

К. т. н. Т. И. НИЗАМОВ

Азербайджанское Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку
E-mail: ssddb@azerin.com

Дата поступления в редакцию
21.05 2003 г.

Оппонент д. ф.-м. н. Ф. Д. КАСИМОВ
(КБ космическ. приборостр., г. Баку)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Разработана гидроакустическая система и методика оперативного получения и представления информации о характере рельефа дна водоемов.

Многие явления на поверхности и в толще морей и океанов, являющихся объектами исследования аэрокосмическими методами, непосредственно связаны с рельефом дна. В частности, рельеф дна играет важную роль в формировании ветрового волнения, крупномасштабных океанических течений, внутренних волн, локальных очагов мелкомасштабной турбулентности фитопланктона и т. д.

Дополнение аэрокосмических данных информацией о водных слоях, рельефе дна и объектах в толще воды и на дне позволяет повысить качество дешифрирования аэрокосмических снимков. Полноценную базовую информацию для этой цели можно получить только с использованием гидроакустических средств [1, 2].

Учитывая специфику получаемой аэрокосмической информации, подводные средства исследований должны удовлетворять следующим требованиям:

— получение максимального объема информации в минимальные сроки;

- обеспечение достаточно высокой разрешающей способности;
- получение изображения морского дна и подводных объектов с минимальными геометрическими искажениями;
- обеспечение системы автоматического контроля и калибровки приемо-передающего тракта;
- оперативная передача получаемой информации по каналам связи, включая возможность передачи информации через ИСЗ и наземные пункты приема и обработки информации;
- возможность ввода информации в ЭВМ для обработки видеoinформации современными методами.

Предъявляемым требованиям в той или иной мере могут удовлетворить только мобильные гидроакустические средства изучения водной среды, позволяющие получать изображение морского дна в широкой полосе обзора с высокой разрешающей способностью и функционирующие на любых плавучих средствах. К таким средствам относится гидроакустическая информационная система на базе созданного нами гидролокатора бокового обзора [3].

На рис. 1 представлена развернутая схема мобильной гидроакустической системы, включающей передатчик, состоящий из генераторов пусковых импульсов (ГПИ) и зондирующих импульсов (ГЗИ), прием-

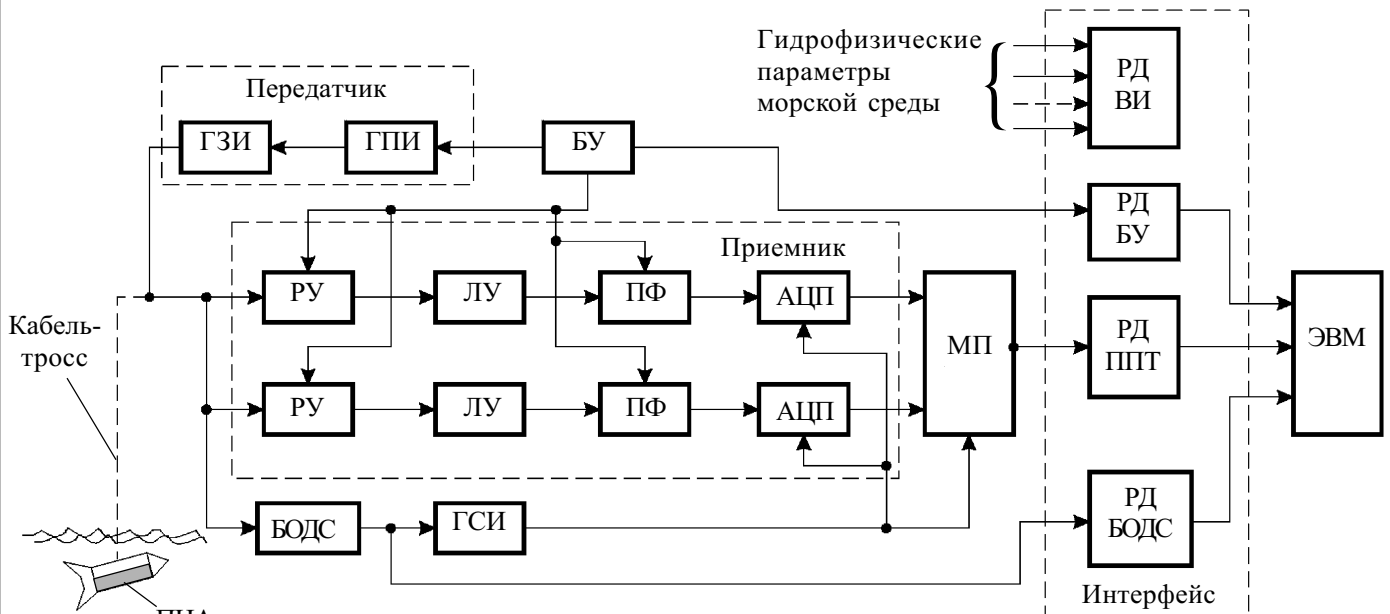


Рис. 1. Блок-схема гидроакустической системы

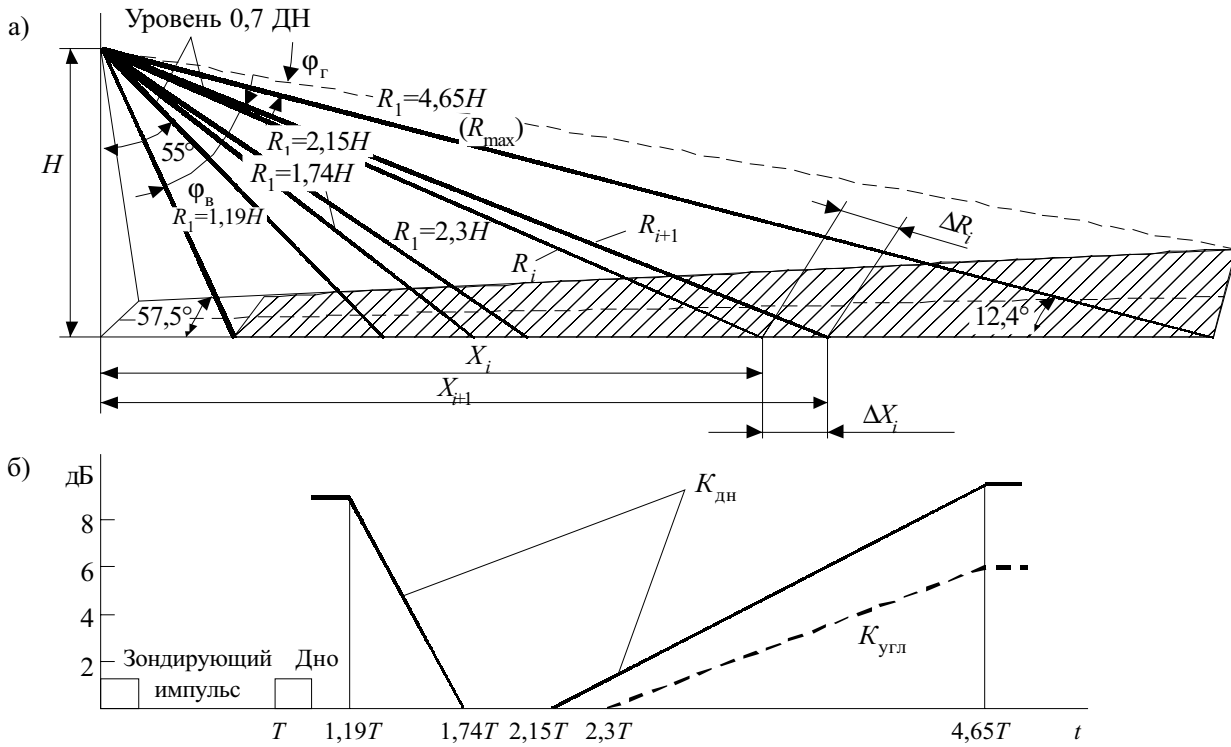


Рис. 2. Участок дна и временные диаграммы программ коррекции

ник, состоящий из двух информационных каналов (правого и левого борта), каждый из которых содержит последовательно соединенные регулируемый усилитель (РУ), логарифмический усилитель (ЛУ), фильтр с перестраиваемой полосой частот (ПФ) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). В состав системы входят блок управления (БУ), блок обнаружения донного сигнала (БОДС), генератор серии импульсов (ГСИ), мультиплексор (МП), интерфейс ЭВМ, состоящий из регистра данных приемно-преобразовательного тракта (РД ППТ), регистра данных (РД БОДС), регистра данных вспомогательной информации (РД ВИ), регистра данных блока управления (РД БУ), а также вычислительный блок на основе микро-ЭВМ и подводный носитель антенн (ПНА).

Работа системы управляется специальной программой, обеспечивающей ввод-вывод, сохранение, отображение и регистрацию данных, выбор заданного режима и другие функции.

Заложенный в основу системы принцип функционирования подразумевает использование в качестве основного исходного параметра значение высоты носителя гидроакустических антенн над уровнем дна, определенной БОДС в предыдущем цикле. Это значение определяет один из диапазонов глубины, каждому из которых соответствуют определенные значения мощности, а также длительности излучения τ , частоты дискретизации входного сигнала f_c , вычисляемые по выражениям [2]

$$\tau = \frac{4h}{cN \sin \alpha_{\min}}; \quad (1)$$

$$f_c = \frac{cN \sin \alpha_{\min}}{2h(1 - \sin \alpha_{\min})} \quad (2)$$

и ширины полосы пропускания фильтров Δf , равной половине частоты f_c .

Здесь h — текущая высота носителя антенн;

c — скорость звука в воде;

N — число отсчетов входного сигнала за один цикл;

α_{\min} — минимальное значение угла скольжения акустического луча в одном цикле.

Процесс обработки входного сигнала разделяется на несколько основных этапов, таких как получение информации, сегментация, описание, распознавание, интерпретация. В процессе получения информации — подводного визуального изображения — осуществляется коррекция амплитудных и геометрических искажений входного сигнала в реальном масштабе времени [4]. Амплитудные искажения сигнала возникают вследствие неравномерности диаграммы направленности приемно-передающей системы, а также вследствие изменения силы обратного рассеяния при изменении угла скольжения акустического луча. Принцип работы программы коррекции неравномерности диаграммы направленности и угловой коррекции заключается в формировании изменяющихся во времени поправочных коэффициентов. Запуск поправочных коэффициентов осуществляется после получения сигнала донного отражения.

На рис. 2, а и б представлены соответственно участок дна и временные диаграммы работы программ коррекции амплитудных искажений.

Здесь ДН — диаграмма направленности;

ϕ_{Γ} и $\phi_{\text{В}}$ — углы горизонтальной и вертикальной ДН, соответственно;

$K_{\text{угл}}$, $K_{\text{дн}}$ — поправочные коэффициенты соответственно при угловой коррекции и при коррекции по диаграмме направленности;

T — интервал времени t между зондирующим и донным отраженным импульсами;

$1,19T$ — интервал времени, характеризующий начало зоны обзора гидролокатора;

$4,65T$ — конец этой зоны;

$1,74T$, $2,15T$ — соответственно начало и конец зоны, где коэффициент усиления приемной антенны максимален.

Коррекция по углу скольжения основывается на законе Ламберта [5, с. 290], согласно которому сила обратного рассеяния меняется пропорционально квадрату синуса угла скольжения акустического луча в соответствии с выражением

$$S_s = 10 \lg \mu + 10 \lg \sin^2 \alpha, \quad (3)$$

где S_s — сила обратного рассеяния;
 μ — коэффициент пропорциональности;
 α — угол скольжения акустического луча.

Природа возникновения геометрических искажений при выводе изображения (акустического плана) поясняется с помощью рис. 2, а. При постоянной частоте дискретизации входного сигнала на эхограммах приращение наклонной дальности $\Delta R_i = \text{const}$, где i — номер отсчета вдоль строки изображения. Однако на акустическом плане приращение горизонтальной дальности ΔX_i является монотонно убывающей функцией от i . При угле $\alpha_{\min} = 12,4^\circ$ и числе отсчетов в строке $N=256$ отношение $\Delta X_1 / \Delta X_{256} = 11,6$. Следовательно, на акустическом плане расстояния между отсчетами, полученными при постоянной частоте дискретизации входного сигнала, должны уменьшаться с разверткой строки изображения. С учетом всего вышесказанного участок отображения i -го отсчета на изображении шириной W , исходя из геометрических соображений, рассчитывается по выражению

$$X_i = \frac{W}{N \cos \alpha_{\min}} \sqrt{i^2 (1 - \sin^2 \alpha_{\min}) + 2i N \sin \alpha_{\min} (1 - \sin \alpha_{\min})}. \quad (4)$$

Акустическая мощность излучения с помощью решения уравнения гидролокации [5, с. 46] может быть представлена в виде

$$P_A = \frac{4\pi R^4 e^{2\beta R} U_{\Pi} \eta}{m_s S M D^2 V^2}, \quad (5)$$

где R — наклонная дальность до участка рассеяния;
 β — коэффициент поглощения в воде;
 U_{Π} — напряжение шума на выходе антенны;
 η — отношение сигнал/шум;
 m_s — коэффициент обратного рассеяния;
 S — площадь сечения участка;
 M — чувствительность антенны в режиме приема;
 D — характеристика направленности антенны;
 V — коэффициент концентрации антенны.

При определении коэффициента обратного рассеяния рассматривается модель дна в виде статистических неровностей границы раздела двух однородных сред (вода—грунт). В связи с большим разнообразием и сложным характером неровностей задача о рассеянии волн оказывается математически довольно трудной. Поэтому в теории рассеяния волн особенно большое значение приобретают приближенные методы, одним из которых является метод малых возмущений, применяемый только в случае малых по сравнению с длиной волны звука неровностей.

При выборе модели дна, на основании которой производится расчет рассеянного поля, весьма важное значение имеет идентификация грунта жидкой [6] или твердой [7] средой. Первый случай применим к водоподобным грунтам (жидкий ил) с концентрацией

частиц менее 20—30 %, в которых при падении на них звуковой волны распространяются только продольные волны.

Для большинства же типов грунтов дно следует рассматривать как твердую среду, в которой имеют место как продольные, так и поперечные волны, и для которой коэффициент обратного рассеяния в первом приближении теории малых возмущений определяется как

$$m_s = Q(\theta) W(q), \quad (6)$$

где $Q(\theta)$ является медленно изменяющейся функцией угла падения волны и зависит только от параметров среды. $Q(\theta)$ довольно сложная функция, однако она упрощается для абсолютно мягкой (Q_m) или жесткой (Q_g) поверхностей:

$$Q_m = \cos^4 \theta; \quad Q_g = (1 + \sin^2 \theta)^2.$$

$W(q)$ рассчитывается одинаково для обоих типов дна и зависит только от статистических свойств неровной поверхности. $W(q)$ вычисляется путем задания функции корреляции неровностей. Так, для гауссовского коэффициента корреляции неровностей эта величина равна

$$W(q) = \frac{1}{\pi} (k\sigma)^2 (k\rho_0)^2 \exp[-(k\rho_0 \sin \theta)^2], \quad (7)$$

где k — волновое число, $k=2\pi/\lambda$;

λ — длина волны;

σ — среднеквадратичная высота неровностей;

ρ_0 — характерный масштаб неровностей в горизонтальной плоскости (радиус корреляции).

Обычно расчет производится для значений $k\sigma$, $k\rho_0 = \{0, 1 \dots 1\}$.

Интенсивность обратного рассеяния в точке приема определяется из выражения для эхо-сигнала:

$$I_S = \frac{P_A D V m_s S}{4\pi R^4 e^{2\beta R}}. \quad (8)$$

На рис. 3 приведены графики расчетов интенсивности обратного рассеяния согласно формулам (5)—(7). Расчеты были проведены для следующих значений технических характеристик гидролокатора бокового обзора и физических параметров среды: частота излучения $f=135$ кГц; $h=50$ м; $c=1500$ м/с; $k\sigma=k\rho_0=0,1$; $\eta=2$; $N=256$; $P_A=50$ Вт; $\tau=2,5$ мс; $M=200$ мкВ/Па; $\beta=9,56 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$; $V=120$; параметры грунта: скорость продольных волн 1750 м/с, поперечных — 750 м/с, плотность 1950 кг/см³.

Как следует из расчетов, выполненных для разных значений высоты носителя, наиболее рациональным является использование гидролокатора бокового обзора на высоте примерно 50 м от уровня дна. В этом случае при сохранении заданного уровня минимального сигнала обеспечивается минимальная мощность излучения и высокая разрешающая способность.

В соответствии с диапазоном глубины по команде от компьютера блок управления устанавливает необходимые параметры генератора зондирующих импульсов приемного тракта, а также направление обзора и

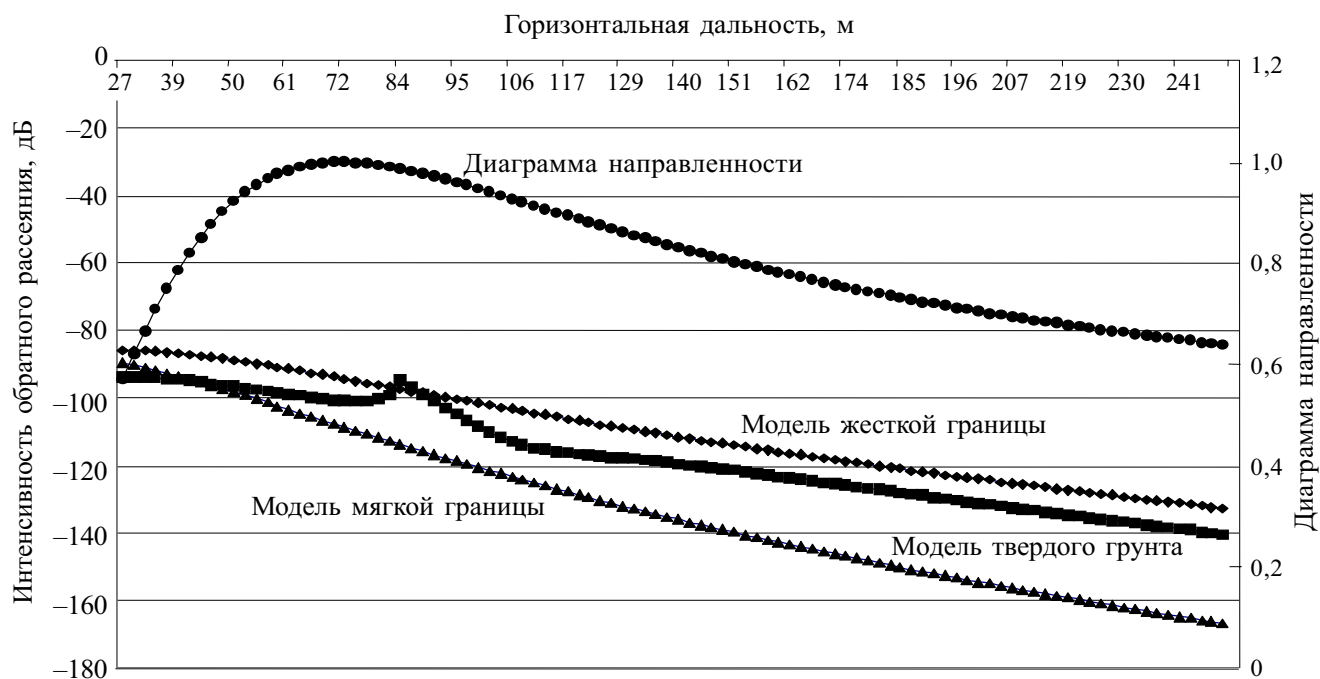


Рис. 3. Интенсивность обратного рассеяния и диаграмма направленности антенны

заглубление антенны. Данные эхосигнала вместе с гидрофизическими параметрами водной среды, а также глобальные координаты, через интерфейс вводятся в компьютер, где осуществляется обработка, сохранение информации на жестком и лазерном дисках, а также вывод на дисплей и принтер.

Данная система была использована для определения расположения нефтетрубопроводов в районе месторождения Бахар в шельфовой зоне Каспийского моря, а также для съемок рельефа дна реки Кура. Полученные результаты подтвердили работоспособность разработанной гидроакустической информационной системы и целесообразность ее применения на морских полигонах с осуществлением в реальном масштабе времени коррекции амплитудных и геометрических искажений входного сигнала.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Акустика дна океана / Под ред. У. Купермана, Ф. Енсена.— М.: Мир, 1984.
2. Mekhtiev A. Sh., Nizamov T. I. Autonomous hydroacoustic information system as hardware for sea test-site // Turkish Journal of Physics.— 1996.— Vol. 20, N 8.— P. 823—827.
3. А. с. 1230427 СССР. Гидролокационная система обработки информации / Т. К. Исмаилов, Т. И. Низамов, З. А. Азимов и др.— Оpubл. в Б.И.— 1986, № 22.
4. Долотов С. А., Каевицер В. И., Смольянинов И. В. Точность определения угла прихода эхосигналов гидролокационным комплексом бокового обзора // Навигация и гидрография.— 1996.— № 3.— С. 8—11.
5. Урик Р. Дж. Основы гидроакустики.— Л.: Судостроение, 1978.
6. Акустика Океана // Под ред. Л. М. Бреховских.— М.: Наука, 1974.
7. Лапин А. Д. Рассеяние звуковых волн на шероховатой границе между жидкостью и твердым телом // Тр. Акустического института.— 1969.— Вып. 5.— С. 146—151.

**ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПОДПИСЧИКОВ "ТКЭА"
ВЫ МОЖЕТЕ ЗАКАЗАТЬ**

по электронной почте <tkea@odessa.net> pdf-файлы
любых статей, опубликованных в журнале за период
с 1998 по 2003 год.

С содержанием номеров можно ознакомиться
на сайте <http://tkea.wallst.ru/>

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПОДПИСЧИКОВ "ТКЭА"