



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Дальневосточный федеральный университет»

Инженерная школа

Кафедра приборостроения

Бродовикова Антонина Андреевна

**ЛАБОРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ИМИТАТОРА СИГНАЛА ДЛЯ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

по образовательной программе подготовки магистров
по направлению подготовки
12.04.01 «Приборостроение»,
магистерская программа «Гидроакустика»

г. Владивосток
2020

Студент АА- А.А. Дроздовичева
подпись
« 7 » июль 2020 г.

Руководитель ВКР руководитель группы
гидроакустики ПАО «Дальприбор»
(должность, ученое звание)

Серветников М.И.
(подпись) (ФИО)
« 07 » июль 2020 г.

«Допустить к защите»

Руководитель ОП д.ф.-м.н.
(ученое звание)
Короченцев В.И.
(подпись) (ФИО)
« 08 » июль 2020 г.

Пройден нормоконтроль
Гарасев И.В.
(подпись) (ФИО)
« 07 » июль 2020 г.

Зав. кафедрой д.ф.-м.н.
(ученое звание)
Короченцев В.И.
(подпись) (ФИО)
« 08 » июль 2020 г.

В материалах ВКР не содержатся/содержатся
(нужное подчеркнуть)
сведения, составляющие государственную
/коммерческую тайну и подлежащие экспортному
контролю
Уполномоченный по экспортному контролю
Петухов В.И.
(подпись) (ФИО)
« 09 » июль 2020 г.

Назначен рецензент К.Т.Н.
(ученое звание)
Мальцев Юрий Викторович
(фамилия, имя, отчество)
Мальцев Ю.В.
(подпись) (ФИО)
« 07 » июль 2020 г.

Эксперт Инженерной школы
Петросьянц В.В.
« 08 » июль 2020 г.

Защищена в ГЭК с оценкой _____

Секретарь ГЭК
Н.С. Сошина
подпись (И.О.Фамилия)
« _____ » _____ 20 _____ г.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»

УТВЕРЖДЕНО

Руководитель ОП д.ф.-м.н
(ученая степень, должность)
Короченцев В.И
(подпись) (ФИО)
«24» июня 2020 г.

Заведующий кафедрой д.ф.-м.н
(ученая степень, звание)
Короченцев В.И
(подпись) (ФИО)
«24» июня 2020 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студенту (ке) Бродовиковой Антонине Андреевне Группа М3118
(Фамилия, Имя, Отчество) (номер группы)

1. Наименование темы Лабораторная модель имитатора сигнала для обеспечения испытаний гидроакустических систем
2. Основания для разработки Приказ от 17.12.2018 № Сд-205
3. Источники разработки Патент № 53022, Имитатор сигналов радиогидроакустического буга / Головацкий И.В., Долгих В.Н., Ламека А.П., 2006. Патент 1840727, Имитатор гидроакустических сигналов / Паллей Ю.П., Пелевин Ю.П., Сергеенко Ю.П., 2009.
4. Технические требования (параметры) возможность дистанционного управления; возможность формирования сигналов в диапазоне 10 Гц – 10 кГц; возможность управления параметрами генерируемого сигнала
5. Дополнительные требования проверить правильность работы разработанной системы; проверить возможность работы разработанных программ на различных звуковых картах
6. Перечень разработанных вопросов
 - Анализ существующих гидроакустических устройств
 - исследование современных виртуальных приборов
 - разработать систему клиент-сервер лабораторной модели имитатора сигнала в пакете программе LabVIEW
 - предложить конструкторское решение

7. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных плакатов) _____

- структурные схемы системы клиент–сервер

- лицевые панели системы клиент–сервер

- структурная схема морской платформы

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

№ п/п	Выполняемые работы и мероприятия	Срок выполнения	Примечания
1	Выбор темы и согласование с руководителем	до 01 ноября	вкл.
2	Составление плана работы и согласования с руководителем	до 25 января	вкл.
3	Разработка и представление руководителю: главы 1 главы 2 главы 3	до 20 марта	вкл.
		до 3 апреля	вкл.
		до 24 апреля	вкл.
4	Подготовка и согласование с руководителем выводов и предложений, введения и заключения. Подготовка презентации работы	до 15 мая	вкл.
5	Доработка ВКР в соответствии с замечаниями руководителя	до 29 мая	вкл.
6	Получение отзыва научного руководителя и предзащита ВКР на заседании выпускающей кафедры	до 23 июня	вкл.
7	Доработка ВКР в соответствии с замечаниями, высказанными на предзащите, окончательное оформление	до 1 июля	вкл.
8	Передача работы на рецензирование	до 2 июля	вкл.
9	Получение рецензии, передача работы на кафедру	до 5 июля	вкл.
10	Завершение подготовки к защите (доклад, презентация в Power Point)	до 7 июля	вкл.
11	Защита ВКР в ГЭК	13 июля	вкл.

Дата выдачи задания _____

Срок представления к защите _____

Руководитель ВКР _____


(подпись)

Серветников М.И.

(ФИО)

Студент _____


(подпись)

Бродовикова А.А.

(ФИО)

АННОТАЦИЯ

В данной работе описывается проблема проведения испытаний активных и пассивных гидроакустических средств. Первая глава полностью посвящена литературному анализу проблемы, а также анализу и сравнению существующих гидроакустических средств, информационно-измерительных систем и виртуальных приборов.

Во второй главе описывается разработка виртуальной модели имитатора сигнала в среде разработки LabVIEW, а также приведена инструкция о её применении. На осциллографе проверена правильность работы разработанной системы и произведена проверка работоспособности модели на другом персональном компьютере.

В третьей главе предложено конструкторское решение, в котором можно применить разработанную виртуальную модель.

Главной особенностью работы дистанционное управление виртуальным прибором.

Работа состоит из обозначений и сокращений, введения, трех глав, заключения, списка использованных источников. Общий объем работы составляет 96 страниц машинописного текста, который включает 22 рисунка, 3 таблицы и содержит список использованных источников из 64 наименования, среди которых 52 отечественных и 12 иностранных источников.

ANNOTATION

This paper describes the problem of testing active and passive sonar. The first chapter is fully devoted to the literary analysis of the problem, as well as the analysis and comparison of existing sonar, information-measuring systems and virtual instruments.

The second chapter describes the development of a virtual signal simulator model in LabVIEW, as well as an instruction on its application. The correct operation of the developed system on the oscilloscope was checked and the model was checked for operability on another personal computer.

The third chapter proposes a design solution, where you can apply the developed virtual model.

The main feature of the work is remote control of the virtual device.

The work consists of designations and abbreviations, introductions, three chapters, a conclusion, a list of used sources. The total workload is 96 pages of typewritten text, which includes 22 drawings, 3 tables and contains a list of used sources from 64 names, including 52 domestic and 12 foreign sources.

Обозначения и сокращения

В настоящей пояснительной записке применяют следующие термины с соответствующими определениями:

АИК – автоматизированные измерительные комплексы

АИС – автоматизированные измерительные системы

АПК – аппаратно-программный комплекс

АСУ – автоматизированная система управления

АЦП – аналого–цифровой преобразователь

БПД – быстрое преобразование Фурье

ВП – виртуальный прибор

ГАК – гидроакустический комплекс

ГАС – гидроакустические системы

ГЛС – гидролокационные станции

ГЧМ – гиперболическая частотная модуляция

ДН – диаграмма направленности

ИВК – измерительно–вычислительные комплексы

ИИ – искусственный интеллект

ИИС – измерительно–информационная система

ИС – информационная система

КИС – компьютерно-измерительная система

КК – коэффициент концентрации

КО – круговой обзор

КПД – коэффициент полезного действия

ЛЧМ – линейная частотная модуляция

НК – надводный корабль

НЧ – низкочастотный

ОД – объект диагностирования

ОК – одноплатный компьютер

ОМ – острота максимума

ОНД – острота направленного действия
ОСП – отношение сигнал/помеха
ПЗУ – постоянное запоминающее устройство
ПК – персональный компьютер
РЭС – радиоэлектронные средства
САК – система автоматического контроля
СИ – международная система единиц
СТД – система технической диагностики
ФМ – фазомодулированный
ХН – характеристика направленности
ЦАП – цифроаналоговый преобразователь
ЧМ – частотная модуляция
ЧО – человек-оператор
ЧПУ – числовое программное управление
ШПС – широкополосный сигнал
ЭВМ – электронно-вычислительная машина
ЭДП – экспериментальная дрейфующая платформа

Содержание

Обозначения и сокращения.....	7
Введение.....	10
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	14
1.1 Анализ существующих гидроакустических средств.....	14
1.2 Основные характеристики звуковых полей.....	17
1.3 Основные характеристики современных гидроакустических средств...	20
1.4 Значение метрологии для гидроакустических измерений.....	37
1.5 Анализ типов и видов сигналов, применяемых в гидроакустических средствах	44
1.6 Измерительно–информационные системы.....	47
1.7 Средства разработки программно–аппаратных комплексов.....	54
1.8 Сетевые технологии	60
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....	64
2.1 Анализ требований ТЗ	64
2.2 Разработка виртуальной модели имитатора сигналов	64
2.3 Инструкция по применению виртуальной модели имитатора сигналов	77
3 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ.....	78
3.1 Описание установки.....	78
3.2 Структурная схема морской платформы	84
3.2.1 Обоснование выбора одноплатного компьютера	86
Заключение	88
Список использованных источников	90

Введение

В настоящее время существует множество предприятий, занимающихся созданием систем и технологических решений для освещения подводной обстановки. Для максимально достоверной оценки испытываемых средств необходимо учитывать различные измерительные ситуации. Проведение морских испытаний гидроакустических систем (ГАС) требует применения множества источников гидроакустических сигналов в широком диапазоне частот. Используется большое количество дополнительной аппаратуры и средств различного назначения.

В истории существуют разработки для решения тех или иных задач при испытаниях гидроакустической техники. Одни имитируют эхо–сигналы от движущейся цели путем магнитной записи и последующего воспроизведения сигналов посылок гидролокационной станции (ГЛС), при этом имитируемые эхо–сигналы имеют доплеровский сдвиг частоты имитируемой цели. Такие имитаторы гидроакустических эхо–сигналов содержат:

1. приемник гидроакустических сигналов,
2. усилитель записи,
3. записывающая магнитная головка,
4. воспроизводящая магнитная головка,
5. стирающая магнитная головка,
6. магнитоноситель,
7. вращающийся блок воспроизводящих магнитных головок,
8. усилитель воспроизведения,
9. смеситель сигналов,
10. генератор шумового сигнала,
11. управляемый фильтр нижних частот,
12. фильтр верхних частот,
13. усилитель мощности,

14. излучатель гидроакустических сигналов,
15. блок управления шириной спектра шумового сигнала.

Другие используются для имитации гидролокационных сигналов. Они имеют расширенные функциональные возможности путем имитации сигналов тенеграфического изображения протяженных искусственных и естественных объектов. Такие имитаторы состоят из следующих блоков:

1. генератор тактовых импульсов,
2. делитель частоты,
3. генератор пилообразного напряжения,
4. генератор шума,
5. узкополосный фильтр,
6. формирователь селективирующего импульса кадра,
7. компаратор,
8. масштабирующие усилители,
9. генераторы опорных колебаний.

Известны имитаторы отраженных сигналов доплеровского лага [5,6,11], имитаторы сигналов гидроакустических маяков–ответчиков [9,10], имитатор сигналов радиогидроакустического буя [12].

Известен имитатор шумов морских целей, входящий в состав гидроакустического шумопеленгатора, включающий в себя блок памяти шумов подводных лодок, блок памяти шумов надводных кораблей, блок памяти шумов торпед, блок памяти шумов летательных аппаратов, блок памяти шумов гражданских судов, блок памяти шумов обитателей моря, а также первый переключатель, вход которого соединен с выходом блоков памяти упомянутых шумов [8].

Такой имитатор позволяет оценить дальность действия гидроакустического шумопеленгатора путем использования имитируемых шумов морских целей в виде электрических сигналов с нормированным затуханием при распространении на фоне реальных помех, в том числе и принимаемых из среды.

Существуют и другие устройства схожие по назначению, но не соответствующие по желаемому функционированию. Именно поэтому имеется необходимость в разработке лабораторной модели имитатора сигнала, которая будет входить в комплекс средств, обеспечивающих испытания активных (излучают в среду и отрабатывают отклик) и пассивных (слушают и анализируют изменения шумовой обстановки) гидроакустических средств, выпускаемых на предприятии ПАО «Дальприбор». Необходимо создать модели имитатора сигналов, имеющих заранее известные, заданные характеристики. Разрабатываемая модель должна быть модульной, иметь возможность замены некоторых частей при эксплуатации в различных условиях.

Цель работы:

Разработать систему клиент–сервер лабораторной модели имитатора сигнала для обеспечения испытаний гидроакустических систем.

Задачи работы:

- провести анализ существующих ГАС;
- провести исследование современных виртуальных приборов (ВП) на базе звуковой карты;
- разработать систему клиент–сервер лабораторной модели имитатора сигнала в программе LabVIEW;
- предложить конструкторское решение на основе исследовательских данных.

При разработке конструкторского решения необходимо учесть следующие факторы:

1. возможность работы в реальном масштабе времени;
2. дальность передачи и приема информации;
3. массогабаритные характеристики;
4. параметры окружающей среды (влажность, температура, вибрация, радиационная и ударная стойкость и др.);

5. параметры энергопотребления (потребляемая мощность, стабильность номиналов электропитания, количество номиналов).

Разработка и реализация лабораторной модели имитатора сигнала для обеспечения испытаний гидроакустических систем позволит значительно повысить эффективность испытаний. Упростить проведение таких испытаний можно за счет дистанционного управления, что в свою очередь позволит:

- автоматизировать процесс управления экспериментальным оборудованием;
- уменьшить время проведения испытаний;
- увеличится скорость получения результатов;
- удешевить гидроакустические испытания.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Анализ существующих гидроакустических средств

Гидроакустика – область акустики, рассматривающая излучение, прием и распространение акустических волн в водной среде [3].

Гидроакустическими называют технические средства, основанные на использовании явления распространения акустических волн в океанах, морях и других естественных водоемах [47].

Гидроакустическое средство – совокупность технических устройств или отдельное устройство, принцип действия которого основан на использовании акустических волн в водной среде, и предназначенное для передачи и приема информации [3].

Пассивное гидроакустическое средство – гидроакустическое средство, содержащее устройства только приема гидроакустических сигналов [3].

Активное гидроакустическое средство – гидроакустическое средство, содержащее устройства излучения и приема гидроакустических сигналов [3].

Гидроакустические системы (ГАС) наблюдения возникли исходя из потребностей Военно–Морского Флота и решения задач народно–хозяйственного значения. Гидроакустические средства решают задачи: обнаружения, определения местоположения, классификации, оценивания параметров, наведения оружия, гидроакустического противодействия, связи и др.

По своему назначению различают следующие ГАС:

– системы подводного наблюдения, предназначенные для поиска, обнаружения, классификации подводных объектов, слежения за этими объектами, определения их координат и элементов движения;

- системы связи, обеспечивающие связь между объектами, из которых хотя бы один находится в подводном положении;
- системы телеметрии и телеуправления, используемые для дистанционной передачи информации о состоянии подвижных или неподвижных подводных объектов и управления этими объектами с помощью гидроакустических сигналов;
- системы кораблевождения, предназначенные для обеспечения безопасности плавания, измерения глубин под килем судна, отстояния подводного объекта от поверхности моря, скорости судна и ее продольной и поперечной составляющих, углов сноса, определения места судна по искусственным и естественным подводным ориентирам, обеспечения плавания подо льдами и т. п.;
- системы обеспечения океанографических исследований, которые определяют рельеф и структуру морского дна, измеряют гидроакустические характеристики водной среды, высоту волн, скорость течений и т.п.;
- системы морской геологии и обеспечения подводных промыслов полезных ископаемых, предназначенные для поиска и изучения подводных месторождений, обеспечения буровых работ, функционирования подводной аппаратуры промыслов и т. п.;
- системы обеспечения рыболовства и промысла морских животных, используемые для поиска объектов промысла, оценки их скоплений и запасов, наведения на них орудий лова, контроля за состоянием и работой этих орудий и т.п.;
- системы, служащие для контроля и анализа акустических полей судов и параметров гидроакустической аппаратуры.
- В зависимости от масштаба решаемых задач гидроакустические системы делят на следующие виды:
 - гидроакустические комплексы, обеспечивающие решение задач, относящихся по назначению к двум и более перечисленным выше видам, например задач наблюдения, связи и кораблевождения;

– гидроакустические станции, обеспечивающие полностью или частично решение одной из основных задач, например наблюдения, связи, кораблевождения и т. п. Иногда станции могут частично решать и другие задачи. Так, например, некоторые рыболокаторы позволяют определять и глубину, т. е. выполняют функции эхолота;

– гидроакустические приборы, обеспечивающие решение лишь некоторых частных задач, например определения распределения скорости звука с глубиной.

При классификации системы по их назначению и кругу решаемых задач различают их основные функции и дополнительные, не имеющие определяющего значения.

По способу использования энергии ГАС делят на активные, функционирование которых связано с излучением энергии в окружающую водную среду, и пассивные, использующие излучения, создаваемые другим объектом преднамеренно (излучение сигналов) или непреднамеренно, т. е. в процессе его обычного функционирования (например шумы, возникающие при движении судна). Встречаются также разновидности аппаратуры с разнесением излучающей (активной) и приемной (пассивной) частей в пространстве, например сейсмоакустические системы, в которых источником акустической энергии служат источники взрывного типа, а приемники отраженных сигналов находятся на удалении от места взрыва.

По месту установки ГАС могут быть:

- судовыми с антеннами, размещаемыми на корпусе судна, буксируемыми или опускаемыми за борт;
- авиационными – самолетными или вертолетными;
- стационарными, устанавливаемыми на дне;
- позиционными, устанавливаемыми на якорях, с антеннами, поддерживаемыми плавучестями;
- дрейфующими, не связанными механически с судном, летательным аппаратом или дном;

- носимыми водолазами.

Любое ГАС может быть классифицировано по всем перечисленным основным признакам. Кроме того, существуют признаки, характерные для отдельных разновидностей или групп средств. Так, например, активные средства по характеру излучения могут быть с непрерывным или импульсным излучением, последние, в свою очередь, отличаются по способу формирования импульса и т. д. Средства наблюдения могут различаться по способу обзора пространства, числу определяемых координат цели и другим признакам.

1.2 Основные характеристики звуковых полей

Звук представляет собой регулярные колебания молекул упругой среды.

Акустическим полем называют область упругой среды, которая является средством передачи акустических волн. Акустическое поле характеризуется:

- акустическим давлением;
- удельным акустическим сопротивлением.

Акустическое давление – это разность между давлением, возникающим в водной среде при распространении акустических колебаний, и статическим давлением. В системе единиц СИ единицей давления является паскаль ($\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$).

Акустическое давление является главной и первичной, характеристикой звукового поля.

В плоской звуковой волне давление p связано со скоростью перемещения частиц жидкости (среды) u соотношением:

$$p = \rho c u, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости; c – скорость распространения волны.

Коэффициент пропорциональности ρc называется удельным акустическим сопротивлением (волновым сопротивлением) жидкости. Для морской воды $\rho c \approx 1,5 \cdot 10^6$ кг/(м²с), для воздуха $\rho c \approx 420$ кг/(м²с).

Выражение (1) представляет собой аналог закона Ома для акустики: скорость частиц u можно рассматривать как акустический аналог электрического тока, а давление p – как аналог электрического напряжения.

Распространяющаяся звуковая волна несет механическую энергию в форме кинетической энергии движущихся частиц и потенциальной энергии давления, создаваемого частицами в упругой среде. Через площадку единичных размеров, расположенную перпендикулярно к направлению распространения волны, каждую секунду переносится определенное количество энергии, называемое интенсивностью волны [4]. Если эта площадка расположена произвольно, интенсивность выражается векторной величиной, аналогичной вектору Умова–Пойнтинга для электромагнитных волн. В плоской звуковой волне установившееся значение интенсивности связано с акустическим давлением соотношением: $I = p^2 / \rho c$ [Вт/м²].

Для неустановившихся процессов, а также в случае, когда сигнал значительно искажается при распространении или отражении звуковой волны от подводного объекта, более целесообразно пользоваться понятием **плотность потока энергии** акустической волны. Энергетическая плотность потока представляет собой интеграл по времени от мгновенных значений интенсивности и может быть вычислена по формуле:

$$E = \int_0^{\infty} I \cdot dt = \frac{1}{\rho c} \int_0^{\infty} p^2 dt, \quad (2)$$

где интегрирование практически можно проводить за промежуток времени, равный периоду волны. Плотности потока энергии измеряется в джоулях на квадратный метр.

Рассматривая изменение во времени параметров гидроакустического поля в фиксированной точке пространства (например, в точке расположения гидрофона), будем иметь некоторый процесс, для описания которого можно использовать аппарат теории случайных процессов. Одним из основных понятий этой теории является спектральная плотность $S(f)$, которая характеризует распределение мощности процесса по частоте.

Этот термин имеет смысл только для сигналов с непрерывным спектром, т. е. в тех случаях, когда сигнал, пусть даже небольшой, присутствует в любой точке рассматриваемой полосы частот. Зная спектральную плотность процесса, можно определить его мощность в любом заданном диапазоне частот $[f_n, f_b]$ по формуле:

$$S_{\Delta f} = \int_{f_n}^{f_b} S(f) df . \quad (3)$$

Частотный диапазон рассматриваемых гидроакустических процессов весьма широк.

С точки зрения физиологии человеческого слуха в литературе частотные диапазоны акустических сигналов трактуются следующим образом.

Инфразвук – не слышимые человеческим ухом упругие волны низкой частоты (менее 16 Гц). Нижняя граница инфразвукового диапазона неопределенна. Практический интерес могут представлять колебания от десятых и даже сотых долей Гц., т. е. с периодами в десяток секунд. При больших амплитудах инфразвук воспринимается как боль в ухе.

Звук – слышимые человеческим ухом упругие волны (от 16 Гц до 20 кГц).

Ультразвук – упругие волны в диапазоне частот более 20 кГц, не слышимые человеческим ухом.

В гидроакустике деление на частотные диапазоны носит условный характер и отражает, прежде всего, особенности распространения звуковых

волн различных частот в реальной морской среде. Наиболее часто частотные диапазоны в гидроакустике распределяются следующим образом:

- сверх низкочастотные колебания – ниже 1 Гц;
- инфразвуковые колебания – 1 Гц ÷ 500 Гц;
- звуковые колебания – 500 Гц ÷ 20 кГц;
- ультразвуковые колебания – более 20 кГц.

1.3 Основные характеристики современных гидроакустических средств

В активных гидроакустических средствах – гидролокационных станциях (ГЛС), трактах и каналах гидроакустических комплексов (ГАК) применяется принцип излучения акустической энергии в водную среду с последующим анализом акустических сигналов, прошедших сквозь водную среду и отразившихся от цели. Методы и устройства обработки сигналов в активных гидроакустических системах имеют много общего с радиолокационными системами и системами радиосвязи, в следствие этого можно пользоваться соответственно единым математическим аппаратом с учетом воздействия морской среды, определяющей основную специфику ГАС.

На развитие ГАС влияет совершенствование морских систем вооружения. Изначально подводные лодки могли погружаться на короткий период времени, в остальное время они находились в надводном положении. Успешное применение подводных лодок привело к совершенствованию защиты наводных кораблей. Со временем значительно возросли требования к скорости и обзора подводного пространства для решения задачи обнаружения подводных лодок применяя ГАС. Для перехвата сигналов активных ГАС и ГЛС существуют станции обнаружения гидроакустических сигналов [26].

В техническом отношении увеличение **скорости обзора** пространства достигается особыми способами формирования и управления ХН при излучении и приеме. Поскольку увеличение скорости обзора ведет к

соответствующему уменьшению дальности действия, на современных противолодочных кораблях могут устанавливаться две ГАС, одна из которых позволяет добиться большой скорости обзора, а другая – большой дальности. В большинстве современных ГАС данная задача решается в одной ГАС наличием **тракта кругового обзора** и **тракта сопровождения** (прицельного пеленгования).

ГАС должна удовлетворять многим противоречивым требованиям, важнейшими из которых являются обеспечение заданной дальности действия, скорости обзора, секторов обзора в вертикальной и горизонтальной плоскостях, разрешающих способностей по измеряемым координатам, точности измерения координат и т. д. Не считая этого, должны обеспечиваться соответствующие классификационные возможности, т. е. выделение признаков, по которым могло бы реализовываться определение обнаруженных объектов.

Дальность действия ГАС как основной тактический параметр зависит от многих факторов, таких, как акустические свойства цели, технические характеристики ГАС, условия распространения акустических сигналов в реальных средах. Дальность действия большинства активных гидроакустических систем ограничивается диапазоном 10 – 100 км.

Скорость обзора окружающего пространства определяется временем, в течение которого осуществляется анализ всех элементов разрешения, их количество в ГЛС может достигать нескольких тысяч. В ГЛС **шагового обзора** осмотр окружающего пространства осуществляется путем последовательного облучения – приема узкого сектора, равного ширине ХН на уровне 0,7 по давлению. Время осмотра каждого направления при импульсном излучении и дальности действия r_{max} равно r_{max}/c , а время осмотра заданного сектора ϕ соответственно определяется выражением $\phi \cdot 2r_{max} / \theta_{0,7} \cdot c$, значительно большим при значительных дальностях действия ГЛС и малых углах поворота ХН.

ГЛС **прицельного пеленгования** действуют в узком секторе, поскольку они обеспечивают сопровождение обнаруженной цели для выработки целеуказания и получения классификационной информации. Достоинствами таких ГЛС, являются одноканальность (простота) устройства, рациональное использование энергии, небольшие масса, габариты, стоимость.

Существенное увеличение скорости обзора достигается в ГАС КО (**кругового обзора**), где весь заданный сектор облучается одновременно либо быстро сканирующей ХН, а прием осуществляется вращающейся с большой скоростью ХН, либо веером статически сформированных ХН, перекрывающим весь заданный сектор. В современных ГЛС, где надо обеспечить быстрый обзор окружающего пространства при одновременном сопровождении нескольких целей, применяются тракты КО и несколько трактов прицельного пеленгования для сопровождения целей.

При **всенаправленном излучении** главным недостатком считается низкий коэффициент использования излучаемой энергии, поскольку коэффициенты концентрации при излучении невелики, а мощность, подводимая к антенне, ограничивается кавитационной прочностью морской воды, особенно малой для антенн, находящихся вблизи поверхности.

При **направленном последовательном облучении** окружающего пространства, т. е. облучении медленно сканирующей ХН, энергетический потенциал ГЛС существенно повышается, однако оказываются взаимосвязанными скорость сканирования и длительность τ_3 эквивалентного отраженного импульса от цели:

$$\tau_3 = \theta_{0,7}/6n, \quad (4)$$

где n – скорость сканирования ХН, об/мин.

Облучение заданного сектора ϕ требует в таких ГЛС времени $t_{\text{изл}} = \tau_3 \phi / \theta_{0,7}$, которое определяет мертвую зону, т. е. не просматриваемую зону. Время излучения при узкой ХН и необходимость иметь достаточно

продолжительный эхо–сигнал может достигать десятка секунд, что соответствует мертвым зонам до 5–8 км и более. Устранение этого недостатка реализуется чередованием циклов направленного и ненаправленного излучения.

При приеме быстровращающейся ХН скорость ее вращения должна быть такой, чтобы один оборот ХН осуществлялся за время, не менее длительности излученного сигнала. При этом вращающаяся ХН с каждого направления воспринимает эхо–сигнал в течение малого времени, соответствующего нахождению цели в растворе ХН. Это время значительно меньше длительности излучаемого импульса, что приводит к большим энергетическим потерям, так как в данном случае

$$\tau_{\text{э}} = t_{\text{изл}} \cdot \theta_{0,7} / 360^{\circ}, \quad (5)$$

где $t_{\text{изл}}$ – длительность излученного импульса.

Укорочение принимаемого импульса требует соответствующего расширения полосы пропускания приемного тракта, что ведет к дальнейшему ухудшению отношения сигнал/помеха (ОСП). Но данный способ содержит преимущество с точки зрения простоты конструкции, в современных ГЛС не считается перспективным. При осмотре пространства веером статически сформированных ХН обеспечиваются лучшие энергетические соотношения, если ширина каждой ХН довольно мала. В таких ГЛС количество приемно–усилительных каналов равно числу формируемых ХН и в каждом канале происходит накопление энергии отраженных сигналов. Время существования сигнала в каждом приемном канале равно длительности эхо–сигнала, формируемого отражающим объектом, поэтому оно значительно больше, чем при приеме быстровращающейся ХН. Обзор окружающего пространства осуществляется путем поочередного опроса всех пространственных каналов. Несмотря на существенный недостаток – необходимость многоканальности приемно–усилительного тракта, особенно если используются достаточно

узкие ХН, этот способ приема наиболее широко применяется в современных ГЛС. Это обусловлено, с одной стороны, широким развитием методов микроминиатюризации, а с другой – большими преимуществами в обнаружении целей по сравнению с ГЛС, использующими быстровращающуюся ХН.

Сектор обзора в горизонтальной плоскости определяется наиболее вероятными курсовыми углами появления цели и возможностями, обеспечиваемыми местом установки антенны. В вертикальной плоскости сектор обзора должен обеспечивать прием с наиболее возможных направлений прихода эхо–сигнала.

Разрешающая способность соответствуют тем координатам, которые измеряются ГЛС данного типа. По угловым координатам разрешающая способность определяется шириной соответствующей ХН, которая ограничена волновыми размерами антенны. При тех относительно низких рабочих частотах современных ГЛС и размерах антенн, ограниченных габаритами носителя, разрешающая способность может составлять единицы градусов. По дистанции разрешающая способность определяется длительностью и видом модуляции излучаемых сигналов, а также методом обработки информации в приемных трактах ГЛС. По скорости разрешение соответствует минимальному доплеровскому смещению частоты эхо–сигнала, фиксируемому при приеме набором узкополосных фильтров.

Точность измерения координат целей определяется возможностями оценки пеленга, дистанции, скорости и т. д., т. е. наличием ошибок измерения, обусловленных диапазоном чувствительности устройства по измеряемым координатам, а также случайными ошибками измерений.

Тактические параметры приведенные выше обусловлены такими техническими параметрами, как рабочая частота, характеристики излучаемых сигналов, характеристики тракта обработки. Для получения высокого углового разрешения и обеспечения возможности использования широкополосных сигналов в ГЛС применяются сравнительно высокие

рабочие частоты, причем верхний предел этих частот ограничивается большими величинами затухания акустического сигнала.

Приемно–усилительный тракт характеризуют основным параметром – **коэффициентом помехоустойчивости**, который рассмотрен далее. Он зависит от многих параметров приемно–усилительного тракта, в первую очередь полосы пропускания, времени интегрирования, способа обработки информации. Из наиболее широко распространенных типов ГЛС, устанавливаемых на надводный корабль (НК), можно указать на гидролокаторы с цилиндрическими акустическими антеннами, имеющими тракты кругового обзора и сопровождения. В таких ГЛС, как правило, используется направленное последовательное облучение в заданном секторе и прием веером статически сформированных ХН.

Технические характеристики включают параметры, обеспечивающие достижение соответствующих тактических характеристик. К таким, в первую очередь, относятся рабочая частота, акустическая мощность или давление, развиваемое на оси излучателя, длительность и форма излучаемого сигнала, полоса пропускания, коэффициент распознавания (пороговый коэффициент), чувствительность и направленные свойства акустической антенны и другие. Вполне естественно, что возможность выполнения поставленных задач определяется также и обстоятельствами чисто внешними, к которым следует отнести условия распространения акустической энергии и акустические свойства целей.

Значение дальности действия гидроакустических устройств определяется величинами, зависящими от частоты. Так, например, от частоты зависят: уровень помех; полоса пропускания частот приемного тракта, обусловленная эффектом Доплера; коэффициент концентрации, влияющий как на уровень помех, так и на уровень сигнала; коэффициент затухания звука и т. д. Повышение частоты, с одной стороны, способствует увеличению дальности действия благодаря, например, снижению уровня помех; с другой стороны, приводит к увеличению затухания звука и тем самым влияет в

сторону уменьшения дальности действия. Следовательно, существует **оптимальная рабочая частота**, при которой может быть достигнута заданная дальность действия гидроакустического прибора наименьшей ценой, т. е. наименьшей излучаемой мощностью в случае связи и эхолокации или наименьшей мощностью источника шумового сигнала в случае шумопеленгования.

Оптимальная частота зависит от частотно–зависимых параметров уравнения гидролокации, такими величинами являются коэффициент концентрации γ , интенсивность помех J_n , затухание β , полоса пропускания приемного тракта Δf при условии, что площадь излучающей и приёмной антенны остаётся постоянной. Чем больше заданная дальность действия, тем ниже оптимальная частота. При отклонении от оптимальной частоты для достижения заданной дальности требуется большая мощность, чем мощность, затрачиваемая для достижения той же дальности при оптимальной частоте.

Акустическая мощность или давление, развиваемое на оси излучателя ограничивается рядом факторов. Во–первых, для питания гидроакустических станций в условиях их размещения может быть выделена только определенная мощность; во–вторых, не всякая большая мощность может быть излучена электроакустическим преобразователем, так как это ограничивает кавитация, образование пузырьков с последующим их схлопыванием и высвобождением энергии, возникающая на поверхности излучателя и вблизи от него. Когда излучается такая мощность, при которой амплитуда полуволны разрежения равна или превышает силы сцепления молекул воды, то происходит разрыв жидкости и образующиеся при этом вблизи излучателя пузырьки газа поглощают мощность. Дальнейшее увеличение мощности излучателя не ведет к повышению интенсивности акустического поля.

Акустическая энергия превращается в тепло, поглощаясь и рассеиваясь пузырьками.

Чем больше глубина погружения излучателя, тем больше мощность, излучаемая с 1 см^2 (удельная мощность). Будем называть предельную мощность, снимаемую с 1 см^2 рабочей поверхности излучателя, при превышении которой наступает сильно развитая кавитация и когда дальнейшее увеличение мощности, подводимой к излучателю, не ведет к повышению интенсивности акустического поля, **предельной удельной мощностью** q . Исследованиями показано, что уменьшение длительности излучения (длительности посылки) повышает предельную удельную мощность. С повышением частоты растет удельная мощность, при которой возникает кавитация, а также растет и предельная удельная мощность.

Таким образом, общую акустическую мощность P_a можно определить как

$$P_a = qS, \quad (6)$$

где q – предельная удельная мощность, лимитируемая кавитацией;

S – площадь рабочей (активной) поверхности излучателя.

Одной из основных характеристик излучателя является давление, создаваемое излучателем на его акустической оси и приведенное к расстоянию 1 метр от его эффективного центра. Это давление называется приведенным акустическим давлением и рассчитывается по формуле:

$$p_{oc} = 3,45 \cdot 10^2 \sqrt{P_a \cdot \gamma_{изл}}, \text{ Па} \quad (7)$$

В реальных ГАС НК давление на оси излучателя может достигать сотен тысяч паскалей.

Длительность, ширина спектра и форма излучаемого сигнала определяются тактическими требованиями разрешения целей по дальности и скорости. Различают простые и сложные сигналы. Критерием сложности сигнала служит его база – произведение ширины спектра сигнала на

длительность $B_c = \Delta f_c \cdot \tau_c$. Для простого (тонального) сигнала база близка к единице, при этом соотношение между шириной спектра сигнала и его длительностью имеет вид $\Delta f_c \approx 1/\tau_c$. Сложность сигнала может быть увеличена за счет внутриимпульсной модуляции. Наиболее часто используются сигналы с линейной частотной модуляцией или сигналы с гиперболической модуляцией.

При согласованной обработке происходит сжатие сложных сигналов, в результате которого длительность сигнала на выходе согласованного фильтра уменьшается пропорционально базе сигнала; во столько же раз по сравнению с тональным сигналом той же длительности повышается и разрешающая способность по дальности.

Другим достоинством сложных сигналов является их более высокая помехоустойчивость по отношению к реверберационной помехе при обнаружении малоподвижных объектов. В свою очередь, тональные сигналы при прочих равных условиях обеспечивают наиболее высокое разрешение по скорости. Кроме того, в условиях сильной реверберации они, как правило, обладают более высокой помехоустойчивостью при обнаружении высокоскоростных целей.

Полоса пропускания приёмного тракта должна обеспечить прием основной части спектра сигнала с учётом эффекта Доплера и влияния нестабильности частоты передающего устройства. Ширина полосы пропускания приёмного тракта Δf рассчитывается по формуле:

$$\Delta f = \Delta f_c + \Delta f_{\partial} + \Delta f_{\text{нс}}, \quad (8)$$

где Δf_{∂} – доплеровское уширение спектра сигнала;

$\Delta f_{\text{нс}}$ – уширение полосы пропускания тракта за счет нестабильности частоты генератора.

Чувствительность и направленные свойства акустической антенны определяют основные тактические характеристики ГАС, обеспечивая

пространственную избирательность и приём полезных сигналов на фоне помех. Направленные свойства антенн являются основным критерием их применения для определения угловых координат подводных объектов. Эти свойства проявляются, как известно, в дальней зоне, т. е. на расстоянии $r > 2D / \lambda$, где D – максимальный размер коррелированной области излучающей (принимающей) поверхности; λ – рабочая длина волны. К числу наиболее важных параметров акустических антенн относятся чувствительность, электроакустический коэффициент полезного действия, частотная характеристика, полоса пропускания, параметры ХН, коэффициент концентрации.

Чувствительность преобразователя определяется как величина напряжения, возникающего на его выходе при воздействии плоской волны с единичным звуковым давлением, и обычно выражается в мкВ/Па.

Чувствительность антенны выше, чем отдельного преобразователя, поскольку соединение элементов обеспечивает более высокое напряжение (при последовательном соединении) или более сильный ток (при параллельном соединении). Поскольку тракты обработки акустических сигналов выделяют сигнал на фоне помехи при их определенном соотношении, существуют предельные значения чувствительности, увеличение которой практически не ведет к увеличению отношения сигнал/помеха. Так, если суммарное напряжение на выходе ГАС под воздействием акустической $u_{на}$ и электрической $u_{нэ}$ помех составляет:

$$u_{n\Sigma} = \sqrt{u_{на}^2 + u_{нэ}^2}, \quad (9)$$

то достаточно чувствительности антенны, обеспечивающей напряжение акустических помех примерно в три раза выше электрических. Тогда при расчете отношения сигнал/помеха можно пренебрегать электрическими помехами, а принимать в расчет лишь акустические. Наибольшие акустические помехи имеют место в обтекателях ГАС надводных кораблей на

больших скоростях хода, наименьшие – на входе антенн стационарных ГАС, установленных на больших глубинах в районах моря со стабильными параметрами.

В режиме излучения эффективность антенн оценивается величиной акустического давления, развиваемого антенной на расстоянии 1 м на оси ХН, при подаче единичного значения тока в антенну. В практике инженерных расчетов широкое распространение получила такая техническая характеристика излучающей антенны, как величина давления, развиваемая реальной антенной на расстоянии 1 м, о которой сказано выше. Акустические антенны характеризуются **электроакустическим коэффициентом полезного действия**, который показывает, какая доля электрической мощности, подводимой к антенне, преобразуется в акустическую, т. е. $\eta_{\text{эа}} = P_{\text{ак}} / P_{\text{эл}}$. Величина $\eta_{\text{эа}}$ для антенны в целом может быть на 30-40 % ниже, чем для отдельного преобразователя. Это объясняется потерями в экранах, взаимным влиянием преобразователей в антенне и т. д.

Частотная характеристика антенны должна обеспечить неискаженный прием сигналов, анализ которых осуществляется данным типом ГАС. Поскольку активные гидролокационные системы работают в диапазоне примерно 2-40 кГц (отдельные образцы гидролокаторов для обнаружения малоразмерных целей могут иметь рабочие частоты в сотни килогерц), антенны должны обеспечить излучение и прием отраженного сигнала в полосе его частот на соответствующей несущей частоте. С этой точки зрения требуемая полоса частот обратно пропорциональна длительности сигнала при монохроматическом заполнении или обратно пропорциональна величине временного интервала корреляции заполнения. Кроме того, доплеровское смещение частоты отраженного сигнала составляет значительную величину. При указанных выше частотах ГЛС величина доплеровского смещения при обнаружении быстро перемещающихся объектов может достигать единиц килогерц. С другой стороны, излучающие антенны для обеспечения достаточно высокого коэффициента полезного

действия имеют резонансные частотные характеристики, где полоса пропускания на уровне – 3 дБ приблизительно соответствует отношению резонансной частоты к добротности механической системы:

$$\Delta f \cong f_0/Q_m, \quad (10)$$

Используемые на практике антенны имеют величину добротности примерно 5–10, т. е. равномерную частотную характеристику в необходимой полосе реализовать весьма сложно, так же, как и обеспечить неискаженное излучение широкополосных сигналов.

Это основная причина применения в гидролокации отдельных для излучения и приема антенн, поскольку в приемном режиме пьезокерамические преобразователи имеют равномерную частотную характеристику практически от долей герц до десятков килогерц. Резонанс антенны, как правило, лежит вне полосы принимаемых частот.

Диаграмму направленности (ДН) можно построить в полярной или прямоугольной (декартовой) системах координат, представленных на рисунке 1.1. Прямоугольную систему координат применяют для изображения узких ДН, так как существует возможность выбирать масштаб по любой координатной оси и для расчетов это удобно. Диаграммы строят нормированными, с главным максимумом, приведенным к единице.

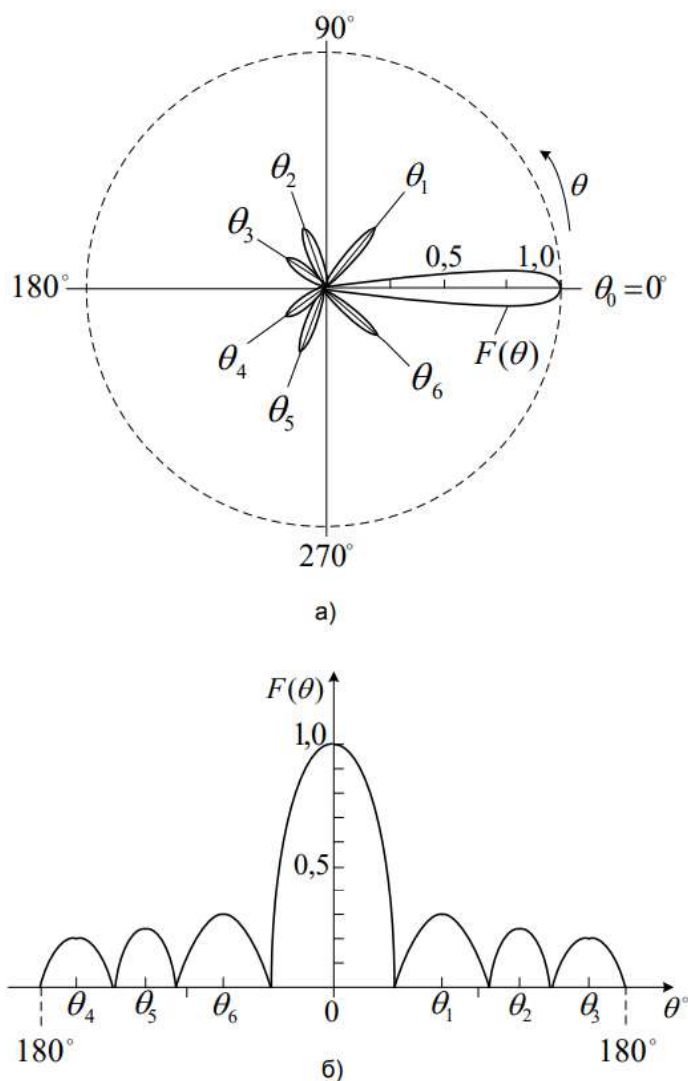


Рисунок 1.1 – Диаграмма направленности антенны в системах координат: а – полярной; б – прямоугольной

С помощью ДН можно определить основные параметры, характеризующие направленность антенны (рисунок 1.2): θ_0 – угол, характеризующий остроту направленного действия; $\Delta\alpha$ – угол, характеризующий остроту максимума; θ_∂ – угол, характеризующий ширину первого дополнительного максимума; A_α – значение ХН по направлению α . Важными параметрами, определяемыми ДН, являются также коэффициент концентрации, коэффициент усиления антенны, коэффициент помехоустойчивости, эффективная площадь апертуры антенны, коэффициент использования площади апертуры.

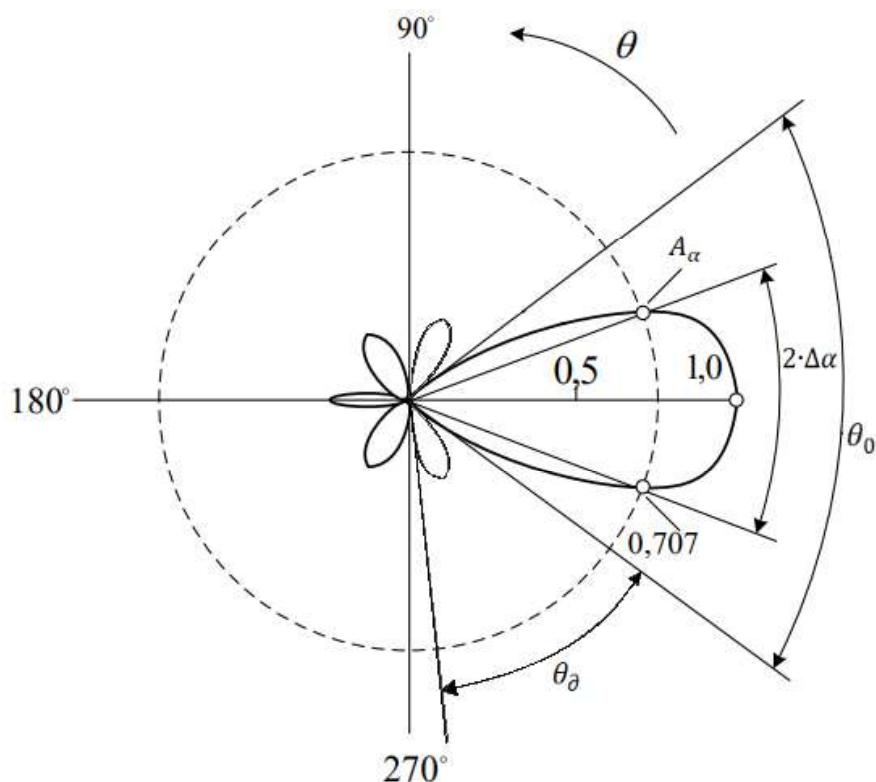


Рисунок 1.2 – Диаграмма направленности антенны, построенная в полярной системе координат

Острота направленного действия (ОНД) определяется углом, охватывающим основной максимум ДН. При этом чем меньше θ_0 , тем выше ОНД. Этот угол определяется либо из графического представления ДН между направлениями минимальных значений основного лепестка ДН, либо из ее аналитического описания для конкретной антенны.

С ОНД непосредственно связана разрешающая способность антенны по направлению, под которой понимают угол $\Delta\theta$, в его пределах осуществляется разрешение целей по угловой координате, т. е. их отдельное отображение соответствующим индикатором. Этот угол определяют в большинстве практических случаев между направлением максимума ДН и направлением на объект пеленгования, при котором $R_p(\alpha) = 0,707$ или $R_l(\alpha) = 0,5$.

Острота максимума (ОМ) определяется углом $\Delta\alpha$ основного лепестка ДН, в пределах которого пеленгующая система нечувствительна к изменению фиксируемой физической величины. Этот параметр определяет точность пеленгования в соответствующей плоскости. Значение $\Delta\alpha$ зависит от формы

ДН в области основного максимума, метода пеленгования и типа индикации. Углу $\Delta\alpha$ соответствует некоторое относительное изменение интенсивности $v_I = \Delta I/I_{max}$ или давления $V_p = \Delta p/p_{max}$.

Соотношения между величинами v_I и V_p можно найти, пользуясь нормированными значениями ДН по интенсивности и давлению в направлении $\Delta\alpha$.

Коэффициент концентрации (КК) характеризует абсолютное значение интенсивности (мощности) в дополнение к используемой на практике нормированной ДН, определяющей только относительное изменение интенсивности (мощности) в зависимости от направления излучения (приема). КК в режиме излучения и приема для одной и той же антенны равны между собой. Если рассматривается КК в направлении главного лепестка ДН, то говорят об осевом коэффициенте концентрации, под которым понимают отношение интенсивности поля, создаваемого направленной антенной в направлении главного лепестка ДН на некотором расстоянии, к значению интенсивности поля, создаваемого ненаправленной (изотропной) антенной на том же расстоянии в предположении, что излучаемые акустические мощности обеих антенн одинаковы:

$$\gamma_0 = I_{напр}/I_{ср}. \quad (11)$$

КК по направлению любого другого лепестка ДН связан с осевым КК соотношением:

$$\gamma(\alpha, \varphi) = \gamma_0 R_p^2(\alpha, \varphi). \quad (12)$$

В приемном режиме для условий изотропности акустического поля КК определяется отношением мощности сигнала на выходе ненаправленной антенны к мощности сигнала на выходе направленной антенны в направлении максимума главного лепестка ДН. Если на вход приемной антенны действует

изотропная помеха дальнего поля, то электрическая мощность помехи на выходе направленной антенны ослабляется в γ_0 раз по сравнению с ненаправленной.

Дополнительные максимумы определяют уровень бокового излучения и уровень помехи при приеме. Их величина, направления и число зависят от размеров и формы антенны.

Добавочные максимумы – это дополнительные максимумы, по амплитуде равные основному. Наличие добавочных максимумов приводит к неоднозначности пеленгования и характерно лишь для дискретных антенн. Их число и направления определяются размерами антенны и расстояниями между ее элементами.

Коэффициент усиления антенны характеризует отношение акустической мощности P'_a , излучаемой антенны в единичном телесном угле в заданном направлении к электрической мощности P_ε , подводимой к антенне. Он связан с КК величиной электроакустического КПД, т. е. учитывает потери в антенне:

$$G(\alpha, \varphi) = \eta_{\varepsilon a} \gamma(\alpha, \varphi), \quad (13)$$

где $\eta_{\varepsilon a}$ – КПД антенны.

Аналогичным образом определяется коэффициент усиления антенны в режиме приема. Коэффициент усиления, как и КК, зависит от направления компенсации.

Коэффициент помехоустойчивости для приемной антенны определяет выигрыш в отношении сигнал/помеха по интенсивности или по мощности на выходе направленной антенны относительно отношения сигнал/помеха по интенсивности или по мощности на ее входе для заданной полосы частот:

$$Q_{AA} = (S/N)_{\text{вых}} / (S/N)_{\text{вх}}. \quad (14)$$

Коэффициент помехоустойчивости, в отличие от КК, зависит не только от свойств антенны, но и от свойств поля помех. Только в частном случае, для изотропных помех дальнего поля, имеет место соотношение $Q_{AA} = \gamma_0$.

Коэффициент использования площади апертуры характеризует эффективность антенны с переменным распределением поля по ее апертуре антенны и определяется как отношение эффективной площади апертуры к реальной площади антенны: $\sigma = S_{эф}/S$.

Под апертурой антенны понимают наибольшую плоскую поверхность, образованную проекцией поверхности антенны, на плоскость, соприкасающуюся с данной антенной. Для плоских антенн их поверхности являются и их апертурой. Для апертурных антенн (зеркальных и рупорных) апертурой является площадь раскрыва, т. е. некоторая плоская поверхность, через которую проходит акустическая энергия и где задается распределение амплитуды и фазы поля, что позволяет найти ДН антенны. Для такой антенны справедливо соотношение: $\gamma_0 = \gamma_{0max}\sigma$, где γ_{0max} – максимальный КК для антенны с площадью, определяемой её геометрическими размерами.

Коэффициент распознавания (δ) представляет собой минимальное отношение сигнал/помеха на входе приемного тракта (на выходе антенны), при котором обеспечивается заданная вероятность правильного обнаружения сигнала.

Порог обнаружения K_δ представляет собой минимальное отношение сигнал/помеха на выходе приемного тракта (на индикаторе), соответствующее заданной вероятности правильного обнаружения. Порог обнаружения связан с коэффициентом распознавания соотношением:

$$K_\delta = \delta \cdot Q_{ТО}, \quad (15)$$

где $Q_{ТО}$ – коэффициент помехоустойчивости тракта обработки, показывающий, во сколько раз отношение сигнал/помеха на выходе тракта больше, чем на его входе.

В системах активной локации, при когерентной временной обработке сигналов, коэффициент помехоустойчивости тракта обработки приближенно рассчитывается по формуле $Q_{TO} \approx \Delta f \cdot T$, где Δf полоса частот приёмного тракта по высокой частоте до детектора; T – время усреднения сигнала, равное длительности импульса. При некогерентной временной обработке (как, например, системах пассивной локации) для расчета коэффициента помехоустойчивости тракта обработки можно использовать выражение $Q_{TO} \approx \sqrt{\Delta f \cdot T}$.

Перечисленные технические характеристики определяют соответствующие массогабаритные и стоимостные характеристики современных ГАС, эта связь описывается эмпирическими зависимостями на основе анализа зависящего изменения этих характеристик в течение определённого периода времени.

1.4 Значение метрологии для гидроакустических измерений

В последние годы идет бурное развитие гидроакустической техники в интересах как мирных, так и военных. Экспериментальные исследования в этой области, проводимые непосредственно в морских условиях и в специальных гидроакустических бассейнах, разработка новых образцов гидроакустических приборов и гидроакустических станций, а также их эксплуатация немыслимы без гидроакустических измерений.

Гидроакустические комплексы (ГАК) следует рассматривать как измерительную аппаратуру. Измерения в гидроакустике предполагают измерение параметров звукового поля в водной среде, создаваемого различными источниками, с использованием гидроакустической аппаратуры. Поэтому к задачам измерений можно отнести:

- измерение пространственной и временной изменчивости звукового поля в океане в зависимости от характеристик водной среды и, в частности, его интегрального параметра – скорости звука в морской среде;
- определение характеристик и параметров аппаратуры, используемой в измерениях;
- градуировки и калибровки электроакустических преобразователей и гидроакустических антенн;
- исследование возможностей измерительной аппаратуры для приема, анализа и регистрации гидроакустических сигналов.

При измерениях пространственной и временной изменчивости звукового поля в океане изучаются такие вопросы, как влияние на распространение звука вертикального распределения скорости звука с глубиной, состояние поверхности и дна моря, температурные и другие неоднородности среды, поглощение звука и т.д. Комплексное решение этих вопросов позволяет прогнозировать дальность действия ГАС корабля в различных гидроакустических условиях, а также производить теоретическое обоснование принципов построения новых образцов гидроакустической техники.

При исследовании гидроакустической аппаратуры основное внимание уделяется измерению основных электрических параметров ГАК и отдельно электроакустических параметров преобразователей и антенн: чувствительности, акустической мощности, характеристики направленности, а также гидроакустических помех, включая реверберационные помехи и шумы моря.

Методы гидроакустических измерений предполагают измерения:

- в лабораторных условиях;
- в гидроакустических бассейнах;
- на специальных полигонах;
- в морских условиях.

В лабораторных условиях возможны измерения электрических параметров ГАС, при имитации гидроакустического сигнала на входе тракта обработки ГАС. В лаборатории возможны измерения в гидроакустических баках, но только в импульсном режиме излучения к лабораторным исследованиям можно также отнести, например, методы измерений в трубах, в реверберационном баке, метод интерферометра и др.

Методы измерений **в гидроакустическом измерительном бассейне** позволяют симитировать однородное безграничное поле. В хорошо заглушенных бассейнах удастся добиться условий распространения звука, соответствующих глубокому морю, в котором отсутствуют интерференционные явления вследствие отражений от поверхности и дна моря.

Бассейны представляют собой железные или железобетонные резервуары прямоугольной формы с размерами сторон от 1 до 30 м. Бассейны оборудуются устройством для налива и слива водопроводной воды.

Электронное оборудование бассейна содержит:

- комплекты эталонных излучателей и приемников для производства измерений в диапазоне рабочих частот бассейна;
- генераторы в широком диапазоне частот;
- генераторы шума;
- широкополосные усилители;
- усилители для приемников, активные фильтры;
- осциллографы, фазометры, частотомеры;
- вольтметры, амперметры, ваттметры;
- самописцы уровня, спектроанализаторы;
- персональные электронно–вычислительные машины.

Ввиду малых расстояний распространения звука в условиях измерительного бассейна, даже при его многократном отражении от поверхностей, пространственным затуханием в воде в диапазоне частот до 100 кГц можно пренебречь. Скорость звука в воде бассейна можно считать

постоянной ввиду малых измерений статического давления с увеличением глубины и температуры воды у границ бассейна. Воду в бассейне можно считать однородной по составу; течения в ней отсутствуют. Можно принять, что отражения звуковых волн от граничных поверхностей бассейна происходят по законам геометрической акустики.

Гидроакустические бассейны, используемые для гидроакустических измерений, обладают рядом недостатков. Так, имитация условий безграничной водной среды для низких частот в бассейнах затруднена. Невозможно исследование крупногабаритных акустических систем, обтекателей, экранов и применение больших мощностей излучения. В связи с этим возникает необходимость переноса целого ряда измерений на открытые водные пространства – прибрежные участки моря, закрытые бухты, заливы или большие озера, называемые **гидроакустическими полигонами**, оборудованные специальными гидроакустическими средствами и аппаратурой.

Гидроакустические полигоны предназначены для исследований крупногабаритных антенн или низкочастотных систем. Перед измерениями на гидроакустических полигонах производится их тщательная градуировка. При измерениях на полигоне приходится считаться с влиянием реальной среды.

Гидроакустический полигон снабжен необходимыми средствами и оборудованием для производства гидроакустических измерений. С помощью гидроакустических полигонов производятся:

- калибровка и снятие характеристик направленности преобразователей;
- измерение звукового поля, создаваемого излучателем больших размеров при значительных мощностях излучения;
- определение характеристики направленности и чувствительности крупногабаритных акустических систем;
- исследование обтекателей и акустических свойств экранов в реальных условиях.

Оборудование полигона подразделяется на береговые средства и сооружения, стационарные, подвижные плавающие средства и донные установки.

В состав береговых средств входят:

- эстакады, оборудованные рельсовыми дорожками, подъемными и поворотными механизмами;
- лабораторное оборудование, мощные генераторы, приемные тракты, индикаторные и регистрирующие устройства, средства обработки результатов измерений;
- источники электропитания: дизель–генераторы, трансформаторы подстанции и т.п.

В море измерения производятся либо с целью исследования распространения звука в реальных условиях моря или океана, либо с целью оценки потенциала ГАС с крупногабаритными антеннами (в том числе буксируемыми и опускаемыми), а также измерения гидроакустических помех работе ГАС в морских условиях. Исследования распространения звука в морских условиях, как правило, проводятся двумя судами, одно из которых излучает звуковые колебания, а другое принимает их; расстояние между судами изменяются, при этом регистрируется пространственно–временная изменчивость звукового поля (звукового давления).

Любой процесс акустических измерений можно условно подразделить на три этапа:

- подготовка к измерениям (главным образом, работы по установке излучателей, макетов, приемников, комплектации и проверке аппаратуры);
- проведение измерений в соответствии с рабочим планом;
- обработка получаемых данных.

Основное требование к измерениям заключается в достоверности, надежности, единстве и сопоставимости результатов. Другими словами, где бы, когда бы, чем бы и кем бы ни выполнялись измерения одной и той же величины, результат должен быть одинаков (в пределах допустимой

погрешности). Обеспечение выполнения этого требования возложено на Метрологическую службу, возглавляемую Госстандартом. История Метрологической службы начинается с организации Д.И. Менделеевым в 1893 г. Главной палаты мер и весов. Ему принадлежат слова: «Наука начинается тогда, когда начинаются измерения».

Гидроакустические измерения, как и любые измерения, можно подразделить на две группы: абсолютные и относительные.

Под абсолютными понимают измерения, дающие числовое значение измеряемой величины в точно установленных и вполне известных единицах. Только небольшое число методов гидроакустических измерений может быть отнесено к абсолютным, например измерения звукового давления методом Релея, калибровка гидрофонов методом взаимности и др.

подавляющее большинство гидроакустических измерений принадлежит к относительным, дающим численное значение измеряемой величины или в виде отношения, или в произвольных единицах, сравниваемых с эталоном.

Измерения могут быть подразделены на прямые и косвенные. Если искомая величина непосредственно сравнивается с единицей измерения этой величины, то измерение называется прямым.

При косвенных измерениях, которые наиболее распространены в практике, непосредственно измеряют не искомую величину, а некоторые другие величины, связанные с ней математическими формульными соотношениями, определяемыми законами данного явления. Система СИ считается наиболее совершенной по сравнению с предыдущими системами. В системе СИ для измерения плоского и телесного радиан, а также большого числа производных единиц пространства и времени, тепловых и световых величин, помимо основных единиц, имеются дополнительные единицы.

В России утвержден ГОСТ 8.417–2002 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Единицы величин» как единая система единиц для всех областей науки и техники, который обязывает употреблять в измерениях единицы системы СИ.

Основные акустические единицы измерений показаны в табл. 1.1

Таблица 1.1 – Единицы физических величин, относящиеся к акустическим измерениям, и их наиболее распространенные обозначения

Физическая величина	Обозначение	Единица измерения	Примечание
Звуковое или избыточное давление	$p = \frac{F}{S}$	Н/м ² ; Па	F – сила, с которой звуковая волна воздействует на поверхность; S – площадь поверхности, на которую падает звуковая волна, м ²
Звуковая мощность (поток звуковой энергии)	$P_{ак} = \frac{W}{t}$	Вт; кг · м ² /с ⁻³	W – количество звуковой энергии, Дж; t – время, с
Интенсивность звука	$J = \frac{P_{ак}}{S}$	Вт/м ²	S – площадь поверхности, через которую проходит звуковая энергия
Механическое сопротивление	$Z_{мех} = \frac{F}{\xi'}$	Н · с/м	F – сила, приводящая ту или иную колебательную систему в состояние колебаний; ξ' – колебательная скорость
Акустическое сопротивление	$Z_a = \frac{p}{q}$	Н · с/м	p – звуковое давление; q – объемная скорость звука

Как показано выше, на гидроакустические измерения, производимые в морских условиях и естественных акваториях (базе базирования кораблей, озере и т.п.), существенно влияет ряд трудно учитываемых факторов: отражение от границ моря (дна и поверхности); распределение скорости звука,

как по глубине, так и по горизонту; волнение и шумы моря; качка корабля; рефракция и неоднородное затухание звука и т.д.

1.5 Анализ типов и видов сигналов, применяемых в гидроакустических средствах

Гидроакустический сигнал – акустическая волна, распространяющаяся в водной среде и несущая информацию [3].

Гидроакустические системы формируют и излучают сигналы с заданными характеристиками, изменяют в зависимости от решаемых задач параметры излучающих и принимающих антенн, а также алгоритмы обработки информации.

Гидроакустические сигналы классифицируются по ряду признаков. По виду источника, формирующего сигнал, различают сигналы:

- электроакустические;
- механические;
- взрывные;
- электрогидравлические;
- биологические.

В соответствии с целевым назначением (видом переносимой информации) сигналы могут принадлежать гидролокаторам, средствам связи и управления, отраженным полям от подводных объектов, первичным полям объектов.

Описание гидроакустического сигнала в водной среде представляет собой функцию, зависящую от временных и пространственных координат.

Различают дискретные (импульсные) и непрерывные сигналы, которые могут быть детерминированными и случайными. Дискретные сигналы могут быть одиночными или в виде последовательности (пачки) радиоимпульсов, а также на радиоимпульсы без внутриимпульсной модуляции и радиоимпульсы

с внутриимпульсной модуляцией (частотной или фазовой). Первые из указанных относят к простым сигналам, а вторые – к сложным, или энергоемким широкополосным сигналам (ШПС).

Простые сигналы имеют произведение ширины спектра Δf_c на длительность $\tau_{и}$, называемое базой, порядка 1, т. е. $n = \Delta f_c \cdot \tau_{и} \approx 1$, а сложные сигналы за счет внутриимпульсной модуляции и независимого выбора длительности сигнала могут иметь базу $n = \Delta f_c \cdot \tau_{и} \gg 1$, вследствие чего такие сигналы более помехоустойчивые [42].

Краткое описание математических моделей некоторых сигналов [24, 25, 32, 45, 52]:

1. Тональный (гармонический) сигнал, задаваемый следующим аналитическим соотношением (сигналы рассмотрены в режиме непрерывного времени):

$$s(t) = A(t) \cos(2\pi f_0 t + \varphi(t) + \varphi_0), \quad (16)$$

где $A(t)$ – закон изменения амплитуды сигнала (амплитудная огибающая, описывающая закон амплитудной модуляции);

$$A(t) = \begin{cases} A_0, & |t| \leq \frac{\tau_{и}}{2} \\ 0, & |t| > \frac{\tau_{и}}{2} \end{cases} \text{ – для прямоугольных радиоимпульсов;}$$

$$A(t) = A_0 e^{-\pi \left(\frac{t}{\tau_{и}}\right)^2} \text{ – для гауссовых радиоимпульсов;}$$

A_0 – амплитуда;

f_0 – несущая частота сигнала, Гц;

$\varphi(t)$ – закон изменения фазы сигнала;

φ_0 – начальная фаза сигнала.

2. Частотно–модулированный сигнал (ЧМ–сигнал). В зависимости от вида частотной модуляции рассматривается линейно–частотно–модулированный сигнал (ЛЧМ–сигнал) и сигнал с гиперболической частотной модуляцией (ГЧМ–сигнал). Различают ЛЧМ–сигналы и ГЧМ–сигналы с

прямой и обратной модуляциями. Данные сигналы описываются следующими аналитическими соотношениями:

ЛЧМ–сигнал:

$$s(t) = A_0 \cos(2\pi f(t) + \varphi_0), \quad (17)$$

где $f(t)$ – зависящая от времени мгновенная частота, которая определяется как: $f(t) = f_H + dF \cdot t$;

f_H – начальная (нижняя граничная) частота импульса;

dF – скорость изменения частоты (первая производная частоты по времени). Выражение для dF задается в следующем виде с использованием верхней граничной частоты и длительности импульса: $dF = \frac{f_B - f_H}{\tau_H}$;

f_B – конечная (верхняя граничная) частота.

ГЧМ–сигнал. Сигнал с прямой модуляцией описывается соотношением:

$$s(t) = A_0 \cos(-2\pi f_H \ln(1 - bt) / b), \quad (18)$$

где b – коэффициент, определяемый соотношением $b = \frac{\Delta f}{\tau f_B}$.

Графически законы модуляции и сами радиоимпульсы представлены на рис. 1.3.

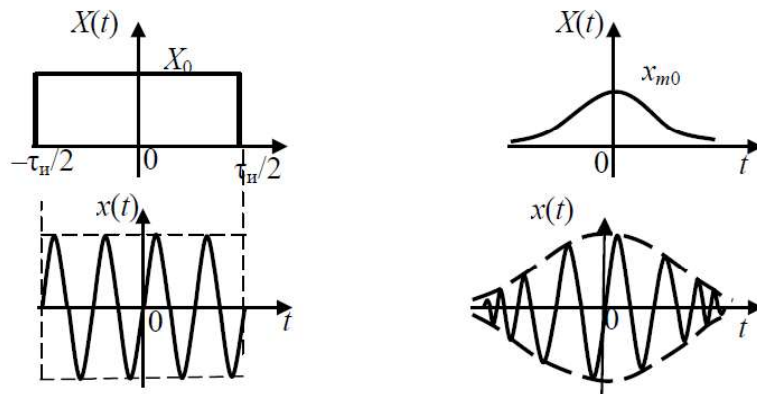


Рисунок 1.3 – Законы модуляции и вид прямоугольного и гауссова радиоимпульсов

3. Сигнал с обратной модуляцией описывается следующим соотношением:

$$s(t) = A_0 \cos(-2\pi f_B \ln(1 - b't) / b'), \quad (19)$$

где b' – коэффициент, определяемый соотношением $b' = \frac{\Delta f}{\tau f_H}$.

Для решения различных задач в гидроакустике применяются сигналы с возможно большей базой и сигналы, дающие при сжатии один короткий импульс (основной лепесток) и минимальный уровень боковых импульсов (лепестков). В наибольшей степени такими свойствами обладают линейно–частотно–модулированные сигналы (ЛЧМ) и фазоманипулированные сигналы (ФМ) с двоичным квантованием фазы колебаний несущей [42].

Использование сложноорганизованных сигналов дает ощутимый выигрыш по сравнению с обычными гармоническими сигналами. Выбор сигнала для модели имитатора сигнала должен определяться исходя из возможности практической реализации алгоритмов обработки для систем реального времени.

1.6 Измерительно–информационные системы

Измерительно–информационные системы (ИИС) – это совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств для получения измерительной информации, её преобразования, обработки в целях представления потребителю (в том числе ввода в АСУ) в требуемом виде либо в целях автоматического осуществления логических функций измерения, контроля, диагностики и идентификации [29].

Таким образом, ИИС представляет собой сложный измерительный комплекс, включающий в свой состав не только измерительные

преобразователи, но и средства вычислительной техники – ЭВМ различной мощности.

Они предназначены не только для обработки измерительной информации, но и для реализации процесса измерения (например, тестовых или итерационных алгоритмов), а также для управления процессом получения информации (управление системными коммутаторами, таймерами и т.п.).

Вышеприведённое определение ИИС позволяет провести грань различия между измерительными приборами, которые обладают ограниченными функциональными возможностями и выполняются обычно из небольшого числа измерительных преобразователей, объединённых в едином корпусе, и ИИС.

ИИС разделяют по назначению:

- на измерительные системы,
- системы автоматического контроля,
- системы технической диагностики.

Выделяют также системы распознавания образов и системы единого времени.

К измерительным системам (ИС) принято относить ИИС, в которых преобладают функции измерения, а функции обработки и хранения незначительны или отсутствуют совсем.

Системы автоматического контроля (САК), являясь разновидностями ИИС, обеспечивают контроль за состоянием различных объектов.

В отличие от ИС, в САК измеряемая величина сравнивается не с мерой, а с нормой, что позволяет установить соответствие между состоянием объектов и заданной нормой, т.е. выдавать информацию об исправности или неисправности контролируемого объекта.

Системы технической диагностики (СТД) в отличие от САК не только выдают информацию о состоянии контролируемого объекта (исправен или неисправен), но и обеспечивают локализацию места неисправности (отказа).

Система технической диагностики в общем случае состоит из трех элементов: объекта диагностирования (ОД), технических средств диагностирования (СТД) и человека–оператора (ЧО) (рис. 1.2) [27]. Объектом диагностирования является радиоэлектронное средство (РЭС).

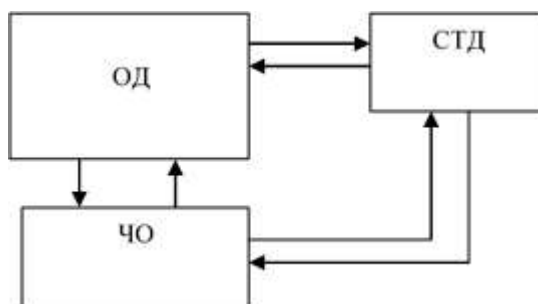


Рисунок 1.4 – Система технической диагностики

В современной литературе, кроме указанного понятия ИИС, часто используют следующие тождественные понятия:

- автоматизированные измерительные системы (АИС),
- автоматизированные измерительные комплексы (АИК),
- измерительно–вычислительные комплексы (ИВК).

Применение современных цифровых средств коренным образом изменило принципы построения ИИС.

Во ФГУП «ВНИИФТРИ» разработана специальная гидроакустическая система СГАС-496Э, отличительной особенностью которой является возможность измерения уровней шумоизлучения подводных лодок при отношении сигнал/помеха меньше 1 (когда уровень сигнала объекта в два раза слабее уровней шумов акватории), позволяет производить измерение уровней излучения самых малозумных объектов в короткие сроки и эффективно осуществлять поиск и выявление источников [39, 40].

Дороговизна, сложность изготовления и установки стационарных полигонов замера уровней излучения подводных и надводных судов вызвали необходимость проведения разработки компактных мобильных (автономных) полигонов замера уровней излучения и параметров движения подводных и

надводных судов. Такие проработки были выполнены совместно ОАО НИИ «Теплотехника» и ЗАО НПП «АМЭ». К сожалению, из-за недостатка финансирования работы в этом направлении были приостановлены.

ОАО НПП «Риф» совместно с ОАО «Тетис Про» разработали комплекс СГАС «Нерпа-М», применяя новые методы обработки сигналов, что обеспечивает надежное обнаружение подводных объектов в крайне сложных (неблагоприятных) условиях эксплуатации. СГАС «Нерпа-М» может устанавливаться как на дне акватории, так на гидротехнических сооружениях – причалах, молах, платформах и т.п. СГАС «Нерпа-М» является стационарной гидроакустической станцией обнаружения и сопровождения подводных пловцов, в комплект которой входит [34, 35]:

- станция;
- имитатор подводного пловца в виде сферы;
- устройство измерения распределения скорости звука по глубине.

При создании информационных систем (ИС) наиболее часто используется математическое моделирование, реализующее цепочку: объект – модель – вычислительный алгоритм – программа для компьютера – расчет на компьютере – анализ результатов расчета – управление объектом исследования. Алгоритм измерений может быть представлен программно, аналитически, графически.

Программное обеспечение ИИС включает в себя системное и общее прикладное программное обеспечение, в совокупности образующее математическое обеспечение, которое реализуется программной подсистемой. Системное программное обеспечение – это совокупность программного обеспечения компьютера, используемого в ИИС, и дополнительных программных средств, позволяющих работать в диалоговом режиме, управлять измерительными компонентами, обмениваться информацией внутри подсистем комплекса, проводить диагностику технического состояния.

Информационное обеспечение определяет способы и конкретные формы информационного отображения состояния объекта исследования в

виде диаграмм, графиков, сигналов для дальнейшего использования в управлении.

В структуру технического обеспечения ИИС входят:

- блок первичных преобразователей;
- средства вычислений электрических величин;
- совокупность цифровых устройств и компьютерной техники;
- меры текущего времени и интервалов времени;
- блок вторичных измерительных преобразователей;
- устройства ввода–вывода аналоговых и цифровых сигналов с нормированными метрологическими характеристиками;
- блок преобразователей, цифровых табло, дисплеев;
- накопители информации;
- интерфейсы.

Интерфейс пользователя, обеспечивающий взаимодействие оператора с персональным компьютером, имеет важное значение для эффективного и наглядного представления форм дисплея и управляющих элементов. В общем случае интерфейс используется как средство сопряжения персонального компьютера со средствами измерений или другими внешними техническими системами.

Современные решения в области автоматизации измерительных операций предполагают использование плат АЦП/ЦАП, цифрового ввода–вывода информации, приборных, а также последовательных и параллельных устройств сопряжения – интерфейсов. Для реализации таких комплексных функций подходит понятие виртуальный прибор (ВП), появившееся на стыке измерительной, информационной и компьютерной техники.

ВП представляет собой комбинацию компьютера, аппаратных средств и специализированного программного обеспечения, определяющего конфигурацию и функционирование системы. В руках создателя системы имеется конструктор, из которого можно построить измерительный прибор любой сложности. Компьютер имитирует органы управления реального

прибора и выполняет его функции, что позволяет производить обучение специалистов на виртуальных аналогах реального оборудования, сохраняя его ресурс и не подвергая его риску выхода из строя.

Основную роль в ВП играют платы сбора данных с необходимыми метрологическими характеристиками для конкретной задачи, такими, как:

- разрядность АЦП;
- быстродействие;
- динамические погрешности аналого–цифрового канала.

Измерение физических параметров, таких как напряжение, ток, температура или давление, предполагает точную оценку аналоговых величин. Компьютер же работает исключительно с дискретными величинами. Следовательно, процесс превращения ПК в виртуальный измерительный прибор предполагает подключение аналого–цифрового преобразователя (АЦП).

Компьютер может управлять АЦП либо через последовательный или параллельный порты, или через карты PCMCIA, либо непосредственно через шины ISA, PCI и др., если аналого–цифровой преобразователь выполнен в виде платы расширения.

Первый вариант гарантирует максимальную простоту и дешевизну, а при использовании второго можно получить отличные характеристики, но только за счет сложности и высокой цены.

Интерфейсное устройство может выполнять и другие необходимые функции, например гальваническую развязку источников сигналов от цепей ПК, согласование сигналов, формируемых некоторыми типами датчиков, по импедансу, напряжению, полярности и т.д., а также коммутацию нескольких входных каналов.

Область применения ВП практически полностью определяется характеристиками программного обеспечения, в то время как характеристики интерфейсных устройств в большинстве случаев вполне понятны пользователю. Промышленные изделия подобного рода почти всегда

используются при работе с более или менее развитым графическим интерфейсом, позволяющим выбрать какой-либо режим с помощью клавиатуры или мыши через различные меню. ВП в одном компьютере может быть несколько. Причем все необходимые приборы находятся на одном компьютере и могут быть использованы инициализацией программного обеспечения на компьютере. Таким образом, устройства на основе компьютера предлагают не просто повторение стандартных измерительных функций обычных приборов, но обладают гибкостью для расширения их функций, наиболее полно и оптимально удовлетворяющих требованиям конкретной решаемой задачи. Приборы, и традиционные, и виртуальные, выполняют одинаковые функции, они обеспечивают ввод/вывод, анализ данных и визуализацию результатов. Главное различие между виртуальными и традиционными приборами заключается в гибкости подхода к построению измерительных систем.

Если сравнивать возможности компьютерных и стационарных приборов, можно выделить несколько основных преимуществ первых:

- настраиваемый пользовательский интерфейс, удобный оператору;
- возможности по представлению информации;
- возможность адаптации к условиям измерения;
- учет статистики предыдущих измерений;
- работу в реальном времени для быстропротекающих процессов;
- расширяемый специализированный анализ;
- быстрое изменение языка интерфейса на нужный;
- быстрый отклик на изменения условий в процессе управления или измерения.

Метрологические параметры и функциональные возможности таких приборов определяются в первую очередь параметрами и функциональными возможностями плат сбора данных, АЦП/ЦАП, используемых в компьютере.

Существует много фирм как в России, так и за рубежом, выпускающих широкий спектр различных аппаратно-программных средств для

компьютерных измерений. Это АО «Инструментальные системы», Центр АЦП «Руднев–Шиляев» и «L–Card» в России, «National Instruments» в США и т.д.

В самом общем случае компьютерно–измерительная система (КИС) может быть построена двумя способами: с последовательной или параллельной архитектурой.

Достаточно простые компьютерно–измерительные схемы могут быть размещены на одной плате персонального компьютера. Существуют и более сложные структуры КИС, в которых в соответствии с решаемой измерительной задачей по установленной программе коммутируются необходимые измерительные элементы, т.е. меняется архитектура построения системы.

В настоящее время в КИС имеется возможность учитывать температурную нестабильность элементов программными методами. Для этого в блок стабилизаторов вводят датчик температуры, например термистор, и экспериментально определяют зависимость опорного напряжения от температуры. Эту зависимость записывают в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) компьютера или во внешнюю память. В процессе эксплуатации прибора температура стабилизаторов автоматически измеряется и по этой зависимости вводится поправка в величину образцового напряжения. Аналогично измеряют и учитывают нестабильность частоты кварцевого генератора.

1.7 Средства разработки программно–аппаратных комплексов

В информационно–измерительных системах широкое применение нашли прикладные программы, позволяющие использовать возможности персональных компьютеров для проведения измерений и последующей обработки сигналов.

В настоящее время появился ряд универсальных программ, предназначенных для статистической обработки сигналов, которые могут быть использованы для гидроакустических измерений.

Одной из таких программ является программа SpectraLAB, разработанная фирмой «Sound Technology Inc». Данная программа удобна при работе и имеет весьма высокое разрешение по частоте [33].

SpectraLAB – это двухканальный спектроанализатор, программно совместимый с любой звуковой картой, поддерживаемой Windows; обеспечивает проведение спектрального анализа в реальном масштабе времени, запись и воспроизведение сигналов, спектральный анализ предварительно записанных сигналов. Кроме того, SpectraLAB, позволяет измерить частотный отклик, искажения, передаточную функцию. Используемый в программе алгоритм БПФ позволяет обрабатывать записи длиной до 65536 отсчетов. В программе возможны: применение сглаживающих окон, цифровой фильтрации, обработки с перекрытием, усреднением, удержанием пиков, прореживанием, узкополосным или октавным ($1/1$, $1/3$, $1/6$, $1/9$, $1/12$) шкалированием; отображение на мониторе, экспорт и вывод на печать временных функций, спектров мощности и фазовых спектров, спектрограммы в виде 2–мерного и 3–мерного графиков.

Программа SpectraLAB работает совместно со звуковой картой компьютера. При этом измеряемый аудиосигнал подается на линейный или микрофонный вход (микрофонный вход рассчитан на сигналы малых уровней). Далее программа SpectraLAB использует звуковую карту для аналого–цифрового преобразования звукового сигнала. Оцифрованный сигнал пропускается через математический алгоритм, известный как БПФ, трансформирующий сигнал из временной области в частотную. Для выполнения этой процедуры используется процессор компьютера.

Утилита «Генератор сигналов» позволяет генерировать: розовый/белый шум, ЧМ–сигнал, тональный сигнал, импульсный сигнал. Хотя генерирование сигналов производится в компьютерном процессоре, их обработка в реальном

масштабе времени возможна только на современных высокопроизводительных машинах.

Необходимо отметить, что большинство звуковых карт обеспечивает утилиту смесителя, чтобы устанавливать входное увеличение звуковой карты. Если входное усиление изменено, следует вновь произвести калибровку. Многие из утилит смесителя позволяют сохранять текущие параметры настройки увеличения на более поздний повторный вызов. К сожалению, мультимедиа, API не всегда обеспечивает прикладные программы типа SpectraLAB непосредственным управлением входным уровнем увеличения.

Следует отметить, что программный интерфейс мультимедийных приложений не предоставляет программе SpectraLAB средств для управления входным коэффициентом усиления.

SpectraLAB позволяет выбирать любую частоту дискретизации, поддерживаемую звуковой картой компьютера. При этом частота дискретизации определяет, сколько раз в секунду звуковая карта делает выборку аналогового сигнала. При частоте дискретизации 10000 Гц выборка сигнала производится каждые 0,0001 с.

Важным принципом цифровой обработки сигналов является теорема Котельникова, которая гласит, что любой сигнал может быть представлен достоверно, если выборка производится с частотой, по крайней мере, вдвое превышающей самую высокую частоту измеряемого процесса. Это означает, что, если измеряется сигнал с наибольшей частотой 3 кГц, частота дискретизации должна быть больше, чем 6 кГц. В противном случае неизбежны искажения сигнала.

Коэффициент снижения частоты выборки (Decimation Ratio) управляет передаточным числом, с которым звуковая карта преобразовывает данные с аналоговой формы в цифровую. Эта особенность используется для достижения более низкой частоты выборки, чем поддерживаемая звуковой картой, и получения наилучшего разрешения при измерениях на низких частотах. Например, если самая низкая поддерживаемая частота

дискретизации звуковой карты – 11025 Гц, то коэффициент уменьшения, равный 10, приведет к частоте выборки 1105,5 Гц. Частотный диапазон измерений в этом случае будет от 0 до 551,5 Гц.

Программа имеет набор установок двухканальной обработки (Dual Channel Processing Options). Это позволяет производить широкий круг действий по спектральной и статистической обработке измеренного сигнала. Двухканальный анализатор спектра работает только в стереоформате.

Не менее популярной является среда разработки и платформа для выполнения программ LabVIEW, применяемая в различных отраслях промышленности и созданная на графическом языке программирования G фирмы National Instruments [43].

Программу можно назвать высокопродуктивной средой разработки ВП, так как базовый пакет программы можно расширить большим списком инструментов, совместимых между собой. За счет этого разработка упрощается, нет необходимости привлекать сторонние программы и средства, а это в свою очередь ведет к сокращению времени разработки и уменьшению количества привлеченных людей.

Графический язык программирования G уже давно нарекли "LabVIEW программированием". G представляет собой графический язык потока данных, в котором узлы (операции или функции) работают с данными, как только они становятся доступными, а не в последовательном порядке, линия за линией, как работают большинство языков программирования. Вы располагаете поток данных через приложение в графическом виде с проводами подключения выход одного узла к входу другого. Это наряду позволяет определить в каком порядке данные обрабатываются и когда вносятся изменения.

ВП разработанный в программе визуально состоит из двух частей:

- блок–диаграммы, описывающей логику работы виртуального прибора;
- лицевой панели, описывающей внешний интерфейс виртуального прибора.

Блок–диаграмма состоит из функциональных блоков и терминалов, соединенных между собой линиями различных типов связи. Функциональные блоки представляют из себя элементарные алгебраические операции, различные функции сбора и анализа данных, сетевые операции и др. Терминалами являются объекты лицевой панели.

Лицевая панель ВП содержит графическое изображение средств ввода–вывода: кнопки, клавиши, переключатели, регуляторы, светодиоды, верньеры, шкалы, информационные окна. Человек изменяя положения переключателей, поворачивая регуляторы и вводя значения с клавиатуры управляет ВП.

Упомянутые ранее программы включают в себя специальные компоненты, благодаря чему ВП, разработанные в этих программах, имеют большую область применения.

Известны ВП, использующие звуковую карту в качестве АЦП и ЦАП, разработанные и в иных средах разработки. Особенности и основные параметры генераторов сигналов, использующие звуковую карту в качестве ЦАП, представлены в таблице 1.2.

У ВП, выполняющих функцию генератора сигналов, указанных в таблице 1.2 можно выделить следующие недостатки:

- низкое быстродействие;
- узкий диапазон частот;
- сложный интерфейс;
- сложный программный код;
- ограниченные возможности регулировки параметров;
- ограниченное использование возможностей звуковой карты.

Таблица 1.2 – Виртуальные приборы

Название	Част. диапазон	Част. дискр.	Форма сигналов	Разрядность	Особенность
NCH Tone Generator [59]	1 Гц – 22 кГц	–	синусоидальная, прямоугольная, треугольная, пилообразная, импульсная, белый шум	16 бит	сохранение в файл; отсутствие регулирования амплитуды
Simple Function Generator [60]	20 Гц – 20 кГц	–	синусоид., прямоуг., треуг., импул.	8 бит	независимые каналы
Tone Generator Software [62]	1 Гц – 22 кГц	–	синусоид., прямоуг., треуг., зубчатая, импул., белый шум, розовый шум	16 бит	сохранение в файл
Виртуальный звуковой генератор "РадиоМастер" [18]	20 Гц – 20 кГц	48 кГц	синусоид., прямоуг., треуг.	16 бит	независимые каналы
VIP Electronics Lab Sine Wave Generator V3.0 [54]	4 Гц – 40 кГц	–	синусоид.	–	–
Test Tone Generator [61]	–	44,1 кГц	синусоид., прямоуг., треуг., пилообр., белый шум, розовый шум, цифровую тишину, синусоид. импульс и импульс Дирака	8 и 16 бит	сохранение в файл, амплитудная модуляция, только частотная регулировка, независимые каналы

Главный недостаток рассмотренных выше генераторов сигналов в том, что они используют не всю производительную мощность ПК. Частотный диапазон ограничивается частотой дискретизации звуковой карты, а точность измерения по амплитуде зависит от разрядности. Разработчики приложений

не позволяют работать со звуковыми картами разрядности более 16 бит и частотой дискретизации более 48 кГц, а также не используют возможности многоядерных процессоров. А это означает, что эти приборы можно использовать на практике только для простых задач.

Разнообразие ВП говорит о том, что разработку современной аппаратуры уже давно нельзя представить без использования ПК. Ведь это позволяет применять ПК как средство обработки, накопления результатов, управления датчиками и все это в реальном времени.

1.8 Сетевые технологии

В современных ГАС для организации связи между устройствами необходимо подключение к сети посредством канала связи. Каналами связи называют технические средства, позволяющие осуществлять передачу данных на расстоянии.

Каналы связи по способу передачи сигнала бывают:

1. проводного соединения (телефонный провод, коаксиальный кабель, витая пара, оптико–волоконный кабель);
2. беспроводного соединения (радиоканалы, спутниковый канал).

Различия каналов связи заключаются в пропускной способности, помехоустойчивости и стоимости, зависящих от свойств технических средств.

Не мало важным является и размер сети:

1. локальная сеть (соединяет устройства на близком расстоянии);
2. глобальная сеть (соединяет локальные сети и отдельные устройства).

Основными коммутирующими устройствами при организации локальной сети являются концентраторы (hub), коммутаторы (switch) и маршрутизаторы (router).

В глобальных сетях за коммутацию отвечают повторители, мосты и маршрутизаторы. Основным способом обмена данными на большом расстоянии является глобальная сеть Интернет.

Большой интерес вызывает организация сети на основе беспроводного соединения, как самого перспективного способа соединения широко развивающегося и модернизирующегося. Беспроводная связь предполагает передачу информации без физического соединения между двумя или более точками.

Локальные беспроводные сети:

1. Wi-Fi – одна из наиболее популярных групп стандартов, которая используется для организации передачи сигнала в локальных сетях и публичного доступа в сеть Интернет. Используемые стандарты спецификации IEEE 802.11 применяются для широкополосной радиосвязи. Передает сигнал на расстоянии до 200 метров, обеспечивая скорость в 2 Мбит/с.

2. PON – используется для передачи оптического сигнала. Для работы используется стандарт Ethernet, высокая скорость передачи данных до 10 Мбит/с обеспечивается при условии прямой видимости датчиков. Обеспечивает коммуникацию на расстоянии до 1.4 км.

Глобальные сети:

1. Мобильная связь (поколения 2G, 3G, 3.5G и 4G);
2. MMDS (технология для передачи данных в сфере телевидения);
3. WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access);
4. HiperMAN;
5. WiBro (Wireless Broadband);
6. Classic WaveLAN;
7. Спутниковая связь (Глонасс, GPS, Prodat, Odyssey, Global Star).

Поскольку сеть объединяет компьютеры различных типов, работающие в разнородных ОС, важнейшим моментом при организации сети является система протоколов. Протокол – совокупность правил и технических

процедур, согласно которым независимые устройства взаимодействуют друг с другом.

Международный стандарт OSI/ISO (OSI – Open Systems Interconnect, ISO – название международной организации по стандартизации) предусматривает 7 уровней протоколов, представленных в таблице 1.3. Уровни взаимодействуют друг с другом (по «вертикали») посредством интерфейсов, и могут взаимодействовать с параллельным уровнем другой системы (по «горизонтали») с помощью протоколов. Каждый уровень может взаимодействовать только со своими соседями и выполнять отведенные только ему функции.

Таблица 1.3 – Уровни модели OSI

Уровень	Тип данных	Функции	Протоколы
7. Прикладной	Данные	Доступ к частному Интернету или глобальной сети Интернет	FTP, Telnet, SMTP, POP3 IMAP4
6. Представления		Представление и кодирование данных	DNS, LDAP, NetBIOS/IP
5. Сеансовый		Управление сеансом связи	–
4. Транспортный	Сегменты	Прямая связь между конечными пунктами и надёжность	TCP, UDP, NCP, SPX
3. Сетевой	Пакеты	Определение маршрута и логическая адресация	IP, IPX
2. Канальный	Кадры	Физическая адресация	Ethernet, Token Ring, FDDI
1. Физический	Биты	Работа со средой передачи, сигналами и двоичными данными	IRDA, USB, Ethernet

Протокол TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) – набор протоколов, разработанный для Интернета и ставший его основой. TCP гарантирует, что каждый посланный байт дойдет до получателя без потерь. IP

присваивает локальные IP–адреса физическим сетевым адресам, обеспечивая тем самым адресное пространство, с которым работают маршрутизаторы.

В семейство TCP/IP на прикладном уровне входят [46]:

- протокол Telnet, который позволяет удаленным терминалам подключаться к удаленным узлам (компьютерам);
- система доменной адресации DNS, дающая возможность пользователям адресоваться к узлам сети по символьному доменному имени вместо цифрового IP–адреса;
- протокол передачи файлов FTP, который определяет механизм хранения и передачи файлов;
- протокол передачи гипертекста HTTP.

Традиционные протоколы прикладного уровня, используемые в Интернете, такие как HTTP, TELNET, простой протокол передачи почты (SMTP) и несколько языков разметки, таких как HTML, были разработаны и оптимизированы для проводных сетей. Многие из этих протоколов не очень эффективны при использовании с беспроводными каналами.

Основными проблемами, препятствующими использованию HTTP в беспроводном Интернете, являются его работа без сохранения состояния, высокие издержки из–за кодировки символов, избыточная информация, передаваемая в HTTP–запросах, и открытие нового TCP–соединения при каждом обмене информацией.

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

2.1 Анализ требований ТЗ

Разрабатываемая лабораторная модель должна обеспечивать возможность формирования сигналов в диапазоне 10 Гц – 10 кГц, а также иметь возможность управления параметрами генерируемого сигнала. Для наглядной демонстрации полученный сигнал должен выводиться на экран.

2.2 Разработка виртуальной модели имитатора сигналов

Цели эксперимента:

- проверить правильность работы разработанной системы;
- проверить соответствие заданным техническим характеристикам;
- проверить возможность работы разработанных программ на различных звуковых картах (персональных компьютерах).

В среде LabVIEW разработана система передачи и отображения принятых сигналов – клиент (рис. 2.1, рис. 2.2) и система формирования излучаемых сигналов и реализована передача по локальной сети – сервер (рис. 2.3, рис. 2.4).

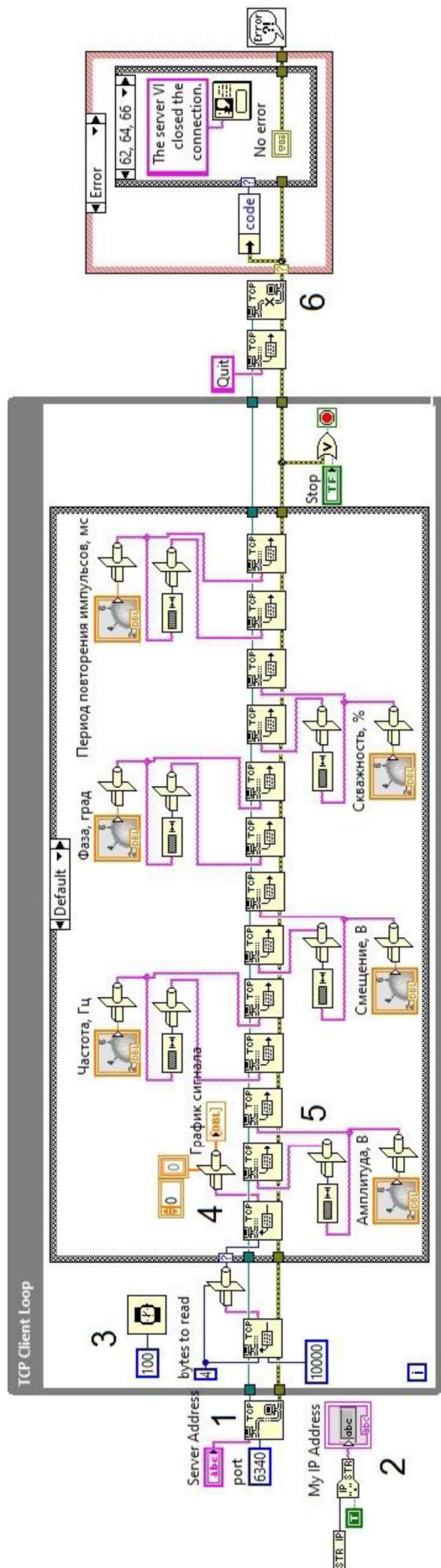


Рисунок 2.1 – Структурная схема клиента

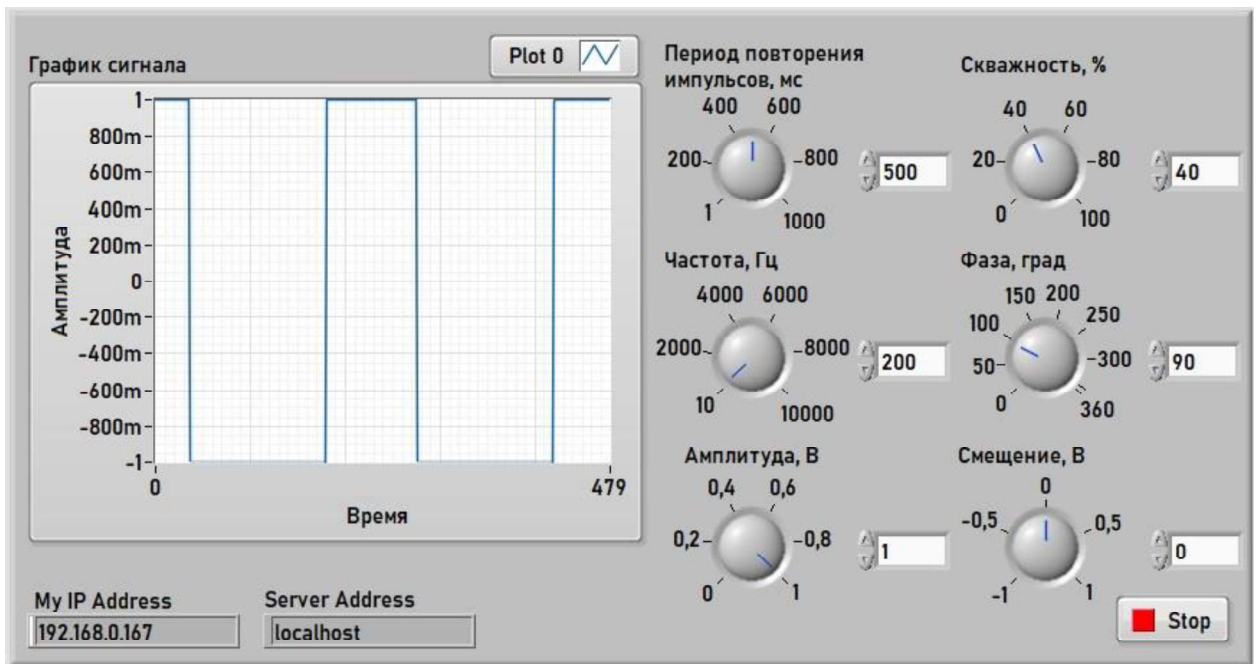


Рисунок 2.2 – Лицевая панель клиента

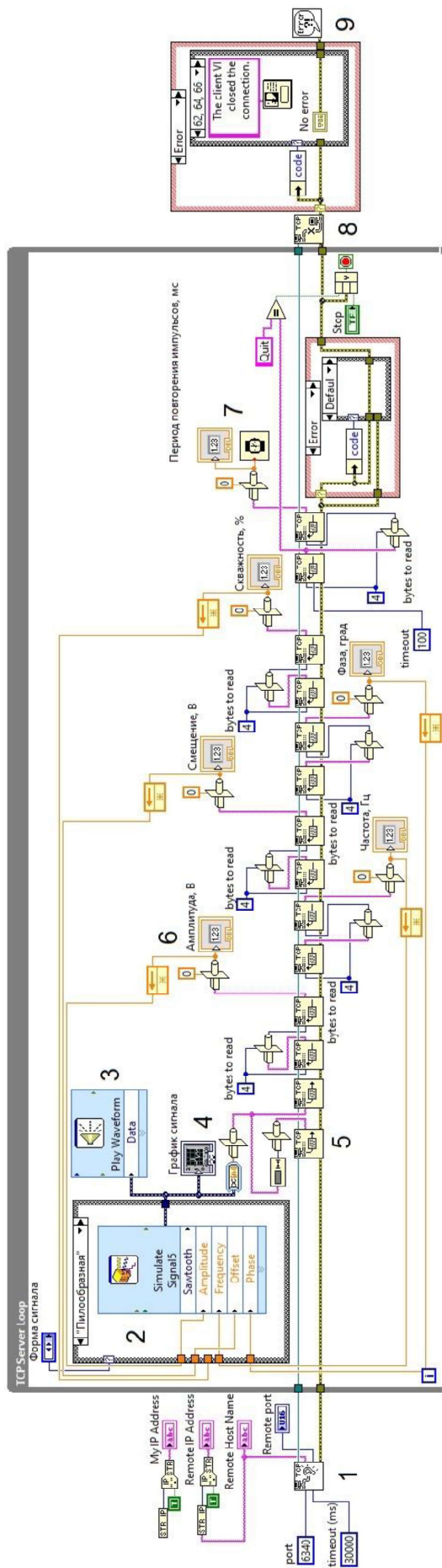


Рисунок 2.3 – Структурная схема сервера

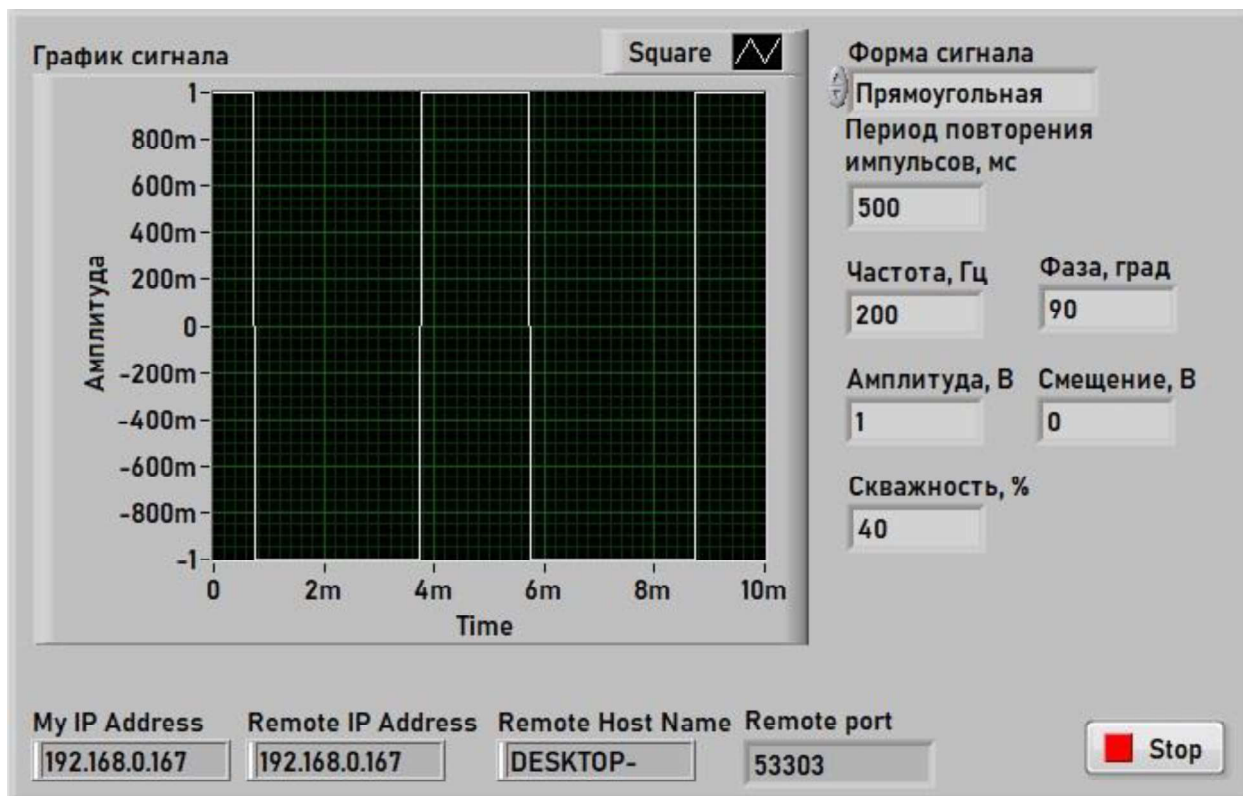


Рисунок 2.4 – Лицевая панель сервера

Связь осуществляется с использованием технологий локальных сетей, используя TCP протокол. Организация передачи данных на клиенте состоит из трех этапов:

1. Установка соединения (задается время ожидания в течении которого устанавливается связь, в данном случае 30 с; задается IP-адрес и порт с этим адресом.);
2. Считывание и запись данных (передаются в виде ряда);
3. Закрытие соединения.

В свою очередь для сервера этапы:

1. Ожидание соединения (прослушивание);
2. Считывание и запись данных;
3. Закрытие соединения.

На рисунке 2.1 цифрами обозначены следующие участки и блоки:

- 1 – Функция TCP Open Connection открывает соединение;

- 2 – My IP Address – адрес текущего компьютера;
- 3 – Время ожидания в миллисекундах;
- 4 – Функция TCP Read считывает передаваемый сервером сгенерированный сигнал по ранее отправленным нами данным;
- 5 – Первая функция TCP Write определяет размер данных, которые мы хотим передать, а вторая записывает сами данные;
- 6 – TCP Close Connection закрывает соединение, когда оператор нажимает Stop или возникает ошибка.

На рисунке 2.3 цифрами обозначены следующие участки и блоки:

- 1 – Функция TCP Listen прослушивает соединение и ожидает принятого сетевого соединения TCP по указанном порту (port), на котором мы хотим прослушать соединение. Timeout задает время в миллисекундах, в течение которого ВП ожидает соединения. Если соединение не установлено в указанное время, ВП завершает работу и возвращает ошибку. Remote IP Address – адрес удаленного компьютера. My IP Address – адрес текущего компьютера;
- 2 – Структура, позволяющая выбирать случай. Форма сигнала – выбор варианта выполнения структуры на основе значения входных данных. Входные данные могут быть логическими, строковыми, целочисленными, перечисляемыми типами или кластерами ошибок;
- 3 – Play Waveform воспроизводит сгенерированный сигнал;
- 4 – График сигнала отображает сгенерированный сигнал;
- 5 – TCP Write записывает данные, которым мы хотим передать. Первая функция TCP Read определяет размер данных, а вторая считывает сами данные, если размер данных (указанный сервером) больше нуля;
- 6 – Отображает полученные в ходе соединения данные, которые необходимы для генерации необходимого сигнала;
- 7 – Задает период повторения импульсов путем ожидания указанное число миллисекунд и возвращает значение в ноль, тем самым управляя процессом генерации сигналов;

8 – TCP Close Connection закрывает соединение, когда оператор нажимает Stop или возникает ошибка;

9 – Simple Error Handler указывает на место возникновения ошибки. Определённые коды ошибок могут возникнуть, если сервер закрывает соединение.

Рассмотрим интерфейс лицевых панелей, представленных на рис. 2.2 и рис. 2.4:

- Частота генерируемого сигнала в герцах (10 Гц – 10 кГц);
- Амплитуда генерируемого сигнала в вольтах (0 – 1 В);
- Период повторения импульсов в миллисекундах (1 – 1000 мс);
- Сквозность сигнала прямоугольной формы в процентах;
- Сдвиг фазы в градусах;
- Смещение амплитуды генерируемого сигнала в вольтах (-1 – 1 В);
- Форма сигнала – окно выбора формы сигнала (синусоидальная, пилообразная, прямоугольная, треугольная, белый шум);
- График сигнала – окно отображающие сгенерированный сигнал по введённым параметрам;
- My IP Address, Server Address – окна отображающие IP адрес клиента и сервера;
- Stop – кнопка закрытия соединения.

Программная реализация виртуальной модели имитатора сигнала имеет модульную структуру, что позволит в дальнейшем выполнить модификацию имитатора. Существует возможность организации беспроводной связи по Wi-Fi.

Эксперименты проводились на персональном компьютере со следующей конфигурацией:

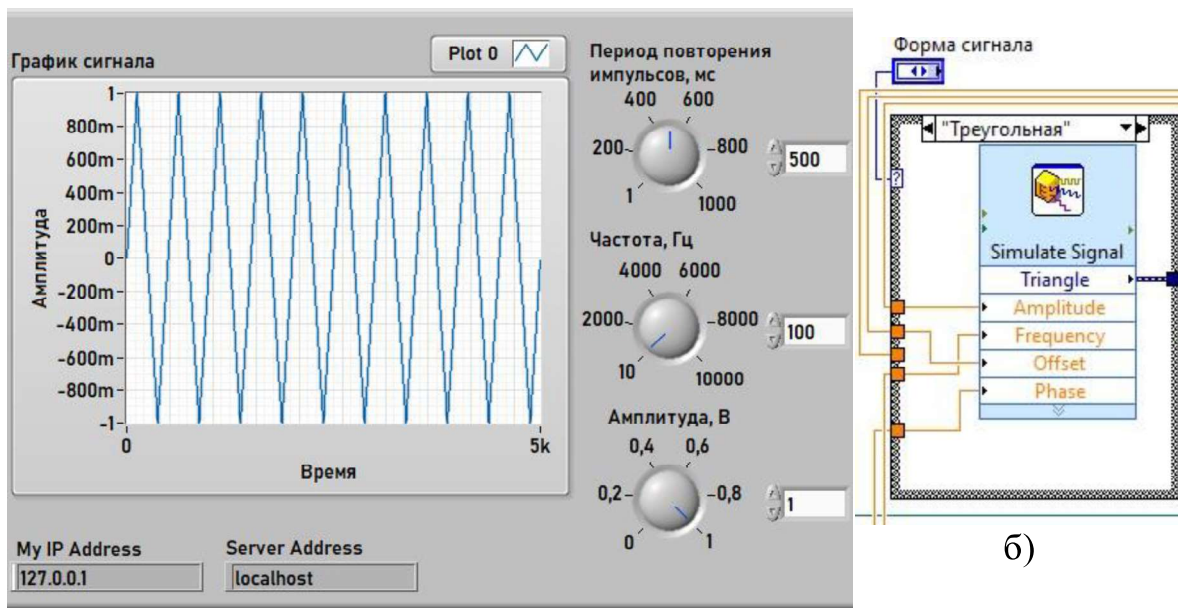
- процессор Intel Pentium;
- частота 1,7 ГГц;
- размер оперативной памяти – 4 Гбайт;

- объём жесткого диска – 1 Тбайт;
- операционная система – Windows 10.

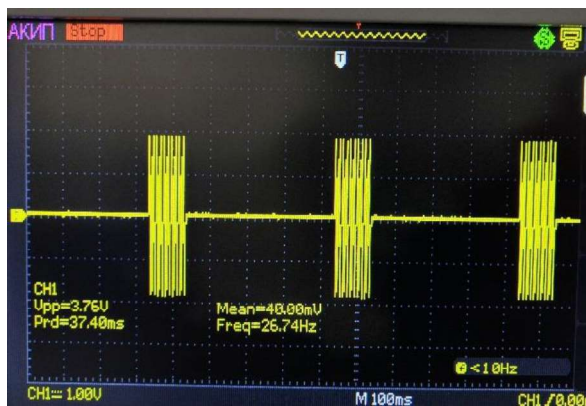
По окончании была проведена проверка работоспособности разработанной системы на другом персональном компьютере с целью доказать, что разработанный ВП может работать с различными звуковыми картами. В данном случае персональный компьютер имел следующие характеристики:

- процессор AMD Ryzen 5;
- частота 3,6 ГГц;
- размер оперативной памяти – 16 Гбайт;
- объём жесткого диска – 250 Тбайт;
- операционная система – Windows 10 Pro.

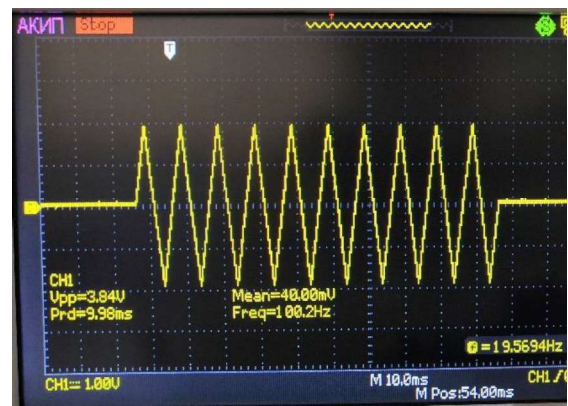
Для достоверного отслеживания исполнения и выполнения режимов работы ВП, ПК подключался к внешнему осциллографу АКИП-4115/7А. Часть структурной схемы, содержащая несколько случаев, лицевая панель, соответствующая выбранной формы сигнала и полученные осциллограммы изображены на рисунках 2.5-2.9.



а)



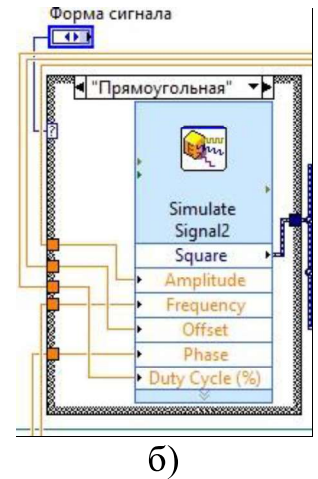
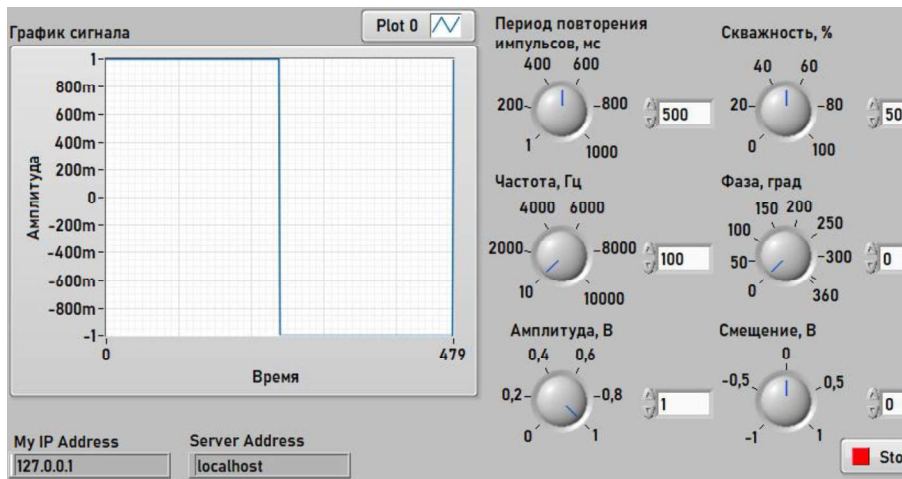
в)



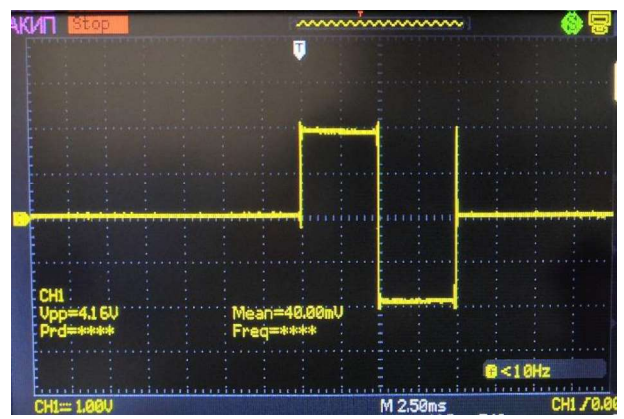
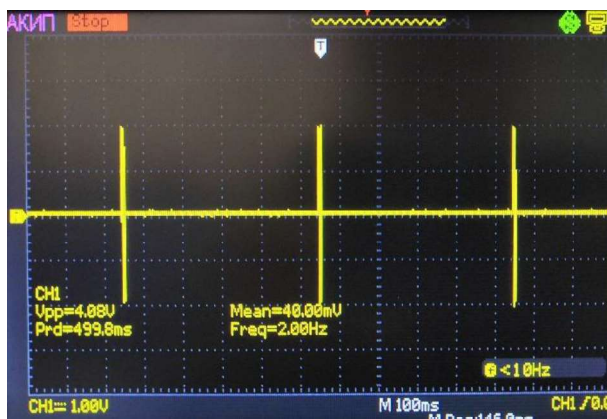
г)

а) часть лицевой панели; б) часть структурной схемы; в) осциллограмма в малом масштабе; г) осциллограмма в большем масштабе

Рисунок 2.5 – Треугольная форма сигнала



а)

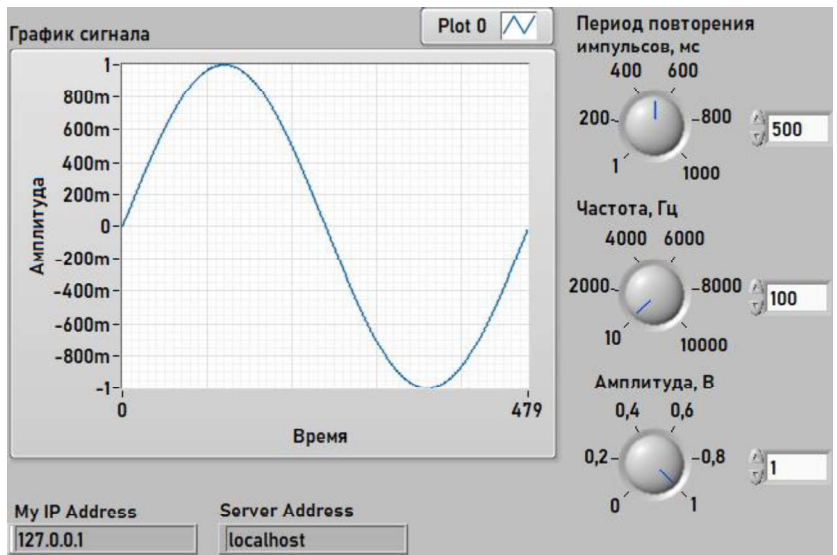


в)

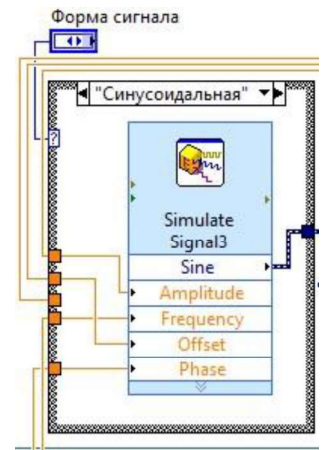
г)

а) часть лицевой панели; б) часть структурной схемы; в) осциллограмма в малом масштабе; г) осциллограмма в большем масштабе

Рисунок 2.6 – Прямоугольная форма сигнала



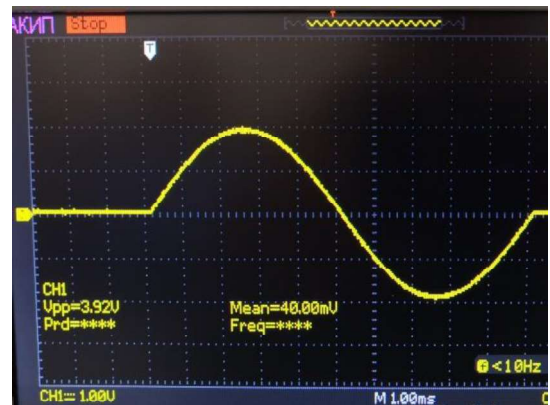
а)



б)



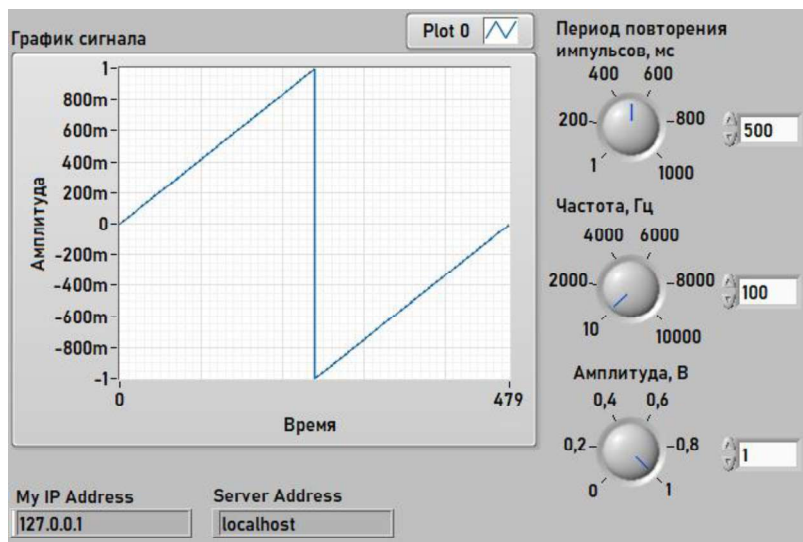
в)



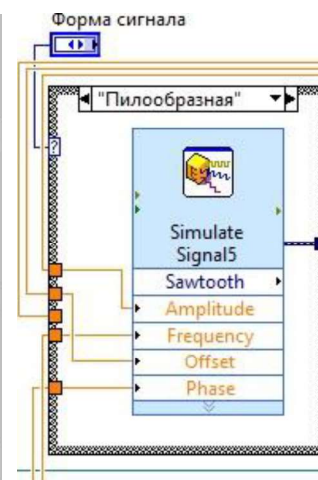
г)

а) часть лицевой панели; б) часть структурной схемы; в) осциллограмма в малом масштабе; г) осциллограмма в большем масштабе

Рисунок 2.7 – Синусоидальная форма сигнала



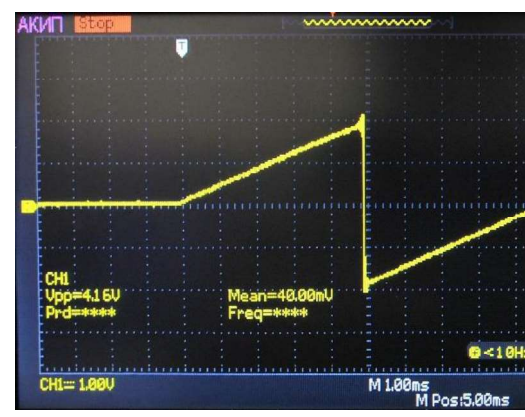
а)



б)



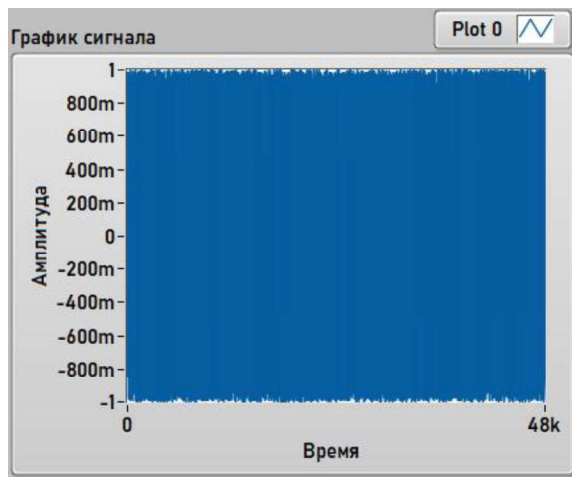
в)



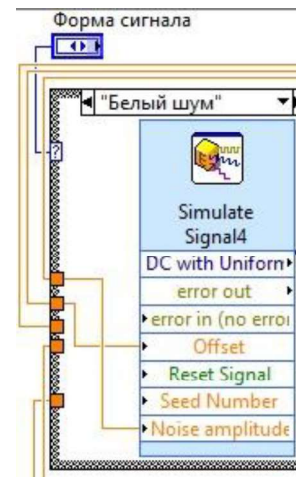
г)

а) часть лицевой панели; б) часть структурной схемы; в) осциллограмма в малом масштабе; г) осциллограмма в большем масштабе

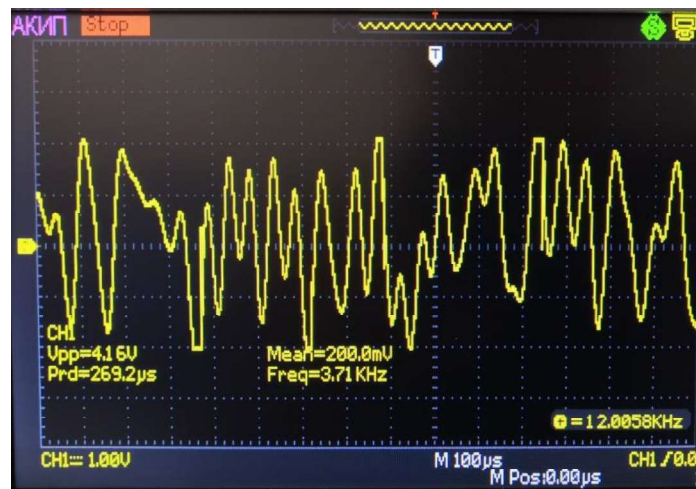
Рисунок 2.8 – Пилообразная форма сигнала



а)



б)



в)

а) часть лицевой панели; б) часть структурной схемы;

в) осциллограмма.

Рисунок 2.9 – Белый шум

В ходе эксперимента сбоев не наблюдалось, ВП работал стабильно. Снятые осциллограммы доказывают, что сгенерированный сигнал соответствует параметрам, которые мы задаем. По результатам эксперимента можно сказать, что разработанная модель соответствует требованиям технического задания.

Отличительной особенностью программы является использование структуры, которая может содержать одну или несколько случаев. Благодаря этому мы можем выбирать форму сигналов из выпадающего списка на лицевой панели сервера.

2.3 Инструкция по применению виртуальной модели имитатора сигналов

1. Подключите колонки (динамики) или измерительные приборы к соответствующим разъёмам звуковой карты. Если на звуковой карте не предусмотрен линейный выход, то вместо него следует использовать выход на наушники.

2. Запустите виртуальный прибор имитатора сигнала.

3. Задайте параметры генерируемого сигнала. Из выпадающего списка выберите форму сигнала: синусоидальную, пилообразную, прямоугольную, треугольную, белый шум. Амплитуду следует выбирать в диапазоне от 0 до 1 В, частоту от 10 Гц до 10 кГц, период повторения импульсов от 1 до 1000 мс.

4. Запустите программу сочетанием клавиш Ctrl+R, либо нажатием кнопки «Run». Расположение кнопки показано на рисунке 2.10.

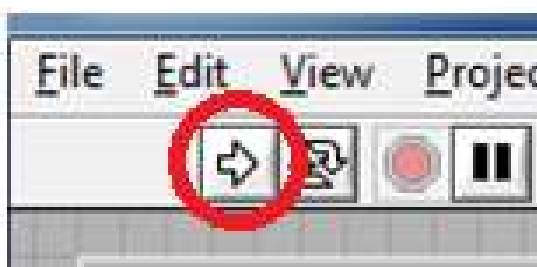


Рисунок 2.10 – Кнопка запуска программы

5. Проведите необходимые корректировки параметров генерируемых сигналов.

6. Остановите работу программы, нажав кнопку «Stop».

3 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

3.1 Описание установки

Проанализировав зарубежную и отечественную литературу представлено конструкторское решение, использующее разработанный выше ВП.

Аппаратно–программный комплекс (АПК) состоит из морской платформы – сервера, размещенного в морской акватории, и бортовой аппаратуры – клиента, расположенного на борту корабля или берегу (рисунок 3.1). Для возможности постановки в глубоководных районах (глубиной свыше 300 м) морская платформа выполняется в дрейфующем исполнении. Благодаря этому повысится эффективность проведения гидроакустических испытаний.

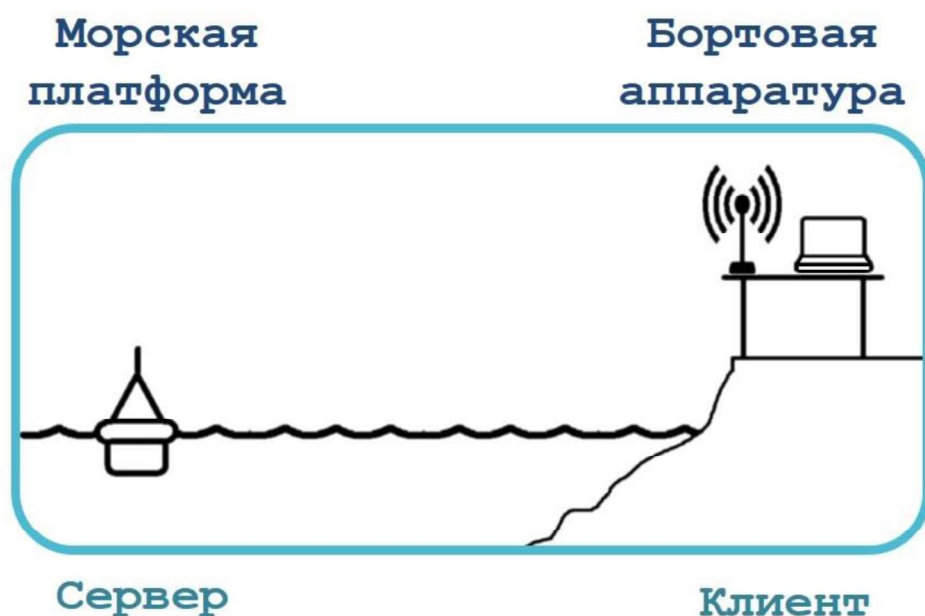


Рисунок 3.1 Аппаратно–программный комплекс

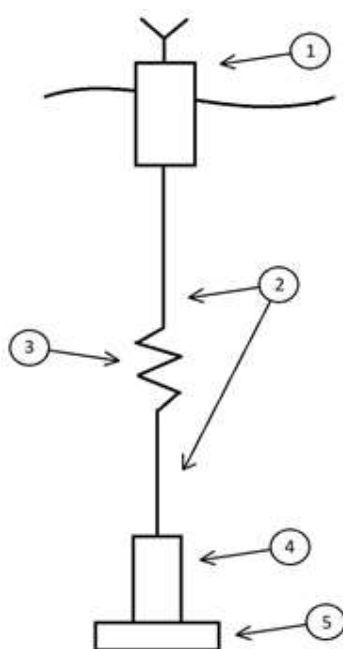
Бортовая аппаратура – это персональный компьютер (ноутбук) со специальным программным обеспечением и маршрутизатором (мобильным

роутером) с антенной, обеспечивающий удаленное управление морской платформой, во всех режимах её работы.

Морская платформа принимает данные с бортовой аппаратуры, формирует сигнал и излучает его.

Конкретные режимы работы платформы и характеристики имитируемых сигналов задаются либо оператором с обеспечивающего испытания судном, либо программным блоком управления, размещенным на платформе.

Морская платформа состоит из двух основных частей: погружаемой и поплавковой (рисунок 3.2), соединенных кабелем связи. Корпус поплавкового модуля обеспечивает плавучесть.

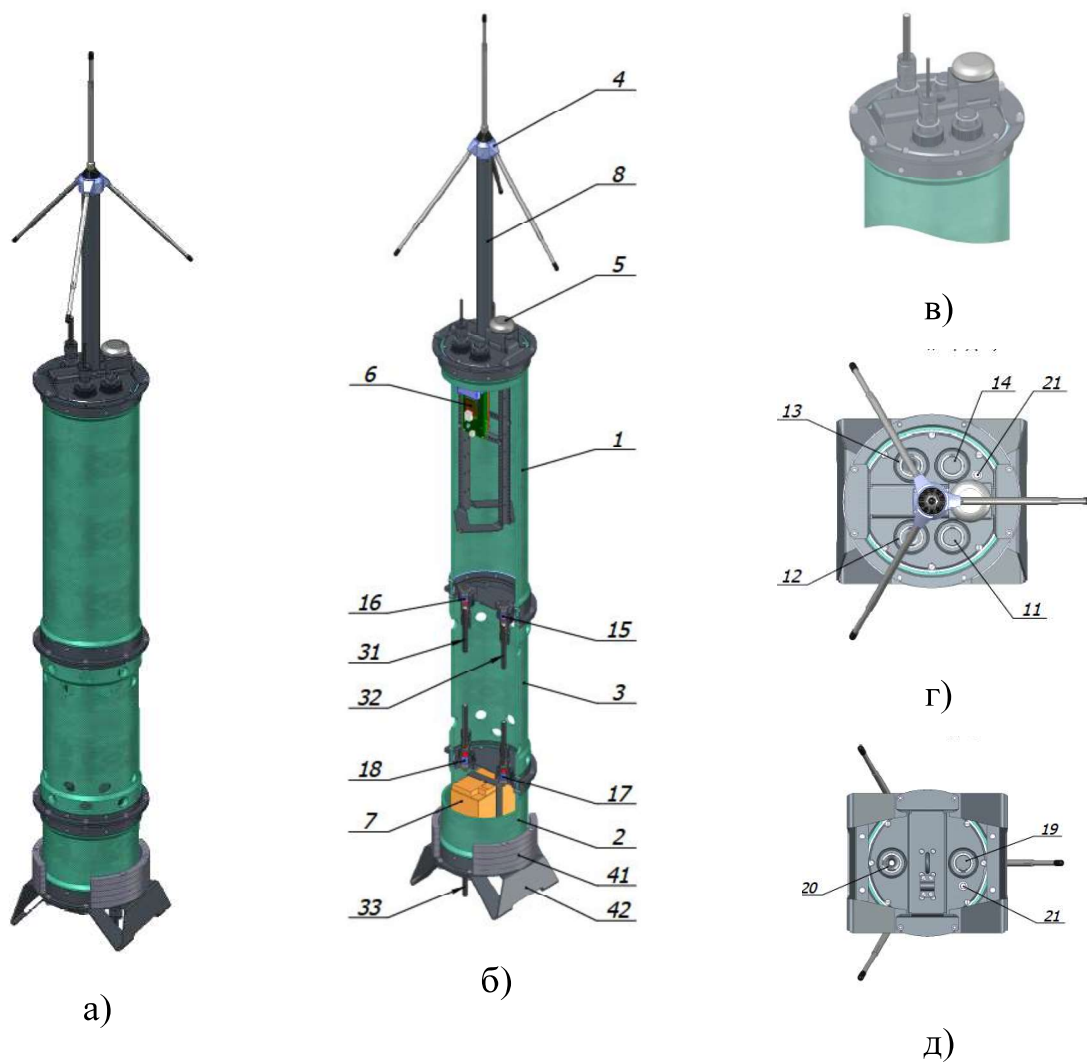


- 1 – поплавковый модуль с радиомодемом и антенной; 2 – кабель связи;
- 3 – система стабилизации волнения; 4 – погружаемый модуль;
- 5 – антенна гидроакустическая.

Рисунок 3.2 – Дрейфующий вариант исполнения платформы

На предприятии ПАО «Дальприбор» разработаны и изготовлены три макета экспериментальной дрейфующей платформы (ЭДП). Характерной особенностью платформ является модульность их конструкции,

обеспечивающая установку на них различного испытываемого оборудования, включая различного типа антенно-фидерных устройств и опускаемых гидроакустических модулей. На рисунке 3.3 приведен внешний вид макета ЭДП.



а) внешний вид; б) верхняя часть платформы; в) вид сверху; г) вид сверху; д) вид снизу.

Рисунок 3.3 – Макет экспериментальной дрейфующей платформы

На рисунке 3.4 продемонстрирован реализованный дрейфующая платформа.



а)



б)

а) внешний вид; б) герморазъем

Рисунок 3.4 – Дрейфующая платформа

Поплавковая часть ЭДП состоит из верхнего (1) и нижнего (2) герметичных контейнеров и проставки (3) между ними.

Габаритные размеры верхнего контейнера (1):

- диаметр – 256 мм;
- высота – 737 мм.

Габаритные размеры нижнего контейнера:

- диаметр – 256 мм;
- высота – 237 мм.
- Габаритные размеры проставки:
- диаметр – 256 мм;
- высота – 454 мм.

В верхней части ЭДП на стойке (8) на высоте 0,8 м над уровнем моря устанавливаются антенные устройства (4) и блок навигации (5). Контейнеры (1) и (2) поплавковой части соединены между собой кабелями (31) и (32),

проходящими внутри проставки. Поплавковая и погружаемая части ЭДП соединены кабелем (33).

Контейнеры изготовлены из полителеновой трубы и имеют алюминиевые фланцы и крышки. Верхний контейнер служит для размещения электронных блоков управления и проверяемых электронных узлов (6).

На верхней крышке контейнера располагаются: тумблер включения питания (11), ВЧ герморазъем (12), НЧ герморазъемы (13) и (14), ниппель (21) для проверки герметичности контейнера.

На нижней крышке контейнера располагаются: НЧ герморазъемы (15) и (16). В нижнем контейнере размещена аккумуляторная батарея (7).

На верхней крышке контейнера расположены НЧ герморазъемы (17) и (18). На нижней крышке контейнера расположены НЧ герморазъемы (19) и (20), ниппель (21) для проверки герметичности контейнера.

Проставка изготовлена из полителеновой трубы и имеет алюминиевые фланцы. Проставка служит для повышения устойчивости платформы. Проставка негерметична, имеет ряд отверстий в верхней и нижней частях для заполнения водой.

Герморазъемы предназначены для: подключения антенных устройств (12), подключения блока навигации (13), резервный (14), организации связи между поплавковой частью платформы и ее погружаемой частью (16), (18) и (20), электропитания электронных блоков управления и проверяемых электронных узлов (15) и (17), подзарядки аккумулятора (19).

В нижней части поплавковой части предусмотрено место для установки балласта (41). Поплавковая часть платформы имеет ножки (42), что позволяет устанавливать ее вертикально при обслуживании.

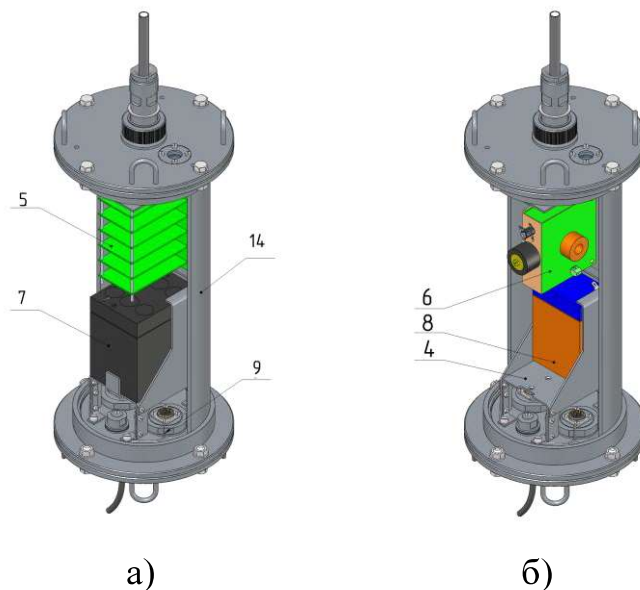
Габаритные размеры поплавковой части:

диаметр, мм	– 256;
высота (включая антенну), мм	– 2450;
масса поплавковой части, кг	– 23;
запас плавучести поплаковой части, кг	– 12;

полная масса устанавливаемого балласта, кг – 10;

шаг регулирования массы балласта, кг – 1.

На рисунке 3.5 показаны макеты погружаемых герметичных модулей для размещения испытываемой аппаратуры. Внутренний объем модулей составляет 6,27 дм³, габариты полезного объема – диаметр 130мм, высота 250 мм. Глубина погружения модулей до 100 м.



а) для испытаний векторно-скалярных приемников

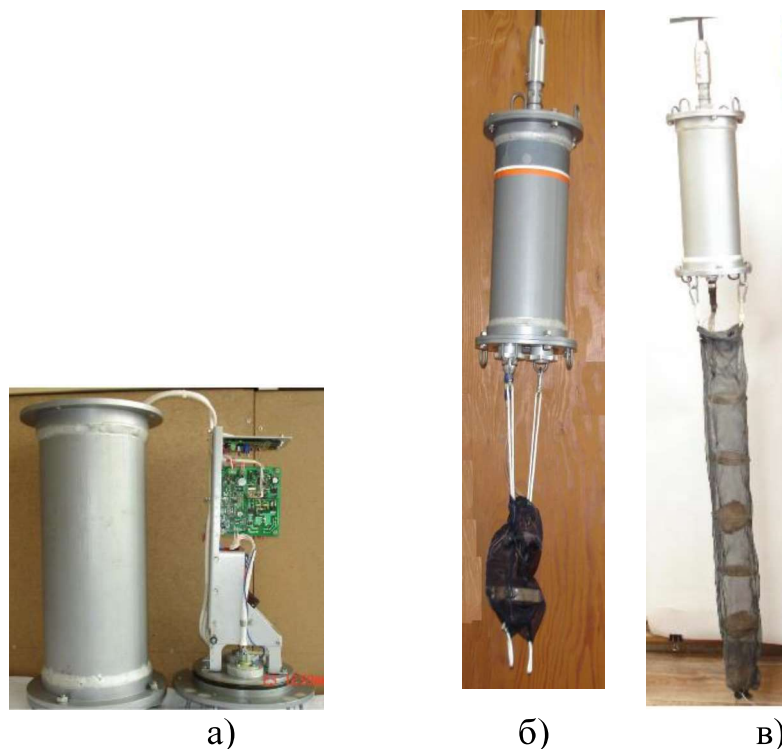
б) для испытаний УИП

Рисунок 3.5 – Макеты погружаемый модулей ЭДП

Модули выполнены из материалов с немагнитными свойствами. Крепеж из нержавеющей стали. Корпус (14), детали ложемент (4) алюминиевые. Герметизацию блока обеспечивают кольца резиновые уплотнительные, уплотнение радиальное. На верхней крышке модулей расположен герморазъем, светодиодная индикация, и такелажных скобы. На нижней крышке с внешней стороны расположен датчик включения, герморазъем, сервисный разъем, 4 такелажные скобы. На внутренней - датчик воды, ложемент (4). Ложемент (4) состоит из кронштейна, на котором закрепляется

при необходимости аккумулятор (7, 8), и стойки с платами испытываемой аппаратуры (5, 6).

Для примера, на рисунке 3.6 показаны модули с образцами испытываемых устройств составе ЭДП: (а, б) - макетов гидроакустического ответчика и приемно-излучающей гидроакустической антенны.



- а) модуль с электроникой макета гидроакустического ответчика
- б) макет гидроакустического ответчика
- в) макет гидроакустической антенны

Рисунок 3.6 – Погружаемый модуль с аппаратурой

3.2 Структурная схема морской платформы

Структурная схема морской платформы имеет вид, представленный на рисунке 3.7.

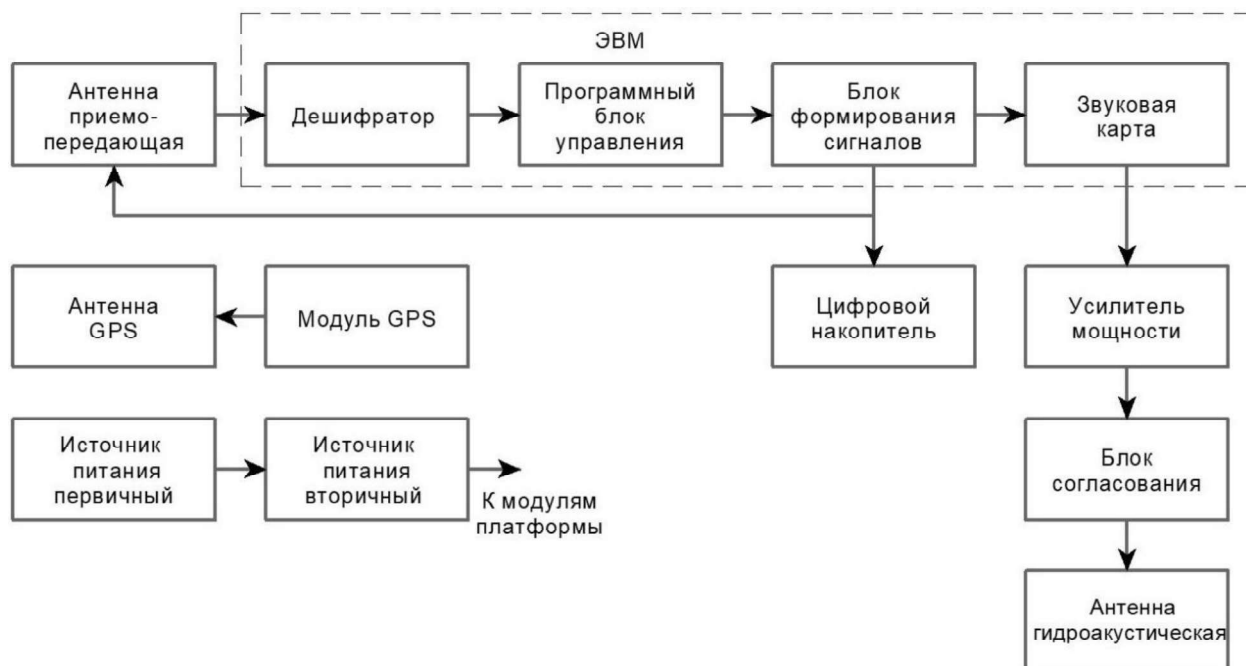


Рисунок 3.7 – Структурная схема платформы

Бортовая аппаратура устанавливает связь, в то время пока морская платформа ожидает соединения. После установки соединения оператор по радиоканалу отправляет на платформу команды управления.

Сигнал поступает по радиоканалу на антенну приемо–передающую. Этот сигнал декодируется в дешифраторе команд управления и, в последствии, анализируется программным блоком управления. Распознанные команды задают режим работы, обеспечивают информирование о текущем состоянии имитатора и прохождении нижеследующих команд управления:

- команды на смену форм сигналов и их параметров;
- команда перевода имитатора в спящий режим (отключение несущей передатчика).

В блоке формирования сигналов генерируется сигнал по полученным данным из программного блока управления, а именно: частоты, периода повторения импульсов и амплитуды. Сформированный сигнал поступает на антенну гидроакустическую через звуковую карту и усилитель мощности. Сигнал, проходящий через звуковую карту, проходит процедуру

цифроаналогового преобразования. Усиление может быть переменным, но без автоматического управления усилением.

Цифровой накопитель предназначен для хранения исходных, промежуточных и конечных данных о состоянии системы и сигналы состояния GPS (местоположение морской платформы). Эта же информация передается на бортовую аппаратуру для отображения сформированных сигналов в реальном времени. Принятая информация анализируется и графически и в буквенно–цифровой форме отображается на экране видеомонитора.

Система электропитания, состоящая из первичного и вторичного источника питания, включает стабилизатор напряжения, учитывает контроль заряда в аккумуляторе и аварийное отключение нагрузки при падении напряжения ниже заданного уровня для предотвращения глубокого разряда батареи.

3.2.1 Обоснование выбора одноплатного компьютера

Основным узлом платформы, конечно же, является одноплатный компьютер, отвечающий за формирование сигналов и режим работы, расположенный в поплавковом модуле.

Одноплатные компьютеры (ОК) являются универсальными инструментами для решения широкого спектра задач. Они могут стать основой для систем числового программного управления (ЧПУ), выступить в роли сервера хранения данных и даже использоваться в качестве удаленной системы сбора данных. Очевидно, что в каждом конкретном случае требования к одноплатным компьютерам различаются.

Одноплатные компьютеры представляют собой законченные вычислительные системы, которые включают процессор, память, систему питания, периферию и разъемы. Так как планируется разработка удаленной

автономной системы, то логичным будет использование ОК с поддержкой беспроводных интерфейсов, например, Wi-Fi или Bluetooth.

Несмотря на то, что все ОК по определению являются достаточно универсальными инструментами, тем не менее, в каждом конкретном случае требования к одноплатным компьютерам различаются. В результате на рынке появилось множество моделей ОК с различными характеристиками. По этой причине основной задачей для разработчика становится поиск оптимального одноплатного компьютера. При этом следует учитывать не только возможности «железа», но и набор доступного ПО, в том числе поддерживаемые операционные системы.

Использование NVIDIA Jetson Nano наилучший вариант. Маленький, но мощный компьютер для задач ИИ на базе CUDA-X™ обеспечивает производительность в 472 гигафлопс в современных приложениях для ИИ при энергопотреблении всего 5 Вт (рисунок 3.8). Jetson Nano поддерживает датчики высокого разрешения, способен обрабатывать данные со множества датчиков одновременно и запускать несколько нейросетей на каждом потоке с датчика. Он также поддерживает множество популярных ИИ-фреймворков, позволяя разработчикам интегрировать в продукт предпочтительные модели и фреймворки.



Рисунок 3.8 – NVIDIA Jetson Nano

Существует набор разработчика Jetson Nano – это мощная, относительно недорогая платформа, способная на усовершенствование.

Заключение

В работе проведено исследование существующих ГАС и современных ВП на базе звуковой карты.

В результате проведенного исследования разработана система клиент–сервер по локальной сети в среде разработки LabVIEW для формирования излучаемых сигналов в пределах 10 Гц – 10 кГц. Данная система позволяет управлять периодом повторения импульсов, амплитудой и смещением генерируемого сигнала, сдвигом фазы, а для сигнала прямоугольной формы скважностью. Генерировать следующие типы сигналов: синусоидальные, пилообразные, прямоугольные, треугольные, белый шум.

Для достоверного отслеживания исполнения и выполнения режимов работы разработанной системы, ПК подключался к внешнему осциллографу АКИП-4115/7А. Снятые осциллограммы доказывают, что сгенерированный сигнал соответствует заданным параметрам. По результатам эксперимента можно сказать, что разработанная модель соответствует требованиям технического задания.

Разработана инструкция по применению виртуальной модели имитатора сигнала.

После проведенного эксперимента предложено конструкторское решение на основе исследовательских данных. Описана работа установки и разработана структурная схема морской платформы.

Система имеет ряд преимуществ, самое главное в том, что удалось ее разработать с применением примитивных средств, а не суперкомпьютеров и дорогих специализированных пакетов. Интерфейс удобный и интуитивно понятный. Имеется большой выбор форм сигналов, а благодаря применению структуры случаев, существует возможность модернизации процесса генерации. Для наглядности на клиенте и сервере расположены экраны для отображения сгенерированных сигналов. В качестве цифроаналогового

преобразователя используется звуковая карта. При необходимости систему можно увеличить путем добавления еще одного клиента, не имеющего возможность управления режимами, в качестве слушателя.

Лабораторная модель имитатора сигнала для обеспечения испытаний гидроакустических систем создана в рамках выполнения диссертационного исследования для ПАО «Дальприбор».

Список использованных источников

1. ГОСТ 2.741–68 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Обозначения условные графические в схемах. Приборы акустические (с Изменениями N 1, 2, 3). Дата введения 1971–01–01. – М.: Стандартиформ, 2010. – 5 с.
2. ГОСТ 8.417–2002 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Единицы величин (с Поправками). Дата введения 2003–09–01. – М.: Стандартиформ, 2018 – с.
3. ГОСТ 22547–81. Средства гидроакустические: Термины и определения. Дата введения 1982–07–01. – М.: Издательство стандартов, 1981 – 10 с.
4. ГОСТ 30457–97 Акустика. Определение уровней звуковой мощности источников шума на основе интенсивности звука. Измерение в дискретных точках. Технический метод. Дата введения 1999–01–01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998.
5. Патент № 27714 Российская Федерация, МПК G01S 15/00 (2000.01). Имитатор отраженных гидроакустических сигналов доплеровского лага / Забодалов А.Б., Фомин Ю.П., Чусовская М.Г., Николаенко Ю.А., Остроухов А.А.; ФГУП "ЦНИИ "Морфизприбор". – № 2002118037/20; заявл. 2002.07.09; опубл. 2003.02.10. – 8 с.
6. Патент № 32890 Российская Федерация, МПК G01S 15/00(2000.01). Имитатор отраженных гидроакустических сигналов доплеровского лага / Николаенко Ю.А.; ФГУП "ЦНИИ "Морфизприбор". – № 2003109578/20; заявл. 2003.04.09; опубл. 2003.09.27. – 10 с.
7. Патент № 35152 Российская Федерация, МПК G01S 1/00 (2000.01), G09B 9/00 (2000.01). Имитатор сигналов радиогидроакустического буя / Ласкуткин И.А., Долгих В.Н., Ламека А.П., Саркисян В.Г.; ТОВВМУ им. Макарова, ОАО "Дальприбор". – № 2003124868/20; заявл. 2003.08.14; опубл. 2003.12.27. – 12 с.

8. Патент № 37235 Российская Федерация, МПК G01S 7/52 (2000.01), G01S 15/00 (2000.01). Гидроакустический шумопеленгатор / Гулиянц Р.Ц., Шейнман Л.Е., Шейнман Е.Л.; ФГУП "ЦНИИ "Морфизприбор". – №2003130590/20; заявл. 21.10.2003; опубл. 10.04.2004. – 10 с.

9. Патент № 41880 Российская Федерация, МПК G01S 15/00 (2000.01). Имитатор сигналов гидроакустических маяков–ответчиков / Николаенко Ю.А., Остроухов А.А., Чусовская М.Г.; ФГУП "ЦНИИ "Морфизприбор". – №2004113521/22; заявл. 05.05.2004; опубл. 10.11.2004. – 14 с.

10. Патент № 41882 Российская Федерация, МПК G01S 15/00 (2000.01). Имитатор сигналов группы гидроакустических маяков–ответчиков / Николаенко Ю.А., Остроухов А.А., Забодалов А.Б., Чусовская М.Г. ФГУП "ЦНИИ "Морфизприбор". – № 2004114717/22; заявл. 2004.05.17; опубл. 2004.11.10. – 16 с.

11. Патент № 46107 Российская Федерация, МПК G01S 15/00(2000.01). Имитатор отраженных гидроакустических сигналов доплеровского лага / Николаенко Ю.А., Чусовская М.Г.; ФГУП "ЦНИИ "Морфизприбор". – № 2004135710/22; заявл. 2004.12.06; опубл. 2005.06.10. – 17 с.

12. Патент № 53022 Российская Федерация, МПК G01S 1/00 (2006.01), G09B 9/00 (2006.01). Имитатор сигналов радиогидроакустического буя / Головацкий И.В., Долгих В.Н., Ламека А.П.; ТОВВМУ им. Макарова, ОАО "Дальприбор". – № 2005132490/22; заявл. 2005.10.20; опубл. 2006.04.27. – 18 с.

13. Патент № 1176276 СССР, МПК G01S 7/40 (2006.01). Имитатор сигналов гидролокатора бокового обзора / Яковлев А.Н., Панченко Ю.А., Кремнев М.А., Корлякова Л.Ф. – № 3479124; заявл. 1982.07.30; опубл. 1985.08.30. – 7 с.

14. Патент № 1840727, МПК G01S 7/52 (2006.01), G09B 9/06 (2006.01). Имитатор гидроакустических сигналов / Паллей Ю.П., Пелевин Ю.П., Сергеев Ю.П. – № 1534258/28; заявл. 10.05.1971; опубл. 10.02.2009. – 6 с.
15. Андреева, И.Б. Физические основы распространения звука в океане / И.Б. Андреева – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 192 с.
16. Боббер, Р. Дж. Гидроакустические измерения / Р. Дж. Боббер – М.: Мир, 1974 – 368 с.
17. Борисенко, К.П. Автоматические системы и технические средства корабельных комплексов. Книга 1. Гидроакустические комплексы надводных кораблей. Принципы построения и решаемые задачи / К.П. Борисенко, В.Б. Митько. – 197 с.
18. Виртуальный звуковой генератор "РадиоМастер" [Электронный ресурс] // Виртуальные радиоизмерения. URL:<http://www.radioradar.net/programms/radiomeasurements/gen.html>
19. Выбор типа зондирующего сигнала для активного гидролокатора с помощью теории передачи данных в каналах связи / Н. Н. Семенов // Журнал Информационные каналы и среды, 2009. – №1.
20. Гидроакустическая измерительная аппаратура нового поколения для стационарных полигонов / ФГУП «ВНИИФТРИ» // НОЗС. – 2011. – №4 (16).
21. Гидроакустические измерения в океанологии / Таранов Э.С., Тюрин А.М., Сташкевич А.П. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 326 с.
22. Гидроакустические навигационные средства / В.И. Бородин и др. – Л.: Судостроение, 1983.
23. Гидроакустические станции [Электронный ресурс]. URL: <https://hydroacoustic.ru/engineering/basic-hydroacoustics/>
24. Горбань, И.И. Обработка гидроакустических сигналов в сложных динамических условиях / Горбань И.И. – Киев: Наук. думка, 2008. – 75 с.
25. Имитатор модели сигналов гидроакустических станций интегрированной системы подводного наблюдения / Шейнман Е. Л.,

Афанасьев А. Н., Куприянов М. С., Клионский Д. М., Ежов С. Н., Максимов П. Н., Голубков А. М. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – № 10. – С. 8–17.

26. Казаков М.Н. Автоматическое обнаружение гидроакустических сигналов // Вестник науки и образования, 2019. – № 4 (58). Часть 1. С. 20–23.

27. Колмогоров, В.С. Измерения в корабельной гидроакустике: учебное пособие / В.С. Колмогоров; отв. ред. В.Н. Долгих. – Владивосток: ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н.Г. Кузнецова», 2014. – 196 с.: ил.

28. Колчеданцев, А.С. Гидроакустические станции. / Колчеданцев А.С. Л.: Судостроение, 1982. – 237 с.

29. Конспект лекций по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника» (часть 3). – Самара, 2008. – 153 с.

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

31. Кринг, Дж. LabVIEW для всех / Кринг Джим, Трэвис Джеффри. – ДМК–Пресс, 2015.

32. Малышкин, Г.С. Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов. Т. 1: Оптимальные методы / Малышкин Г.С.; ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». – СПб., 2011. – 400 с.

33. Мощный двухканальный анализатор спектра SpectraLAB [Электронный ресурс] // DxPoRTAL. URL: <http://dxportal.ru/download/10648-spectralab-moschnyy-dvuhkanalnyy-analizator-spektra.html>

34. НЕРПА-М стационарная гидроакустическая станция (СГАС) [Электронный ресурс] // Тетис КС. URL: <https://web.archive.org/web/20151216192956/http://tetis-ks.ru/catalog/229/>

35. ОАО "Тетис Про" продемонстрировало свои достижения на показе перспективных робототехнических комплексов [Электронный ресурс]. URL: https://www.korabel.ru/news/comments/oao_tetis_pro_prodemostrirovalo_svoi_ostizheniya_na_pokaze_perspektivnyh_robototekhnicheskikh_kompleksov.html

36. Основы цифровой обработки сигналов. 2-е издание. / Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М., Соловьева Е.Б. – С-Пб.: БХВ–Петербург, 2005. – 768 с.
37. Особенности разработки и проведения испытаний гидроакустических станций с гибкой протяженной буксируемой антенной для НК / Андреев М, Александров Ю, Козловский С, Охрименко С, Рубанов И. // Морской сборник, 2009. – №8. – с.54–56.
38. Пирс Дж. Почти все о волнах / Дж. Пирс – М.: Мир, 1976 – 176 с.
39. Проблема измерения гидроакустических характеристик морских объектов / П.А. Красовский, С.Г. Цыганков, Г.В. Теверовский // НОЗС. – 2010. – №3 (10).
40. Прорывные технологии гидроакустических измерений / Цыганков С., Теверовский Г. [Электронный ресурс] // Национальная оборона. URL: <https://oborona.ru/includes/periodics/defense/2015/0511/120615878/print.shtml>
41. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Рабинер Л., Гоулд Б. – М.: МИР, 1978. – 848 с.
42. Радиолокационные системы: учебник / В. П. Бердышев, Е. Н. Гарин, А. Н. Фомин [и др.]; под общ. ред. В. П. Бердышева. – Красноярск: Сиб. федер. ун–т. – 2011. – 400 с.
43. Разработка LabVIEW LINUX C++ – вопросы для начинающих [Электронный ресурс] // Web-Answers. URL: <https://web-answers.ru/c/razrabotka-labview-linux-c-voprosy-dlja.html>
44. Свердлин, Г.М. Прикладная гидроакустика / Свердлин Г.М. – Л.: Судостроение, 1990. – 320 с.
45. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. 3-е изд. / Сергиенко А.Б. – СПб.: БХВ–Петербург, 2011. – 768 с.
46. Сетевые технологии, каналы связи и их основные характеристики [Электронный ресурс]. URL: <https://infourok.ru/setevie-tehnologii-kanali-svyazi-i-ih-osnovnie-harakteristiki-757609.html>

47. Справочник по гидроакустике / А.П. Евтютов, А.Е. Колесников, Е.А. Корепин и др. – 2–е изд., перераб. и доп. – Л.:Судостроение, 1988. – 552 с.
48. Тревис, Дж. LabVIEW для всех / Джеффри Тревис: Пер. с англ. Клушин Н. А. – М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. – 544 с.; ил.
49. Урик, Р.Дж. Основы гидроакустики / Р.Дж.Урик. Пер. с англ. Под ред. Е.Л. Шендерова. – Л.: Судостроение, 1973. – 176 с.
50. Федосов, В.П. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб. пособие / Федосов В.П., Нестеренко А.К.; под ред. Федосова В.П. – М.: ДМК Пресс, 2007.
51. Фирсов, Ю.Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров / Фирсов Ю.Г. – СПб.: Нестор–История, 2010. – 348 с.
52. Цифровая обработка сигналов и MATLAB / А. И. Солонина, Д. М. Клионский, Т. В. Меркучева, С. Н. Перов. СПб.: БХВ–Петербург, 2014. – 512 с.
53. Arbitrary Waveform Generator Based on LabVIEW. Li Yueqin, Li Jinping. Year: 2009, Volume: 1, Pages: 103-106 DOI Bookmark:10.1109/EEEE.2009.9
54. BIP Electronics Lab Sine Wave Generator V3.0 [Электронный ресурс] // Radiomaster. URL: <http://www.radiomaster.net/articles/view/1685/>
55. Bjorno L. Applied Underwater Acoustics. Elsevier, 2017. – 970 p.
56. Bourennane S. (Ed.) Underwater Acoustics. InTech, 2012. – 136 p.
57. Etter P.C. Underwater Acoustic Modeling and Simulation. 4th Edition. – CRC Press, Taylor & Francis. – 2013. – 521 p.
58. Marage J.–P., Mori Y. Sonar and Underwater Acoustics. Wiley, 2010. – 618 p.
59. NCH Tone Generator 0 [Электронный ресурс] // Студенческая библиотека. URL: https://studbooks.net/2025614/informatika/generatory_baze_zvukovoy_karty

60. Simple Function Generator [Электронный ресурс] // Marchand Electronics Inc. URL: <https://www.marchandelec.com/fg.html>
61. Test Tone Generator [Электронный ресурс] // Cxem.net. URL: https://cxem.net/software/test_tone_generator.php
62. Tone Generator Software [Электронный ресурс] // NCH Software. URL: <https://www.nch.com.au/tonegen/index.html>
63. The Virtual Instrument Based on Labview and Sound Card. Zhao Xian-ling. Year: 2010, Volume: 1, Pages: 743-745. DOI Bookmark:10.1109/CASoN.2010.170.
64. Wakabayashi, K., Yamada, T., Uemori, S., Kobayashi, O., Kato, K., Kobayashi, H., Gake, T. (2011). Low-Distortion Single-Tone and Two-Tone Sinewave Generation Algorithms Using an Arbitrary Waveform Generator. 2011 IEEE 17th International Mixed-Signals, Sensors and Systems Test Workshop. doi:10.1109/ims3tw.2011.17.