

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГЛУБОКОВОДНОГО ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В СОСТАВЕ БУКСИРУЕМЫХ АППАРАТОВ «ЗВУК»

Н. А. Римский-Корсаков^{1,2}, С. А. Свиридов¹, Ю. С. Руссак¹,
А. Б. Костин¹, Н. Ф. Тихонова¹

*¹Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36,
e-mail: nrk@ocean.ru, svi@ocean.ru;*

*²Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана,
Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5/1,
e-mail: nrk@ocean.ru*

Данная обзорно-техническая статья представлена с целью обратить внимание читателей на опыт по разработке и эксплуатации созданного Институтом океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР в 80-х годах глубоководного комплекса в составе двух буксируемых необитаемых подводных аппаратов «Звук-Комплекс» и «Звук-МАФТ» с рабочей глубиной погружения и буксировки 6000 м для исследований поверхности дна и подводных объектов в интересах Гидрографической службы ВМФ. Для глубоководной буксировки и хранения аппаратов было переоборудовано гидрографическое судно ГиСу «Зодиак» водоизмещением 2600 т. На базе ЭВМ СМ1420 создан судовой автоматизированный комплекс сбора и обработки информации, поступающей от подводной гидроакустической навигационной, телевизионной систем, сонаров бокового и лобового обзора, а также протонного магнитометра. Комплекс эксплуатировался до 1992 г. в Атлантическом океане, Черном, Средиземном и Балтийском морях, а 90-х годах был выведен из эксплуатации. Современные вопросы использования промышленных трубопроводов требуют осмысления прошлого опыта и создания буксируемых необитаемых подводных аппаратов на новом технологическом уровне.

Ключевые слова: глубоководный буксируемый аппарат, гидролокатор, магнитометр, фотосистема, подводное телевидение, гидроакустическая навигационная система, «Звук-Комплекс»

Прошло 45 лет с начала разработки глубоководного комплекса в составе буксируемых необитаемых подводных аппаратов (БНПА) «Звук-Комплекс» и «Звук-МАФТ» с гидрографическим судном-носителем ГиСу «Зодиак». Созданный в стране в 80-х годах прошлого столетия под научным руководством и при непосредственном участии Института океанологии глубоководный буксируемый комплекс (ГБК) «Звук-Комплекс» эксплуатировался вплоть до 1992 г. Учитывая события, произошедшие в Балтийском море на газовых трубопроводах «Северный поток», данная разработка очень кстати пригодилась бы для обследования места инцидента.

Средства для исследования дна акваторий, подводных объектов и сооружений в первую очередь используют технологии, включающие гидролокационные и

навигационные приборы, программное обеспечение для сбора и обработки информации, а также судовое и вспомогательное оборудование, обеспечивающее проведение комплексных исследований в целом. В работе (Римский-Корсаков, 2017) подробно рассмотрены типы заглубляемых гидролокационных приборов: а) буксируемые; б) приборы, установленные и входящие в состав аппаратного комплекса подводных буксируемых аппаратов; в) приборы, установленные на подводных обитаемых и автономных аппаратах; г) автономные приборы.

Лидирующее место среди почти десятка различных глубоководных буксируемых аппаратов (СССР, США, Англии) занимают аппараты «Звук-Комплекс» и «Звук-МАФТ» – см. таблицу 1 (Римский-Корсаков, 2017), разработанные в Институте океанологии.

Толчком к бурному развитию в Институте океанологии им. П. П. Ширшова (ИО) АН СССР технологий комплексного обследования дна океана с помощью БНПА явился заключенный в 1978 г. контракт между ИО АН СССР (головной исполнитель) и Главным управлением навигации и океанографии Министерства обороны (ГУНиО МО) на создание глубоководного буксируемого комплекса для Гидрографической службы ВМФ. БНПА был предназначен для размещения исследовательских систем и вспомогательного оборудования, а также решения поисковых и исследовательских задач. В основу проекта аппарата были положены следующие функциональные, технологические и эксплуатационные требования.

Функциональные требования:

- размещение исследовательской аппаратуры для обеспечения ее эффективной работы (Римский-Корсаков, 1982);
- устойчивость и малость колебаний ГБА по курсу, дифференту и крену, необходимые для эффективной работы гидроакустических и фототелевизионных систем (Жаворонков и др., 1984);
- использование немагнитных материалов для эффективной работы магнитометра и магнитных средств навигации (Беляев и др., 1987);
- максимальное снижение удельного веса конструкции, необходимое для создания варианта аппарата с плавучестью близкой к нейтральной.

ИО АН был выбран исполнителем как организация, обладавшая к тому времени опытом создания глубоководной телеуправляемой техники, в том числе для ВМФ.

По заданию следовало построить два БНПА с рабочей глубиной 6000 м, переоборудовать гидрографическое судно водоизмещением 2600 т для глубоководной буксировки и хранения аппаратов, создать судовой автоматизированный комплекс сбора и обработки информации, оборудовать комплекс подводной гидроакустической навигационной системой.

В работе участвовало более 16 соисполнителей из разных регионов страны, в том числе Московский Авиационный институт (система датчиков пространственной ориентации БНПА по курсу, крену и дифференту), НПО «Океанприбор» (гидролокатор «Лотос» с косекансной характеристикой направленности), завод «Красный Луч» (подводная навигационная система СНП-20), ЦНИИ «Рудгеофизика» (протонный

магнитометр МПМ-6), ВНИИ телевидения (система высокочувствительного телевидения «САЛЮТ»), НИИ светотехники (импульсные светильники и люминесцентные светильники заливающего света, оптимизированные по спектру), Ленинградский институт точной механики и оптики и Ленинградское оптико-механическое объединение (объективы типа «Гидроруссар», в том числе с вынесенным зрачком для подводной фотосистемы БНПА), РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина (цифровая система телеуправления/телеметрии), Донецкий политехнический институт (Вычислительный комплекс управления движением БНПА), Ленинградский институт авиационного приборостроения (программный комплекс управления движением БНПА), Томский государственный университет (система энергопередачи и электропитания), Кронштадтский Морской ордена В. И. Ленина завод (переоборудование гидрографического судна проекта 862 «Зодиак»), Николаевский судостроительный завод (спуско-подъемное устройство, буксировочное оборудование и глубоководная лебедка), НИИ «Ташкабель» (буксировочный кабель-трос длиной 8 км).

Главным исполнителем был назначен ИО АН. Сопровождение работы от Заказчика осуществлял 9-й институт Министерства обороны (ныне ГНИНГИ). В качестве головного исполнителя ИО АН разрабатывал общую концепцию построения комплекса, технические задания на составные части работы, проектировал собственно подводные аппараты и общую методологию применения комплекса в целом. От Института требовалось также увязать и состыковать технические средства, а также программы и методики их функционирования, разработанные соисполнителями, вплоть до судовой «оболочки». В Институте основную работу выполнял Отдел техники глубоководных исследований (ОТГИ) под руководством профессора В. С. Ястребова. К работам были также привлечены Лаборатория вычислительной техники (заведующий – Л. С. Ситников) и Лаборатория геомагнитных исследований (заведующий – Е. Г. Мирлин). Изготовление большей части подводного оборудования вело ОКБ ОТ АН СССР (Главный инженер – В. П. Бровка, заведующий электронным отделом – А. А. Парамонов). Контракт был в целом выполнен к 1985 г., сдаточные испытания проходили в Балтийском море и на предельных рабочих глубинах в Атлантическом океане.

Созданный комплекс включал БНПА «Звук-Комплекс» (рисунок 1) и БНПА «Звук-МАФТ» (рисунки 2 и 4) (Римский-Корсаков и др., 2009), которые были оборудованы гидролокаторами, фото- и телеаппаратурой, магнитометром (Беляев И. И. и др., 1987) и интегральной навигационной системой (Руссак, 1980) (таблица 1).

Основу научно-исследовательского оборудования БНПА составлял гидролокационный комплекс, который включал: гидролокатор бокового обзора (ГБО) (таблица 1) и акустический профилограф (АП) (таблица 2), и эхолот (промер и функция альтиметра, рабочая частота – 80 кГц), а также навигационные гидролокаторы, направленные вверх (функция глубомера, рабочая частота – 12 кГц) и вперед (локация препятствий по ходу движения БНПА, рабочая частота – 70 кГц). Бортовая (подводная) часть гидролокационного комплекса представляла собой единый электронный блок, который размещался в одном из прочных корпусов БНПА с внутренним диаметром 450 мм (рисунок 5).

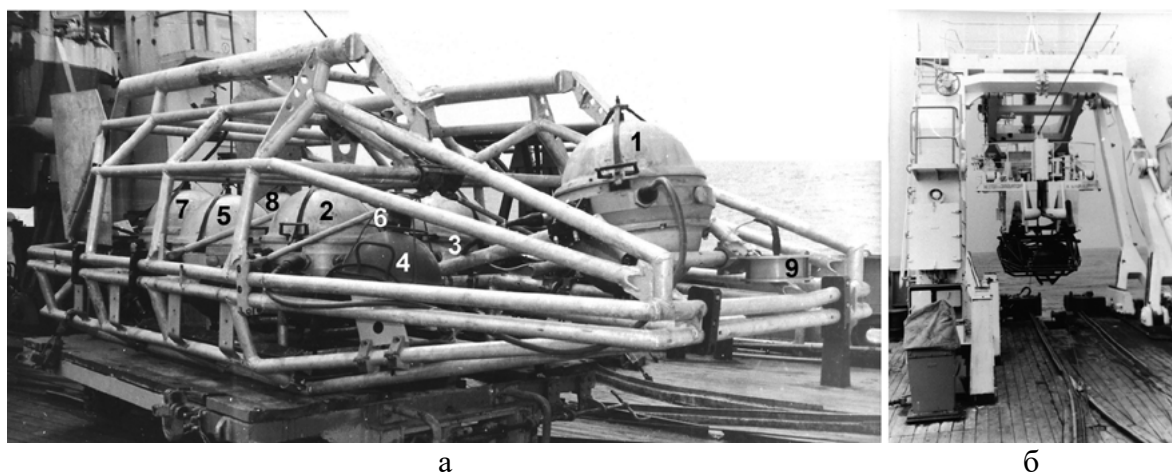


Рис. 1 – Глубоководный (6000 м) буксируемый аппарат «Звук-Комплекс» на рельсовой тележке на палубе ГиСу «Зодиак» (1983 г.). На рисунке **а**) обозначено: 1 – прочный корпус с телевизионной системой; 2 – прочный корпус (правый борт) с системой энергопередачи и электропитания; 3 – прочный корпус (левый борт) с гидролокационной аппаратурой; 4 – маяк-ответчик гидроакустической навигационной системы; 5 – бокс фотокамеры РФК-5 СФС правого борта, 6 – бокс фотокамеры левого борта; 7 – бокс магнитометрической аппаратуры МПМ-6; 8 – бокс датчиков инерциальной системы пространственной ориентации; 9 – антенна эхолота (альтиметра). На рисунке **б**) – БНПА «Звук-Комплекс» в захвате СПУ над палубой ГиСу «Зодиак»

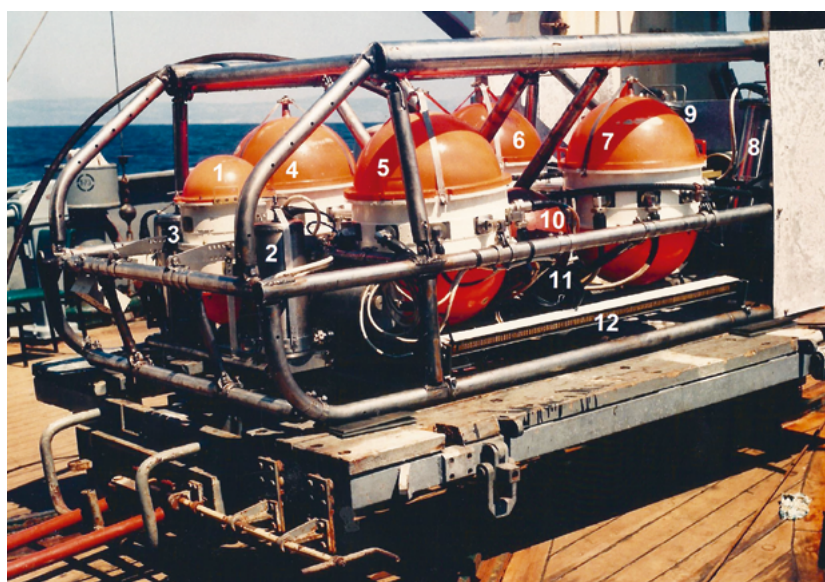


Рис. 2 – Глубоководный (6000 м) буксируемый аппарат «Звук-МАФТ» на рельсовой тележке в процессе транспортировки по палубе ГиСу «Зодиак» из судового ангара к месту спуска в воду под спускоподъемным устройством (1991 г.). На рисунке обозначены: 1 – бокс телекамеры; 2 – бокс фотокамеры левого борта; 3 – бокс фотокамеры правого борта; 4 – бокс системы энергопередачи и электропитания; 5 – бокс электронного блока гидролокационных устройств; 6 – бокс аппаратуры магнитометра МПМ-6; 7 – бокс системы датчиков пространственной ориентации и системы телеметрии (ТУ/ТМ); 8 – импульсный светильник левого борта; 9 – импульсный светильник правого борта; 10 – источник заливающего света; 11 – антенна гидролокатора бокового обзора левого борта



Рис. 3 – Судно-носитель комплекса БНПА «Звук-Комплекс» и «Звук-МАФТ» – ГиСу «Зодиак», переоборудованное для глубоководной буксировки

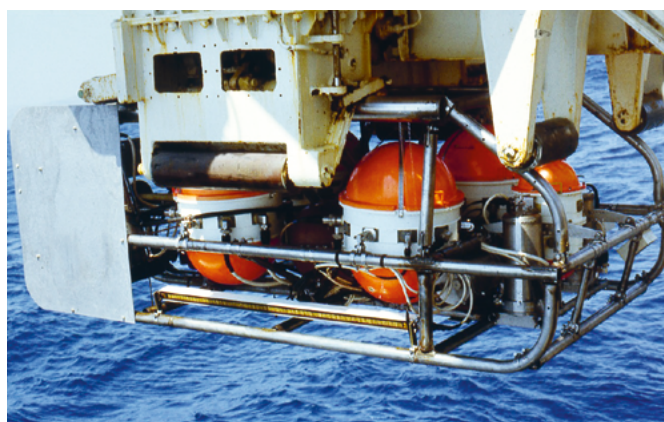


Рис. 4 – БНПА «Звук-МАФТ» в захвате спускоподъемного устройства ГиСу «Зодиак»

Таблица 1 – Технические характеристики БНПА «Звук-Комплекс» и «Звук-МАФТ» (Римский-Корсаков и др., 2009; Римский-Корсаков, Нафиков, 1992)

Годы функционирования	Рабочая глубина	Исследовательская аппаратура		Навигационное оборудование	Бортовая энергетика
		Гидролокационная	Дополнительная		
1984–1992	6000 м	ГБО 78 АП 5 кГц Эхолот 80 кГц	– протонный магнитометр; – ТВ-система; – стерео-фото-система	– ГАНС СНП-20; – КНС; – вверх- и вперед смотрящие гидролокаторы; – измерители курса, крена и дифферента – глубомер (датчик давления)	1000 Вт

Примечание: ГБО – гидролокатор бокового обзора; АП – акустический профилограф; ТВ – телевизионная аппаратура; ГАНС – гидроакустическая система навигации, КНС – космическая навигационная система.

Таблица 2 – Технические характеристики гидролокационной аппаратуры БНПА «Звук-Комплекс» и «Звук-МАФТ»

№	Характеристика	Значение
<i>Гидролокатор бокового обзора</i>		
1	Рабочая частота, кГц	70
2	Раскрыв главного лепестка характеристики направленности на уровне половинной мощности, град	0.75°×60°
3	Длительность зондирующего сигнала, мс	0.2/1.0
4	Разрешающая способность, м	0.75
5	Тип зондирующего сигнала	тональная посылка
6	Диапазоны рабочих дальностей, м	750/375/185
7	Максимальная электрическая мощность в импульсе, Вт	300
8	Тип системы сбора и отображения информации	Самописец + ЭВМ

Продолжение таблицы 2

№	Характеристика	Значение
<i>Акустический профилограф</i>		
1	Рабочая частота, кГц	5
2	Раскрыв главного лепестка характеристики направленности, град	60/тороидальная
3	Длительность зондирующего сигнала, мс	0.5/20
4	Тип зондирующего сигнала	тон/ЧМ
5	Диапазоны рабочих дальностей, м	180, 375, 750
6	Максимальная электрическая мощность в импульсе, Вт	1000
7	Тип системы сбора и отображения информации	Графический самописец + ЭВМ



Рис. 5 – Электронный блок гидроакустической аппаратуры БНПА «Звук-Комплекс» в процессе настройки в ангаре ГиСу «Зодиак». Настройку ведет сотрудник ОКБ ОТ К. Г. Новгородов

Основным средством исследования поверхности дна БНПА служил гидролокатор бокового обзора (ГБО) (Римский-Корсаков и др., 1990), по своим характеристикам относящийся к классу ГБО общего назначения средней дальности действия. Рабочие диапазоны дальности действия ГБО составляют 750, 375 и 180 м. Разрешающая способность ГБО по дальности составляет 0.75 м. ГБО играл основную роль при поиске техногенных объектов и картировании форм рельефа дна.

Акустический профилограф (АП) БНПА предназначался для изучения структуры (слоистости, стратификации) верхнего слоя рыхлых осадочных отложений на глубину до 60 м и поиска объектов, погребенных в осадочной толще. Одновременно АП позволял определить расстояние БНПА до поверхности океана. Этот последний параметр, будучи суммирован с данными эхолота БНПА, позволял рассчитывать полную глубину места вдоль маршрута движения БНПА с большой точностью и высоким разрешением. Относительная погрешность измерения глубины составляла 0.45 %.

В реальном времени отображение гидролокационной информации (ГБО и АП) велось в аналоговом виде на графических самописцах – факсимильных аппаратах «ИНЕЙ-П», установленных в центральном посту управления комплексом (ЦПУК) (рисунок 6).

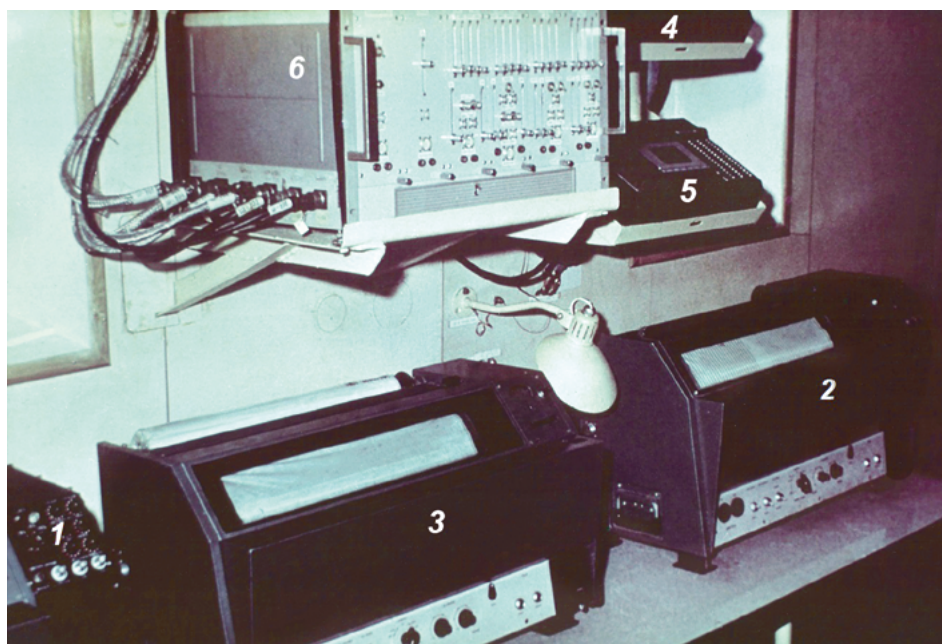


Рис. 6 – Пост гидроакустической аппаратуры в ЦПУК ГиСу «Зодиак».

На рисунке обозначено: 1 – аннотатор регистратора (графического самописца) гидролокатора бокового обзора (ГБО) БНПА левого борта; 2 – регистратор ГБО левого борта; 3 – регистратор акустического профилографа (АП); 4 – аналоговый регистратор сигналов ГБО левого борта на магнитную ленту; «Весна-101»; 5 – аналоговый регистратор сигналов ГБО правого борта на магнитную ленту «Весна-101»; 6 – электронный блок синхронизации работы, приема и усиления сигналов гидролокационной и навигационной аппаратуры

Стандартные самописцы были дополнены специализированными аннотаторами для впечатывания в получаемые гидролокационные изображения цифр и меток времени, а также линий дальности синхронно с сигналами единого времени (ЕВ), генерируемыми ЭВМ судового информационно-вычислительного комплекса (ИВК). Параллельно прием и сбор гидролокационной информации велся в цифровом виде, а отображение осуществлялось на телевизионных мониторах ИВК, установленных в ВЦ ГиСу «Зодиак».

На БНПА был установлен высокочастотный эхолот (70 кГц), предназначенный для исследования рельефа дна, а также служащий источником навигационной информации. Рабочие диапазоны дальности эхолота составляли 30 и 375 м, а соответствующая им максимальная погрешность в измерении глубины под килем БНПА – 0,4 и 1,5 м. Фронтальная разрешающая способность эхолота составляла $0,09H$, где H – расстояние БНПА от грунта.

Отображение получаемой с помощью эхолота информации о расстоянии БНПА до дна, важное для пилотирования БНПА вблизи грунта и выдерживания нужного при этом расстояния, осуществлялось на экране электронно-лучевого индикатора (ЭЛИ – осциллографа), вмонтированного в пульт пилота БНПА (рисунок 7а) непосредственно рядом с ТВ-монитором телевизионной системы. Пилот наблюдал изображение дна на экране видеомонитора и отслеживал величину расстояния до поверхности дна на экране ЭЛИ по изображению двух импульсов, расстояние между которыми соответствовало дистанции до дна.

При работах с телевизионной системой вблизи поверхности дна, для своевременного обнаружения препятствий впереди по курсу движения БНПА дополнительно был оборудован направленным вперед гидролокатором.

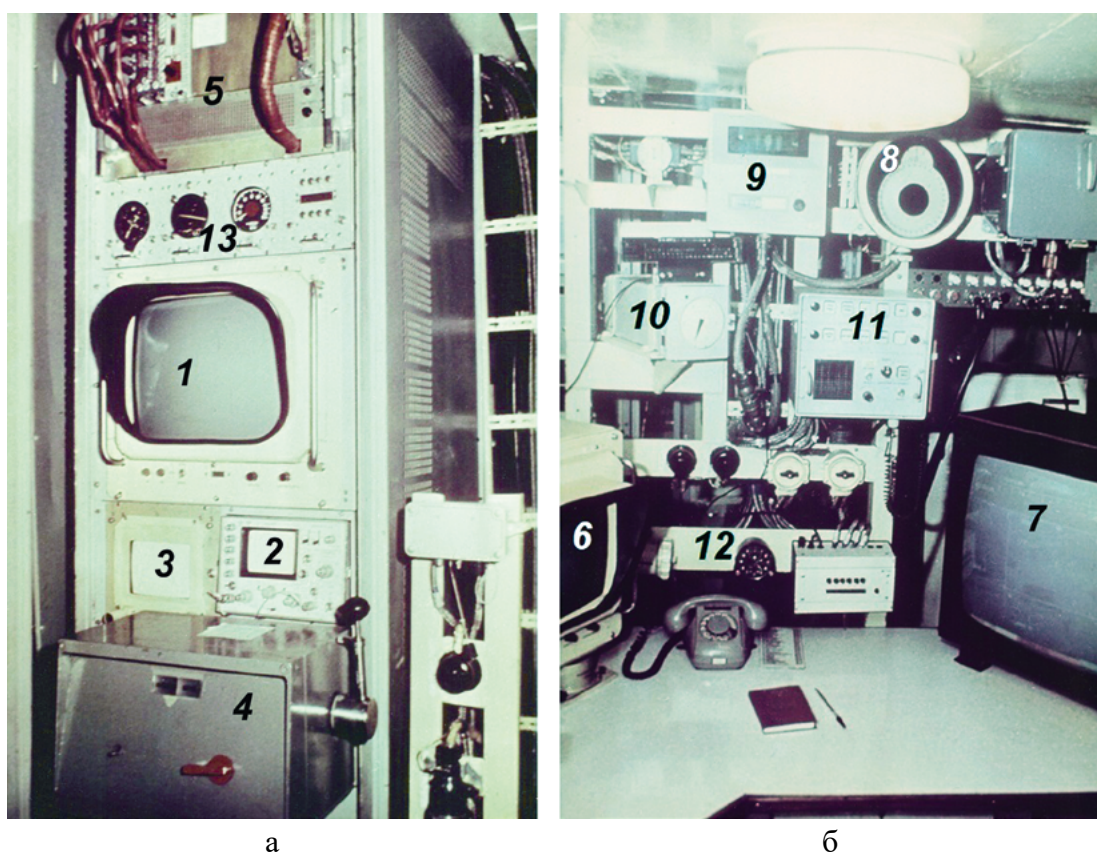


Рис. 7 – Оборудование центрального поста управления комплексом: а) пульт пилота БНПА; б) пост руководителя погружения (буксировки) БНПА. На рисунках обозначено: 1 и 6 – видеомониторы телевизионной системы БНПА, 2 – электронно-лучевой индикатор альтиметра (эхолота БНПА); 3 – видеоконтрольное устройство состояния лебедки и выюшки; 4 – управляющий контроллер лебедки; 5 – крейт устройств синхронизации, связи с ИВК и навигации КАМАК; 7 – монитор-репитер навигационной обстановки; 8 – репитер курса; 9 – репитер судового эхолота; 10 – репитер указателя положения пера руля; 11 – цифровой индикатор магнитометра; 12 – судовой хронометр; 13 – указатели пилотажных датчиков БНПА (курс, крен, дифферент)

Второй важнейшей научно-исследовательской системой БНПА являлась система подводного телевидения, которая предназначалась для идентификации подводных природных и техногенных объектов, в том числе форм микрорельефа, донных животных и растений, а также являлась своеобразным видеоискателем для высокоразрешающей фотосъемки, при работе последней в ручном режиме. Телевизионная система БНПА, использующая полный вещательный стандарт и передающую трубку с чувствительностью 0.01 Лк, позволяла наблюдать микро- и мезоформы поверхности дна на дистанции до 30 м. Эта система была выполнена на базе высокочувствительной системы космического телевидения, использовавшейся в то время на космической орбитальной станции «Салют». Бокс видеокамеры располагался в передней части аппаратов (рисунок 1, позиция 1; рисунок 2, позиция 1; рисунок 8а, позиция 3). Существенными элементами телевизионной системы были источники заливающего света (ИЗС). ИЗС были сконструированы в результате научно-исследовательской работы, выполненной НИИ Светотехники, с целью оптимизации спектра излучаемого света для повышения дальности видения и цветопередачи системы. Светильники были изготовлены на базе таллиевых люминесцентных ламп, закрытых стеклоколпаками и окруженных параболическими отражателями (рисунок 8б, позиции 1 и 2). Эта система позволила обнаруживать поверхность дна в Центральной Атлантике, начиная с расстояния 30 м на глубинах более 1 км в полной темноте. Запись видеоизображения велась на современные в то время кассетные видеомэгафоны ВМ-12Т (Panasonic), которые собирались на Воронежском телевизионном заводе. Технические характеристики системы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики телевизионной системы БНПА

Характеристика	Значение
Число строк/число кадров (при черезстрочном разложении)	625/25
Чувствительность передающей трубки, Лк	0.01
Четкость, строк в центре/по углам	500/400
Число градаций яркости (не менее)	6
Тип передающей трубки	ЛИ-702-2
Сигнал на выходе (полный видеосигнал положительной полярности на нагрузке 75ом, В	1±0.2
Тип объективов	«Индустар-50М», ГР-19
Угол зрения объективов в воздухе по диагонали кадра «Индустар-50М»/ГР-19	27°
Полоса частот передачи ТВ-сигнала в линии, МГц	1–8
Число ИЗС	2
Мощность ИЗС, ВА	2×250
Тип ламп ИЗС	ДРТСФ-250, ЛНаТ-250
Спектральный диапазон света лампы ДРТСФ, нм	520–540
Осевая сила света лампы ДРТСФ-250, кд	4000

Для получения качественной визуальной информации о подводных объектах с возможностью определения размеров отдельных деталей были разработаны две стереофотосистемы (СФС): затворная и беззатворная. Для затворной системы были

использованы регистрирующие фотокамеры РФК-5 с максимальной скоростью съемки 10 кадров (32×24 мм) в секунду. СФС БНПА позволяла получать стереопары изображения поверхности дна с расстояния до 15 м. Размер участка дна, фотографируемого одной камерой СФС, составлял 13×18 м при дистанции 15 м и 2.6×3.5 м при дистанции 3.0 м. Максимальная погрешность измерения высот объектов по параллаксу составляла 100 мм.

Камеры были оснащены объективами типа «Гидроруссар» с углом зрения в воде 70°, разработанными в Ленинградском институте точной механики и оптики (ЛИТМО) и изготовленными на Ленинградском оптико-механическом объединении (ЛОМО). Боксы для фотокамер РФК-5, как и для остальной аппаратуры, были выполнены на базе штампованных взрывным методом полусфер из алюминиевого сплава В-95, соединенных через проставки, изготовленные из термообработанных поковок из сплава Д-16 (рисунок 1, позиции 5 и 6).

Беззатворная СФС (рисунок 8, позиции 2 и 3; рисунок 8, позиции 1 и 2) была разработана и изготовлена совместно ИО АН и Научно-исследовательским кинофотоинститутом (НИКФИ) и отличалась от затворной меньшими габаритами, увеличенным размером кадра (48×32) и наличием программируемого цифрового устройства впечатывания информации в поле кадра. Фотокамеры были оснащены объективами «Гидроруссар» с вынесенным зрачком, с углом зрения в воде 90°. В центре рамы СФС на аппарате «Звук-МАФТ» размещалась телевизионная камера в боксе уменьшенных габаритов (рисунок 8, позиция 3), которая также служила видеоискателем для СФС.

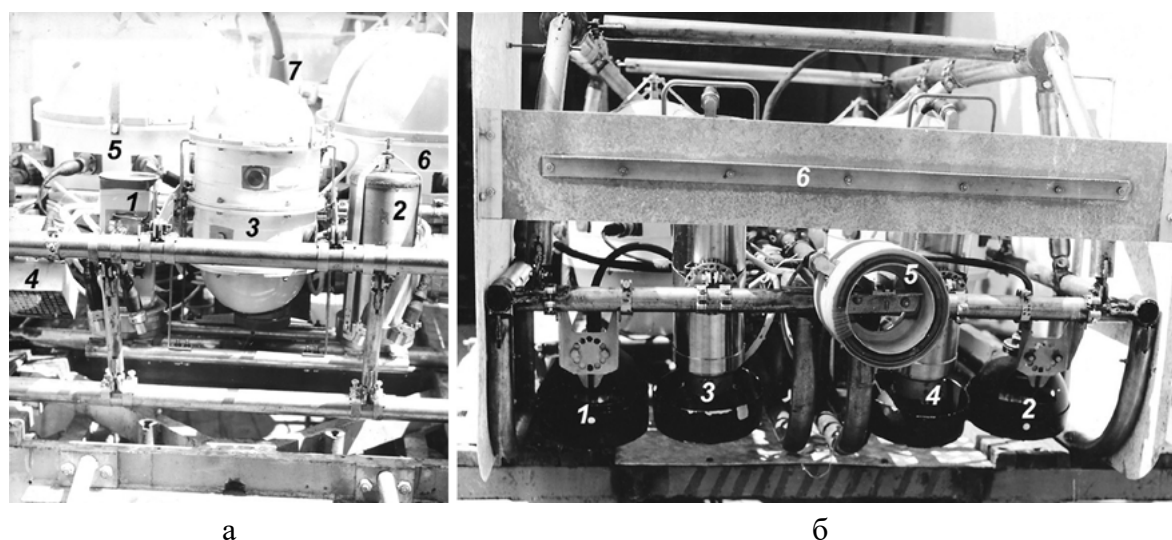


Рис. 8 – Элементы фототелевизионной системы БНПА «Звук-МАФТ»: а) вид на носовую часть аппарата: 1 – фотокамера правого борта со снятым колпаком прочного корпуса; 2 – фотокамера левого борта в боксе; 3 – бокс телевизионной камеры; 4 – антенна вперед направленного гидролокатора; 5 – бокс системы энергопередачи и электропитания; 6 – бокс гидроакустической аппаратуры; б) вид на аппарат с кормы: 1 – люминесцентный таллиевый источник заливающего света (ИЗС) левого борта; 2 – ИЗС правого борта; 3 – импульсный источник света левого борта; 4 – импульсный источник света правого борта; 5 – антенна акустического профилографа; 6 – гидродинамическое анти-крыло

Для фотосъемки использовались высокочувствительные пленки (тип. 42, тип. 17, НК-4, КН-4, кинонегатив В4), а также пленки типа «Микрат» (35 мм) и фототехнические пленки типа ФТ. Проявка основного количества фотоматериала производилась в бачках типа УПБ-1 вместимостью от 10 до 30 м. Оперативный отбор снимков осуществлялся непосредственно после фотохимической обработки пленки путем визуального просмотра негативов с помощью просмотровой лупы или прибора типа «Микрофот», при этом фиксировались номера (текущее время) отобранных кадров. Далее велась фотопечать контрольной серии всех кадров с использованием прибора АКР-2 («Рось») формата 9×12. На основании изображений контрольной серии выделялись участки дна, соответствующие определенным ландшафтными зонам и содержащие техногенные объекты. Технические характеристики СФС и СФСМ приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики стереофотосистемы БНПА

Характеристика	СФС (РФК-5)	СФСМ
Число камер	2	2
Величина стереобазиса, мм	1500	600
Максимальная частота съемки, Гц	10	0.5
Формат фотокадров, мм	18×24	24×36
Запас фотопленки в 1 камере, м/кадры	60/3000	48/2400
Тип объектива	ГР-20	ГР-вын.зроч.
Угол зрения объектива в воде по диагонали	72°	60°
Частота съемки с перекрытием кадров 0.2–0.3 при отстоянии от грунта 5м и скорости движения 0.5 м/с, Гц	6	7.5
Максимальная энергия вспышки ИС, Дж	2x150	500
Длительность вспышки ИС, мс	0.5	12

Для выполнения придонных исследований геомагнитного поля Земли (ГМПЗ), а также надежной идентификации подводных объектов, в НПО «Рудгеофизика» для БНПА «Звук-Комплекс» был разработан и изготовлен морской протонный магнитометр МПМ-6 (Беляев и др., 1987).

Геомагнитные измерения, проведенные с помощью буксируемых магнитометров в непосредственной близости от поверхности морского дна, позволяют решать важные геофизические (Деменицкая и др., 1972; Мирлин и др., 1972; Мирлин, Мелихов, 1976; Беляев и др., 1978; Бондарик, Свиридов, 1987) и прикладные задачи, среди них: выявление и локализация магнитных объектов, оценка магнитных характеристик источника аномалий магнитного поля и ее предполагаемых геометрических параметров.

Приближение плоскости измерений к поверхности магнитоактивных источников позволяет избежать интегрального эффекта, возникающего при геомагнитной съемке с поверхности океана, и дает возможность судить о природе коротковолновой части спектра геомагнитных аномалий, что особенно актуально при решении поисковых задач.

Морской протонный магнитометр МПМ-6 был предназначен для измерения модуля вектора геомагнитной индукции при проведении поисковых работ и океанографических исследований в открытом море в составе БНПА «Звук-Комплекс» или «Звук-МАФТ».

В основу магнитометрической аппаратуры МПМ-6 был заложен принцип действия, основанный на нестационарном методе измерения частоты свободной ядерной прецессии протонов в магнитном поле. Принцип действия протонных магнитометров широко освещен в технической литературе (Бородин и др., 1967; Жерновой, Латышев, 1964; Померанцев и др., 1972).

Датчик магнитометра (первичный преобразователь) буксировался за БНПА и конструктивно был выполнен в виде гондолы (рисунок 9). Конструкция гондолы и датчика, свободного от внешнего гидростатического давления, позволяла погружать его на любые глубины. На рисунке 10 представлена функциональная схема магнитометра МПМ-6, поясняющая его работу.



Рис. 9 – Буксируемый датчик (гондола) морского протонного магнитометра МПМ-6. Оболочка гондолы выполнена из сферопластика – материала, сохраняющего плавучесть 0.7 на глубинах до 6000 м. Датчик магнитометра буксировался на специальном кабель-тросе на расстоянии 15 м позади БНПА

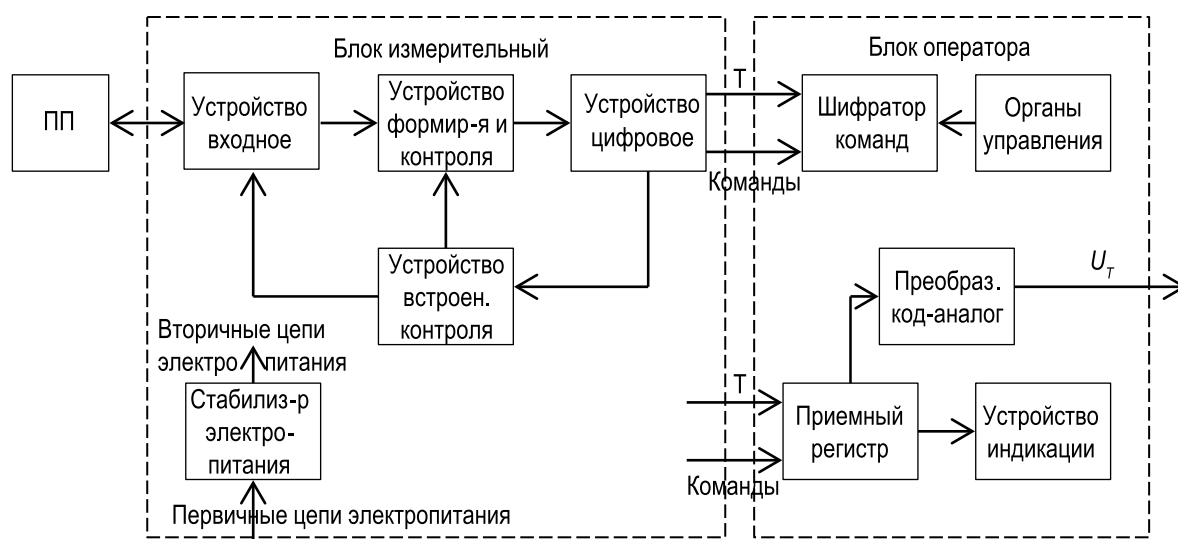


Рис. 10 – Функциональная схема морского глубоководного магнитометра МПМ-6

Магнитометр состоял из 4-х основных частей:

- первичного преобразователя (ПП), размещенного в немагнитном контейнере (гондоле), буксируемом на кабеле длиной 15 м за БНПА;
- измерительного блока (БИ), размещенного в прочном корпусе (кормовая сфера диаметром 450 мм правого борта) БНПА и связанного через буксирный кабель-трос КНГ 2×2.5 и узел аварийной расстыковки с первичным преобразователем;
- блока оператора (БО), размещенного в стойке оператора на борту судна в центральном посту управления комплексом (ЦПУК), представленном на рисунке 7;
- аналогового регистратора типа КСПП-1, размещенного в ЦПУК.

Первичный преобразователь, являющийся преобразователем магнитного поля в частоту, был удален от БНПА для исключения влияния собственной магнитной массы и переменных магнитных полей БНПА. Информация в виде слабого синусоидального сигнала определенной частоты передавалась по кабелю в магнитоприемник с большим динамическим диапазоном и наличием избирательных цепей для обеспечения линейного усиления смеси сигнала и шумов. Далее сигнал поступал на устройство формирования и контроля, где происходило выделение сигнала ядерной прецессии и умножение частоты. Умноженный сигнал ядерной прецессии поступал в цифровое устройство, где производилось его измерение. Для измерения в магнитометре использовалась информация, заключенная в частоте (фазе) сигнала.

По способу представления передаваемая информация и команды управления подразделялись на: а) команды с импульсной формой сигнала; б) команды и информация, представленные параллельными кодами. Все команды от аппаратуры МПМ-6 в систему телеуправления поступали по отдельным шинам. Импульсные команды передавались в момент поступления команд с минимально возможными задержками.

Команды, представленные параллельными кодами, могли передаваться в любой момент времени в течение цикла работы магнитометра. В режиме внешнего пуска длительность цикла не могла быть более 2 секунд. Для синхронизации работы от измерительного устройства в систему телеуправления во всех режимах поступал импульс синхронизации. Все сигналы, поступающие в систему телеуправления, снимались с выходов микросхем серии 133.

При создании магнитометра МПМ-6 в составе БНПА был решен целый ряд специальных технических задач, таких как:

- а) разработано схематическое решение прибора на отечественной элементной базе, конструкторское решение применительно к условиям использования магнитометрической аппаратуры в составе ГБК;
- б) решен вопрос дистанционного управления и контроля за работой магнитометра, за счет использования системы телеметрической передачи команд и информации в двоичном коде (настройка, измерение уровня сигнала, регулировка усиления, проверка работоспособности и контроль неисправности);
- в) решен вопрос электромагнитной совместимости при обработке внешних связей с системой телеметрии;

д) разработано конструктивное решение и технология глубоководного буксируемого контейнера (гондолы) с компенсатором давления для первичного преобразователя (рисунок 9) и ряд других вопросов.

Эти задачи решались с учетом разработки отечественной протонной магнитометрической аппаратуры (Жерновой, Латышев, 1964; Бородин и др., 1967) и основных тенденций ее развития для морских исследований и выполнения прикладных задач (Мирлин и др., 1972; Беляев и др., 1978; Бондарик, Свиридов, 1987).

На морских испытаниях магнитометр МПМ-6 подтвердил следующие технические характеристики (Беляев и др., 1987):

- рабочий диапазон измерения модуля вектора геомагнитной индукции – от 25000 до 80000 нТл;
- среднеквадратическая аппаратурная погрешность в условиях немагнитного павильона ± 0.5 нТл;
- в морских условиях в составе комплекса «Звук-Комплекс» $\pm 1,0$ нТл;
- аппаратурная чувствительность – 0.1 нТл;
- режим работы – автоматический, с циклами 4, 10, 30, 60 сек и режим запуска от внешней системы.

Параметры процесса регистрации данных, получаемых с помощью морского протонного магнитометра МПМ-6:

- а) визуальная регистрация – шесть разрядов цифрового табло в нТл;
- б) аналоговая двухмасштабная регистрация на диаграммной ленте типа АТС 250 аналогового регистратора КСПП-4 в масштабе 10, 100, 1000 на всю шкалу;
- с) цифровая регистрация в двоично-десятичном коде для дальнейшей обработки на судовой ЭВМ с выводом на перфоленту.

Питание измерительного блока осуществляется от источников питания, расположенных на борту БНПА «Звук-Комплекс» и «Звук-МАФТ». Питание блока оператора осуществляется от вторичного источника питания типа БНН-192, входящего в состав стойки оператора ЦПУК (рисунок 7).

Время готовности магнитометра к измерениям с момента включения магнитометра и аппаратуры комплекса БНПА – 30 мин.

Среднее время восстановления отказа – не более 2 часов.

Рабочие условия эксплуатации:

БИ: от -2 °С до $+35$ °С при относительной влажности до 90%

БО: от 0 °С до $+40$ °С при относительной влажности до 90%.

Измеренная частота сигнала передавалась в блок оператора через систему телеметрии в двоичном коде.

Координатно-временная привязка информации, собираемой с использованием научно-исследовательской аппаратуры комплекса БНПА, осуществлялась с помощью набора специфических устройств и оборудования.

Основным навигационным оборудованием комплекса являлись судовые космические навигационные системы (КНС) СЧ-1 («Челн»), «Шлюз» и радионавигационная система «Лоран-С».

Координирование БНПА обеспечивалось четырехканальной гидроакустической системой подводной навигации (ГАНС) СНП-20, позволяющей оборудовать квадратные полигоны со стороной от 2 до 4 км в зависимости от глубины места. Технические возможности системы СНП-20 были существенно расширены специалистами ИО АН за счет прямой обработки данных, получаемых с ее помощью в реальном времени на ЭВМ, а также за счет применения в рамках этой обработки эффективного математического аппарата. Флуктуационная ошибка определения места в относительной системе координат, связанной с маяками-ответчиками (МО), составляла 10 м (Нафиков и др., 1988).

В модернизированном варианте ГАНС комплекса БНПА включала серийную систему СНП-20 и сопряженный с ней, разработанный в ИО АН, управляющий вычислительный комплекс на базе ЭВМ СМ-1420. В состав собственно системы СНП-20 входили невозвращаемые маяки-ответчики (МО) 4-х типов, отличающиеся друг от друга рабочими частотами, один запросчик-излучатель и 4 гидрофона-приемника, штатно закрепленные в обтекателях на днище судна, а также четырехканальное приемно-управляющее устройство (ПУ) и блок формирователей сигналов запроса (БФ). На рисунке 11 представлен момент сброса маяка-ответчика с борта ГиСу для постановки на грунт.



Рис. 11 – Момент сброса маяка ответчика ГАНС СНП-20 в процессе навигационного оборудования глубоководного полигона для работ с БНПА

Система СНП-20 представляла собой систему с длинной базой, принцип действия которой заключался в измерении расстояний от судна и БНПА до установленных на дне МО путем измерения времени распространения акустического сигнала до них и обратно. Штатные индикаторные устройства СНП-20 отображали лишь цифры дальностей до МО. Однако для обеспечения координатно-временной привязки информации, собираемой с помощью БНПА, требовалось знание его географических

координат в цифровом виде. Для этого был разработан программно-аппаратный комплекс на базе ЭВМ, включавший, в том числе, коммутатор гидрофонов.

Для сопряжения ЭВМ с СНП-20 использовался набор сигналов: «Запуск СНП», «Старт СНП», «Стоп-1», «Стоп-2» и «Стоп-3». Сигнал «Запуск СНП» приходил из ЭВМ на ПУ, которое, во-первых, вырабатывало сигнал «Старт СНП», обнулявший и запускавший счетчики времени ЭВМ, а во-вторых, запускало БФ, который в свою очередь активировал запросчик-излучатель. Акустический сигнал запросчика-излучателя принимался МО, которые излучали сигналы ответа, имеющие разные частоты, что необходимо для идентификации МО. Сигналы ответа МО в первом цикле принимались судовым гидрофоном, преобразовывались в электрические и подавались в ПУ, а во втором цикле принимались гидрофоном БНПА и по системе ТУ/ТМ БНПА также передавались на вход ПУ. При получении сигналов ответа ПУ вырабатывал и посылал в ЭВМ сигналы «Стоп-1», «Стоп-2» и «Стоп-3», которые останавливали счетчики времени ЭВМ. Для переключения циклов приема использовался программно-управляемый коммутатор гидрофонов, который по команде, поступавшей из ЭВМ, устанавливался в положение «Гидрофон НК» (надводный корабль) или «Гидрофон ГА» (глубоководный аппарат).

ГАНС позволяла определять координаты судна и подводного аппарата относительно донных маяков-ответчиков, т. е. в относительной системе координат, связанной с маяками-ответчиками. Точность определения координат судна составляла 10 м, БНПА – 20 м. Для расчета географических координат требовалось проводить абсолютную калибровку так называемой донной базы – определять географические координаты места каждого МО с использованием космической навигационной системы (КНС) статистическим методом. Точность привязки к географическим координатам определялась точностью существовавшей тогда КНС (СЧ-1-«Челн», «Шлюз») и составляла 100–250 м.

Запросчик-излучатель ГАНС и четыре гидрофона-приемника, штатно закрепленные в обтекателях на днище судна, позволяли также в рамках системы СНП-20 реализовать так называемый режим с короткой базой (КБ) для определения места БНПА относительно судна-буксировщика без установки донных маяков-ответчиков. Для этого в носовой части ПА был установлен штатный автономный приемо-передающий блок системы СНП-20 с блоком питания.

Технические характеристики ГАНС приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики ГАНС

Характеристика	Значение
Число каналов	3
Максимальная дальность действия (наклонная дальность до МО), км	8
Количество ответов МО	5000–10000
Флуктуационная погрешность определения наклонных дальностей (не более), м	10
Погрешность определения координат судна/БНПА, м	10/20
Минимальный период опроса МО, сек	30
Устройства вывода информации	ЦПУ, жесткий диск ЭВМ, ТВ-дисплей, графопостроитель

В состав навигационного оборудования комплекса БНПА входил глубомер БНПА, сконструированный на базе стандартного тензометрического элемента для измерения избыточного давления «Сапфир». Были использованы элементы Д 25 и Д 100, рассчитанные на глубины погружения 2500 и 10 000 м соответственно. Сигнал датчика с БНПА передавался по системе телеметрии в судовую часть комплекса и регистрировался в цифровом виде на ИВК (распечатка в строке протокола эксперимента) и в аналоговом виде на ленте самописца КСПП-4, установленного в ЦПУК. Привязка записи глубины по времени осуществлялась ежеминутной автоматической отметкой ЕВ.

При выборе и контроле эффективных режимов движения ПА, при которых оптимизировалось качество информации, получаемой с помощью научно-исследовательского оборудования БНПА, использовались данные о крене, курсе и дифференте БНПА, а также расстоянии ПА до грунта.

Созданная для получения этой информации система датчиков пространственной ориентации БНПА (ИРА) является прообразом автономных навигационных систем современных подводных аппаратов. Система содержала измерительно-преобразующую подводную часть, размещенную на БНПА, и указательно-регистрирующую, размещенную в стойке судового пульта управления пилота БНПА. Подводная часть была размещена в одном из прочных корпусов БНПА (1/2 объема сферы 450 мм) и предназначена для измерения с заданной точностью углов ориентации (крен, дифферент, магнитный курс) и кинематических параметров движения (вертикальная и продольная составляющие перегрузки) БНПА. Подводная часть содержала следующие функциональные элементы:

– комбинированный датчик горизонта для измерения углов крена и дифферента БНПА;

– датчик магнитного курса БНПА;

– датчик линейных перегрузок БНПА;

– вторичный источник стабилизированного и специального электропитания.

Комбинированный датчик горизонта включал блок датчиков авиационной автоматики (2 датчика угловой скорости ДУСУ-2-6АС и 2 бесконтактных вращающихся трансформатора БСКТ-220-III) и усилительно-преобразующее полупроводниковое устройство. Датчик угловой скорости ДУСУ-2-6АС представляет собой двухстепенной гироскоп, а вращающийся трансформатор с эксцентрично закрепленным грузиком на его валу образует физический маятник.

Определение угловой ориентации ПА относительно магнитного меридиана осуществлялось при помощи датчика магнитного курса, который содержал стандартный индукционный датчик магнитного курса ИД-3, используемый в авиационных курсовых системах, и усилительно-преобразовательное устройство.

Измерение кинематических параметров движения БНПА осуществлялось при помощи двух датчиков линейных ускорений компенсационного типа – ДУ-ВД-3С, оси чувствительности которых параллельны осям ОХ и ОУ системы координат, связанной с БНПА.

Надводная часть системы ИРА содержала размещенные в стойке пилота визуальные указатели крена, дифферента и магнитного курса БНПА, выносные регистрирующие самописцы и средства отображения и хранения текущей информации на дисплеях, магнитных дисках, принтерах и других носителях информации ИВК БНПА.

Важной составляющей комплекса БНПА являлась система управления движением БНПА (СУД), предназначенная для автоматизации оптимального маневрирования судна буксировщика при проводке БНПА по намеченному маршруту и при выводе БНПА в заданную область (точку) района работ. Один из режимов работы СУД предусматривал проводку ПА по маршруту на заданном горизонте по глубине.

При работе СУД использовалась информация о местоположении судна, получаемая с помощью ГАНС, информация о глубине погружения БНПА, получаемая с помощью глубомера БНПА, а также информация о курсе, крене и дифференте БНПА, получаемая с помощью системы датчиков пространственной ориентации БНПА.

Система управления пространственным маневрированием БНПА или движением (СУД) в процессе своего функционирования обеспечивала выполнение следующих типовых задач:

- вывод БНПА в окрестность целевой точки с заданными координатами;
- вывод и удержание БНПА на маршруте, заданном координатами начальной точки маршрута (в плане), курсовым углом и глубиной движения БНПА.

Кроме этого СУД обеспечивала:

- малые дистанции промаха (по всем координатам) при выводе в начало маршрута и стабилизацию БНПА на маршруте;
- малые дистанции промаха (по всем координатам) при выводе и возврате БНПА в точку;
- условия безопасной эксплуатации комплекса БНПА в целом.

В основу построения системы управления движением БНПА была положена концепция автоматизированного управления, то есть система выступала в роли «советчика» при решении задач управления.

Основу комплекса СУД составляла ЭВМ, которая имела, наряду с традиционным периферийным оборудованием, ряд дополнительных каналов связи и устройств. Последние позволяли вводить необходимую информацию о параметрах движения БНПА из ИВК и выводить командную информацию по управлению на мониторы пультов управления.

Программное обеспечение СУД составляли программы непосредственно управления, программы графического представления командной информации на мониторах, интерфейсные программы обмена ЭВМ СУД с ЭВМ ИВК, мониторами, графопостроителями, а также сервисные программы, обеспечивающие диалог оператора с ЭВМ.

Объединяющей частью аппаратного комплекса БНПА являлся информационно-вычислительный комплекс (ИВК) на базе современной по тому времени ЭВМ

СМ1420 (типа PDP-11). Функции комплекса состояли в сборе и привязке (обеспечении привязки) научной информации, получаемой с помощью систем БНПА, к единому времени и географическим координатам. В первую очередь комплекс обеспечивал синхронный запрос и прием сигналов (старт-прием) от маяков-ответчиков ГНС СНП-20, а также обработку этих сигналов и преобразование наклонных дальностей в географические координаты, с последующим отображением на двухкоординатном графическом плоттере и навигационных телевизионных мониторах, расположенных на ходовом мостике корабля и центральном посту управления комплекса (ЦПУК) БНПА.

Помимо навигационных функций ИВК обеспечивал сбор информации, поступающей от всех цифровых сенсоров, установленных на БНПА и датчиков состояния судовой части комплекса. Информация формировалась в виде строки состояния комплекса, сохранялась на жестком диске ПЭВМ и распечатывалась в реальном времени на матричном принтере.

Для единой временной привязки всей получаемой информации, обработка, накопление и отображение которой осуществлялось ИВК, а также для единой временной привязки информации, накопление и отображение которой производилось на различных аналоговых (факсимильные аппараты, КСПП и т. п.) или цифровых внесистемных регистраторах, в ИВК формировались сигналы единого времени (ЕВ). С этой целью в эксплуатационном режиме работы ИВК было предусмотрено прерывание, возникающее с перепадом от 1 минуты до 30 минут, конкретная величина которого задавалась в режиме начального диалога. На рисунке 12 представлена схема распределения сигналов единого времени. Как и все временные прерывания, прерывание ЕВ генерируется программно-организованным таймером. При обработке прерывания ЕВ производится циклический опрос модулей, принимающих информацию от датчиков и систем БНПА и судовой части комплекса. Обработанная информация распечатывается на АЦПУ комплекса (матричном принтере) в виде строки протокола эксперимента и отображается на экране видеомонитора (ВКУ). При этом точное время считывается с аппаратно-организованных кварцевых часов на базе кварцевого генератора 730А. Кроме того, в модуль синхронизации гидролокационных сигналов RF поступает команда на выдачу сигналов единого времени для внесистемных регистраторов. При получении команды на выдачу ЕВ модуль RF формирует импульс длительностью 10 мкс, а специальный магистральный усилитель обеспечивает передачу сигнала на расстояние 200 м в любую точку судовой части аппаратурного комплекса БНПА. В реализованной схеме сигнал ЕВ поступает в модуль RFR, размещенный на стойке оператора на центральном посту управления комплексом БНПА, который формирует на его основе гамму сигналов различного вида:

- импульс ЕВ, длительностью 10 мкс;
- импульс ЕВ, длительностью 1 мс;
- тональный сигнал ЕВ, длительностью до 1 сек, с частотным заполнением 4 кГц.

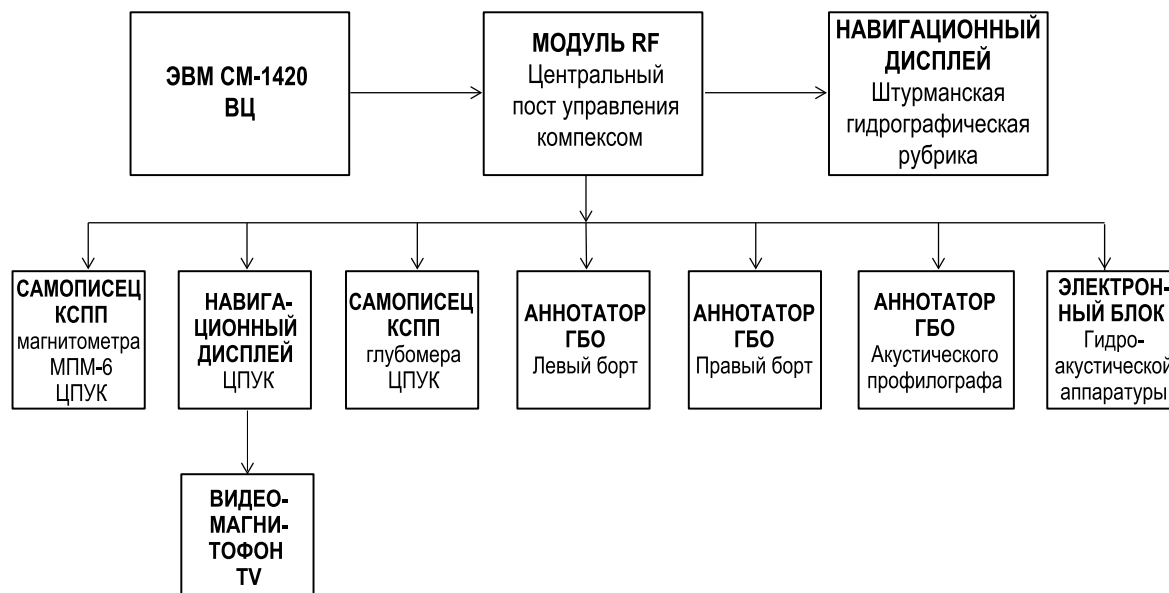


Рис. 12 – Схема распределения сигналов единого времени.

На схеме обозначено: ВЦ – судовой вычислительный центр; RF – модуль синхронизации сигналов, установленный в крейт КАМАК пульта управления комплексом; КСПП – координатно-самопишущий потенциометр; аннотатор ГБО (АП) – цифровое устройство (приставка) для факсимильного аппарата ФАК-II П (ИНЕЙ-II), позволяющее впечатывать в полутоновые гидролокационные изображения метки дальности, а также цифры и метки времени в соответствии с сигналами ЕВ

Для проведения забортных работ с БНПА был разработан и установлен на судне спускоподъемный буксировочный комплекс (СПУ), который обеспечивал: перемещение подводных аппаратов из закрытого ангара к месту стыковки с захватом спускоподъемного устройства, спуск подводного аппарата за борт судна буксировщика, буксировку подводного аппарата на кабель-тросе при натяжении последнего силой до 20 тс.

В состав комплекса входили: транзитная лебедка (рисунок 13) с вьюшкой (рисунок 14) объемом 20 км для кабель-троса диаметром 22 мм, расположенные в трюме кормовой части судна, кормовая трехзвенная П-рама (рисунок 15); буксировочное устройство с основным ролом и горизонтальными отводящими шкивами (рисунок 16); две транспортные тележки на рельсовом ходу с тросовой тягой (рисунки 1 и 4), а также привод датчика натяжения в виде опорного рола с коромыслом. К измерительным устройствам СПУ можно отнести собственно датчик натяжения коренного конца кабель-троса и прочие датчики измерения параметров состояния буксирной линии, как то – датчик измерения длины вытравленного отрезка кабель-троса и угла схода кабель-троса с буксирного рола в вертикальной и горизонтальной плоскостях.



Рис. 13 – Буксирная транзитная лебедка, установленная в трюме ГиСу «Зодиак». На фотографии отображен процесс закладки кабель-троса в ручьи тянущих шкивов лебедки. Слева направо стоят сотрудники Отдела техники глубоководных исследований ИО АН: А. Б. Костин (слева), В. С. Грачев, А. Д. Никитин (стоит спиной).
Фотография из личного архива Н. А. Римского-Корсакова

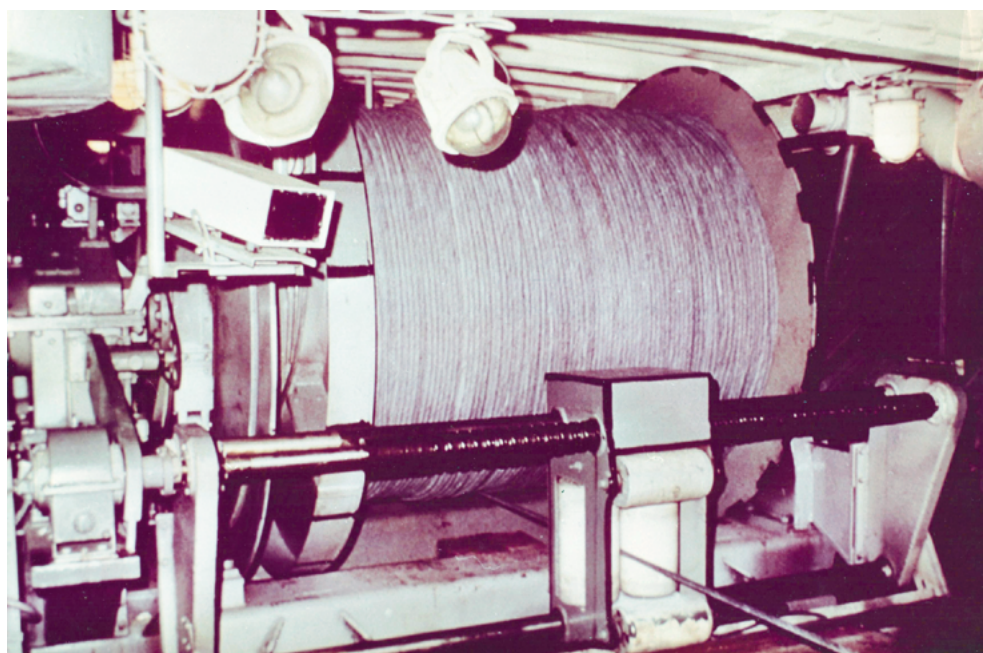


Рис. 14 – Накопительная кабельная вьюшка буксирной лебедки, установленная в трюме ГиСу «Зодиак». Объем – 20 км кабель-троса диаметром 22 мм. Помещение оборудовано освещением и телевизионными системами, позволяющими наблюдать процесс укладки и стравливания кабеля с вьюшки и лебедки

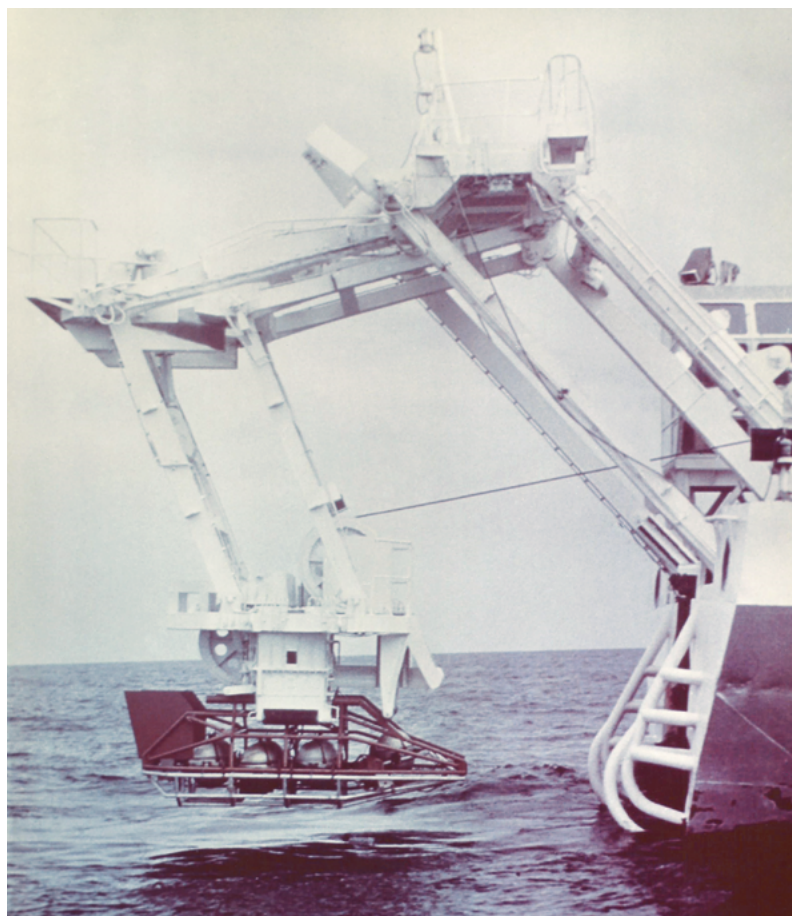


Рис. 15 Трехзвенная П-рама – кормовое спускоподъемное устройство (СПУ) ГиСу «Зодиак», позволявшее опускать БНПА на глубину 4 м. В захвате СПУ БНПА «Звук-Комплекс»



Рис. 16 – Буксировочное устройство. На фотографии: 1 – буксирные роля; 2 – отводящие шкивы; 3 – кабель-трос; 4 – датчик угла схода кабель-троса с буксирного роля в горизонтальной плоскости; 5 – кран-балка; 6 – груз противовеса

В процессе постройки и эксплуатации комплекса БНПА была развита технология поиска и обследования подводных объектов и поверхности дна акваторий с помощью БНПА. Важным эпизодом, подтвердившим правильность выбранных технических решений при создании комплекса БНПА и методики его эксплуатации, были глубоководные исследования, выполненные с помощью БНПА «Звук-Комплекс» в 1990 г. в Средиземном море. Объектом исследований являлся участок дна размером 2000×2000 м, расположенный в диапазоне глубин 4150–4250 м к западу от полуострова Пелопоннес. Рельеф дна в районе полигона в целом выровнен. В 10 км к северу от полигона находится самая глубокая впадина Средиземного моря (5121 м). Осадочный покров, по сейсмическим данным (Москаленко, 1981), представлен турбидитами мощностью 100–200 м.

Для обеспечения навигационной привязки данных полигон был оборудован маяками-ответчиками ГАНС. Для уточнения взаимного положения маяков-ответчиков и глубин их постановки была проведена так называемая относительная калибровка донной базы. При этом были обработаны 342 точки, данные о которых были собраны при движении СН по траектории, огибающей все три МО. Для уточнения географических координат МО и глубин их постановки была проведена абсолютная калибровка донной базы МО. Исходными данными для калибровки являлись координаты СН, определенные одновременно с помощью ГАНС и космической навигационной системы (КНС) в различных точках полигона. В результате калибровки были определены географические координаты МО № 1 (21°04,70' E, 36°29,30'N), местоположение которого связано с началом отсчета относительной рабочей системы координат XYZ (Z – координата по глубине), а также координаты остальных МО при ориентации оси Y на юг, а оси X – на восток. Средняя погрешность в определении географических координат МО составила 265 м. Теоретические основы, а также сущность процесса калибровки донной базы МО и координирования СН и БНПА по ГАНС, рассмотрены в работах (Гусев, Нафиков, Онищенко, 1986; Гусев, Руссак, 1986; Нафиков, Руссак, Гусев, 1986; Нафиков, Руссак, Гусев, 1986; Руссак, 1980).

Расчет места СН с помощью ГАНС велся с использованием средневзвешенного значения скорости звука ($ССН = 1540$ м/с), а координаты БНПА рассчитывались с использованием значения скорости звука в придонном слое ($СПА = 1570$ м/с). Значения $ССН$ и $СПА$ были определены по результатам проведения серии гидрологических станций и районе полигона. Координирование СН обеспечивалось во всем полигоне, причем гладкость траектории движения СН сохранялась при поочередном координировании по трем наклонным дальностям и по различным парам дальностей, что свидетельствует о высокой точности относительной калибровки. Точность определения координат СН находилась в пределах флуктуационной ошибки ГАНС и составляла около 10 м. Координирование БНПА осуществлялось, как правило, по двум наклонным дальностям вблизи плоскости расположения МО (т. е. у дна) и довольно часто вблизи линии, соединяющей места положения МО, по которым осуществлялось координирование. Погрешность расчета координат в таких условиях возрастает, однако основное увеличение погрешности вносится определением координаты Z .

Так, например, при изменении координаты Z БНПА в придонной области на 50 м, координаты X, Y изменяются примерно на 10 м, если учесть, что расхождение значений глубины погружения БИЛ (координата Z), измеренной с помощью ГАНС и глубомера БНПА, не превышало 50 м, то погрешность в определении координат БНПА можно оценить в 20 м. В районе работ (2000×2000 м) положение БНПА определялось устойчиво, в том числе в ходе фототелевизионной съемки при расстоянии БНПА до грунта 2–5 м.

Обследование дна в районе работ включало, во-первых, судовой промер эхолотом ГЭЛ-3 и съемку ГМПЗ судовым магнитометром по сетке взаимно-перпендикулярных галсов с междугалсовым расстоянием 200 м. Результаты промера приведены на рисунке 17.

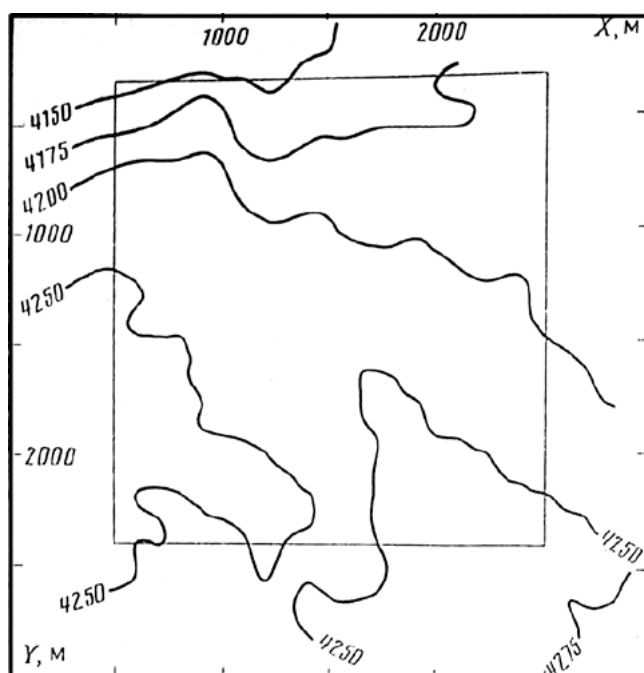


Рис. 17 – Результаты судового эхолотного промера на полигоне. Начало относительной рабочей системы координат XYZ совпадает с местоположением маяка-ответчика № 1. Ось Y ориентирована на юг

Во-вторых, было проведено магнитное и гидролокационное обследование дна с помощью БНПА. Обследование велось на галсах, в среднем ориентированным в направлении юг–север и запад–восток. Расстояние БНПА до грунта составляло 60–90 м. Диапазон развертки ГБО был выбран равным 750 м. В-третьих, было проведено фототелевизионное обследование на нескольких маршрутах, ориентированных в направлении запад–восток. Малая прозрачность воды в придонном слое вызвала необходимость проведения фотосъемки на расстояниях БНПА до дна 3–5 м.

По результатам обследования дна с помощью БНПА в районе работ было выделено три геоморфологических типа дна. Данные фототелевизионного обследования, зондирования дна с помощью АП и отбор нескольких проб донного грунта

свидетельствуют об однородных грунтах в пределах полигона. Образование форм рельефа на дне вызвано, по всей вероятности, глубинными тектоническими процессами и придонными течениями. Результаты обследования дна с помощью БНПА представлены на рисунке 18 в виде геоморфологической схемы поверхности дна района работ.

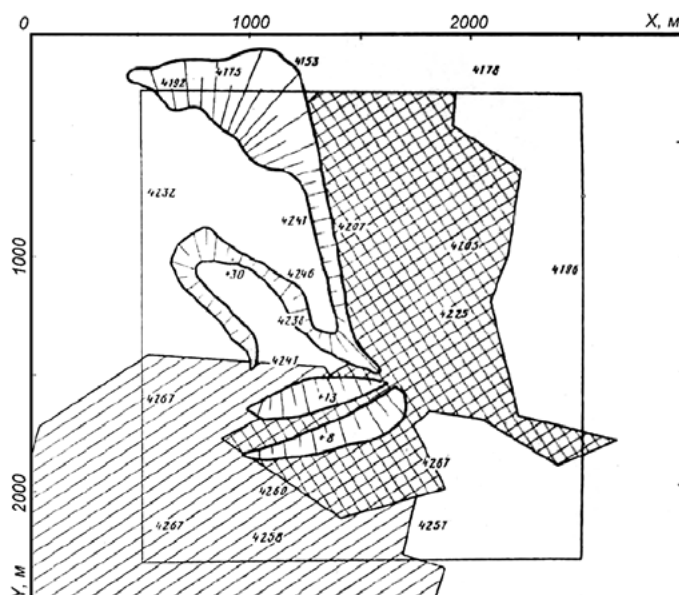


Рис. 18 – Геоморфологическая схема полигона по данным обследования дна с помощью БНПА. Цифрами обозначены глубины в метрах, измеренные с помощью БНПА. Цифрами со значком «+» обозначены относительные высоты элементов рельефа в метрах, измеренные с помощью ГБО

Начало относительной системы координат совпадает с местоположением маяка-ответчика № 1. Ось Y ориентирована на юг. Черной рамкой обозначены границы полигона размером 2x2 км. Белое поле на схеме соответствует выровненному дну (первый тип). Дно второго типа покрыто регулярными формами рельефа типа песчаных волн размером 10–30 м между гребнями. На схеме дно второго типа обозначено двойной штриховкой. Дно третьего типа покрыто регулярными макроформами рельефа размером до 100 м в плане. На схеме дно третьего типа обозначено наклонной штриховкой. Жирными линиями на схеме обозначены контуры отдельных крупных форм рельефа. На рисунке 19 приведена гидролокационная мозаика поверхности дна, составленная из записей ГБО, полученных в районе работ.

Результаты измерения напряженности ГМПЗ у дна, которые проводились одновременно с гидролокационной съемкой, свидетельствуют о спокойном характере поля, а диапазон изменения напряженности ГМПЗ в районе полигона составляет 44538–44507 нТ. Для сравнения, диапазон изменения напряженности ГМПЗ судовым магнитометром на поверхности моря в том же районе составил 44425–44393 нТ.

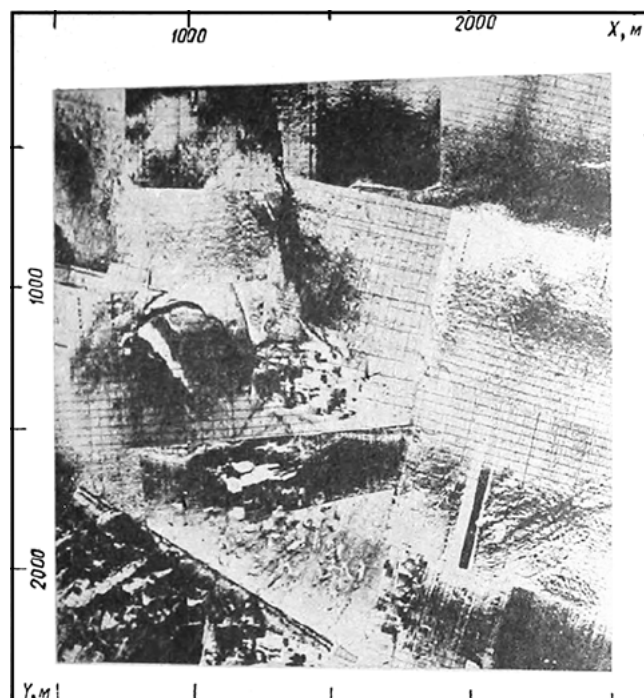


Рис. 19 – Гидролокационная мозаика поверхности дна в районе полигона, составленная из записей ГБО, полученных с помощью БНПА

В целом результаты рассмотренных исследований не только дают исчерпывающую информацию о геоморфологии локального участка дна Средиземного моря, но и демонстрируют исключительную эффективность использования современных БНПА для детального геолого-геоморфологического картирования дна океана. В частности, данные БНПА о глубине места имеют 10-кратный выигрыш по точности и 50-кратный – по детальности (фронтальной разрешающей способности) в сравнении с данными измерений глубин судовым эхолотом. Использование ГБО позволяет «осматривать» междугалсовое пространство и вести в этой зоне измерение относительных высот элементов рельефа. При измерении ГМПЗ на маршруте с борта СН существенное влияние на показания магнитометра оказывают магнитные аномалии геологических объектов, расположенных вблизи обследуемого полигона. Поэтому применение существующих методик пересчета напряженности поверхностного поля к придонному возможно лишь при обследовании значительных площадей, на порядок превышающих размеры заданного полигона. Измерение же ГМПЗ с борта БНПА позволяет определять истинное значение напряженности ГМПЗ у дна. СФС БНПА позволяет вести измерения микрорельефа поверхности дна в диапазоне сантиметров, что полностью исключено при использовании средств СН.

Благодарности. Статья подготовлена в рамках темы Государственного задания Минобрнауки РФ № FMWE-2021-0010.

Список литературы

1. *Беляев И. И., Любимов В. В., Мирлин Е. Г.* Измерение магнитных полей, создаваемых морскими волнами. В кн.: Исследование геомагнитного поля на акваториях морей и океанов. М.: Наука, 1978. С. 161–163.
2. *Беляев И. И., Беляева Е. Н., Свиридов С. А., Томпофольский А. В., Филин А. М.* Морской протонный магнитометр МПМ–6 // *Океанология*. 1987. Т. 27. Вып. 3. С. 532–534.
3. *Бондарик А. Н., Свиридов С. А.* Магнитное поле течения в проливе // *МГЖ*. 1987. Т. 6. С. 46–52.
4. *Бородин П. М., Мельников А. В., Морозов А. А., Чернышев Ю. С.* Ядерный магнитный резонанс в земном поле. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1967. 232 с.
5. *Гусев В. К., Нафиков В. М., Онищенко Э. Л.* Математическое обеспечение судового информационно-вычислительного комплекса реального времени. Москва: ИО АН СССР, 1986. С. 89–91.
6. *Гусев В. К., Руссак Ю. С.* Алгоритмическое обеспечение системы гидроакустической навигации. Москва: изд. ИО АН СССР, 1986. С. 91–99.
7. *Деменицкая Р. М., Иванов С. С., Литвинов Э. М.* Естественные физические поля океана. Л.: Недра, 1981. 272 с.
8. *Жаворонков С. В., Римский-Корсаков Н. А., Шахов М. Н.* Акустические помехи при буксировке донных профилографов // *Океанология*. 1984. Т. 24. Вып. 2. С. 349–351.
9. *Жерновой А. И., Латышев Г. Д.* Ядерный магнитный резонанс в проточной жидкости. М.: Атомиздат, 1964. 254 с.
10. *Мирлин Е. Г., Мелихов В. Р., Вержбицкий Е. В.* Статистические характеристики аномального магнитного поля центральной части Атлантического океана. В сб.: *Океанология. Серия Морская геология*. Т. 11. Вып. 3. М.: Изд. АН СССР, 1972. С. 437–444.
11. *Мирлин Е. Г., Мелихов В. Р.* Новые данные о природе магнитных аномалий в северной части Атлантического океана. В сб.: *Океанология. Серия Морская геология*. Т. 16. Вып. 1. М.: Изд. АН СССР, 1972. С. 98–104.
12. *Москаленко В. И.* Строение земной коры Средиземного моря по сейсмическим данным. М.: Наука, 1981.
13. *Нафиков В. М., Руссак Ю. С., Гусев В. К.* Оценка надежности работы гидроакустической навигационной системы в различных режимах // *Подводные технические средства исследования океана*. М.: Изд. ИО ЛИ СССР, 1988. С. 90–94.
14. *Померанцев Н. М., Рыжков В. М., Скроцкий Г. В.* Физические основы квантовой магнитометрии. М.: Наука, 1972. 448 с.
15. *Римский-Корсаков Н. А.* Акустический профилограф. В кн.: *Принципы построения технических средств исследования океана*. М.: Наука, 1982. С. 190–200.
16. *Римский-Корсаков Н. А., Нафиков В. М.* Некоторые результаты использования подводного буксируемого аппарата для крупномасштабного геолого-геоморфологического картирования // *Океанология*. 1992. Т. 32. Вып. 3. С. 594–599.
17. *Римский-Корсаков Н. А., Долотов Ю. С., Пронин А. А.* Технические средства исследования рельефа дна и осадочной толщи эстуарных зон Белого моря // *Океанология*. 2009. Т. 49. № 3. С. 468–473.
18. *Римский-Корсаков Н. А., Руссак Ю. С., Костин А. Б.* Элементы и системы подводных гидролокационных аппаратов серии «Звук» // *Подводные технические средства исследования океана*. М.: Изд. ИО АН СССР, 1990. С. 71–81.
19. *Руссак Ю. С.* Навигационное обеспечение работы подводных аппаратов Подводные аппараты и роботы. М.: Изд. ИО АН СССР, 1980. С. 82–89.

Статья поступила в редакцию 23.01.2023, одобрена к печати 29.03.2023.

Для цитирования: Римский-Корсаков Н. А., Свиридов С. А., Руссак Ю. С., Костин А. Б., Тихонова Н. Ф. Разработка и эксплуатация глубоководного океанографического комплекса в составе буксируемых аппаратов «Звук» // Океанологические исследования. 2023. № 51 (1). С. 133–161. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(1\).7](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).7).

DEVELOPMENT AND OPERATION OF DEEP-SEA OCEANOGRAPHIC COMPLEX AS PART OF TOWED VEHICLES “ZVUK”

N. A. Rimsky-Korsakov^{1,2}, S. A. Sviridov¹, Yu. S. Russak¹,
A. B. Kostin¹, N. F. Tikhonova¹

¹*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia,
e-mail: nrk@ocean.ru, svi@ocean.ru;*

²*N. E. Bauman Moscow State Technical University,
5/1, 2nd Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russia,
e-mail: nrk@ocean.ru*

The article presents a technical review on the development of deep-sea complex with a working depth of immersion and towing of 6000 m in the 1980s at the Shirshov Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences. The complex was devoted to studies of the bottom surface and underwater objects in the interests of the Hydrographic Service of the Russian Navy. The complex consists of two towed uninhabited underwater vehicles “Sound-Complex” and “Sound-MAFT”. A special hydrographic vessel with a displacement of 2600 tons was converted for deep-sea towing and storage of these devices. Computer CM1420 was used for the ship’s automated system for collecting and processing information coming from an underwater hydro acoustic navigation system, a proton magnetometer, a TV system, and side and frontal sonars. The complex was operated until 1992 in the Atlantic Ocean, the Black, Mediterranean and Baltic Seas, and was decommissioned in the early 1990s. Modern issues of the operation of industrial pipelines require understanding of experience and the creation of towed uninhabited underwater vehicles at a new technological level.

Keywords: deep-sea, towed vehicle, sonar, magnetometer, photosystem, underwater television, hydro acoustic navigation system, “Sound-Complex”

Acknowledgement: The article was prepared within the framework of the topic of the State Assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. FMWE-2021-0010.

References

1. Belyaev, I. I., V. V. Lyubimov, and E. G. Mirlin, 1978: *Measurement of magnetic fields generated by sea waves*. In the book: Study of the geomagnetic field in the waters of seas and oceans, Moscow, Nauka, 161–163.
2. Belyaev, I. I., E. N. Belyaeva, S. A. Sviridov, A. V. Tompofol’skii, and A. M. Filin, 1987: Marine proton magnetometer MPM-6. *Oceanology*, **27** (3), 532–534.

3. Bondarik, A. N. and S. A. Sviridov, 1987: Magnetic field of the flow in the strait. *MGZh*, **6**, 46–52.
4. Borodin, P. M., A. V. Melnikov, A. A. Morozov, and Yu. S. Chernyshev, 1967: *Nuclear magnetic resonance in the terrestrial field*. Leningrad, Publishing House of Leningrad University, 232 p.
5. Gusev, V. K., V. M. Nafikov, and E. L. Onishchenko, 1986: *Mathematical support of the ship's real-time information and computing complex*. Moscow, IO AS USSR, 89–91.
6. Gusev, V. K. and Yu. S. Russak, 1986: *Algorithmic Support for the Hydro acoustic Navigation System*. Moscow, ed. IO AS USSR, 91–99.
7. Demenitskaya, R. M., S. S. Ivanov, and E. M. Litvinov, 1981: *Natural physical fields of the ocean*. Leningrad, Nedra, 272 p.
8. Zhavoronkov, S. V., N. A. Rimsky-Korsakov, and M. N. Shakhov, 1984: Acoustic interference during towing of bottom profilers. *Oceanology*, **24** (2), 349–351.
9. Zhernovoy, A. I. and G. D. Latyshev, 1964: *Nuclear magnetic resonance in a flowing liquid*. Moscow, Atomizdat, 254 p.
10. Mirlin, E. G., V. R. Melikhov, and E. V. Verzhbitsky, 1972: Statistical characteristics of the anomalous magnetic field in the central part of the Atlantic Ocean. In: *Proc. "Oceanology", Marine geology series*, Moscow, Ed. AS USSR, **11** (3), 437–444.
11. Mirlin, E. G. and V. R. Melikhov, 1972: New data on the nature of magnetic anomalies in the northern part of the Atlantic Ocean. In: *Proc. "Oceanology", Marine geology series*, Moscow, Ed. AS USSR, **16** (1), 98–104.
12. Moskalenko, V. I., 1981: *Structure of the earth's crust of the Mediterranean Sea according to seismic data*. Moscow, Nauka.
13. Nafikov, V. M., Yu. S. Russak, and V. K. Gusev, 1988: Assessment of the reliability of the operation of a hydro acoustic navigation system in various modes. In book: *Underwater technical means of ocean research*. Moscow, Ed. IO LI USSR, 90–94.
14. Pomerantsev, N. M., V. M. Ryzhkov, and G. V. Skrotskii, 1972: *Physical Foundations of Quantum Magnetometry*. Moscow, Nauka, 448 p.
15. Rimsky-Korsakov, N. A., 1982: *Acoustic profiler*. In the book: *Principles of constructing technical means for ocean research*. Moscow, Nauka, 190–200.
16. Rimsky-Korsakov, N. A. and V. M. Nafikov, 1992: Some results of the use of an underwater towed vehicle for large-scale geological and geomorphological mapping. *Oceanology*, **32** (3), 594–599.
17. Rimsky-Korsakov, N. A., Yu. S. Dolotov, and A. A. Pronin, 2009: Technical means for studying the bottom relief and sedimentary strata of the White Sea estuarine zones. *Oceanology*, **49** (3), 468–473.
18. Rimsky-Korsakov, N. A., Yu. S. Russak, and A. B. Kostin, 1990: Elements and systems of underwater sonar vehicles of the Zvuk series. In book: *Underwater technical means of ocean research*. Moscow, Ed. IO AS USSR, 71–81.
19. Russak Yu. S., 1980: Navigation support for underwater vehicles. In book: *Underwater vehicles and robots*. Moscow, Ed. IO AS USSR, 82–89.

Submitted 23.01.2023, accepted 29.03.2023.

For citation: Rimsky-Korsakov, N. A., S. A. Sviridov, Yu. S. Russak, A. B. Kostin, and N. F. Tikhonova, 2023: Development and operation of deep-sea oceanographic complex as part of towed vehicles "Zvuk". *Journal of Oceanological Research*, **51** (1), 133–161, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(1\).7](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).7).