

УДК 621

КОРРЕКЦИЯ АМПЛИТУДНЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МОРСКОГО ДНА

Низамов Т.И., Кулизаде Р.К., Исаев Э.И.

*Азербайджанское национальное аэрокосмическое агентство (НАКА), Баку,
Азербайджан*

В статье рассматривается метод коррекции амплитудных и геометрических искажений гидроакустических изображений морского дна. Описано влияние дна на эхо-сигнал. Приведены алгоритм проведения коррекции и метод учета уклона дна.

При проведении морского мониторинга необходимо иметь информацию о рельефе и структуре морского дна, об объектах, имеющихся на дне, а также частично или полностью погруженных в грунт. Это особенно важно при проведении работ по инженерной геологии в шельфовой зоне Каспийского моря, насыщенной подводными коммуникациями: нефте - и газо - трубопроводами, функционирующими и заброшенными, линиями связи, остатками изыскательских работ в виде отдельных труб, торчащих из дна, либо заиленных. Эта информация может быть получена с помощью гидроакустического метода, например, с применением гидролокатора бокового обзора (ГБО) [1].

Принцип формирования гидроакустического изображения заключается в следующем: носитель, на котором размещаются приемно-передающие антенны, буксируется с помощью кабель – троса на определенной глубине за судном или выносится за борт при помощи специального выносного устройства. Антенны формируют акустический луч под углом 90 градусов к курсу следования по обе стороны. Этот луч распространяется в воде и отражается некоторой частью морского дна. Вследствие неравномерности дна и наложения объектов, часть энергии звука отражается назад в направлении источника. Приемный тракт ГБО имеет достаточную чувствительность, чтобы получить эти отражения, усилить их и послать блоку обработки данных и регистратору.

Форма луча ГБО имеет значение для формирования конечного изображения и зависит от диаграммы направленности антенны. В рассматриваемом ГБО формируется акустический луч, очень узкий в вертикальной плоскости (0,9 градусов) и намного более широкий (45 градусов) в горизонтальной плоскости. Антенны располагаются на корпусе подводного носителя под определенным углом к вертикальной оси, что дает возможность получения эхо – сигналов от неко-

торой просматриваемой зоны дна. Для формирования гидроакустического изображения используются звуковые отражения от дна и объектов. Наклонные дальности до объектов определяются как половина произведения скорости звука в воде на интервал времени между излучающим и принимающим сигналами. Эта дальность регистрируется как одна точка на изображении, и множество точек от разных отражающих объектов составляют одну строку изображения, а множество строк, полученных при движении судна, составляют совокупное изображение рельефа дна. Результаты съемки отображаются в черно-белых оттенках, а также, при применении цифрового процессора, в цветном виде с использованием ложных цветов. Черно-белое изображение фиксируется на бумаге, на которой сильные отражатели показываются как темные области, а слабые – как белые. С фотографической точки зрения подобное изображение кажется "негативом". Современная система обработки позволяет при необходимости переводить такое изображение в позитив.

Типичное изображение ГБО содержит множество особенностей, которые должны быть распознаны оператором системы и интерпретатором данных [2]. К таким особенностям относятся следующие: водяной столб, импульс излучения, первое отражение от дна, цели и топографические детали, тени. Акустическая отражающая способность данного сектора морского дна определяется материальными свойствами просматриваемой области. Скала и гравий – лучшие отражатели, чем песок или ил и поэтому выглядят более темными на изображениях морского дна. Физическая форма индивидуальных компонентов материалов сильно влияет на обратное отражение. Топография морского дна также определяет энергию отраженного звукового луча. Наклоны дна в сторону носителя – гораздо лучшие отражатели, чем наоборот, из-за меньшего угла сферы действия импульса излучения.

Топография с меньшим углом сферы действия кажется темной на записи. Обобщая все высказанное, можно сделать вывод о том, что сигналу ГБО, отраженному от дна и объектов, присущи амплитудные и геометрические искажения. Амплитудные искажения возникают вследствие неравномерности диаграммы направленности приёмно-передающей антенны ГБО и вследствие изменения угла скольжения акустического луча по дну вдоль развертки строки эхосигнала и вызываемого этим изменением коэффициента отражения. Геометрические искажения возникают при попытке составления двухмерного плана дна, когда наклонные дальности до дна и объектов переводятся в горизонтальные дальности. Вопросы коррекции искажений сигнала ГБО в условиях горизонтального дна рассматриваются в работе [3]. Однако, в реальных условиях, дно не горизонтально и может иметь уклон.

Влияние уклона дна на эхо-сигнал

К основным параметрам сигнала, изменяющимся при имеющемся уклоне дна, в сравнении с горизонтальным, относятся следующие:

- изменение расстояния до объекта;
- изменение угла падения акустического луча;

в) изменение эффективной площади отра жающего участка;

г) изменение размеров участка дна, попадающего в зону обзора антенны с постоянной диаграммой направленности.

На рис.1 приведен сектор морского дна, имеющий определенный уклон в полосе обзора. На этом рисунке и далее в тексте приняты следующие обозначения:

θ_0 – угол наклона оси диаграммы направленности антенны относительно вертикали;

θ - угол между рассматриваемым лучом и вертикальной осью;

q_{\min} и q_{\max} - углы, соответствующие началу и концу зоны обзора;

α и γ - соответственно, углы скольжения и падения луча;

Φ - угол раскрытия диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости (на уровне 0,7);

β - угол наклона дна относительно горизонтали; c – скорость распространения звука в водной среде; t - длительность излучающего сигнала; R и L – соответственно, наклонная и горизонтальная дальности до отражающих участков; h – высота носителя антенны над дном.

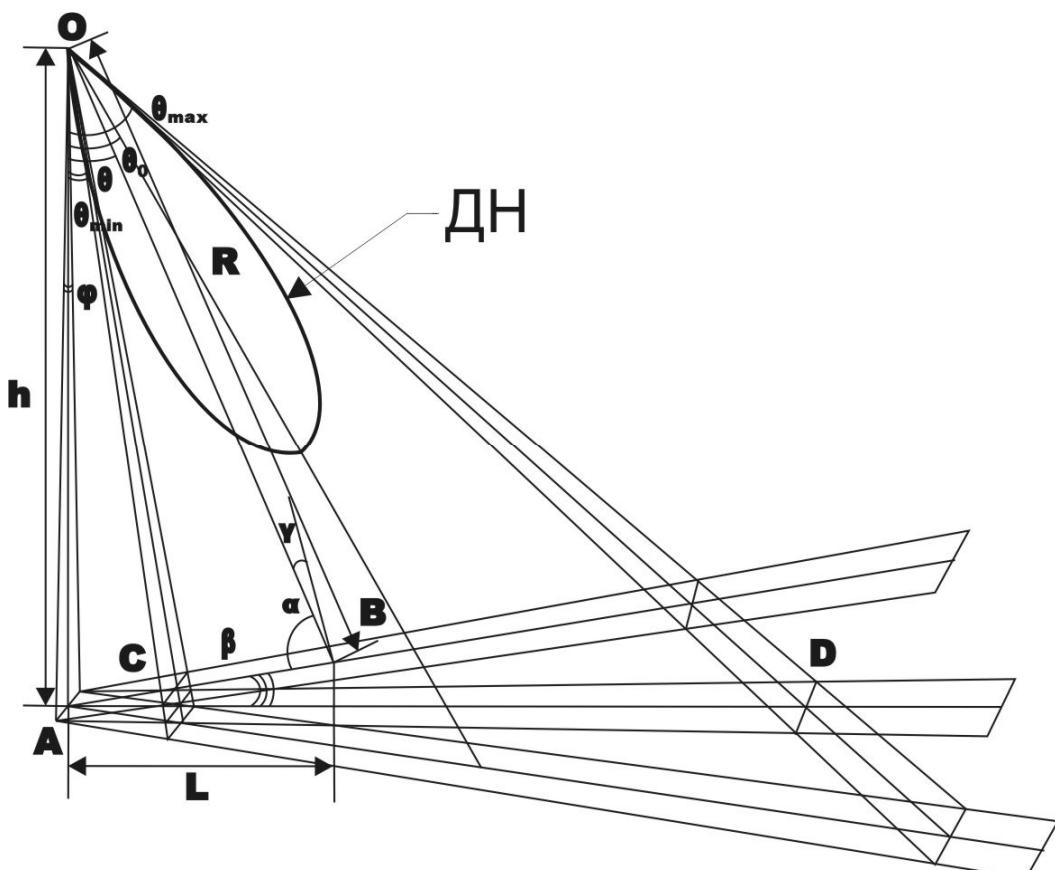


Рисунок 1. Полоса обзора дна.

ДН – диаграмма направленности антенны, О – точка расположения антенны, А – проекция антенны на дно, СД – полоса обзора, ОВ – произвольный луч.

Из геометрии рисунка выводятся формулы для определения параметров, учитываемых при проведении коррекции искажений акустического изображения сигнала.

Расстояние до объекта:

$$R = c \cdot t / 2 \quad (1)$$

Угол излучения рассматриваемого луча относительно вертикали:

$$q = \arcsin \left(\frac{h \cdot \sin \theta \cdot b + \sqrt{h^2 \cdot \sin^2(2 \cdot b) + 4 \cdot (R^2 - h^2) \cdot \cos^2 b}}{2 \cdot R} \right) \quad (2)$$

Угол излучения луча относительно оси диаграммы направленности антенны равен разности $\theta_0 - \theta$.

Горизонтальная дальность до объектов равна:

$$L = R \cdot \sin q \quad (3)$$

или:

$$L = \frac{h \cdot \sin \theta \cdot b + \sqrt{h^2 \cdot \sin^2(2 \cdot b) + 4 \cdot (R^2 - h^2) \cdot \cos^2 b}}{2} \quad (4)$$

или:

$$L = \frac{h \cdot \operatorname{tg} q}{1 + \operatorname{tg} b \cdot \operatorname{tg} q} \quad (5)$$

Угол скольжения равен:

$$\alpha = 90^\circ - q + b \quad (6)$$

Угол падения равен:

$$g = q - b \quad (7)$$

Формула для геометрической коррекции выведена при следующих допущениях. Каждая строка изображения содержит эхо – сигналы, полученные при углах излучения от θ_{\min} до θ_{\max} , и в строке имеется N отсчетов эхо – сигнала, i – номер отдельно взятого отсчета; i = 0...N-1. Тогда i-тому отсчету можно сопоставить эхо – сигнал, соответствующий отражению от участка, наклонная (горизонтальная) дальность до которого равна $R[i]$ ($L[i]$). Пусть, кроме того, максимальные и минимальные наклонные и горизонтальные дальности до отражающих участков будут, соответственно, R_{\max} , R_{\min} , L_{\max} , L_{\min} , равные выражениям:

$$R_{\max} = \frac{h}{\cos q_{\max} + \operatorname{tg} b \cdot \sin q_{\max}} \quad (8)$$

$$R_{\min} = \frac{h}{\cos q_{\min} + \operatorname{tg} b \cdot \sin q_{\min}} \quad (9)$$

$$L_{\max} = \frac{h \cdot \operatorname{tg} q_{\max}}{1 + \operatorname{tg} b \cdot \operatorname{tg} q_{\max}} \quad (10)$$

$$L_{\min} = \frac{h \cdot \operatorname{tg} q_{\min}}{1 + \operatorname{tg} b \cdot \operatorname{tg} q_{\min}} \quad (11)$$

Вдоль строки наклонные дальности увеличиваются с постоянным шагом ΔR , равным:

$$\Delta R = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{N - 1} \quad (12)$$

Тогда можно представить i-тый отсчет как:

$$R[i] = R_{\min} + i \cdot \Delta R \quad (13)$$

Напротив, горизонтальные дальности вследствие нелинейных преобразований при расчете не имеют постоянного шага изменения, а имеют тенденцию уменьшения его с разверткой строки, что обуславливает необходимость геометрической коррекции. Тогда позиция i-го отсчета X[i] на изображении, имеющем ширину w и отображающем геометрически откорректированную картину участка подводного рельефа, будет равна:

$$X[i] = \frac{w \cdot (L[i] - L_{\min})}{L_{\max} - L_{\min}} \quad (14)$$

где:

$$L[i] = \frac{h \cdot \sin \theta \cdot b + \sqrt{h^2 \cdot \sin^2(2 \cdot b) + 4 \cdot (R[i]^2 - h^2) \cdot \cos^2 b}}{2} \quad (15)$$

Данная формула позволяет проводить геометрическую коррекцию в реальном режиме времени. Для отложенной во времени коррекции подходит более простая формула (5) {вместе с (14)}. В частности, при $b=0$ и $q_{\min}=0$ формула (14) приобретает вид [3]:

$$X[i] = \frac{w}{N \cdot \cos(\alpha_{\min})} \cdot \sqrt{i^2 \cdot (1 - \sin(\alpha_{\min}))^2 + 2 \cdot i \cdot N \cdot \sin(\alpha_{\min}) \cdot (1 - \sin(\alpha_{\min}))} \quad (16)$$

где α_{\min} – значение угла скольжения в конце зоны обзора.

Алгоритм проведения коррекции

Запуск программы коррекции. Ввод начальных значений (θ_0 , θ_{\min} , θ_{\max}). Затем для всех строк изображения осуществляется следующая последовательность действий:

- Ввод значений h , β , N .

- Для всех элементов одной строки изображения осуществляется следующая последовательность действий:

- определение времени прихода отраженного сигнала t ;

- определение наклонной дальности до объекта R ;

- определение углов θ , $\theta_0 - \theta$. Расчет коэффициента направленности рассматриваемого акустического луча $K(\theta_0 - \theta)$. При превышении им определенного порогового значения (допустим, 0,7) уменьшение яркости изображения (на позитиве) на соответствующий коэффициент;

- определение угла скольжения. При уменьшении его ниже порогового уровня (согласно закону Ламберта, ниже 45°) увеличение яркости изображения (на позитиве) на соответствующий коэффициент;

- проведение геометрической коррекции: определение горизонтальной дальности до рассматриваемого участка; затем отображение выбранного элемента, для которого уже осуществлена амплитудная коррекция, в рассчитанной позиции.

Методы учета уклона дна

Коррекция сигнала по выведенным выражениям может быть осуществлена в реальном режиме времени, если априорно известны значения углов уклона дна в зоне съемки. Для уменьшения погрешностей предлагаемого метода целесообразно прокладывать курс так, чтобы судно проходило над точками перегиба дна водоема. Если же мы не располагаем информацией о глубинах в обследуемых районах, то во время съемок все результаты сохраняются в памяти, и обработка откладывается до момента точного определения уклона дна. В течение съемок же необходимо фиксировать точную глубину водоема во всех точках следования судна при помощи эхолотирования. При проведении комплексных работ, когда важна информация не только о рельефе дна, но и его структуре, может быть применена гидроакустическая система, состоящая из ГБО, а также из геолокатора – профилографа, что исключает необходимость эхолотирования.

Профилограф, исследуя структуру дна, также снабжает информацией о глубине моря. Проведением нескольких галсов судна, и географической привязкой получаемых изображений гидро- и геолокатора, можно получить точные значения глубины и вычислить средние значения уклона дна, рельеф которого представляется после обработки изображения ГБО. Если H_1 и H_2 – глубины при различных галсах, а L_g – межгалсное расстояние, то угол уклона будет равен:

$$b = \arctg \left(\frac{H_1 - H_2}{L_g} \right) \quad (17)$$

Применение данного метода ограничено предельным значением угла уклона дна, поскольку логика формирования гидроакустиче-

ского изображения требует, чтобы отражающие участки дна с большей горизонтальной дальностью имели бы и большую наклонную дальность, иначе возникает неоднозначность в определении местоположения отражающего участка. Тогда форма рельефа может быть описана уравнением спирали с центром в точке излучения в четвертом квадранте полярных координат. Соответственно, максимальный угол наклона дна, при котором не нарушается вышеуказанный принцип соответствия наклонных и горизонтальных дальностей, можно определить как угол наклона касательной к этой спирали в точке, соответствующей началу зоны обзора. Решая совместно уравнения спирали и касательной, получим следующее выражение для максимального угла уклона дна:

$$b_{\max} = \arctg \left[\frac{\left(\frac{3 \cdot p}{2} + q_{\min} \right) \cdot \sin(q_{\min}) - \cos(q_{\min})}{\left(\frac{3 \cdot p}{2} + q_{\min} \right) \cdot \cos(q_{\min}) + \sin(q_{\min})} \right] \quad (18)$$

В частности, при $q_{\min} = 30^\circ$ $b_{\max} = 18^\circ$. На практике реальные значения углов уклона дна в шельфовой зоне редко превышают полученные значения b_{\max} . В частности, в Каспийском море, в районе Нефтяных Камней средний уклон равен $3^\circ - 5^\circ$, и поэтому данный метод использован при составлении программы мониторинга шельфовой зоны Каспийского моря.

Литература

1. А.С. №1230427 Г01 С15/89, БИ №22, 1986 (СССР). Гидролокационная система регистрации и обработки информации / Т.К.Исмайлова, Т.И.Низамов, Р.К.Кулизаде и др.
2. J.P. Fish. Acoustic and Sonar Primer. <http://www.instituteformarineacoustics.org/SonarPrimer/SideScanSonar.htm>
3. Низамов Т.И. “Метод контроля экологического состояния водной среды с помощью акустических средств” // Успехи современного естествознания, 2003, №7, с.29-32.

Correction of the Amplitudes and Geometrical distortions of the Hydroacoustic Images of a Sea-bottom

Nizamov T.I., Kulisade R.K., Isaev E.I.

The Azerbaijan National Space Agency (ANSA), Baku, Azerbaijan

In article the method of correction of distortions of hydroacoustic images of a sea-bottom is considered. Thus the inclination of a bottom is taken into account. Settlement formulas and algorithm of the program of correction are resulted.