» был установлен на ПЛ проектов 661 и 671 [5], [14]. Для обеспечения автоматического обнаружения сигналов в реальных условиях пришлось доработать инструкцию по эксплуатации (ИЭ). Ранее в ИЭ указывалось: «Установить усиление таким, чтобы уровень помех в центре экрана был 2-3 мм». По результатам испытаний пришлось добавить: «и после этого уменьшить усиление на 30 дБ», тем самым увеличив соответственно пороговое отношение сигнал/помеха, и сократив зону обзора. Во всех последующих разработках аппаратуры ОГС для автоматического обнаружения сигналов использовались схемы ШОУ [23].

ГАК «Рубикон»

Главным конструктором ГАК «Рубикон» был назначен С.М. Шелехов. Руководителем разработки подсистемы ОГС на этапе технического проекта был Б.В. Николаев, на дальнейших этапах - А.Г. Монастырский.

Б.В. Николаев предложил для создания АРУ в пространственных каналах пеленгатора в качестве элемента регулировки использовать усилитель – ограничитель, одно из своих изобретений. Этот способ регулировки состоит в следующем:

- на вход усилителя – ограничителя наряду с полезным сигналом подаётся управляющий сигнал;
- частота управляющего сигнала выбирается выше верхней частоты диапазона. На выходе усилителя – ограничителя управляющий сигнал отфильтровывается;
- уровень управляющего сигнала исходно устанавливается не менее, чем втрое большим уровня полезного сигнала. В этом случае при дальнейшем увеличении уровня управляющего сигнала, уровень полезного сигнала уменьшается обратно пропорционально уровню управляющего.

Структурная схема аппаратуры ОГС ГАК «Рубикон» одного диапазона, содержащая обнаружитель сигналов на схеме ШОУ и АРУ в пространственных каналах, показана на рис. 2 (на рисунке перечёркнутыми линиями обозначены гнуты проводов).

ХН каждого из пространственных каналов формировались в антенне путем суммирования сигналов с элементов антенны в секторе углов. Эти сигналы поступали на трансформаторы, стоящие на входах предварительных усилителей. Трансформаторы имели две вторичные обмотки, одни из них использовались для формирования пространственных каналов, все другие соединялись последовательно, формируя ненаправленный канал. Каждый пространственный канал содержал последовательно соединённые предварительный усилитель (ПУ), полосовой диапазонный фильтр (ПФ), усилитель – ограничитель (УО) с двумя входами (один для входного сигнала, второй для управляющего сигнала), фильтр нижних частот (ФНЧ) для удаления управляющего сигнала, детектор (Д). С детекторов сигналы поступали на устройство отображения. Сигналы ненаправленного канала подавались на схему ШОУ, в которую входили узлы ПФ, УО, узкополосные фильтры ф. Выходы фильтров ф подключались к пороговому устройству. Вход управляющего устройства АРУ (Упр. АРУ) был подключён к ненаправленному каналу (к фильтру ПФ схемы ШОУ), выход – к управляющим входам УО пространственных каналов. Управляющий сигнал, подаваемый в УО – это тот же самый входной сигнал, только перенесенный на более высокую частоту (узел Упр. АРУ содержал преобразователь частоты) и больше его по уровню.

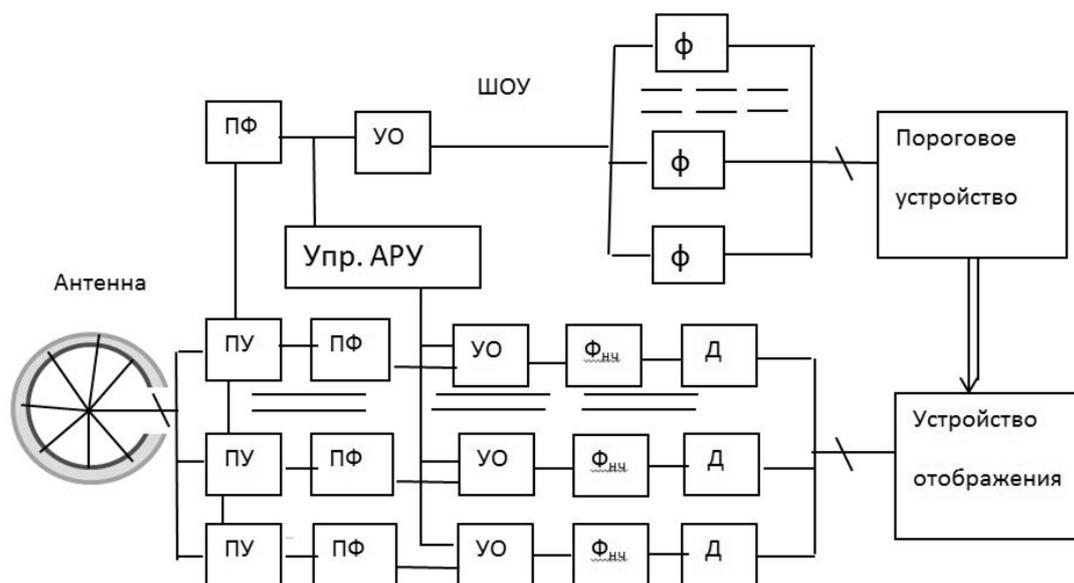


Рис. 2. Структурная схема аппаратуры ОГС ГАК «Рубикон»

Поскольку коэффициент усиления УО обратно пропорционален управляющему сигналу, то есть входному сигналу, при изменении входного сигнала напряжение на выходе пространственного канала остается неизменным. Точное соблюдение закона обратной пропорциональности коэффициента усиления УО управляющему напряжению, позволило построить АРУ по схеме «АРУ вперед», в ней отсутствует обратная связь, что обеспечивает устойчивость системы. В качестве устройства отображения использовался потенциалоскоп с видимым изображением. По команде с порогового устройства, вызванной срабатыванием схемы ШОУ (сигнал в одном из фильтров ф превысил порог) на потенциалоскопе запоминался сигнал. По углу отклонения луча на экране определялся КУ, по номеру фильтра ф с максимальным сигналом определялась частота. Число пространственных каналов в каждом диапазоне было 6, число узкополосных фильтров гребёнки 12. При макетировании схемы АРУ в период разработки ГАК «Скат» обнаружилось, что при нормальных (гауссовых) шумах на входах каналов

пиковые значения шумов на выходах каналов значительно выше значений, соответствующих нормальным шумам. Причиной этого явления была в модуляции входного шума колебаниями коэффициента усиления каналов, вызванными шумами управляющего напряжения. Стало ясно, что управляющее напряжение должно быть сглажено путем детектирования и осреднения. Сложность состояла в том, что обычный диодный детектор из-за нелинейности на слабых сигналах имеет малый динамический диапазон. Один из основных разработчиков усилительных устройств Г.А. Цвейман предложил использовать в качестве детектора модулятор, в котором сигнал подавался и на сигнальный и на модулирующий вход. Так был создан детектор, имевший широкий динамический диапазон (малосигнальный детектор). К выходу этого детектора была подключена сглаживающая RC-цепочка, постоянная времени которой была равна двум периодам нижней частоты диапазона. Эти элементы (детектор и RC-цепочка) были установлены на входе Упр. АРУ. Теперь на сигнальный вход преобразователя частоты узла Упр. АРУ подавался сглаженный сигнал, что устраняло колебания управляющего напряжения и стабилизировало коэффициенты усиления. Из-за введенной инерционности в цепь управления АРУ несколько первых периодов импульсного сигнала пропускали на выход неотрегулированными. Для их подавления к выходам пространственных каналов подключались подаватели коротких сигналов (последовательно соединенные диод и конденсатор). Доработанная схема АРУ использовалась во всех последующих разработках института до пор, пока аппаратура была дискретно-аналоговой.

Начиная с ГАК «Скат», автоматически определялось численное значение КУ. Для этого использовался компаратор (устройство сравнения измеренных величин). На инвертирующий вход компаратора подавались через диодные развязки, ослабленные на 1дБ, сигналы с выходов всех пространственных каналов одновременно. На неинвертирующий вход сигналы с выходов пространственных каналов подавались поочередно. По «единице» на выходе компаратора определялся канал с максимальным сигналом. Номер этого канала являлся кодом КУ.

ГАК «Рубикон» устанавливался на дизельных и атомных ПЛ, в том числе поставляемых на экспорт [5]. Серийно выпускаемый комплекс имел шифр МГК-400.

ГАК «Скат»

В 1968 году началась разработка ГАК «Скат». Главным конструктором стал директор института В.В. Громковский [7,24]. Инженерной разработкой ГАК руководил заместитель главного конструктора А.И. Паперно [7]. Ответственным разработчиком подсистемы ОГС ГАК «Скат» и его модификаций был М.Н. Казаков.

Станция «Свет-М» и ГАК «Рубин» работали на радиолампах. В ГАК «Рубикон» использовались бескорпусные полупроводники. К моменту начала разработки ГАК «Скат» институтом были освоены для применения в своих изделиях система интегральных микросхем «Посол». Был выпущен альбом типовых схем на этих микросхемах. Микросхемы имели конструктивный недостаток, состоящий в том, что их выводы были перпендикулярны плоскости корпуса микросхемы. Это были штыри, которые проходили сквозь печатную плату, что не позволяло монтировать микросхемы с двух сторон платы. В это время нашей промышленностью начали выпускаться микросхемы системы «Логика». Выводы этих микросхем были в плоскости корпуса микросхемы, что позволяло производить двухсторонний монтаж печатных плат и вдвое сокращало объем электронной аппаратуры. Кроме того микросхемы системы «Логика» изготавливались по перспективной (планарной) технологии. Однако, институтские разработчики электронных приборов не считали возможным использовать микросхемы «Логика», не проведя моделирование типовых узлов с выпуском альбома типовых схем продолжительностью не менее года. К этому моменту стало известно, что микросхемы «Логика» используются в научно – исследовательском институте, который позднее получил наименование ЦНИИ «Гранит». Отдел подготовки кадров ЦНИИ «Морфизприбор» обратился к руководству ЦНИИ «Гранит» с просьбой оказать содействие в освоении микросхем «Логика». ЦНИИ «Гранит» с готовностью откликнулся на эту просьбу. Был выделен опытный специалист по микросхемам этого типа Ю.Я. Берсон. Он

прочитал три лекции. Первая лекция состоялась в зале научно – технического совета (зале НТС) вместимостью примерно 80 человек. Вторая лекция была через неделю. Когда автор этих строк, встретив Ю.Я. Берсона, подошел с ним к залу НТС, в зал было не войти. Зал был полон, люди толпились в коридоре. Пришлось переместить всех в Актовый зал. Третья лекция состоялась так же в Актовом зале, полностью заполненном. Лектор ответил на все вопросы институтских разработчиков. В частности, прояснил вопрос, как осуществить развязку нулевых проводов цифровых блоков. Этому вопросу в институте не находили решения. После прочитанных лекций выступающих против внедрения системы «Логика» уже не осталось, началось её использование.

В начале семидесятых годов в НИИ РЭ ВМФ [1] была создана лаборатория ОГС. Сотрудники лаборатории Н.Н. Ступиченко, А.И. Симонов, В.Н. Березин, Г.В. Зеленоборская, Г.Н. Кореляков, позднее В.Д. Мелентьев участвовали в разработке и испытаниях аппаратуры ОГС. Трое из них защитили кандидатские диссертации по тематике ОГС: по вопросам искажения временных параметров

импульсных сигналов при распространении в водной среде (Н.Н. Ступиченко) и классификации целей по излучаемым ими сигналам (А.И. Симонов, В.Д. Мелентьев). НИИ РЭ ВМФ заключил договор с ЛЭТИ (ныне Электротехнический университет (ЛЭТИ)) на разработку и изготовление прибора для измерения параметров импульсных сигналов, используемых активными гидроакустическими средствами. Работу возглавил преподаватель ЛЭТИ П.П. Азбелев. Работа была успешно завершена. Было показано, что такие параметры импульсных сигналов, как: несущая частота, девиация частоты, длительность, интервал следования, уровень сигналов, могут измеряться с высокими точностями (авторское свидетельство на изобретение № 106498 от 21.07.1975 года, автор П.П. Азбелев и др.). Требования по измерению этих параметров были НИИ РЭ ВМФ включены в тактико-техническое задание, выданное в ЦНИИ «Морфизприбор» на разработку ГАК «Скат». Эти требования сотрудниками лаборатории ОГС ЦНИИ «Морфизприбор» в виде задания на разработку были переданы в лабораторию прединдикаторной обработки сигналов. Начальник лаборатории И.К. Лобанова [8], ознакомившись с заданием, пришла к выводу, что, используя дискретно-аналоговые электроэлементы, требования задания не выполнить, необходим переход на программируемые цифровые электронные вычислительные машины (ЭВМ). И.К. Лобанова инициативно передала задание А.Л. Иофе [7], лаборатория которого тоже не разрабатывала ЭВМ, однако А.Л. Иофа взялся за эту работу, понимая её перспективность. В лаборатории была создана группа из молодых инженеров во главе с Ю.А. Глебовым. Эта группа за несколько месяцев спроектировала ЭВМ, которая была включена в подсистему ОГС для измерения параметров обнаруженных сигналов. Использование ЭВМ позволило осуществить также группировку сигналов по целям. Оператору представлялись уже не параметры отдельных сигналов, а параметры обнаруженных целей. Так, именно для решения задач подсистемы ОГС впервые в ГАК была встроена ЭВМ. Такие же ЭВМ были включены и в другие подсистемы комплекса. В некоторых из них они выполняли символическую роль (например, использовались для оцифровки визиров).

На одном из заседаний НТС института рассматривался ход работ по ГАК «Скат» с участием заказчиков из НИИ РЭ ВМФ. Собравшимся было сообщено, что ЦНИИ «Морфизприбор» разработал ЭВМ, которая включена во все подсистемы комплекса. Один из заказчиков (сейчас не удаётся вспомнить его фамилию) в своём выступлении сказал что, институт самостоятельно не сможет создать ЭВМ (самостоятельно разработать системное математическое обеспечение) и, кроме того, три ЭВМ рекомендованы для использования на предприятиях Министерства судостроительной промышленности. Он назвал их: «Арфа», «Атака» и «Карат» (первые две ЭВМ разработки московского ЦНИИ «Агат», третья ЭВМ разработки Киевского института радиоэлектроники – КНИИ РЭ). После этого сообщения В.В. Громковский, который вёл заседание, объявил перерыв. Вернувшись после перерыва, он сообщил, что связался с директором КНИИ РЭ и что КНИИ РЭ готов поставлять ЦНИИ «Морфизприбор» ЭВМ «Карат» в необходимых количествах. Это в дальнейшем полностью подтвердилось. Всего в комплекс вошли 4 ЭВМ «Карат». Одна использовалась для подсистем ОГС, ШП и гидролокации, две использовались в подсистеме низкочастотного ШП и одна в подсистеме классификации [5].

Таким образом, отпала необходимость в разработке ЭВМ. Однако требовалась разработать устройства сопряжения ЭВМ «Карат» с аппаратурой ГАК. Претендентами на разработку этого устройства выступили две лаборатории: лаборатория А.Л. Иофы и лаборатория В.К. Кадацкого, ранее разрабатывавшая системы автоматического управления (САУ). Для решения вопроса о том, кому поручить разработку, была создана комиссия. Однако она не могла придти к какому-либо решению. Главный инженер института Р.Х. Бальян [8] собрал совещание по этому вопросу. Первым докладывал В.К. Кадацкий, демонстрируя схему предлагаемого устройства на огромном плакате. От лаборатории А.Л. Иофы выступил Ю.А. Глебов, который на скромном плакате представил структурную схему устройства сопряжения. После Ю.А. Глебова выступил автор данной статьи и обратил внимание собравшихся на то, что структура Ю.А. Глебова совершенно прозрачна и в ней используются уже разработанные типовые модули на микросхемах «Логика». Это возымело действие на членов комиссии, и они проголосовали за устройство сопряжения А.Л. Иофы - Ю.А. Глебова. ЭВМ «Карат» непрерывно совершенствовалась и использовалась во всех разработках института вплоть до того момента, когда на смену ей пришло новое поколение ЭВМ. Всё это время данное направление работ вела лаборатория А.Л. Иофы. Первым программистом функциональных задач ОГС был Ю.А. Лукашенко, бывший аппаратчик. Постоянная память (ПЗУ) ЭВМ «Карат» была на магнитных сердечниках. В условиях стенда задачи ПЗУ для отладки переносились в оперативную память (ОЗУ), специально для этого изготовленную, размещённую на стеллажах высотой 2 м и длиной близкой к 10 м и находившуюся в специальном вентилируемом помещении. После отладки программ производилась прошивка ПЗУ, причем не символическая, как в настоящее время, а буквальная. При выявлении ошибок в программах в период испытаний необходимость перепрошивки ПЗУ, вызывала задержку в их устранении. Уровень программирования в институте существенно возрос после того, как в него влилась большая группа специалистов по программированию из ЦКБ «Полус» во главе с Л.Е. Фёдоровым [9],[5].

В период 1965 – 1967 годы в ЦНИИ «Морфизприбор» успешно была проведена научно – исследовательская работа (НИР) «Александрит» [5]. Научным руководителем НИР был И.М. Стрелков, организатором испытаний - Л.В. Павлов. В работе было показано, что точность пеленгования сигналов аппаратурой ОГС может быть существенно повышена путём использования фазо-амплитудного метода пеленгования [10]. В результате в состав аппаратуры ОГС ГАК «Скат» вошёл точный пеленгатор (ТП, авторское свидетельство на изобретение № 79982 от 23.08.1972 года, автор М.Н. Казаков и др.). Пеленгатор, работающий по максимальному сигналу, стал называться грубым пеленгатором (ГП). Структурная схема ТП показана на рис. 3.

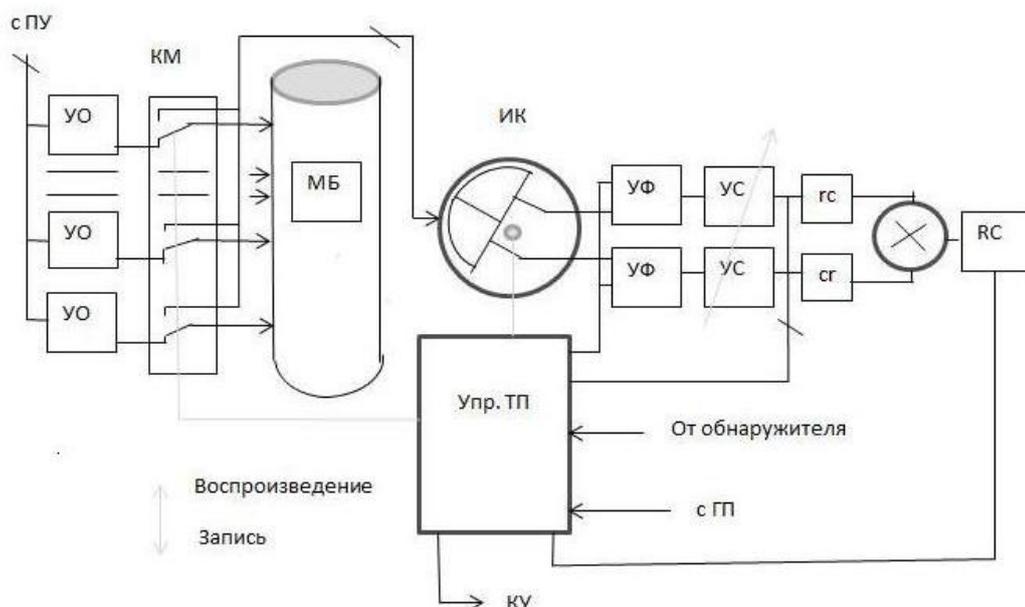


Рис. 3. Структурная схема ТП

В ТП используется цилиндрическая антенна, каждый элемент которой подключался к своему ПУ. С ПУ входные сигналы поступали на усилители-ограничители (УО). С выходов УО сигналы через коммутатор запись-воспроизведение (КМ) поступали на универсальные головки магнитного барабана (МБ) и записывались на МБ. МБ вращается с постоянной скоростью. При срабатывании обнаружителя сигналов головки МБ с задержкой, равной половине периода оборота барабана, переключались в режим воспроизведения. На МБ оказывался записанным обнаруженный сигнал. С магнитных головок, работающих в режиме воспроизведения, сигнал, периодически считываемый с поверхности барабана, поступал на статорные ламели индукционного компенсатора (ИК). Число статорных ламелей было равно числу элементов антенны. Число роторных ламелей было равно трети от числа статорных, то есть дуга окружности, используемая для формирования, равнялась 120° . Роторные ламели, разделенные на две группы, были подключены к двум линиям задержки (ЛЗ), размещенным в роторе ИК. ЛЗ формировали две ХН оси, которых были параллельны и направлены по нормали к хорде дуги, используемой для формирования ХН. Выходы ЛЗ были подключены к входам двухканального усилителя. Каждый канал содержал набор узкополосных фильтров (УФ) и регулируемый усилитель (УС). В один из каналов была включена гс-цепочка. В другой канал сг-цепочка, благодаря чему фазы сигналов в каналах независимо от частоты сигналов были сдвинуты относительно друг друга на 90° . Выходные сигналы каналов перемножались (для этого использовался модулятор). На выходе модулятора формировалась пеленгационная ХН. В первом приближении её можно представить в виде одного периода синусоиды в секторе углов от -180° до 180° . Нулевое значение пеленгационной ХН соответствовало повороту ротора на направление прихода сигнала. Выходной сигнал модулятора через RC-цепочку и управляющее устройство ТП (Упр. ТП) подавался на управляющую обмотку реверсивного двигателя ИК, который поворачивал ротор в направлении нуля ХН и фиксировал ротор в этом положении. Сектор углов (зона захвата), в котором мог осуществляться этот режим (режим точного пеленгования), был равен угловому расстоянию между отрицательным и положительным максимумом пеленгационной ХН. Эта зона значительно меньше, чем ошибка при грубом пеленговании. Поэтому наведение ТП осуществлялось в два этапа: сначала грубо по данным ГП, а затем точно с использованием суммарной ХН, формируемой путём суммирования сигналов с выходов регулируемых усилителей двухканального усилителя. Регулировка усиления каналов производится автоматически в период наведения. Включаемый при пеленговании узкополосный фильтр (УФ) соответствовал частоте обнаруженного сигнала. Интегрирующая цепочка (RC-цепочка) на выходе модулятора обеспечивала непрерывное движение ИК и

в том случае, когда сигнал занимал не всю длину дорожек барабана. Коэффициент усиления каналов при точном пеленговании был обратно пропорционален частоте сигнала, что обеспечивало постоянство крутизны пеленгационной ХН и придавало устойчивость процессу пеленгования. Управление движением ИК было цифровым, для этого использовался преобразователь вал-код, установленный на оси ИК. Продолжительность собственно точного пеленгования равнялась примерно длительности 5 оборотов барабана. После чего брался отсчёт с преобразователя вал-код, то есть определялось точное значение КУ на цель, которое передавалось в ЭВМ. После этого МБ возвращался в режим записи для приёма следующего сигнала. Все процессы управления ТП осуществлялись без участия операторов комплекса, обеспечивая автоматическое сопровождение цели (АСЦ). Разработку управляющего устройства ТП в лаборатории Я.А. Шевело [8] возглавлял Ю.С. Морозов.

Испытания, проведенные в море, показали, что точность пеленгования в режиме ТП близка к точности шумопеленгования.

В современных комплексах задачи, выполнявшиеся с использованием магнитного барабана и индукционного компенсатора, решаются ЭВМ.

Нововведением было также включение в состав аппаратуры ОГС магнитофона с магнитной лентой в виде замкнутой петли. Продолжительность записи составляла 5 секунд. На этот магнитофон автоматически записывался очередной обнаруженный сигнал. Оператор мог многократно прослушать запись для классификации источника излучения. Этот магнитофон получил наименование дежурного магнитофона.

В ГАК «Скат» впервые была применена программируемая система отображения информации (СОИ) на мониторах НПО «Марс». Эти мониторы позволяли выводить на экран графическую, буквенную и цифровую информацию. В комплексе было два таких монитора. На каждый из них можно было поочередно выводить данные нескольких подсистем. Для каждой подсистемы формировался свой кадр отображения информации. В кадре ОГС отображались формуляры, содержащие цифровые параметры сигналов обнаруженных целей. Кадр содержал также линейные развёртки частотных и пространственных спектров сигналов. Причём было два режима индикации спектров: осциллографический режим с непрерывной сменой картин и с запоминанием спектров, соответствующих моменту обнаружения сигналов. Программировал мониторы Ю.А. Иванов из лаборатории И.К. Лобановой, специально для этой цели приглашенный на работу в институт. ГАК «Скат» был установлен на ПЛ проекта 671РТМ [27]. Государственные испытания ГАК «Скат» проводились в Норвежском море (Северная Атлантика). Ответственный сдатчик комплекса Б.В. Тесляров по результатам испытаний написал, что результаты испытаний подсистемы ОГС полностью подтвердили правильность заложенных технических решений, обеспечили впервые автоматизацию не только процедур обнаружения и определения направления, но и процедур точного пеленгования и измерения параметров [15]. Испытания показали, что в глубоком море в зональной структуре поля аппаратура ОГС, установленная на ПЛ, преодолевает зоны тени, которые для гидролокаторов, осуществляющих поиск ПЛ, непреодолимы. В дальнейшем этот результат испытаний был подтвержден расчётом [16].

Подсистема ОГС ГАК «Скат» в сокращённой комплектации

В соответствии с ТТЗ, ГАК «Скат» разрабатывался в двух модификациях («большой» и «малой»), отличающихся объёмом аппаратуры. В «малой» модификации комплекса в подсистеме ОГС отсутствовал точный пеленгатор. Так возникла подсистема ОГС в сокращённой комплектации.

Одна из «малых» модификаций комплекса, установленного на ПЛ проекта 667БДРМ, получила наименование «Скат-БДРМ» [17]. Главным конструктором комплекса был Е.П. Новожилов [5]. К началу изготовления ГАК «Скат-БДРМ» приборы комплекса в основном уже выпускались серийно. Доработки потребовали пульт управления комплекса и электроакустические преобразователи главной антенны. Доработок в аппаратуре ОГС не потребовалось. В период проведения заводских испытаний комплекса при испытании подсистемы ОГС возникли некоторые трудности.

Возникло самовозбуждение усилительных каналов первого (низкочастотного) диапазона подсистемы ОГС, подключённых к носовой антенне, которое никогда не наблюдалось в «большой» комплектации комплекса. Причина - в изменении параметров используемых микросхем (они стали более широкополосными). При работе в базе у «стенки» при подключённых эквивалентах антенны самовозбуждения не было. Возникло оно при подключении антенны, что произошло непосредственно перед выходом в море для определения дальности действия подсистем комплекса, в том числе подсистемы ОГС. Планировалось, что при маневрировании ПЛ будет идти бортом относительно корабля - источника сигналов, периодически удаляясь (отскакивая) и меняя направление движения на противоположное. Казаков М.Н. предложил председателю заводской комиссии Ю.М. Козлову (сотруднику ЦНИИ «Морфизприбор» [9]), провести испытание подсистемы ОГС при удалении от цели (на отскоке), принимая сигнал кормовым каналом. Учитывая, что это предложение позволяло продолжить испытания, а также, что это более жесткая проверка для подсистемы (помех в корме больше), комиссия согласилось с ним. Испытания были проведены. Результаты показали, что требования

ТТЗ по дальности действия выполняются. После возвращения в базу был срочно вызван специалист по усилительным устройствам Е.Н. Бабиев. Усилительные каналы были доработаны (ограничен частотный диапазон микросхем), самовозбуждение было снято.

Другое осложнение возникло также в первом диапазоне при измерении электроакустических параметров подсистемы ОГС с использованием измерительно-координационного устройства (ИКУ). Выполненные измерения выявили недопустимо большую ошибку пеленгования в этом диапазоне подсистемы ОГС. В первом диапазоне использовался нижний пояс преобразователей главной антенны. В антенне электроакустические преобразователи конструктивно были объединены в блоки (3 шт. в блоке). Анализ результатов измерений и снятые ХН, позволили сделать вывод, что блоки в антенне установлены со смещением на один блок относительно требований чертежа, что было подтверждено осмотром антенны. Осмотр удалось произвести спустя несколько недель после выявления ошибки, когда появилась возможность откачки воды из обтекателя антенны. В состав подсистемы ОГС был введен дополнительный соединительный ящик, в котором были переключены провода блоков преобразователей. Эта работа была оперативно выполнена силами судостроительного завода по эскизу института [5].

Другая «малая» модификация комплекса была названа «Скат-Плавник». Она предназначалась для глубоководной ПЛ «Плавник». Главным конструктором комплекса был также Е.П. Новожилов. В этом комплексе была использована, специально для ПЛ «Плавник» разработанная глубоководная антенна и при исключении нескольких функциональных задач произведено дальнейшее сокращение объёма аппаратуры. Объём аппаратуры ОГС остался таким же, каким был в предыдущей «малой» модификации комплекса. Большая задержка, вызванная аварийной потерей имеющейся на ПЛ «Плавник» всплывающей спасательной камеры, привела к тому, что заводские и государственные испытания комплекса проводились одновременно [5]. Настройка и испытания ГАК «Скат-Плавник» проводились с участием экипажа ПЛ. Командир гидроакустической группы К.В. Зайченко в дальнейшем работал в НИИ РЭ ВМФ, занимался вопросами классификации. Начальник радиотехнической службы (РТС) В.Г. Коковин долгое время работал в отделе технического контроля (ОТК) ЦНИИ «Морфизприбор».

ПЛ «Плавник», получившая в дальнейшем название «Комсомолец», потерпела в апреле 1989 года аварию в Норвежском море [18], [19].

В 1980 году началась разработка очередной «большой» модификации ГАК «Скат», которая получила наименование «Скат-3». Главным конструктором был назначен В.А. Какалов [5]. Подсистема ОГС вошла в ГАК «Скат-3» в сокращённой комплектации. В ГАК «Скат-3» были кардинально переработаны главная антенна и общекомплексные приборы. Это потребовало доработок подсистемы ОГС. В низкочастотном диапазоне пространственные каналы были подключены к ПУ ШП. Для этого в двухкаскадных ПУ ШП, подключённых к одному из поясов главной антенны, после первых каскадов были сделаны отводы, к которым подключалась подсистема ОГС. Выходы подсистемы ОГС (выходы пространственных каналов и схем ШОУ) подключались к ЭВМ и устройству отображения через специально разработанные общекомплексные приборы сопряжения.

Первый опытный образец ГАК «Скат-3» проходил настройку и испытания (испытания главного конструктора) на ПЛ (ПЛ «Аксон»), специально для этого переоборудованной [9].

Второй опытный образец для проведения предварительных и государственных испытаний был установлен на ПЛ проекта 971, для которого ГАК «Скат-3» и предназначался [20]. Перед началом испытаний в период настройки наблюдались частые ложные срабатывания подсистемы ОГС. Эти срабатывания вызывались импульсными помехами, которые не выявлялись системой контроля акустических помех и не обнаруживались другими подсистемами комплекса.

ПЛ проекта 971 была модернизацией ПЛ проекта 671РТМ. Благодаря принятым мерам по обесшумливанию уровень акустических помех ПЛ проекта 971, воздействующих на антенны гидроакустического комплекса, уменьшился в несколько раз [20]. На фоне низкого уровня непрерывных помех проявились импульсные помехи. В период настройки, по характеру помех (частоте, частоте их появления, продолжительности и району действия) было установлено, что число источников импульсных помех на ПЛ более 10. Однако сами источники выявлены не были. Характеристики помех были переданы главному конструктору ПЛ Г.Н. Чернышеву [21], который поручил своему заместителю А.П. Алексееву выявить и устранить источники этих помех. А.П. Алексеев первоначально отнёсся скептически к этому заданию, по-видимому, считая, что источники помех находятся в самой подсистеме. Однако по мере выявления источников он убедился, что причина в корабле-носителе. После этого он активно включился в работу, все источники помех были выявлены. Так, например, были обнаружены следующие источники:

- скрипящая трещина во внутренней стенке в центральном отсеке;
- скрипящий кремальерный затвор двери между третьим и четвёртым отсеком;
- бурлящий поток воды в камере обтекателя антенны второго диапазона из-за не закрывавшегося в подводном положении окна носового сигнального фонаря.

Все источники импульсных помех были устранены.

В период проведения государственных испытаний при маневрировании ПЛ в течение нескольких часов проверялась точность пеленгования подсистемой ОГС излучающей цели. Все результаты автоматически документировались. Ложных срабатываний не было зафиксировано, точность измерения параметров соответствовала требованиям ТТЗ. В результате подсистема была сдана заказчику.

Модернизированный ГАК «Рубикон»

Значительный шаг в развитии аппаратуры ОГС был сделан при модернизации ГАК «Рубикон». При модернизации ГАК «Рубикон» главным конструктором комплекса был Н.С. Каришнев [26], заместителем главного конструктора по подсистеме ОГС - М.Н. Казаков. В комплекс были встроены ЭВМ, причём имеющие большую производительность, чем ЭВМ «Карат». Это были ЭВМ серии «Багет» [24]. В комплекс были введены 4 ЭВМ, которые образовали центральную вычислительную систему (ЦВС). В каждый момент времени и в модернизированном комплексе работают 2 ЭВМ, две другие находятся в резерве. Одна из работающих ЭВМ является сигнальным процессором, обрабатывающим массивы чисел, поступающие из аппаратуры предварительной обработки, другая ЭВМ является универсальным процессором, обеспечивающим индикацию результатов обработки. Разработка приборов, содержащих ЭВМ, проводилась лабораторией Г.И. Капустина.

При модернизации ГАК «Рубикон» схема ШОУ были выполнены в виде программы в ЭВМ. Назовём её цифровой схемой ШОУ. Цифровые схемы ШОУ были включены в каждый пространственный канал. В связи, с чем отпала необходимость в формировании ненаправленного канала. Разрядность аналого-цифровых преобразователей, подключенных к пространственным каналам, перекрывала динамический диапазон ожидаемых сигналов, что позволило отказаться от АРУ. Число пространственных каналов в низкочастотном диапазоне было увеличено до 20 (было 6). Роль узкополосных фильтров в цифровой схеме ШОУ стали выполнять спектральные составляющие, вычисляемые с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ). Число узкополосных фильтров (число спектральных составляющих) приблизилось к 100 (было 12). Включение схем ШОУ в каждый пространственный канал, а так же увеличение числа узкополосных фильтров значительно понизило пороговое отношение сигнал/помеха, что существенно увеличило зону обзора.

Увеличение числа узкополосных фильтров дало также возможность в определённых пределах повышать пороговое отношение сигнал/помеха для борьбы с ложными тревогами [23]. В связи с этим оператору комплекса была предоставлена возможность регулировать порог обнаружения. Для этого соответствующие органы управления были выведены на пульт управления.

Уровень сигнала стал определяться по величине сигнальной спектральной составляющей.

Программным способом был сформирован дежурный магнитофон. Серийно выпускаемый комплекс получил шифр МГК-400ЭМ [22].

Заключение

Как видно из статьи, в период времени охватываемой статьёй, аппаратура непрерывно развивалась, аккумулируя в себя достижения науки и техники. Задачи, которые вставали перед разработчиками аппаратуры успешно разрешались. Был создан надёжный фундамент для дальнейшего развития.

В разные годы в создании аппаратуры ОГС, кроме сотрудников, названных в тексте статьи, принимали активное участие:

- среди специалистов по системе в целом – С.П. Александров, А.А. Виноградова, Г.И. Волкова, С.И. Гринберг, К.В. Катаев, М.И. Кершнер, А.А. Колесников, М.Н. Козлякова, А.В. Коткин, И.И. Кривонос, А.А. Кулигин, А.В. Латенко, А.Н. Лебедев, В.Т. Лудзский, И.Н. Михайлов, Д.И. Натанзон, О.М. Орёл, Л.Р. Пискаленко, Г.Н. Степанова, Л.В. Титова, С.О. Хазилев;
- среди разработчиков антенн – М.Д. Смартышев, В.А. Штурмис, А.М. Криницкий;
- среди разработчиков усилительных устройств – О.А. Голубева, Т.В. Колесникова, И.Н. Васильева, Е.Н. Бабиев, Г.А. Капленкова;
- среди разработчиков дискретно-аналоговых приборов – В.П. Семенов, С.А. Третьякова, А.В. Липкина;
- среди разработчиков электро-механических систем – Р.И. Волкова, А.В. Дрицкий, С.Л. Танагоз;
- среди программистов – Т.В. Яновер, В.Н. Малашина, З.С. Евтушенко, А.В. Хомченко, М.Э. Раевский, Г.П. Каретникова.

Список литературы / References

1. Из истории отечественной гидроакустики. СПб. Сборник статей, 1998. С. 690.
2. АО Концерн «Океанприбор». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.oceanpribor.ru/> (дата обращения: 07.11.2019).
3. *Сергеева Н.П., Михайлов Ю.А.* «С.М. Шелехов. Каким мы его помним». СПб. АО «Концерн «Океанприбор», 2013. 96.

4. *Песоцкий А.В., Смаришев М.Д.* Сопоставительная оценка эффективности приёмных антенн// Акустический журнал, 1989. Том 35. Вып. 3. С. 495-498.
5. 50 лет ЦНИИ «Морфизприбор». СПб., 1999. С. 606.
6. Дизель-электрическая подводная лодка Б-413 в Музее Мирового океана. [Электронный ресурс]. Режим доступа: world-ocean.ru/ru/b-413/ (дата обращения: 06.11.2019).
7. *Мелуа М.И.* Приборостроители России. М. СПб. Гуманистика, 2001. С. 768.
8. Люди и годы. Воспоминания сотрудников АО «Концерн «Океанприбор». СПб. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. С. 200.
9. Люди и годы. Часть 2. Воспоминания сотрудников АО «Концерн «Океанприбор». СПб. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. С. 346.
10. *Гюрин А.М., Сташкевич А.П., Таранов Э.С.* Основы гидроакустики. Л. Судостроение, 1966. С. 295.
11. *Смаришев М.Д., Добровольский Ю.Ю.* Гидроакустические антенны. Л. Судостроение, 1985. С. 300.
12. *Финк Л.М.* Теория передачи дискретных сообщений. М. Сов. Радио, 1970. С. 517-560.
13. *Щукин А.Н.* Об одном методе борьбы с импульсными помехами радиоприёму// АН СССР. Серия физическая, 1946. Том 10. № 1. С. 49-56.
14. Крейсерские подводные лодки проекта 671. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://russianships.info/podlodki/671.htm/> (дата обращения: 06.11.2019).
15. *Тесляров Б.В.* От Карповки до Норвежского моря. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://memoclub.ru/2012/10/ot-karpovki-do-norvezhskogo-morya/> (дата обращения: 06.11.2019).
16. *Казаков М.Н.* Дальность действия станций обнаружения гидроакустических сигналов//Наука, техника и образование, 2019. № 3 (56). С. 38–42.
17. Атомные подводные лодки с баллистическими ракетами. Проект 667-БДРМ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://topwar.ru/18942-atomnye-podvodnye-lodki-s-ballisticheskimi-raketami-proekt-667-bdrm-delfin-delta-iv-class.html/> (дата обращения 06.11.2019).
18. *Романов Д.А.* Трагедия подводной лодки «Комсомолец». СПб. РХГИ, 1995. С. 256.
19. Подводная лодка «Комсомолец». [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Комсомолец_\(подводная_лодка\)./](https://ru.wikipedia.org/wiki/Комсомолец_(подводная_лодка)./) (дата обращения: 12.11.2019).
20. Подводные лодки проекта 971 «Щука-Б». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Подводные_лодки_проекта_971_«Щука-Б» (дата обращения: 03.11.2019).
21. Чернышев Г.Н. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Чернышев,_Георгий_Николаевич/ (дата обращения: 03.11.2019).
22. Гидроакустический комплекс МГК-400ЭМ (экспортный, модернизированный). Решаемые задачи. Основные характеристики. Перехват. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.oceanpribor.ru/docs/mgk-400em.pdf/> (дата обращения: 03.11.2019).
23. *Казаков М.Н.* Автоматическое обнаружение гидроакустических сигналов // Вестник науки и образования, 2019. № 4 (58). Часть 1. С. 24–27.
24. *Лисс А.Р., Рыжиков А.В.* Системы и средства обработки сигналов в гидроакустике. Этапы развития // Гидроакустика. 2014. Том 31. Вып.4. С. 5-13.
25. *Громковский В.В.* «Скат» и «Балаклава», «Полином» и «Медведица». Из жизни директора // Гидроакустика, 2004. Вып. 5. С. 113-120.
26. Свидетельство на полезную модель № 20388. Гидроакустический комплекс подводной лодки. Обладатель ЦНИИ «Морфизприбор». Авторы: Каришнев Н.С. и др. Приоритет от 11.03.2001.
27. Подводная лодка проекта 671РТМ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.navy.su/navysub1945/671ptm/index.htm/> (дата обращения: 09.11.2019).