

УДК 534.232

© 1993 г. Л.Ф. Бондарь, А.В. Гриценко, В.А. Захаров,
Д.Г. Ковзель, А.Н. Рутенко

ЦИФРОВАЯ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОЙ РЕВЕРБЕРАЦИИ

Приведено описание принципа построения и функционирования цифровой многоканальной системы сбора и обработки аналоговых сигналов, используемой в автономной радиогидроакустической приемной системе "Отклик-91". Система представляет собой набор функционально связанных адаптируемых к решаемым задачам программируемых модулей. Бортовые устройства обеспечивают визуализацию всех измеряемых величин, ввод данных в ЭВМ типа РС/АТ, предварительную обработку и накопление. Потенциальные возможности цифровых радиогидроакустических приемных систем "Отклик" и их программного обеспечения показаны на примере анализа векторно-фазовых характеристик реверберационных сигналов, измеренных с помощью комбинированного приемника звука в натурном эксперименте.

Экспериментальные исследования влияния гидрофизических полей на распространение звука в океане требуют организации дорогостоящих комплексных экспериментов. Измерения характеристик звукового поля должны проводиться синхронно в разных точках, на разных глубинах, и, как правило, традиционные измерения скалярной характеристики — звукового давления сочетаются с измерениями ортогональных компонентов колебательной скорости частиц воды в звуковой волне [1]. Синхронные измерения вблизи приемников звука температуры и солености морской воды, скорости и направления течения, а также профиля внутренних волн [2, 3] в ряде случаев позволяют установить не только взаимосвязь между исследуемыми явлениями, но и оценить количественные соотношения между ними. Обеспечить столь сложные измерения могут только многофункциональные системы сбора и обработки данных. Известные варианты построения таких систем, основанные на временном уплотнении аналоговых сигналов [1], имеют ряд принципиальных ограничений: ограничен динамический диапазон измерений, а главное — он зависит от отношения сигнала к шуму в радиоканале, межканальное взаимное проникновение сигналов зависит от полосы пропускания канала связи. На наш взгляд, эти задачи могут быть успешно решены с помощью цифровых адаптируемых к эксперименту измерительных систем сбора и передачи данных в цифровом виде.

В 1988 г. в Тихоокеанском океанологическом институте ДВО АН СССР были начаты работы по созданию цифровых многоканальных радиогидроакустических приемных систем и их первые модификации прошли успешные морские испытания [2, 3]. Многолетняя практика проведения морских гидроакустических экспериментов показала необходимость оперативной предварительной адаптации системы к задачам эксперимента: необходимо определить число измерительных каналов, коэффициенты усиления, частотный и динамический диапазоны измерений в каждом канале, частоты дискретизации данных, программу предварительного анализа и накопления данных. Поэтому новая система "Отклик-91" выполнена в виде функциональных, легко адаптируемых модулей, управление которыми осуществляется с помощью программируемых энерго-

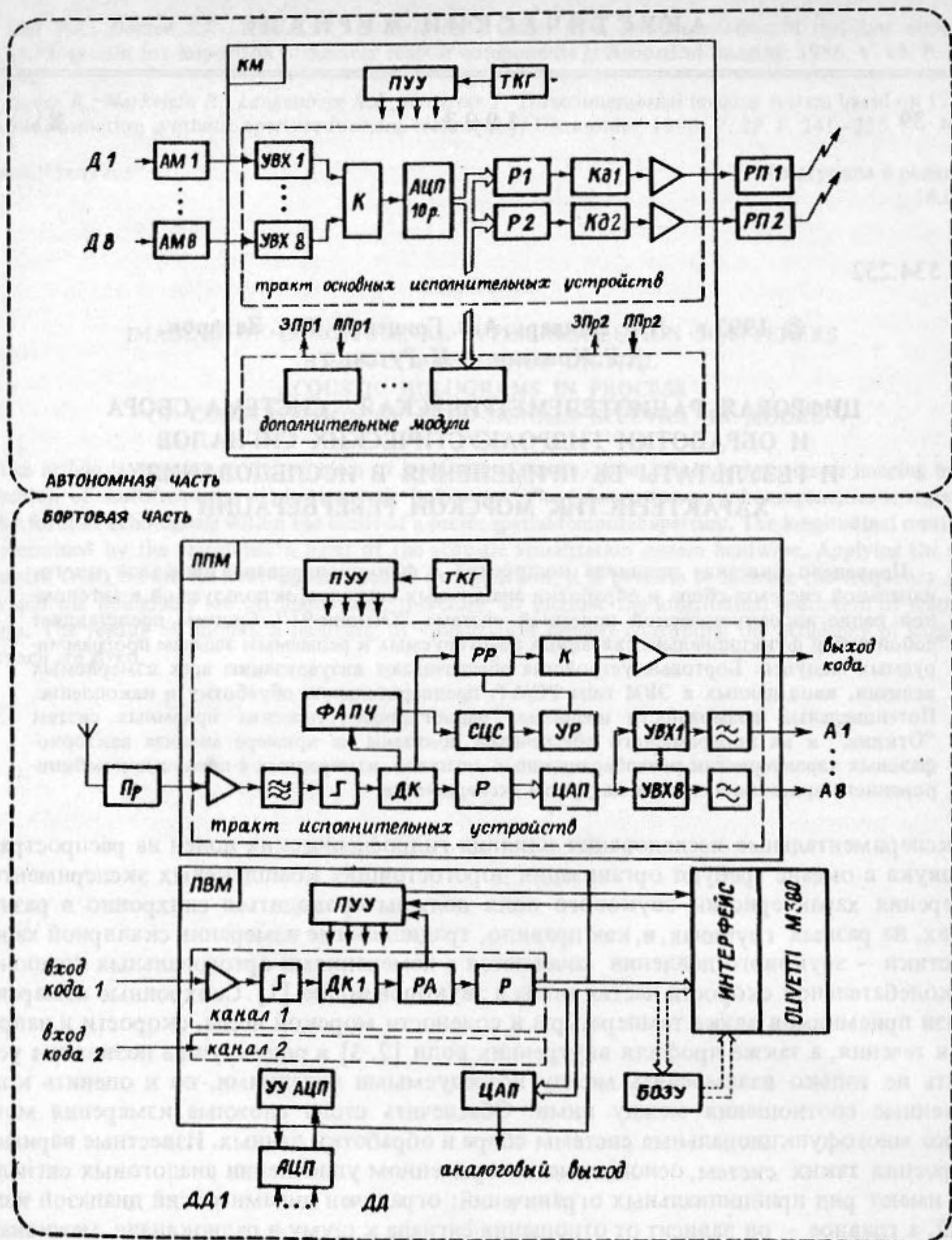


Рис. 1. Блок-схема цифровой радиотелеметрической системы сбора и обработки данных

независимых ОЗУ. Такое решение расширяет функциональные возможности системы по сравнению с прототипами и обеспечивает возможность ее дальнейшего наращивания и развития. Блок-схема системы сбора и обработки данных, используемая в приемной гидроакустической системе "Отклик-91", приведена на рис. 1. Она может передавать от одного до восьми сигналов, поступающих с первичных акустических преобразователей. Аналоговые сигналы, вырабатываемые первичными преобразователями (гидрофоны или акселерометры), проходят ряд преобразований, которые подробно описаны в работе [2], и в зависимости от выбранного частотного диапазона или сразу поступают после усиления на фильтр нижних частот, или же после полосовой фильтрации подаются

на один из входов перемножителя напряжений, на второй вход которого подается синусоидальное напряжение опорной частоты. На выходе перемножителя сигналы с различными частотами выделяются ФНЧ, т.е. осуществляется перенос спектра акустического сигнала в выбранную низкочастотную область. Модули аналоговой обработки электрических сигналов адаптируются к эксперименту с помощью управляемых электронных ключей, обеспечивающих подключение электропитания к необходимым узлам электрической схемы и прохождение сигналами каналов, осуществляющих их обработку, соответствующую задаче эксперимента. Такое преобразование позволяет значительно понизить частоту дискретизации аналоговых сигналов. В модуле коммутации и кодирования (КМ) уровни аналоговых сигналов синхронно запоминаются на устройствах выборки и хранения (УВХ), мультиплексируются и преобразуются в цифровые слова данных определенного формата, которые после кодирования поступают в стандартный радиоканал с полосой пропускания не менее 1,5 частоты тактовых импульсов. С радиоприемника информационная последовательность поступает в программируемый приемный модуль (ППМ), где проверяется и при необходимости восстанавливается формат слова данных. В ППМ из последовательности слова данных восстанавливаются передаваемые аналоговые сигналы, которые используются для визуального контроля работы системы и могут быть записаны на многоканальном магнитофоне. Регенерированная и усиленная цифровая последовательность данных поступает на один из каналов программируемого модуля ввода (ПМВ) информации в ЭВМ. ПМВ обеспечивает визуализацию в аналоговом виде любого канала, видимого в ЭЕМ. Система позволяет также оцифровывать и вводить в ЭВМ до 8 дополнительных аналоговых сигналов синхронно с основными. Двухканальное решение ПМВ обеспечивает возможность одновременного ввода в ЭВМ информации с двух автономных, параллельно работающих на различных несущих частотах систем. ЭВМ обеспечивает первичную обработку сигналов в реальном времени и формирует банк данных.

Остановимся подробнее на работе основных модулей системы. КМ (рис. 1) включает в себя задающий термостабилизированный кварцевый генератор (ТКГ), программируемое устройство управления (ПУУ), а также ряд исполнительных устройств: УВХ, коммутатор (К), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), два цифровых тракта, каждый из которых содержит многофункциональный регистр (Р), кодер МЧМ кода (K_2) и выходной усилитель. Цифровой тракт выполнен сдвоенным, что позволяет использовать два радиоканала для передачи информации.

Перед экспериментом на плате КМ переключками устанавливается необходимая архитектура модуля и тактовая частота. Затем производится программирование модуля от ЭВМ через параллельный интерфейс. Память ПУУ выполнена энергонезависимой и после снятия питания программа работы КМ сохраняется в ПУУ не менее 6 месяцев. При подаче питания на КМ ПУУ начнет вырабатывать сигналы управления всеми исполнительными модулями согласно рабочей программе. Возможности адаптации КМ расширены за счет применения двух входов запросов на прерывание (ЗПр), с помощью которых вызывается подпрограмма обработки соответствующего прерывания, например опрос НЧ каналов (глубина, ориентация, температура). Кроме того, к КМ могут подключаться дополнительные модули, например 12-разрядное АЦП, для управления которым КМ имеет резервные линии управления.

Блок-схема приемного модуля ППМ также приведена на рис. 1. ППМ предназначен для регенерации последовательности слов данных, поступающих по радиоканалу и восстановления аналоговых сигналов (до 8 каналов). ППМ выполнен в конструктиве КАМАК, подготавливается к эксперименту аналогично КМ и работает следующим образом. Сигнал с радиоприемника проходит через усилитель, фильтр, компаратор и поступает на декодер МЧМ (ДК). Далее сигнал через регистр проходит на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), после которого распределяется по УВХ. Аналоговые сигналы с УВХ поступают на ФНЧ, а затем на аналоговые выходы модуля. Применяемая в ППМ фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ) имеет следующие параметры: время захвата фазы сигнала составляет около 0,5 с, время рассогласования выше допустимого при

сбойном сигнале может доходить до десятков минут, благодаря применению детектора сбоев и температурной стабилизации кварцевых резонаторов КМ и ППМ. ППМ содержит также схему поцикловой синхронизации (СЦС), которая совместно с устройством регенерации (УР) позволяет восстанавливать синхрокоды, утерянные при сбоях в радиоканале. Таким образом, проходя через регистр регенерации (РР) информационная последовательность частично восстанавливается от возможных сбоев в радиоканале. Затем последовательный цифровой код поступает на кодер МЧМ, усилитель и передается по линии связи в ПМВ. В случае низких тактовых частот он может быть записан на магнитофон.

Программируемый модуль ввода (ПМВ) (см. рис. 1) рассчитан на прием информации от двух ППМ и в случае необходимости обеспечивает ввод до восьми дополнительных аналоговых сигналов с помощью внешнего АЦП, управляемого ПМВ. Программирование ПМВ осуществляется аналогично ППМ и КМ. В рабочем режиме информация с двух входных линий подается на буферные усилители, затем на компараторы и декодеры МЧМ кода. Декодеры восстанавливают последовательный двоичный код и тактовые последовательности, которые затем используются для синхронизации соответствующих каналов. ПМВ может также принимать сигналы с линейного выхода магнитофона, при этом допускается девиация скорости протяжки ленты до 20%. С декодеров информация поступает на регистры и в параллельном коде выдается на интерфейс ЭВМ непосредственно либо через буферное оперативное запоминающее устройство (БОЗУ). Наличие регистров анализа (РА) позволяет ПМВ реагировать на информацию, проходящую через РА, и менять в соответствии с ней программу своей работы. Функционирование ПМВ определяется заложенной в нем рабочей программой.

Оперативная адаптация модулей системы к эксперименту обеспечивается пакетом загрузочных и тестовых программ, которые написаны на языке Паскаль для ЭВМ, совместимых с IBM PC/AT. Обработка и накопление данных осуществляется с помощью программ, адаптированных к ПЭВМ M380/T OLIVETTI. В зависимости от решаемых в эксперименте задач пакет программ обеспечивает два способа накопления данных. Первый способ позволяет производить запись всей информации без пауз. Поступающие данные сначала заполняют оперативную память компьютера, а потом блоками перезаписываются на жесткий диск. Этим достигается высокая скорость ввода данных. Время непрерывной записи определяется емкостью диска и частотой дискретизации сигналов: если частота дискретизации равняется 850 Гц, число каналов — 8, а емкость диска — 60 Мб, то время записи составляет около 90 минут. Затем данные перезаписываются на стриммер. На время перезаписи ввод и накопление данных прекращается. В нашем случае время, затрачиваемое на перезапись данных на стриммер емкостью 60 Мб, равняется 14 мин.

Второй способ накопления использует предварительную обработку и применяется в длительных экспериментах с узкополосными сигналами. В этом случае ввод данных в оперативную память происходит с одновременной сортировкой их по каналам. Время накопления зависит от частоты дискретизации, числа каналов и размера массивов. Для набора 4096 точек данных по 8 каналам при частоте дискретизации 850 Гц это время составляет 4,6 с. Далее по каждому каналу рассчитываются периодограммы с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье и запоминаются комплексные значения только в определенных заранее заданных частотных полосах. После заполнения диска данные перезаписываются на стриммер, как это было описано выше.

Дальнейший анализ накопленных данных осуществляется с использованием программной системы "ВЕКТОР", предназначенной для обработки сигналов, принятых с помощью комбинированных приемников звука [4].

Особенности построения обсуждаемой системы (применение цифровой радиотелеметрии, адаптируемость к условиям эксперимента, использование программируемых модулей) обеспечивают хорошее качество и надежность ее работы при малых (до единицы) отношениях сигнал/шум в радиоканале. Следует отметить, что в наших экспериментах с применением системы "Отклик-91" требовалось обеспечить дальность радиоприема 5—8 км (этого было достаточно для снижения влияния на результаты реверберационных

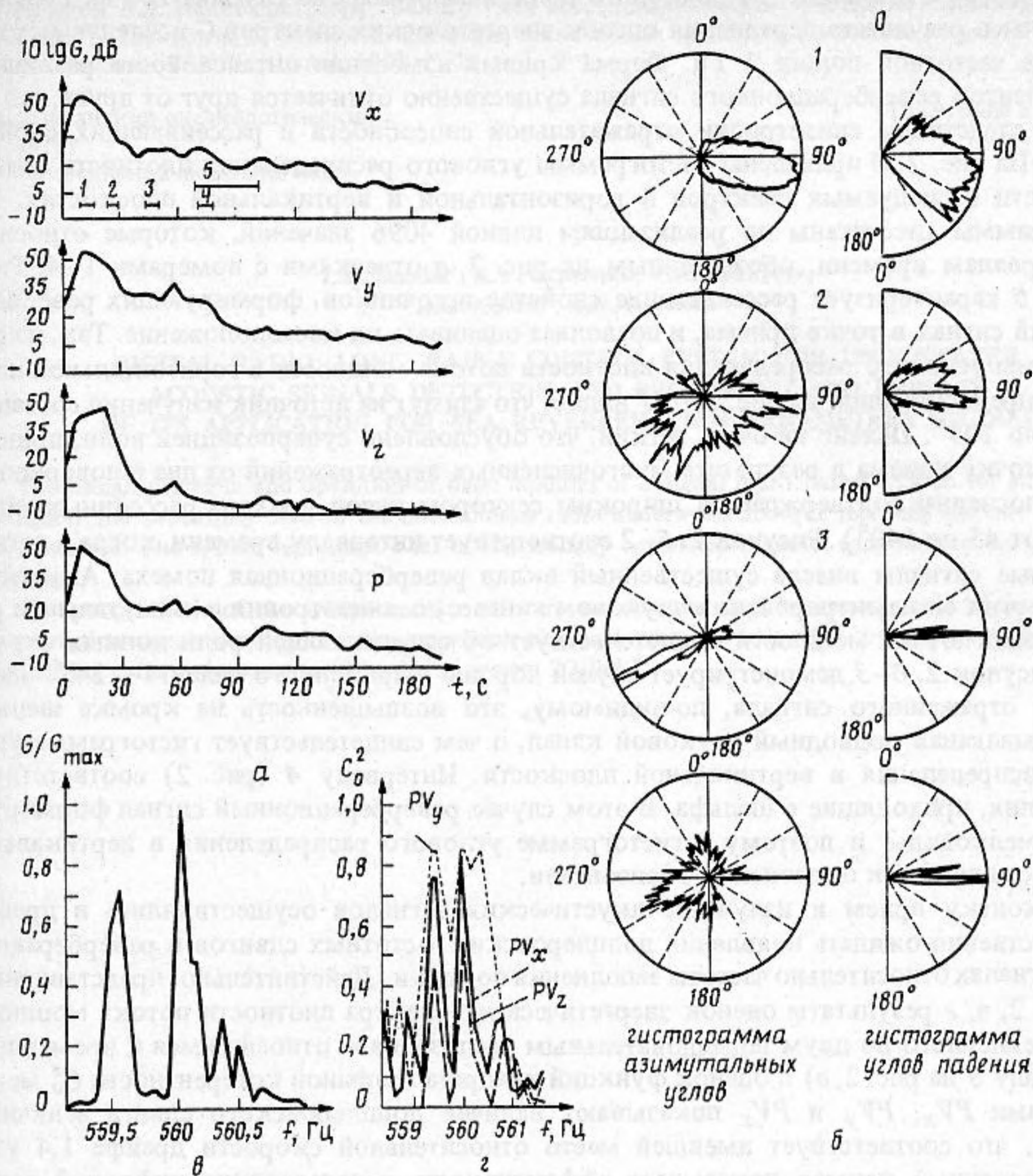


Рис. 2. Результаты статистического анализа реверберационных сигналов, измеренных с помощью комбинированного приемника после излучения 20-секундного тонального импульса с частотой заполнения 560 Гц

измерений собственного шумоизлучения судна-носителя), поэтому оказалось возможным использовать в системе радиантенны обычных серийных радиогидроакустических буев, расположенные в двух-трех метрах над поверхностью моря. Заметим однако, что система "Отклик-91" имеет значительные резервы увеличения дальности действия и надежности радиоканала, обусловленные в отличие от обычных радиогидроакустических систем, рассмотренными выше возможностями новых принципов организации ее архитектуры.

Приведем пример анализа спектров и углового распределения плотности потока мощности морской реверберации, принятой с помощью комбинированного приемника дрейфующей приемной системы "Отклик-91", при излучении на оси звукового канала (глубина 100 м) тонально-импульсной посылки длительностью 20 секунд с частотой заполнения 560 Гц. Эксперимент проводился вблизи шельфа со сложными рельефом дна и конфигурацией береговой линии, поэтому реверберационные сигналы формировались в основном донными отражениями. На рис. 2 представлены графики изменения во времени интенсивности трех ортогональных компонентов колебательной скорости

(V_x , V_y , V_z) и давления (P) звукового поля, измеренных на глубине 100 м. Графики получены в результате осреднения оценок энергетических спектров G исследуемых сигналов в частотной полосе 1 Гц. Форма кривых изменения интенсивности различных компонентов реверберационного сигнала существенно отличается друг от друга, что является следствием анизотропии отражательной способности и рассеивающих свойств среды. На рис. 2, б приведены гистограммы углового распределения плотности потока мощности исследуемых спектров в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Эти гистограммы рассчитаны по реализациям длиной 4096 значений, которые относятся к интервалам времени, обозначенным на рис. 2, а отрезками с номерами 1–4. Рисунок 2, б характеризует рассеивающие свойства источников, формирующих реверберационный сигнал в точке приема, и позволяет оценивать их местоположение. Так, из гистограммы углового распределения плотности потока мощности в горизонтальной плоскости, представленной на рис. 1, б–1 видно, что азимут на источник излучения составляет около 105° . Пеленг не очень четкий, что обусловлено суперпозицией волн, пришедших в точку приема в результате многочисленных переотражений от дна и поверхности моря (последнее подтверждается широким сектором углов прихода рассеянных сигналов – от 45 до 140°). Рисунок 2, б–2 соответствует интервалу времени, когда в регистрируемые сигналы внесла существенный вклад реверберационная помеха. Акустическая энергия сконцентрирована в звуковом канале, но анизотропия в азимутальном распределении потока мощности свидетельствует об определяющей роли донных отражений. Рисунок 2, б–3 демонстрирует случай хорошо выраженного пеленга – 245° на источник отраженного сигнала, по-видимому, это возвышенность на кромке шельфа, перекрывающая подводный звуковой канал, о чем свидетельствует гистограмма углового распределения в вертикальной плоскости. Интервалу 4 (рис. 2) соответствуют отражения, приходящие с шельфа. В этом случае реверберационный сигнал формируется на мелководье и поэтому в гистограмме углового распределения в вертикальной плоскости лепесток отклонен от горизонтали.

Поскольку прием и излучение акустических сигналов осуществлялись в дрейфе, то естественно ожидать появления доплеровских частотных сдвигов в реверберационных сигналах относительно частоты заполнения посылки. Действительно, представленные на рис. 2, в, г результаты оценок энергетического спектра плотности потока мощности G (усредненного по двум последовательным реализациям, относящимся к временному интервалу 5 на рис. 2, а) и оценок функций квадрата взаимной когерентности C_0^2 между сигналами PV_x , PV_y и PV_z показывают наличие доплеровского сдвига величиной 0,5 Гц, что соответствует имевшей место относительной скорости дрейфа 1,4 узла.

Приведенный пример показывает эффективность использования цифровой радиотелеметрической системы сбора и обработки гидроакустических сигналов, оснащенной комбинированными приемниками для исследования свойств морской реверберации.

Авторы готовят к опубликованию более подробные материалы по исследованиям характеристик акустических полей, наблюдаемых в океанических экспериментах с применением цифровых радиотелеметрических систем типа "Отклик-91".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордиенко В.А., Ильичев В.И., Захаров Л.Н. Векторно-фазовые методы в акустике. М.: Наука, 1989. С. 223.
2. Бондарь Л.Ф., Захаров В.А., Ковзель Д.Г., Рутенко А.Н. Автономные цифровые приемные системы и некоторые результаты их применения в исследованиях пространственной структуры полей прямых и рассеянных гидроакустических сигналов // Акуст. журн. 1991. Т. 37. № 6. С. 1098–1105.
3. Бондарь Л.Ф., Ковзель Д.Г., Матвеев В.В., Матвеев Ю.В., Рутенко А.Н. Автономная цифровая гидроакустическая система для измерения звукового давления на четырех горизонтах и профиля внутренних волн // Тез. докл. на Всесоюз. школе-семинаре по статистической гидроакустике. Владивосток. 1989. С. 83.

4. Крюков В.В. Пакет программ "Вектор" для исследования характеристик полей давления и скорости // Тез. докл. на Всесоюз. школе по техническим средствам и методам исследования мирового океана. Т. 2. М.: ИОАН, 1991. С. 38.

Тихоокеанский океанологический
институт
ДВО Российской академии наук

Поступила в редакцию
26.02.92

L.F. Bondar', A.V. Gritsenko, V.A. Zakharov,
D.G. Kovzel', A.N. Rutenko

**DIGITAL RADIO LONG-RANGE CONTROL SYSTEM FOR UNDERWATER
ACOUSTIC SIGNALS DETECTION AND PROCESSING AND RESULTS
OF ITS APPLICATION FOR SEA REVERBERATION PARAMETERS STUDIES**

The design principle and operation of basic modules of a digital multichannel system for analog signals detection and processing used in the autonomous radio underwater acoustic receiving system "Otklik-91" are described. The system represents a set of functionally connected modules adaptable to the problems to be solved.

The potentialities of the system and its software are demonstrated by the example of the analysis of reverberation signals vector-phase characteristics measured with the help of a combined sound receiver of the drifting radio underwater acoustic digital system "Otklik".