

УДК 681.3 : 681.883.41

А. Н. Белов, С. А. Долотов, А. Б. Зяблов, В. И. Каевицер, А. В. Скарня

*(Фрязино Московской обл.)***СИСТЕМА ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ В ГИДРОЛОКАТОРАХ БОКОВОГО ОБЗОРА
СО СЛОЖНЫМ ЗОНДИРУЮЩИМ СИГНАЛОМ**

Рассматривается система цифровой обработки гидролокационной информации, разработанная в Институте радиотехники и электроники Российской академии наук, которая позволяет одновременно с получением акустического изображения определять углы прихода отраженных сигналов и вычислять глубины во всей полосе съемки. Описана функциональная схема системы с использованием сложного зондирующего сигнала и алгоритмы обработки эхосигналов. Приведены результаты обработки экспериментальных данных, полученных при обследовании морского дна в режиме реального времени, а также при постобработке данных интерферометрии.

При изучении рельефа дна океана с помощью гидролокатора бокового обзора, кроме акустических изображений, необходимо определять углы прихода эхосигналов для получения информации о глубине в полосе съемки. Для этой цели применяются интерферометрические методы, основанные на разнесении приемных антенн гидролокатора по вертикали [1]. Существенный выигрыш в дальности зондирования и качестве получаемых акустических изображений достигается за счет применения сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) [2, 3]. Гидролокатор излучает акустические импульсы, длительность которых при глубине океана до 6 км составляет 0,25—4 с, с девиацией частоты F_m , определяемой требуемым разрешением по дальности $d = c/2F_m$, где c — средняя скорость звука в океане. При этом энергетический выигрыш по сравнению с импульсным гидролокатором бокового обзора достигает 10^3 раз и появляется возможность проведения высокоточных измерений углов прихода эхосигналов [1].

В Институте радиотехники и электроники Российской академии наук разработана и применяется для исследовательских целей автоматизированная система цифровой обработки гидролокационной информации с определением углов прихода отраженных сигналов и глубин по каждому направлению. В состав системы входят (рис. 1): формирователь когерентных ЛЧМ- и импульсных сигналов, многоканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), контроллер ввода цифровой информации по каналу прямого доступа (ПДП) в память персонального компьютера (PC), контроллер ввода навигационной информации в PC, стриммер типа "Arvid" для архивирования результатов обработки, плоттер для получения карты глубин исследуемого района, матричный процессор "Lexand" и PC на базе процессора i486DX2-66 (RAM — 4 Мбайта, HDD — 420 Мбайт).

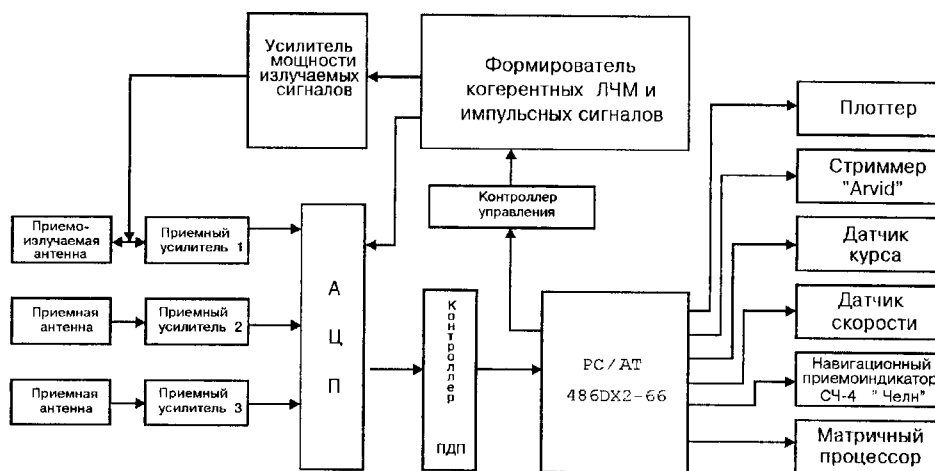


Рис. 1

Когерентность работы гидролокационного комплекса обеспечивается цифровым синтезом всех сигналов и управляющих импульсных последовательностей из сигнала кварцевого генератора со стабильной частотой, при этом формируются зондирующие сигналы (тональный импульс, ЛЧМ-импульс) с различными параметрами, адаптированными к условиям съемки. Кроме того, синтезатор формирует во время приема эхосигналов все необходимые импульсные последовательности, обеспечивающие синхронную работу комплекса в режиме когерентной обработки информации. Управление параметрами сигналов синтезатора и съемки (дата, время, вид зондирующего сигнала, разрешающая способность, полоса обзора) осуществляется от компьютера через контроллер при программировании регистра управления синтезатором сигналов. Эхосигналы по каждому борту принимаются тремя приемными антеннами, усиливаются, оцифровываются на несущей частоте методом квадратурной дискретизации и в цифровой форме поступают в базовую ЭВМ. Задача обработки эхосигналов в реальном времени заключается в корреляционной обработке акустических сигналов по каждому каналу, построении акустического изображения и интерференционной картины, получаемой в результате

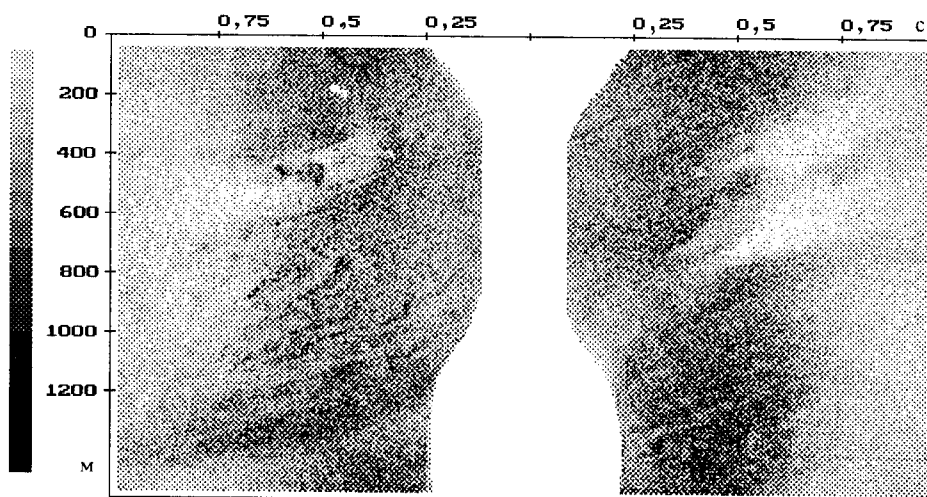


Рис. 2

вычисления разности фаз сигналов, принятых разнесенными антеннами. Синхронизирующими сигналами системы являются импульс конца приема (начало зондирующей посылки) и синхрои импульсы в течение времени приема с частотами F_m и $4F_0$, необходимые для обеспечения синхронизации работы многоканального АЦП с целью получения квадратурных выборок эхосигналов каждого канала (F_0 — несущая частота зондирующей посылки). Для ввода информации в память компьютера программным способом организованы два буфера, данные в которые вводятся по очереди. Переключение буферов осуществляется по сигналу прерывания в момент появления импульса конца приема. По мере накопления информации в очередном буфере памяти содержится другое обрабатывается по алгоритму корреляционного интеграла для комплексных массивов размером до 4096, в результате чего формируются строки акустического изображения и интерференционная картина. Обработанная информация отображается на экране монитора в полутоновой, квазицветной и графической форме и записывается на жесткий диск для архивирования и дальнейшей обработки. Такой режим обработки осуществляется циклически для каждого буфера. При этом для увеличения производительности комплекса в режиме реального времени в связи с большим объемом обрабатываемой информации может использоваться специализированный матричный процессор. Кроме акустической информации, в ЭВМ через специальный контроллер связи с навигационными датчиками поступают текущие значения навигационных параметров: широта, долгота, курс и скорость судна. В качестве примера работы комплекса на рис. 2 приведено акустическое изображение участка дна, полученное при съемке двумя бортами гидролокационным комплексом на частоте 80 кГц. На рис. 3 дана интерференционная картина, полученная для того же участка дна.

Исходя из геометрии задачи определения углов прихода эхосигналов (рис. 4), где θ — угол наклона антенны относительно вертикали, A — первая антенна, B — вторая антенна, AB — расстояние между приемными антеннами (база интерферометрии), разность фаз сигналов двух приемных антенн

$$e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)} = e^{j\varphi_1} e^{-j\varphi_2} = \cos(\delta\varphi) + j\sin(\delta\varphi) = d\text{Re} + j d\text{Im}. \quad (1)$$

Поскольку $\delta\varphi = \arctg(d\text{Im}/d\text{Re})$, возникает неоднозначность в $2\pi k$ из-за периодичности функции \arctg , где $k = 0, 1, \dots, k_{\max}$, $k_{\max} = AB/\lambda$, λ — длина

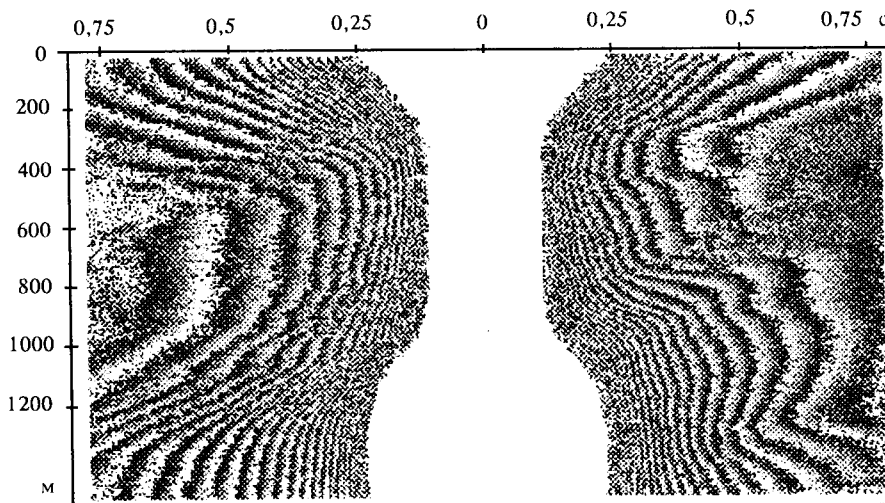


Рис. 3

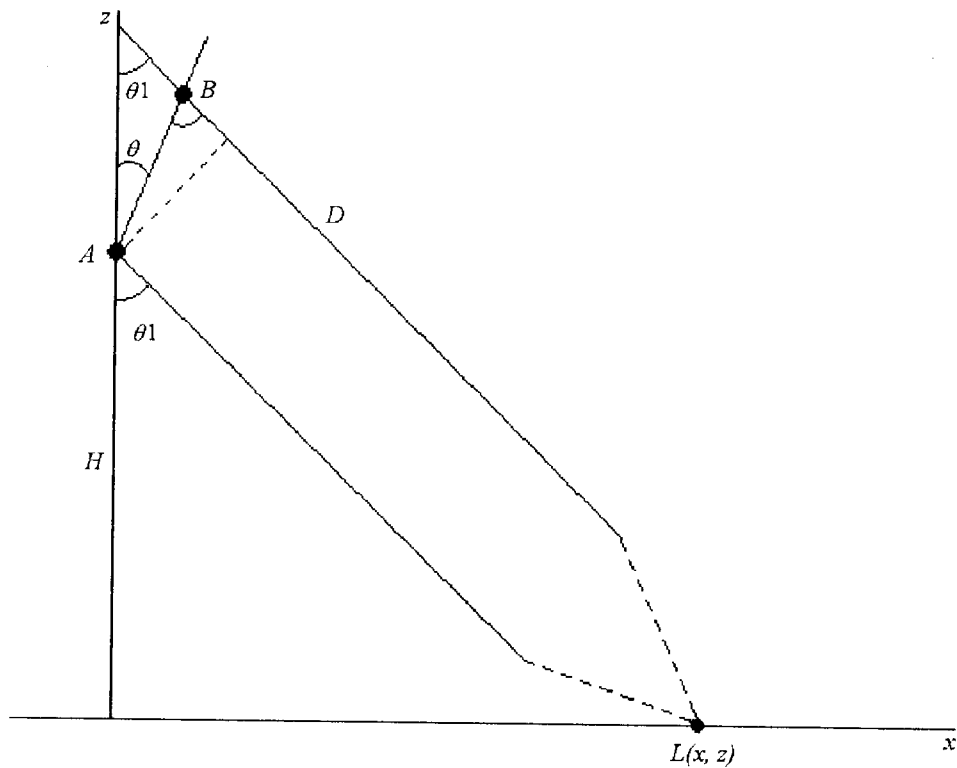


Рис. 4

волны. Для восстановления истинного изменения разности фаз сигналов используется методика фазовых приращений, устраняющая скачки фазы [1], при этом разработан алгоритм выполнения этой процедуры в автоматическом режиме. Для исключения систематической погрешности при расчетах фазы, вносимой различием фазочастотных характеристик приемных каналов, была проведена фазовая калибровка приемного тракта и антенн. При этом сначала отдельно измерялись фазовые характеристики приемных усилителей при использовании тестового пилот-сигнала. Расчеты разности фаз осуществлялись

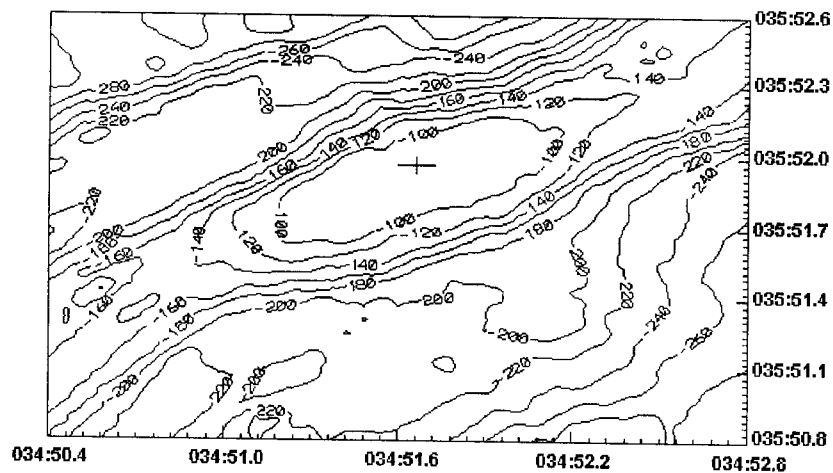


Рис. 5

после дискретизации сигналов каждого канала. Фазовые характеристики каждой приемной антенны определялись во время ходовых испытаний при тарировании антенн интерферометра на ровном участке дна. По данным зарегистрированных эхосигналов были вычислены разности фаз принятых сигналов по всем каналам комплекса для разных дальностей. Углы прихода вычислялись исходя из выражения $\theta_1 = \arccos(H/D)$, где H — глубина, D — наклонная дальность. На этапе вычисления разности фаз проводилась статистическая обработка результатов, а затем пересчет фазовых множителей для направления нормали к антеннам интерферометра.

Во время реальной работы комплекса полученные фазовые множители использовались для работы алгоритма восстановления фазы, и таким образом исключалось влияние фазовых характеристик антенн и приемного тракта на расчет лучевой картины. При этом угол прихода отраженного сигнала

$$\theta_1 = \arccos(\delta\varphi)/(2\pi N) - \theta, \quad (2)$$

где $N = AB/\lambda$ — база антенны в длинах волн. Угол прихода отраженного сигнала и его время прихода определяют координаты точки отражения $L(x, z)$. Учет рефракции проводится исходя из профиля скорости звука $C(z)$ на основе данных гидрологической станции. Используя этот алгоритм, можно определить профиль дна на дальности до трех глубин по каждому борту при полосе обзора до пяти глубин.

Расчет лучевой картины осуществляется на этапе вторичной обработки, когда выполняется коррекция перспективных искажений акустического изображения с учетом рельефа дна и строится общая акустическая и батиметрическая карты заданного района съемки. На рис. 5 можно видеть батиметрическую карту рельефа дна с изобатами, построенными через 20 м на основе данных съемки одного из районов Средиземного моря в заданных географических координатах. При этом может быть построено 3-мерное изображение рельефа дна (рис. 6) для этого же участка съемки.

РЕЛЬЕФ УЧАСТКА <035:50.769 034:50.380 : 035:52.378 034:52.600 >

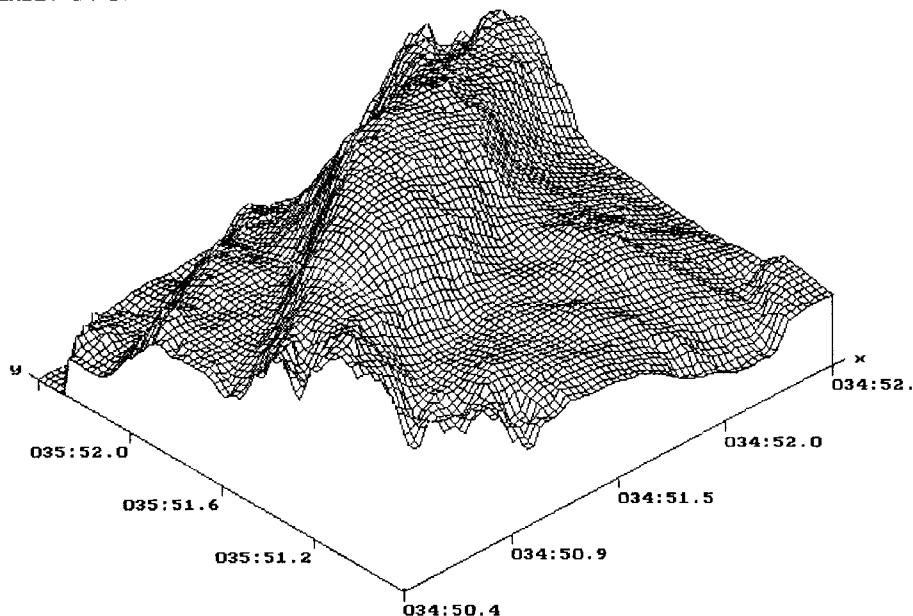


Рис. 6

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каевицер В. И., Назаров Л. Е., Смольянинов В. М. Алгоритм оценивания фазовых приращений // Радиотехника и электроника. 1995. 30, № 1.
2. Каевицер В. И., Олейников А. Я., Синило В. П., Скняря А. В., Шубин В. А. Система цифровой обработки гидролокационной информации на базе комплекса ЦЛАНП-0280 // Автометрия. 1990. № 2.
3. Житковский Ю. Ю., Захлестин А. Ю., Зотов А. И. и др. Дистанционное акустическое зондирование железомарганцевых конкреций // ДАН СССР. 1986. 291, № 3.

Поступило в редакцию 5 декабря 1995 г.

Реклама продукции в нашем журнале — залог Вашего успеха!