

УДК 621.396

## ОПИСАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ АППАРАТУРЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ\*

Б.И. ФИЛИППОВ<sup>1</sup>, В.А. СПИРЯНИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доцент, кандидат технических наук. E-mail: filiprov-boris@rambler.ru

<sup>2</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет. E-mail: spiryanin.v@gmail.com

Разрабатываемая аппаратура гидроакустического канала связи (ГАКС) представляет собой многостанционную систему двухсторонней связи, в которой судно выполняет роль центральной станции, а донные станции – ее абоненты. Управление работой этой многостанционной системы связи должно осуществляться из центральной станции, с судна. Выбор принципов обмена сигналами между судном и автономными донными станциями (АДС) целесообразно осуществить из условий требуемого качества (достоверности) передачи информации по критерию минимума объема оборудования связи, размещаемого в донной станции, и минимального среднего потребления энергии этим оборудованием от автономного источника питания АДС. Другим вопросом, определяющим сложность аппаратуры ГАКС, является выбор метода разделения сигналов между абонентами (донными станциями). В этой связи предложено осуществлять обмен сигналами между судном и АДС в полудуплексном режиме, так как в этом случае часть устройств, размещаемых в корпусе донной станции, может поочередно работать в режимах приема и передачи. Предложено для обмена сигналами использовать двоичные сигналы, передаваемые методом относительной фазовой модуляции со скоростью 200 Бод. Для приема указанных сигналов предлагается применить цифровой корреляционный приемник с глубоким ограничением сигнала на входе, что позволит упростить процедуру вхождения в связь, сократит длительность сеансов связи и уменьшит потребление энергии от автономного источника питания АДС. В качестве сигналов команд управления на одной рабочей частоте работы судна в сети с количеством АДС не более 15; передавать с судна на каждую из АДС до 15 команд управления; получать на судне квитанции о приеме и исполнении на АДС команд управления; передавать на судно из АДС по запросу цифровую формулярную информацию; переводить АДС по команде на работу в режиме гидроакустического маяка с передачей из нее сигнала, содержащего

---

\* Статья получена 09 октября 2017 г.

идентификатор донной станции; осуществлять определение наклонной дальности между судном и АДС при любом обмене сигналами между ними. Все предложенные технические решения ориентированы на применение цифровой микросхемотехники, в первую очередь 8-разрядных цифровых микроконтроллеров.

**Ключевые слова:** гидроакустический канал, аппаратура гидроакустического канала связи, многостанционная система связи, автономные донные станции, судовая центральная станция, относительная фазовая модуляция, сигналы команд управления, стартовые синхронизирующие последовательности, цифровые микроконтроллеры

DOI: 10.17212/2307-6879-2017-4-97-127

## ВВЕДЕНИЕ

Разрабатываемая аппаратура гидроакустического канала связи (ГАКС) представляет собой многостанционную систему двухсторонней связи, в которой судно выполняет роль центральной станции, а донные станции – ее абоненты. Управление работой этой многостанционной системы связи должно осуществляться из центральной станции, с судна.

Выбор принципов обмена сигналами между судном и автономными донными станциями (АДС) целесообразно осуществить из условий требуемого качества (достоверности) передачи информации по критерию минимума объема оборудования связи, размещаемого в донной станции, и минимального среднего потребления энергии этим оборудованием от автономного источника питания АДС.

Другим вопросом, определяющим сложность аппаратуры ГАКС, является вопрос метода разделения сигналов между абонентами (донными станциями).

Чтобы сигналы разных донных станций  $S_i(t)$  и  $S_j(t)$  при передаче давали минимум взаимных помех, они должны удовлетворять условию ортогональности

$$\frac{1}{T} \int_0^T S_i(t) S_j(t) dt = \begin{cases} a, & i = j, \\ 0, & i \neq j, \end{cases}$$

где  $T$  – интервал ортогональности используемых сигналов, выбирается равным длительности этих сигналов;  $a$  – некоторая постоянная.

В принципе, для разделения сигналов между АДС можно использовать любой из известных методов разделения каналов: временное, частотное и кодовое (по форме сигналов).

Временное разделение сигналов предполагает жесткую временную синхронизацию работы донных станций и по этой причине не нашло применения

при построении аппаратуры гидроакустической связи и управления для донных станций.

Наибольшее распространение в существующих системах гидроакустической связи и управления получило частотное разделение сигналов управления, при котором каждой донной станции как абоненту сети отводится своя полоса частот – частотный канал в пределах некоторой общей полосы частот. При разnose частотных каналов на 100...200 Гц резко увеличивается длительность передаваемых сигналов (до 10...15 с). Если же дискретность частотных каналов увеличивается до 1...2 кГц, то из-за расширения общего диапазона рабочих частот необходимо применение широкополосных нерезонансных гидроакустических антенн, энергетическая эффективность которых достаточно низка. Поэтому следует рекомендовать для реализации в аппаратуре гидроакустического канала связи для АДС использование кодового метода разделения сигналов, допускающего поочередную работу всех донных станций в одном общем частотном диапазоне [1].

В существующих системах связи с кодовым методом разделения для передачи используются шумоподобные сигналы, прием сигналов осуществляется с помощью согласованных фильтров [2].

На длительности элемента сигнала необходимо осуществлять, по крайней мере, хранение, умножение и суммирование многоразрядных отсчетов сигнала. Если в качестве сигналов управления в разрабатываемой аппаратуре применять двоичные последовательности, то их прием может осуществляться с помощью относительно несложного устройства, состоящего из последовательно соединенных приемника двоичных сигналов и соответствующих декодеров и дешифраторов. Подобное выполнение приемного устройства позволяет осуществить синтез аппаратуры в два этапа. На первом этапе осуществляется выбор метода передачи двоичных сигналов и схемы их приема, на втором этапе осуществляется выбор ансамбля сигналов и методов их защиты от ошибок.

Как показывают экспериментальные исследования, статистические характеристики гидроакустических каналов связи (ГАКС) имеют свои аналоги в коротковолновых, УКВ и других радиоканалах с переменными параметрами. Поэтому разработанные для этих каналов принципы и методы построения оборудования могут быть использованы и в системах передачи информации, использующих ГАКС, конечно, с учетом специфических свойств распространения акустических сигналов в водной среде [3–11].

Аппаратура гидроакустического канала связи (ГАКС) предназначена для обеспечения морских геофизических исследований с помощью многофункциональных гидроакустических донных станций (МГАС), объединенных в измерительную сеть.

Аппаратура позволяет:

- передавать с судна на МГАС команды управления [12];
- передавать из МГАС на судно «квитанции» о приеме и исполнении на донной станции команд управления [13];
- определять наклонную дальность между судном и МГАС при любом обмене сигналами между ними [14];
- переводить МГАС по команде с судна в режим гидроакустического маяка;
- осуществлять контроль качества передачи цифровой информации из МГАС путем передачи по каналу специальной испытательной последовательности [15].

Управление работой аппаратуры гидроакустического канала связи осуществляется от судовой ЭВМ, которая одновременно является получателем цифровой информации, передаваемой из МГАС.

По характеру обмена сигналами аппаратура ГАКС представляет собой аппаратно-программный комплекс, который по функциональным признакам можно разделить на следующие составные части:

- донный модуль ГАКС (ДМ ГАКС);
- судовая приемно-обрабатывающая аппаратура (СПОА), которая включает в себя судовую ЭВМ и бортовой модуль ГАКС (БМ ГАКС);
- контрольно-проверочная аппаратура (КПА);
- программно-математическое обеспечение GalsW для ЭВМ приемно-обрабатывающей аппаратуры.

Указанное деление условно, так как контрольно-проверочная аппаратура конструктивно выполнена встроенной в состав бортового и донного модулей аппаратуры ГАКС, а также в качестве соответствующих частей программных средств GalsW.

Связь между бортовым модулем аппаратуры ГАКС и ЭВМ СПОА осуществляется по последовательному каналу типа «токовая петля» (интерфейс RS-232 без сигналов готовности) со скоростью 9600 бит/с при восьми информационных и двух стоповых битах. От ЭВМ СПОА к бортовому модулю аппаратуры ГАКС передаются:

- номер донной станции и номер команды, которая должна быть исполнена на МГАС;
- команды, изменяющие режим работы бортового модуля аппаратуры («передача команд», «прием», «тест», «испытания канала»).

От бортового модуля аппаратуры ГАКС к ЭВМ СПОА передаются:

- подтверждение или неподтверждение приема информации от ЭВМ СПОА, в последнем случае сообщаются также причины ошибки;

- номер донной станции, номер команды, номер кодовой комбинации и контрольный 14-й символ, поступившие на бортовой модуль аппаратуры ГАКС из МГАС в составе сигнала квитанции;
- цифровая информация, принятая бортовым модулем от МГАС в ответ на команду о ее передаче;
- сигнал от МГАС в режиме «маяк»;
- длительность интервала времени между передачей на МГАС команды управления и получением от нее квитанции.

## **1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И РЕШЕНИЕ**

Основу рассматриваемой сети гидроакустической телеметрии составляют многофункциональные гидроакустические донные станции, расположенные произвольным образом на дне. МГАС оборудованы регистрирующей аппаратурой и аппаратурой гидроакустического канала связи для обмена сигналами с обслуживающим судном.

Работу МГАС, оборудованных аппаратурой ГАКС, в рассматриваемой сети характеризуют следующие основные режимы:

- постановка МГАС;
- режим регистрации информации и ожидания вызова – исходное состояние системы;
- поиск и вызов МГАС;
- обмен сигналами между судном и донной станцией;
- подъем МГАС по команде с судна;
- работа МГАС в режиме гидроакустического маяка.

В соответствии с назначением и архитектурой сети гидроакустических донных станций в работе аппаратуры ГАКС может наблюдаться ряд характерных ситуаций.

1. В сети отсутствует какой-либо обмен сигналами.

При этом бортовой модуль аппаратуры ГАКС может находиться в произвольном состоянии: включенном или выключенном; донные части аппаратуры ГАКС, располагаемые на МГАС, включены и находятся в режиме ожидания («дежурного» приема).

2. Судно осуществляет поиск нужной донной станции, вход в зону связи с этой МГАС, ее вызов.

3. После ответа донной станции аппаратура ГАКС в составе бортового модуля и донного модуля вызываемой донной станции переходит в режим обмена сигналами (передача команд управления, передача квитанций).

4. Осуществляется постановка или подъем одной из МГАС. Аппаратура ГАКС используется для слежения за этой донной станцией в процессе ее погружения и всплытия. Донные части ГАКС остальных МГАС находятся в режиме ожидания вызова.

5. Одна или несколько МГАС работают в режиме гидроакустического маяка.

6. Осуществляется оценка качества функционирования аппаратуры ГАКС. Рассмотрим подробнее каждую из указанных ситуаций.

Адресный метод разделения сигналов между МГАС, реализованный в аппаратуре, предполагает, что в любой момент времени обслуживающее судно может обмениваться сигналами только с одной донной станцией. В это время другие МГАС находятся в режиме ожидания вызова.

С учетом организации обмена сигналами ГАКС можно считать много-станционной системой связи, в которой донные станции являются абонентами, а обслуживающее судно – центральной станцией. Так как в любой момент времени может осуществляться обмен сигналами судна только с одной станцией, то система работает как одноканальная. В то же время при вызове одной из донных станций в сектор обзора гидроакустической антенны центральной станции могут попадать и другие абоненты (донные станции), разделение сигналов между МГАС осуществляется кодовыми методами.

Самым продолжительным по длительности режимом работы аппаратуры ГАКС является режим ожидания вызова. В этом режиме донные части аппаратуры ГАКС переводятся в режим приема и анализа поступающего на вход приемного устройства шума или смеси сигнала и шума. При обнаружении полезного сигнала начинается его прием, после чего передается соответствующий ответный сигнал.

Поиск и вызов донной станции осуществляется после прихода судна в район постановки донной станции. Если судно находится в пределах зоны связи с МГАС, то после передачи с него сигнала вызова осуществляется передача с донной станции ответного сигнала и определение наклонной дальности между судном и МГАС; аппаратура ГАКС переходит в режим обмена сигналами.

Под зоной связи понимается область на поверхности моря, в пределах которой отношение сигнал / шум обеспечивает требуемое качество обмена сигналами между судном и МГАС.

Величина и форма зоны связи в основном определяются характеристиками направленности применяемых гидроакустических антенн, их взаимной ориентацией. При работе по гидроакустическим каналам вертикальной ориентации зона связи представляет собой, как правило, круг с радиусом  $R$ , величина которого определяется не затуханием сигнала вследствие расширения

фронта акустической волны, а шириной диаграммы направленности используемых гидроакустических антенн. Для применяемых в составе ГАКС гидроакустических антенн СУЦЗ.837.018 радиус зоны связи будет примерно равен глубине постановки донной станции

$$R \approx H,$$

где  $H$  – глубина постановки МГАС.

Таким образом, задача поиска донной станции сводится к задаче установления факта вхождения судна в пределы зоны связи с МГАС.

Цель обмена сигналами между судном и МГАС – проверка работоспособности донных станций, изменение режимов их работы. Изменение режима работы МГАС осуществляется по команде с судна. Каждая из команд управления содержит адресную часть, по которой осуществляется разделение сигналов в сети между МГАС, и собственно команду управления, вернее, «номер» этой команды управления. Для повышения «гибкости и живучести» системы в аппаратуре ГАКС образован канал обратной связи, по которому с МГАС на борт судна в ответ на каждую принятую команду управления передается «квитанция». Квитанция содержит признак донной станции, ее идентификатор и номер принятой и исполненной на МГАС команды управления [12].

Слежение за МГАС в процессе ее постановки и подъема позволяет осуществлять проверку работоспособности донной станции, фиксировать момент постановки донной станции на грунт, отрыв ее от грунта и выход на поверхность моря, облегчить поиск всплывшей донной станции.

Слежение за МГАС может быть организовано на основе периодического определения наклонной дальности до погружающейся (всплывающей) донной станции.

Работа МГАС в режиме гидроакустического маяка осуществляется после получения на донной станции от судна соответствующей команды управления. Выключение маяка также осуществляется по команде управления. Сигнал маяка содержит идентификатор донной станции. Передача сигналов выполняется в канале управления. В аппаратуре гидроакустического канала связи работа всех донных станций осуществляется на одной общей рабочей частоте; обмен сигналами между судном и МГАС осуществляется сеансами и начинается передачей с судна команды управления. В аппаратуре реализован асинхронно-адресный принцип разделения сигналов, который заключается в разбиении всего множества кодированных сигналов, используемых для передачи команд управления в сети МГАС, на 15 подмножеств, соответствующих количеству абонентов сети (донных станций) [12, 16]. Сигналы каждого из подмножеств используются для передачи команд управления соответствующим

щему абоненту (МГАС); остальные абоненты на сигналы данного подмножества не реагируют. Отличие в сигналах заложено на структурном уровне на этапе их формирования.

В качестве сигналов команд управления в аппаратуре используется шестикратное повторение (без перерыва) кодовой комбинации команды, каждая из которых состоит из стартовой комбинации длиной 32 символа, кодовой комбинации циклического кода (32, 16) [16]. Суммарная длина сигнала команды управления  $(32 + 32) \cdot 6 = 384$  символов.

Команда управления считается принятой, если хотя бы в одной из шести поступивших на донную станцию кодовых комбинаций команды не обнаружено ошибок.

В случае приема на МГАС команды управления из донной станции в направлении судна передается сигнал квитанции, состоящий из следующих друг за другом без перерыва шести проинвертированных кодовых комбинаций соответствующей команды управления.

На рис. 1 приведена структура сигналов команд управления и квитанций [16, 17].

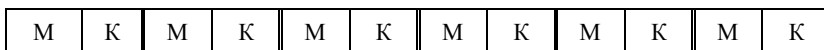


Рис. 1. Структура сигналов команд управления и квитанций:

М – стартовая последовательность; К – кодовая комбинация циклического кода (32, 16)

Распределение 16 информационных символов кодовой комбинации циклического кода (32, 16) сигналов команд управления и квитанций представлено на рис. 2.

Первые четыре символа (с первого по четвертый, обозначаемые символом А) используются для задания в двоичной форме адреса абонента (номера донной станции). Номера донных станций задаются четырехразрядными двоичными числами с 0001 по 1111 включительно. Следующие пять символов (с пятого по девятый, обозначаемые символом К) используются для задания в двоичной форме номера команды управления, передаваемой на донную станцию. Номера команд задаются пятиразрядными двоичными числами с 00001 по 11111 включительно. Символы с 11 по 13, обозначаемые символом Р, используются для нумерации кодовых комбинаций команд управления (номер пары) в составе сигнала управления. Указанная нумерация применяется при определении наклонной дальности между судном и МГАС. Алгоритм определения наклонной дальности описан ниже. Нумерация кодовых комбинаций команд управления в составе сигнала управления осуществляется трехразрядными двоичными числами с 001 по 110 включительно. Символ с номером 14,



обозначенный Е, является служебным. При передаче команд управления символу Е всегда присваивается значение логического нуля. В составе сигнала квитанции символу Е присваивается значение логической единицы, если в течение 0,25 с после приема команды управления от датчиков донной станции не поступает признак исполнения этой команды. Символы 10, 15 и 16, помеченные буквой R, являются резервными.

Любой обмен сигналами между СПОА и МГАС сопровождается определением наклонной дальности между ними [3].

A	A	A	A	K	K	K	K	K	R	P	P	P	E	R	R
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Рис. 2. Распределение 16 информационных символов кодовой комбинации циклического кода (32, 16):

A – символы, используемые для задания адреса МГАС; K – символы, используемые для задания номера команды, передаваемой на МГАС; P – символы, используемые для задания номера кодовой комбинации (номер пары) в составе сигнала команды управления или квитанции; E – служебный символ, используемый для передачи на судно признака неисполнения на МГАС принятой команды управления; R – резервные символы

Перечень команд, используемых в аппаратуре ГАКС, приведен в табл. 1. Команды 1–13 предназначены для изменения режимов работы МГАС; команды 25, 26 – для включения и выключения на МГАС гидроакустического маяка, команды 24, 31 используются для проверки работоспособности аппаратуры ГАКС, команды 14–23 и 27–30 – резервные.

Таблица 1

**Перечень команд управления, передаваемых с судна на МГАС**

Номер команды	Назначение команды
1	Включение МСБ
2	Включение УМ
3	Уровень излучения 1
4	Уровень излучения 2
5	Уровень излучения 3
6	Частота излучения 1
7	Частота излучения 2
8	Частота излучения 3
9	Включение регистратора непрерывно
10	Включение регистратора программно

Окончание табл. 1

Номер команды	Назначение команды
11	Выключение регистратора
12	Включение режима 1
13	Выключение режима 1
с 14-й по 23-ю	Резерв
24	Тест
25	Включение гидроакустического маяка
26	Выключение гидроакустического маяка
с 27-й по 30-ю	Резерв
31	Испытания канала в режиме передачи данных

### Алгоритм передачи команд управления

В исходном состоянии донные станции сети находятся в режиме дежурного приема, в котором в приемных устройствах соответствующих МГАС производится анализ смеси сигналов и шумов, действующих на их входах; бортовой модуль ГАКС находится в произвольном режиме.

При необходимости передачи команды управления на одну из МГАС судно осуществляет поиск донной станции, входит в зону связи с ней.

На пульте оператора, реализованном с помощью программы GalsW на ЭВМ СПОА, осуществляется набор номера вызываемой МГАС и номера передаваемой на нее команды управления. После нажатия на пульте клавиши «Передать команду» по последовательному каналу от ЭВМ в бортовой модуль ГАКС передается управляющий сигнал, по которому в бортовом модуле ГАКС формируется сигнал команды управления.

Сигнал команды управления гидроакустической антенной излучается в направлении донной станции; при этом для целей определения наклонной дальности фиксируется момент времени  $t_1$ , соответствующий моменту окончания передачи сигнала управления [14].

Сигнал команды управления поступает на вход приемного устройства донного модуля аппаратуры ГАКС, демодулируется и подается на 32-разрядный дешифратор стартовой последовательности. При обнаружении стартовой последовательности следующие за ней 32 символа кодовой комбинации циклического подаются на параллельно соединенные дешифратор адреса и декодер циклического кода (32, 16).

В дешифраторе происходит сравнение первых четырех символов кодовой комбинации циклического кода с адресом (номером) донной станции, представленном в двоичной форме. Если эти четыре символа совпадают с адресом МГАС, то начинается декодирование комбинации циклического кода. Если при декодировании 32-го символа кодовой комбинации циклического кода (32, 16) обнаруживается ошибка, то приемник вновь переводится в режим обнаружения стартовой последовательности [16]. Следует отметить, что для защиты циклического кода (32, 16) от циклических сдвигов проверочные символы в составе кодовых комбинаций передаются в инверсном виде.

При отсутствии ошибок в кодовой комбинации циклического кода (32, 16) команда управления считается принятой; фиксируется момент времени принятия команды  $t'_1$ ; определяется номер кодовой комбинации (номер пары) в составе сигнала команды управления. В момент окончания сигнала команды управления она подается на исполнение. На исполнение команды управления резервируется интервал времени  $T_0$  длительностью 250 мс.

По истечении 250 мс после окончания сигнала команды управления на МГАС начинается формирование и передача в направлении судна сигнала квитанции.

Сигнал квитанции, как уже указывалось выше, состоит из следующих друг за другом без перерыва шести проинвертированных кодовых комбинаций соответствующей команды управления. При этом в случае неисполнения команды управления в течение интервала  $T_0 = 250$  мс после ее приема в 14-м разряде информационной части (символ Е) кодовой комбинации циклического кода (32, 16) передается лог. 1.

В бортовом модуле аппаратуры ГАКС осуществляется демодуляция сигнала квитанции, после чего он подается на дешифратор стартовой последовательности. При обнаружении стартовой последовательности следующие за ней 32 символа кодовой комбинации циклического кода подаются на декодер циклического кода (32, 16). Если при декодировании кодовой комбинации циклического кода (32, 16) обнаруживается ошибка, то приемник переводится в режим обнаружения стартовой последовательности. При отсутствии ошибок в кодовой комбинации циклического кода (32, 16) квитанция считается принятой. Фиксируются момент времени  $t_2$  приема квитанции. Определяется продолжительность интервала времени  $\Delta T$  между передачей с судна сигнала команды управления и приема на нем сигнала квитанции;  $\Delta T = t_2 - t_1$ .

Выделенные из принятой квитанции адрес (номер МГАС), номер принятой на МГАС команды управления, служебный бит Е, а также число, соответствующее длительности интервала времени  $\Delta T$ , подаются по последователь-

ному каналу в ЭВМ СПОА, где в соответствующем виде отображаются на экране монитора.

В случае непринятия на судне сигнала соответствующей квитанции в течение 20 с после передачи сигнала команды управления из бортового модуля ГАКС в ЭВМ СПОА выдается соответствующий сигнал, по которому на монитор выдается сообщение: «Нет ответа ДС» [13].

### **Работа МГАС в режиме гидроакустического маяка**

Перевод МГАС в режим гидроакустического маяка осуществляется по команде № 25. В режиме гидроакустического маяка донный модуль аппаратуры ГАКС с периодичностью в 30 с излучает сигнал, совпадающий по структуре сигналом квитанции. Сигнал гидроакустического маяка состоит из следующих друг за другом шести кодовых комбинаций гидроакустического маяка, каждая из которых состоит из 32-разрядной стартовой и 32-разрядной кодовой комбинации циклического кода (32, 16). Стартовая последовательность сигнала гидроакустического маяка полностью совпадает со стартовой последовательностью сигнала квитанции. Отличие сигнала гидроакустического маяка от сигнала квитанции заложено в информационной части кодовой комбинации циклического кода (32, 16). У сигнала гидроакустического маяка в информационной части кодовой комбинации циклического кода отличны от нуля первые четыре символа, в которые заложен адрес МГАС, остальные 12 символов информационной части равны нулю.

Прием сигнала гидроакустического маяка на судне осуществляется аналогично приему сигнала квитанции; на экран монитора ЭВМ СПОА выдается сообщение «маяк» с указанием адреса МГАС.

Выключение гидроакустического маяка осуществляется по команде № 26.

### **Алгоритм определения наклонной дальности между судном и МГАС**

Определение наклонной дальности между судном и МГАС осуществляется расчетным путем на основе измерения времени распространения  $\Delta t$  акустического сигнала от судна до МГАС и обратно [14]. Измерение времени распространения осуществляется по системе «запрос – ответ»; при этом МГАС выполняет роль маяка – ответчика. Измерение времени распространения  $\Delta t$  акустического сигнала от судна до МГАС и обратно осуществляется при передаче с судна любой из команд управления.

Для измерения времени распространения  $\Delta T$  акустического сигнала от судна до МГАС и обратно осуществляется измерение временного интервала  $\Delta T$  между моментом времени  $t_1$  окончания передачи с судна команды управления и моментом времени  $t_2$  приема на судне сигнала квитанции.

Рассмотрим работу аппаратуры в режиме определения наклонной дальности.

В момент окончания передачи сигнала команды управления с бортового модуля аппаратуры ГАКС запускается счетчик измерения временного интервала  $\Delta T$ .

На донной станции осуществляется прием сигнала команды управления. При обнаружении кодовой комбинации, не искаженной помехами, определяется порядковый номер  $p$  этой кодовой комбинации в составе сигнала команды управления; включается таймер переменной задержки, который обеспечивает выдачу своего выходного сигнала спустя время  $T_{\text{зад}}$  после приема сигнала команды управления (после обнаружения первой не искаженной помехами кодовой комбинации с номером  $p$ ). Длительность времени задержки  $T_{\text{зад}}$  задается из условия

$$T_{\text{зад}} = (6 - p) \frac{64}{V} = 0,32(6 - p) \text{ [с]}, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость модуляции;  $V = 200$  Бод.

После срабатывания таймера команда подается на исполнение. Через промежуток времени  $T_0 = 0,25$  с, отведенный на исполнение команды, после приема команды управления из донной станции на судно передается сигнал квитанции.

Бортовой модуль аппаратуры ГАКС осуществляет прием сигнала квитанции. При обнаружении кодовой комбинации, не искаженной помехами, останавливается счетчик измерения временного интервала  $\Delta T$ , определяется порядковый номер  $p$  этой кодовой комбинации в составе сигнала квитанции. Число, соответствующее длительности временного интервала  $\Delta T$ , и номер  $p$  по последовательному каналу подаются в ЭВМ СПОА, в которой производится расчет наклонной дальности  $D$  до МГАС по формуле

$$D = \frac{C}{2} (\Delta T - 0,32p - 2,17 - \delta_t),$$

где  $C$  – скорость звука в воде, в расчетах принимается  $C = 1500$  м/с;  $\delta_t$  – юстировочная поправка, учитывающие технологические задержки в аппаратуре.

Рассчитанное значение наклонной дальности до донной станции  $D$  в метрах отображается на мониторе.

Цель проверки качества функционирования аппаратуры ГАКС – определение ее работоспособности в рабочих условиях при нахождении МГАС под водой.

Проверка работоспособности аппаратуры осуществляется путем проведения статистических испытаний в двух режимах:

- в режиме передачи команд управления;
- в режиме передачи тестовой информации.

Проверка работоспособности в режиме передачи команд управления проводится путем многократной передачи и контроля прохождения команды № 24 по кольцу управления: ЭВМ СПОА – бортовой модуль ГАКС – гидроакустический канал связи – донный модуль ГАКС – гидроакустический канал связи – бортовой модуль ГАКС – ЭВМ СПОА. В процессе проведения испытаний в режиме передачи команд управления оцениваются вероятность неприема квитанции бортовым модулем и величина наклонной дальности до МГАС [13, 14].

Алгоритм работы аппаратуры при проверке ее работоспособности в режиме передачи команд управления полностью соответствует режиму передачи команд управления, описанному ранее.

Цель проверки работоспособности аппаратуры ГАКС в режиме передачи тестовой информации – оценка вероятности искажения цифровой информации в канале связи. В этом режиме по команде управления № 31 из МГАС на судно передается известный тестовый отрезок псевдослучайной последовательности длиной 2072 бит [13].

После приема команды № 31 на донной станции из нее в направлении судна передаются сначала соответствующий сигнал квитанции, непосредственно за ним без перерыва начинает передаваться тестовый отрезок псевдослучайной последовательности длиной 2072 бит.

Прием квитанции в судовой части аппаратуры ГАКС в этом случае осуществляется аналогично рассмотренному выше алгоритму приема квитанции, описанном ранее при рассмотрении алгоритма передачи команд управления. Адрес ГДАС, номер принятой на ГДАС команды управления, служебный бит Е, длительность интервала времени  $\Delta T$  подаются по последовательному каналу в ЭВМ СПОА, вслед за ними из судовой части ГАКС в ЭВМ подаются 2072 символа тестового отрезка псевдослучайной последовательности. Принятый тестовый отрезок сравнивается с соответствующим отрезком, генерируемым в ЭВМ.

В процессе проведения испытаний в режиме передачи тестовой информации оцениваются вероятность искажения цифровой информации в канале под действием помех, вероятность неприема квитанции бортовым модулем и величина наклонной дальности до МГАС.

Обмен сигналами между ЭВМ СПОА и бортового модуля аппаратуры ГАКС осуществляется в последовательном виде на скорости 9600 бит/с 8-разрядными старт-стопными комбинациями (стык RS-232). Протокол обмена сигналами между ЭВМ СПОА и бортовым модулем ГАКС представлен на рис. 3 [13].

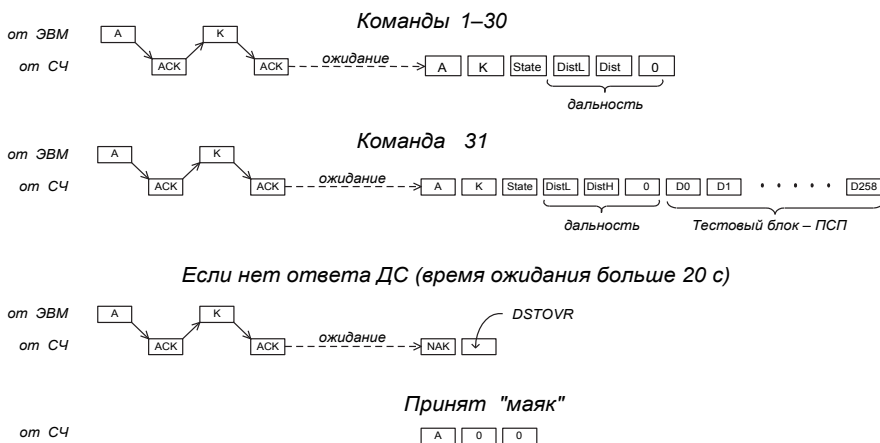


Рис. 3. Протокол обмена сигналами между ЭВМ СПОА и бортовым модулем аппаратуры ГАКС по последовательному каналу (RS-232)

Основным режимом работы бортового модуля является режим приема, на рисунке он обозначается как «ожидание». Перевод бортового модуля в режим передачи осуществляется после получения от ЭВМ СПОА двух байтов, обозначенных А и К. В байте А задается номер вызываемой донной станции, в байте К указывается номер команды, которую необходимо исполнить на МГАС. Прием каждого из указанных байтов сопровождается передачей в ЭВМ СПОА сигнала подтверждения АСК. Если в байтах А и К обнаруживаются ошибки, то в ЭВМ СПОА передается признак ошибки NAK. Одновременно с окончанием передачи на МГАС команды управления включается счетчик интервала времени, который подсчитывает продолжительность интервала времени между окончанием передачи с судна команды управления и приемом от нее сигнала квитации.

Если на МГАС передавалась команда управления с номером от 1 до 30, то при приеме квитанции на судне в ЭВМ СПОА последовательно передаются 6 байт. В первом байте А передается номер ответившей МГАС, во втором байте К – номер принятой на МГАС команды, в третьем байте State – номер

принятой кодовой комбинации сигнала квитанции (номер пары), в этом же байте передаются служебный бит Е. В четвертом, пятом и шестом байтах (DistL, DistH, 0) в ЭВМ передается 20-разрядное двоичное число – длительность интервала времени между передачей команды и приемом сигнала квитанции (DistL – младший байт, DistH – старший байт и нулевой байт).

При передаче с судна команды 31 после приема квитанции вслед за байтами DistL, DistH, «0» в ЭВМ СПОА передаются 2072 байт данных D0...D258.

Если в течение 20 с после передачи команды управления не фиксируется прием квитанции, то в ЭВМ СПОА передается два байта – NAK и DSTOVR.

При приеме сигнала маяка в ЭВМ СПОА передается три байта: байт А с номером МГАС, далее два нулевых байта.

Применяемая для задания указанных сигналов обмена система кодов приведена в табл. 2 и 3.

Таблица 2

**Система кодирования сигналов, передаваемых от ЭВМ СПОА к бортовому модулю аппаратуры ГАКС**

Условное обозначение	Код (16-ричный)	Назначение	Примечание
RES	10	Запрос идентификатора программы контроллера	
TST0	30	Пустая команда	Используется как тест обмена ЭВМ–ГАКС
TST1	31	Начать непрерывную передачу (по ГАК) повторяющейся тестовой последовательности 000...	Используются для проверки аппаратуры, при ее эксплуатации не применяются
TST2	32	То же для последовательности 001...	
TST3	33	То же для последовательности 011...	
TST4	34	То же для последовательности 001...	
TST5	35	То же для последовательности 1010...	
Addr	1...F	Адрес ДС (1–15)	Для передачи по ГАК
Comm	1...1F	Команда (1–31)	



Таблица 3

**Система кодирования сигналов, передаваемых от бортового модуля аппаратуры ГАКС к ЭВМ СПОА**

Условное обозначение	Код (16-ричный)	Назначение	Примечание
Нет	См. примеч.	Идентификатор программы	Строка «GMS X.XX», где X.XX – номер версии
ACK	06	Подтверждение	Передается в ответ на каждый принятый от ЭВМ и допустимый байт
NAK	15	Отрицание подтверждения	Передается в ответ на каждый принятый от ЭВМ недопустимый байт при ошибке в линии RS-232, при отсутствии ответа от ДС
ERC	80	Принята несуществующая команда	Второй байт после NAK
DSTOVR	20	Нет ответа от ДС	
InAddr	1...F	Адрес ДС (1–15)	Принятые от ДС по ГАКС
InComm	0...1F	Команда (1–31) или признак маяка (0)	
State	—	Номер принятой ДС пары адрес + команда (биты 0–3) и признак невыполнения команды (бит 6)	
DistL, DistH, 0	—	Код дистанции	Передаются младший байт DistL, старший байт DistH и нулевой байт
D0...D258	—	Тестовая последовательность	Псевдослучайная

После предварительных замечаний можно перейти к описанию структурных схем аппаратуры ГАКС.

## 2. ОПИСАНИЕ СХЕМЫ АППАРАТУРЫ ГАКС

Структурная схема донного модуля ГАКС приведена на рис. 4. В его составе можно условно выделить гидроакустическую антенну D1, антенный модуль, устройство дискретной обработки и формирования донного модуля (УДОФД).

В качестве гидроакустической антенны D1 в аппаратуре применена серийная гидроакустическая антенна СУЦЗ.837.018 с рабочей частотой  $f_0 = 29,6$  кГц, которая обеспечивает преобразование электрических сигналов в ультразвуковую форму в режиме передачи и ультразвуковых сигналов в электрические в режиме приема. Формирование сигналов в режиме передачи и обработка сигналов в режиме приема осуществляется устройством дискретной обработки и формирования. УДОФД включает в свой состав цифровой приемопередатчик сигналов относительной фазовой модуляции (ОФМ), кодер и декодер применяемых в аппаратуре ГАКС сигналов, таймер контроля времени исполнения команды управления, устройство обмена (УО) сигналами с устройствами МГАС.

Согласование уровней сигналов гидроакустической антенны D1 с УДОФД в режимах передачи и приема осуществляется с помощью входящих в состав антенного модуля усилителя мощности (УМ) D4 и предварительного усилителя D3 соответственно.

Предварительный усилитель (ПУ) D3 построен по схеме апериодического усилителя с коэффициентом передачи  $K_{\text{ПУ}} \approx 250$ , чувствительность ПУ около 7 мкВ.

Выходной сигнал  $S(t)$  предварительного усилителя поступает на вход избирательного усилителя D5 УДОФД, который предназначен для предварительной фильтрации принимаемого сигнала ОФМ и подавления помех, находящихся за пределами полосы частот сигнала. Избирательный усилитель D5 настроен на среднюю частоту сигнала ОФМ  $f_0 = 29,6$  кГц, полоса пропускания усилителя  $2\Delta f \approx 3$  кГц; суммарный коэффициент передачи предварительного и избирательного усилителей D3 и D5 соответственно должен лежать в пределах от 100 000 до 150 000.

На выходе избирательного усилителя D5 включен усилитель-ограничитель D6, обеспечивающий преобразование принимаемого сигнала ОФМ синусоидальной формы в последовательность  $S_n(t)$  импульсов прямоугольной формы скважности два.

Основная фильтрация принимаемого сигнала относительной фазовой модуляции осуществляется в цифровом некогерентном приемнике, реализованном на основе последовательно соединенных двух одноразрядных перемножителей D9 и D10, двух интеграторов D11 и D12, решающего устройства (РУ) D13, системы тактовой синхронизации (СТС) D14. Часть приемника в составе двух интеграторов D11 и D12, решающего устройства D13 и системы тактовой синхронизации D14 выполнена программным способом на однокристалльном микроконтроллере фирмы Microchip; на схеме он обозначен как «1-й микроконтроллер PIC».

Демодуляция сигнала ОФМ  $S_n(t)$  осуществляется путем вычисления пары его проекций  $X_n$  и  $Y_n$  на квадратурные составляющие  $S_n(2\pi f_0 t)$  и  $C_n(2\pi f_0 t)$ , соответствующие знаку опорных сигналов  $\sin(2\pi f_0 t)$  и  $\cos(2\pi f_0 t)$ , формируемых в генераторе эталонных сигналов (ГЭС) D7:

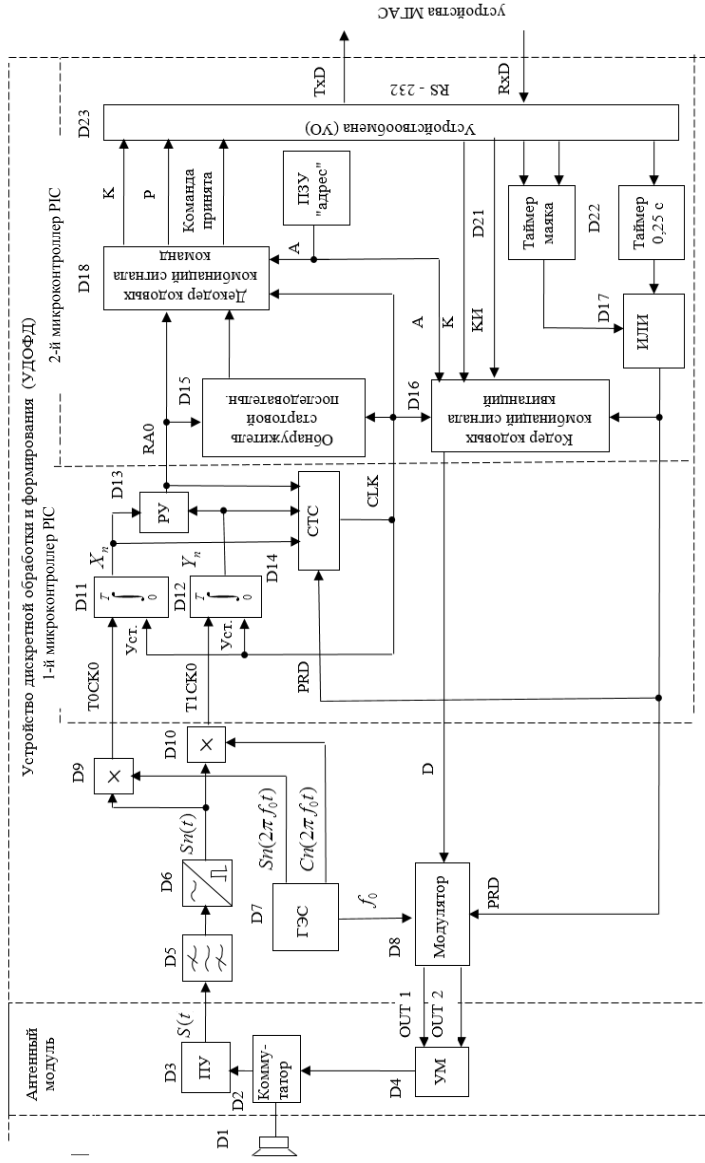
$$X_n = \int_0^T S_n(t) \cdot S_n(2\pi f_0 t) dt,$$

$$Y_n = \int_0^T S_n(t) \cdot C_n(2\pi f_0 t) dt,$$

где  $T$  – длительность элемента сигнала ОФМ,  $T = 5$  мс.

Вычисленные значения проекций  $X_n$  и  $Y_n$  подаются в решающее устройство (РУ) D13, где сначала осуществляется оценка фазы  $\Phi_n$  принимаемого сигнала по правилу:

$$\Phi_n = \begin{cases} -\pi - Y_n & \text{при } (|X_n| > |Y_n|) \ \& \ (X_n \leq 0) \ \& \ (Y_n \leq 0), \\ -\frac{\pi}{2} + X_n & \text{при } (|X_n| \leq |Y_n|) \ \& \ (Y_n \leq 0), \\ Y_n & \text{при } (|X_n| > |Y_n|) \ \& \ (X_n > 0), \\ \frac{\pi}{2} + X_n & \text{при } (|X_n| \leq |Y_n|) \ \& \ (Y_n > 0), \\ \pi - Y_n & \text{при } (|X_n| > |Y_n|) \ \& \ (X_n \leq 0) \ \& \ (Y_n > 0). \end{cases}$$



устройства МПАС

Рис. 4. Аппаратура гидроакустического канала связи. Донный модуль

Затем на основе вычисления разности фаз  $\Delta\Phi = \Phi_n - \Phi_{n-1}$  следующих друг за другом элементов сигнала в решающем устройстве выносятся решение о переданных информационных символах RA0.

Обработка сигналов в приемнике осуществляется с тактовой частотой 200 Гц, задаваемой выходными сигналами системы тактовой синхронизации (СТС) D14. СТС реализована по схеме цифровой системы фазовой автоподстройки частоты и фазы местного генератора на основе делителей частоты с переменным коэффициентом деления. Автоподстройка генератора осуществляется по принимаемому сигналу на основе анализа величин его проекций  $X_n$  и  $Y_n$  на квадратурные составляющие опорного сигнала и значений оценок принятых информационных символов RA0.

Выходной сигнал CLK системы тактовой синхронизации D14 подается во 2-й микроконтроллер PIC и используется в качестве синхронизирующего для декодирования последовательности принятых информационных символов RA0, поступающих из решающего устройства D13. Сигнал CLK системы тактовой синхронизации D14 также используется во 2-м микроконтроллере PIC для кодирования и формирования сигналов в режиме передачи. При этом для повышения стабильности частоты выходного сигнала системы тактовой синхронизации D14 сигналом PRD блокируется контур автоподстройки СТС.

Как уже отмечалось, основным (наиболее продолжительным) режимом работы донного модуля ГАКС является режим приема (ожидания вызова). При этом информационные символы RA0 с выхода решающего устройства D13 подаются во 2-й микроконтроллер PIC, на обнаружитель стартовой последовательности D15, который реализован по схеме 32-разрядного дешифратора.

При обнаружении стартовой последовательности следующие за ней 32 символа кодовой комбинации циклического кода (32, 16) подаются в декодер кодовых комбинаций команд D18.

В декодере кодовых комбинаций команд D18 происходит сравнение первых четырех символов кодовой комбинации циклического кода (32, 16) с адресом МГАС (с ее номером в двоичной форме), который задается ПЗУ – «адрес» D20. Если эти четыре символа совпадают с адресом МГАС, то в декодере кодовых комбинаций сигнала команд управления D18 начинается декодирование кодовой комбинации циклического кода (32, 16). Если при декодировании 32 символов кодовой комбинации циклического кода (32, 16) обнаруживается ошибка, то приемник переводится в режим обнаружения стартовой последовательности.

При отсутствии ошибок в комбинации циклического кода (32, 16) на устройство обмена (VO) D23 подаются 5-разрядный номер принятой команды

управления  $K$  и порядковый номер  $p$  принятой кодовой комбинации в сигнале команды управления. Их выдача сопровождается формированием сигнала «команда принята», по которому из УО D23 через промежуток времени после приема команды управления, задаваемый согласно выражению (1), она подается на исполнение на устройства МГАС (сигнал TxD). Начинается исполнение команды управления, одновременно включается таймер контроля времени исполнения команды управления D22.

По истечении промежутка времени длительностью 250 мс после подачи команды управления на исполнение донный модуль аппаратуры ГАКС переходит в режим передачи сигнала квитанции.

По сигналу от таймера D22 в кодере кодовых комбинаций сигнала квитанции D16 формируется кодовая последовательность сигнала квитанции, которая поступает на модулятор D8. В модуляторе D8 формируется последовательность отсчетов сигнала ОФМ со средней частотой  $f_0 = 29,6$  кГц, которые в виде двух последовательностей прямоугольных импульсов OUT1 и OUT2, соответствующих положительным и отрицательным полупериодам сигнала ОФМ, поступают в антенный модуль, на двухтактный ключевой усилитель (УМ) D4 и далее через коммутатор D2 на гидроакустическую антенну D1. В антенне D1 на основе ее резонансных свойств осуществляется восстановление формы сигнала ОФМ и его излучение в канал.

Если в течение промежутка времени длительностью 250 мс после принятия команды управления не зафиксировано подтверждение исполнения команды (отсутствует сигнал КИ «команда исполнена» от УО D23), то 14-му символу информационной части кодовых комбинаций циклического кода (32, 16) сигнала квитанции присваивается значение лог. 1.

При получении на донном модуле команды № 31 непосредственно после завершения передачи шести кодовых комбинаций сигнала квитанции передается тестовый блок длиной 2072 символа, формирование которого осуществляется в кодере D16.

Как уже указывалось, по команде № 25 донный модуль МГАС переводится в режим гидроакустического маяка. В этом режиме периодически один раз в 30 с по сигналу от таймера маяка D21 из донной станции передается сигнал гидроакустического маяка. Выключение гидроакустического маяка осуществляется по команде № 26.

Структурная схема бортового модуля ГАКС приведена на рис. 5. В составе бортового модуля аппаратуры ГАКС, так же как и в донной, можно условно выделить гидроакустическую антенну D1, антенный модуль, устройство формирования и обработки бортового модуля (УДОФБ) и оптический изолятор (ОИ).

Устройство и работа гидроакустической антенны D1, антенного модуля, устройства дискретной обработки и формирования бортового модуля аппаратуры ГАКС полностью совпадают с устройством и работой соответствующих устройств донного модуля ГАКС. Отличие донной и судовой частей аппаратуры заключается в узлах, программно реализованных на 2-м микроконтроллере PIC. Отличие состоит в том, что все управление донным модулем ГАКС осуществляется от встроенного 2-го микроконтроллера PIC, а в бортовом модуле – от ЭВМ судовой приемообработывающей аппаратуры. На встроенном в бортовой модуль аппаратуры 2-м микроконтроллере PIC реализуются операции кодирования кодовых комбинаций сигнала управления, декодирование кодовых комбинаций сигнала квитанций, измерения интервала времени между окончанием передачи с судна команды управления и моментом приема соответствующей квитанции, а также операции обмена сигналами между бортовым модулем и ЭВМ СПОА по последовательному каналу (RS-232) с гальванической развязкой типа «токовая петля».

Основным (наиболее продолжительным) режимом работы бортового модуля ГАКС является режим приема. Ее перевод в режим передачи осуществляется при поступлении из ЭВМ СПОА номера (адреса) вызываемой донной станции А и номера передаваемой на нее команды управления К. Соответствующие сигналы из блока сопряжения с ЭВМ D19 подаются в кодер кодовых комбинаций сигнала команд управления D16.

В блоке сопряжения с ЭВМ D19 формируется сигнал PRD (передача), по которому в кодере D16 генерируются шесть кодовых комбинаций сигнала команды управления, который излучается в направлении донной станции. В момент окончания передачи сигнала команды управления включается счетчик интервала времени D19, измеряющий продолжительность интервала времени  $\Delta T$  от момента передачи сигнала команды управления до момента получения соответствующей квитанции; полученное значение интервала  $\Delta T$  используется в ЭВМ СПОА для расчета наклонной дальности до МГАС.

После завершения передачи сигнала команды управления бортовой модуль ГАКС переходит в режим приема. Последовательность символов из канала обрабатывается приемником и с выхода решающего устройства D13 поступает в обнаружитель стартовой последовательности D15, который, так же как и в донном модуле, реализован по схеме 32-разрядного дешифратора. При обнаружении стартовой последовательности следующие за ней 32 символа кодовой комбинации циклического кода (32, 16) подаются на декодер кодовых комбинаций сигнала квитанций D17. Начинается декодирование комбинации циклического кода. Если при декодировании 32 символов кодовой комбинации циклического кода (32, 16) обнаруживается ошибка, то приемник переводится в режим обнаружения стартовой последовательности.





При отсутствии ошибок в комбинации циклического кода (32, 16) 16 информационных символов циклического кода, содержащие четырехразрядный адрес А ответившей донной станции, номер К принятой на ней команды управления, порядковый номер Р принятой кодовой комбинации в сигнале квитанции, а также служебный символ Е, подаются на блок сопряжения с ЭВМ. Выдача этих сигналов сопровождается сигналом «квитанция принята», которым останавливается счетчик интервала времени D18. Его состояние вместе с указанными выше 16 информационными символами через блок сопряжения D20 по последовательному каналу через оптический изолятор D20 подается в ЭВМ СПОА.

Если принятая квитанция сопровождается блоком тестовой информации, то он вслед за 16 информационными символами и состоянием счетчика интервала времени  $\Delta T$  также подается в ЭВМ СПОА.

Выделенные из принятой квитанции адрес (номер МГАС), номер принятой на МГАС команды управления, а также рассчитанное значение наклонной дальности отображаются на экране монитора.

## **ВЫВОДЫ**

Выбор построения аппаратуры ГАКС осуществлены исходя из характеристик назначения по критерию минимума объема оборудования и потребления энергии донной частью аппаратуры ГАКС, размещаемой в корпусе донной станции.

В этой связи предложено осуществлять обмен сигналами между судном и АДС в полудуплексном режиме, так как в этом случае часть устройств, размещаемых в корпусе донной станции, могут поочередно работать в режимах приема и передачи. Предложено для обмена сигналами использовать двоичные сигналы, передаваемые методом относительной фазовой модуляции со скоростью 200 Бод. Для приема указанных сигналов применить цифровой корреляционный приемник с глубоким ограничением сигнала на входе, что позволяет упростить процедуру вхождения в связь, сократить длительность сеансов связи и, как следствие, уменьшить потребление от автономного источника питания автономной донной станцией (АДС).

Обмен сигналами судна с донными станциями, входящими в сеть, рекомендуется осуществлять в поочередном режиме на одной общей рабочей частоте с использованием кодового разделения сигналов между АДС.

Исходя из количества АДС, объединенных в сеть, количества команд управления, передаваемых на каждую из донных станций, из предельных значений вероятностей приема на АДС команды управления с необнаруженной

ошибкой и вероятности набора команды управления из шумов выбран ансамбль сигналов для передачи сигналов команд управления и квитанций. В качестве сигналов команд управления и квитанций выбраны двоичные последовательности, представляющие собой следующие друг за другом без перерыва шесть пронумерованных пар, каждая из которых состоит из стартовой синхронизирующей последовательности и кодовой комбинации циклического кода (32, 16).

Применение подобных сигналов позволяет:

- организовать на одной рабочей частоте работу судна в сети с количеством АДС не более 15;
- передавать с судна на каждую из АДС до 15 команд управления;
- получать на судне квитанции о приеме и исполнении на АДС команд управления;
- передавать на судно из АДС по запросу цифровую формулярную информацию;
- переводить АДС по команде на работу в режиме гидроакустического маяка с передачей из нее сигнала, содержащего идентификатор донной станции;
- осуществлять определение наклонной дальности между судном и АДС при любом обмене сигналами между ними.

Все предложенные технические решения ориентированы на применение цифровой микросхемотехники, в первую очередь 8-разрядных цифровых микроконтроллеров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Криволапов Г.И., Чернецкий Г.А.* Новое поколение аппаратуры гидроакустической связи и управления для морских сейсмических и гидрофизических измерений // Вторая всесоюзная конференция по морской сейсмологии и сейсмометрии, 14–16 мая 1991: тезисы докладов. – М., 1991. – С. 138.
2. *Варакин Л.Е., Рябов Е.А.* Оптимизация стартстопной асинхронной системы передачи информации с шумоподобными сигналами // Труды учебных институтов связи. Теория передачи сигналов по каналам связи. – Л., 1979. – С. 3–11.
3. *Филиппов Б.И., Чернецкий Г.А.* Анализ статистических характеристик сигналов и помех в гидроакустических каналах связи // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – № 3. – С. 78–84.

4. Филиппов Б.И. Энергетический расчет гидроакустических линий связи // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 3. – С. 67–77.

5. Справочник по гидроакустике / А.П. Евтютов, А.Е. Колесников, А.П. Ляликов и др. – Л.: Судостроение, 1982. – 344 с.

6. *Bluen S., Heard G.J., Pecknold S.* Autonomy and networking challenges of future underwater systems // 2015 IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE). – Piscataway, NJ: IEEE, 2015. – P. 1514–1519.

7. Федосов В.П., Легин А.А., Ломакина А.В. Алгоритмы, основанные на технологии ММО–OFDM, для реализации цифрового гидроакустического канала связи // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 7 (168). – С. 148–158.

8. Литвинцева А.В., Оболонин М.А. Использование линейного предсказателя речи в программной модели низкоскоростного вокодера для передачи речи по гидроакустическому каналу связи // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3.

9. Experimental estimation of delivery success of navigation data packages transmitted via digital hydroacoustic communication channel / K.G. Kekal, V.K. Kebkal, A.G. Kebkal, R. Petroccia // Gyroscopy Andnavigation. – 2016. – Vol. 7, N 4. – P. 343–352.

10. *Khan A.I.R., Gang Q., Mehboob K.* Investigation of channel modeling and simulation of OFDM based communication near northern regions of Arabian sea // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 5 (4). – P. 1169–1182.

11. Simulation and modeling of hydro acoustic communication channels with wide attenuation and ambient noise / J. Huang, M. Babeau, S. Blouin, C. Hamm, N. Taillefer // International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems. – 2017. – Vol. 2. – P. 1–21.

12. Филиппов Б.И., Чернецкий Г.А. Выбор ансамбля сигналов для передачи команд управления в гидроакустических каналах связи // Известия ВолГГТУ. – 2015. – № 3 (161). – С. 69–72. – (Серия Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь; вып. 11).

13. Филиппов Б.И. Протокол обмена сигналами в сети гидроакустических донных автономных станций // Известия ВолГГТУ. – 2015. – № 11 (176). – С. 104–111. – (Серия Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь; вып. 12).

14. Филиппов Б.И. Определение наклонной дальности между судном и донной станцией // Вестник РГРТУ. – 2016. – № 55. – С. 33–40.

15. *Филиппов Б.И.* Передача телеметрической информации по гидроакустическому каналу связи // Информационные технологии. – 2017. – Т. 23, № 9. – С. 658–663.

16. *Филиппов Б.И.* Алгоритм функционирования системы измерения дистанции с использованием гидроакустического канала связи // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 4. – С. 87–98.

17. *Филиппов Б.И., Чернецкий Г.А.* Принципы аппаратурной реализации системы измерения дальности в гидроакустических каналах // Радиотехника. – 2017. – № 3. – С. 40–49.

**Филиппов Борис Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – радиотехника и связь, теория надежности сложных и вычислительных систем. Опубликовано 46 статей, два учебных пособия и монография. E-mail: [filippov-boris@rambler.ru](mailto:filippov-boris@rambler.ru)

**Спириянин Вячеслав Анатольевич**, студент Новосибирского государственного технического университета. E-mail: [spiryandin.v@gmail.com](mailto:spiryandin.v@gmail.com)

## **Design and Description of hardware structure of hydroacoustic communication channel\***

**B.I. Filippov<sup>1</sup>, V.A. Spiryandin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, Novosibirsk State Technical University, Docent, Candidate of Technical Sciences. E-mail: [filippov-boris@rambler.ru](mailto:filippov-boris@rambler.ru)

<sup>2</sup> 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, Novosibirsk State Technical University. E-mail: [8King.of.light@mail.ru](mailto:8King.of.light@mail.ru)

This paper deals with the development of the hydroacoustic communication channel equipment (HCCE). HCCE is a multiple access two-way communication system in which the ship serves as the central station and underwater stations are subscribers. The system should be controlled from the central station, from the ship. The principles of signal exchange between the ship and autonomous underwater stations (AUS) are appropriate to be chosen based on the desired quality (fidelity) of information transmission while minimizing the amount of equipment in AUS and power consumption rating of this equipment from autonomous power supplies. Another issue that determines the complexity of the HCCE is the choice of signal division scheme between subscribers (AUS). Half-duplex system is proposed to be used for the

---

\* Received 08 October 2017.

communication between the ship and subscribers because in this case some devices in the underwater station can alternate between receiving and transmitting information. Binary signals and differential phase shift keying with the speed of 200 baud are proposed. To receive the signals, the digital correlation receiver with the deep level of input signal restriction is suggested. This simplifies connection setup and reduces session time as well as power consumption rate from autonomous power supply of AUS. Binary sequences consisting of six numbered pairs are chosen as signals of control and receipt instructions. Each pair consists of an initial synchronization sequence and a cyclic code sequence (32, 16). The application of these signals makes it possible to organize a network consisting of the ship and up to 15 AUS on a single operational frequency; send up to 15 control instructions from the ship to each AUS; gain receipts of operational instructions reception and execution; send digital logbook information to the ship upon request; turn AUS in the sonar beacon mode by sending a signal with AUS identifier; estimate the slant range between the ship and AUS during any exchange between them.

All proposed technical solutions are oriented towards digital microcircuitry, primarily 8-bit digital microcontrollers.

**Key words:** hydroacoustic channel, hydroacoustic communication channel equipment, multiple access communication system, autonomous underwater stations, central ship station, differential phase shift keying, control instructions signals, initial synchronization sequences, digital microcontrollers

DOI: 10.17212/2307-6879-2017-4-97-127

## REFERENCES

1. Krivolapov G.I., Chernetsky G.A. [A new generation of equipment for hydroacoustic communication and control for marine seismic and hydrophysical measurements]. *Vtoraya vsesoyuznaya konferentsiya po morskoi seismologii i seismometrii* [Second All-Union conference on marine seismology and seismometry], May 14–16, 1991, Moscow: abstracts, p. 138.

2. Varakin L.E., Ryabov E.A. Optimizatsiya startstopnoi asinkhronnoi sistemy peredachi informatsii s shumopodobnymi signalami [Optimization of the start-stop asynchronous information transmission system with noise-like signals]. *Trudy uchebnykh institutov svyazi. Teoriya peredachi signalov po kanalakh svyazi* [Proceedings of training institutes of communication. Theory of signal transmission through communication channels]. Leningrad, 1979, pp. 3–11.

3. Filippov B.I., Chernetskii G.A. Analiz statisticheskikh kharakteristik signalov i pomekh v gidroakusticheskikh kanalakh svyazi [The analysis of statistical characteristics of signals and hindrances in hydroacoustic communication channels]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2015, no. 3, pp. 78–84.

4. Filippov B.I. Energeticheskii raschet gidroakusticheskikh linii svyazi [Energy calculation of hydroacoustic communication lines]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2016, no. 3, pp. 67–77.
5. Evtyutov A.P., Kolesnikov A.E., Lyalikov A.P. et al. *Spravochnik po gidroakustike* [Reference on hydroacoustics]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1982. 344 p.
6. Bluen S., Heard G.J., Pecknold S. Autonomy and networking challenges of future underwater systems. *2015 IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*. Piscataway, NJ, IEEE, 2015, pp. 1514–1519.
7. Fedosov V.P., Legin A.A., Lomakina A.V. Algoritmy, osnovannye na tekhnologii MIMO–OFDM, dlya realizatsii tsifrovogo gidroakusticheskogo kanala svyazi [Algorithms based on MIMO-OFDM technology for realization of digital hydroacoustic communication channel]. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskije nauki – Izvestiya Southern Federal University. Engineering sciences*, 2015, no. 7 (168), pp. 148–158.
8. Litvintseva A.V., Obolonin M.A. Ispol'zovanie lineinogo predskazatelya rechi v programmnoi modeli nizkoskorostnogo vokodera dlya peredachi rechi po gidroakusticheskomu kanalu svyazi [Linear prediction of speech in software model of low speed vocoder over hydroacoustic communication channel]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2013, no. 3.
9. Kekal K.G., Kebkal V.K., Kebkal A.G., Petroccia R. Experimental estimation of delivery success of navigation data packages transmitted via digital hydroacoustic communication channel. *Gyroscopy and Navigation*, 2016, vol. 7, no. 4, pp. 343–352.
10. Khan A.I.R., Gang Q., Mehboob K. Investigation of channel modeling and simulation of OFDM based communication near northern regions of Arabian sea. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2013, vol. 5 (4), pp. 1169–1182.
11. Huang J., Babeau M., Blouin S., Hamm C., Taillefer N. Simulation and modeling of hydro acoustic communication channels with wide attenuation and ambient noise. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 2017, vol. 2, pp. 1–21.
12. Filippov B.I., Chernetsky G.A. Vybora ansamblya signalov dlya peredachi komand upravleniya v gidroakusticheskikh kanalakh svyazi [Choice of ensemble of signals for transfer of teams management in the hydroacoustic communication

channels]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Izvestia of Volgograd State Technical University*, 2015, no. 3 (161), pp. 69–72.

13. Filippov B.I. Protokol obmena signalami v seti gidroakusticheskikh donnykh avtonomnykh stantsii [The protocol of an exchange of signals in a network of hydroacoustic ground autonomous stations]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Izvestia of Volgograd State Technical University*, 2015, no. 11 (176), pp. 104–111.

14. Filippov B.I. Opredelenie naklonnoi dal'nosti mezhdru sudnom i donnoi stantsiei [Determination of the inclined range between the vessel and the bottom station]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta – Vestnik of Ryazan State Radio Engineering University*, 2016, no. 55, pp. 33–40.

15. Filippov B.I. Peredacha telemetricheskoi informatsii po gidroakusticheskomu kanalu svyazi [Transmission of telemetry information in a hydroacoustic communication channels]. *Informatsionnye tekhnologii – Information technologies*, 2017, vol. 23, no. 9, pp. 658–663.

16. Filippov B.I. Algoritm funktsionirovaniya sistemy izmereniya distantsii s ispol'zovaniem gidroakusticheskogo kanala svyazi [Algorithm for the functioning of a distance measuring system using a hydroacoustic communication channel]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2016. no. 4, pp. 87–98.

17. Filippov B.I., Chernetsky G.A. Printsipy apparaturnoi realizatsii sistemy izmereniya dal'nosti v gidroakusticheskikh kanalakh [Principles of hardware implementation measurement system range in the hydroacoustic channel]. *Radiotekhnika – Radioengineering*, 2017, no. 3, pp. 40–49.

Для цитирования:

Филиппов Б.И., Спирыанин В.А. Описание и обоснование структурной схемы аппаратуры гидроакустического канала связи // Сборник научных трудов НГТУ. – 2017. – № 4 (90). – С. 97–127.

For citation:

Filippov B.I., Spiryanin V.A. Opisaniye i obosnovaniye strukturnoi skhemy apparatury gidroakusticheskogo kanala svyazi [Design and description of hardware structure of hydroacoustic communication channel]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2017, no. 4 (90), pp. 97–127.