

УДК 621.39.96

**А.И. Гончар**, чл.-к. НАН Украины, д.т.н., с.н.с., директор, **В.И. Клочан**, зав.сектором,  
**Ю.А. Клочан**, к.т.н., с.н.с., зав.отделом, **Т.А. Мартыновская**, инж.2 кат.

Научно-технический центр панорамных акустических систем НАН Украины,  
г. Запорожье (Украина)

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ГБО НА МЕЛКОВОДЬЕ**

Раскрыты проблемы и возможность расширения полосы обзора в мелководных прибрежных зонах за счет изменения наклона характеристики направленности антенны гидролокатора бокового обзора. Отмечена возможность повышения разрешающей способности посредством технических решений. Предложен аппаратный вариант реализации рассмотренных задач.

**ГБО, РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ, ЭЛЛИПТИЧЕСКИЙ ИНТЕГРАЛ, ХАРАКТЕРИСТИКА  
НАПРАВЛЕННОСТИ**

Исследование запасов минеральных ресурсов Мирового океана требует создания эффективных технических средств, обеспечивающих изучение больших акваторий, донной поверхности и ее структуры.

Одним из наиболее высокопроизводительных и эффективных гидролокационных методов исследования Мирового океана является метод бокового обзора, основанный на проведении непрерывной панорамной съемки поверхности морского дна с движущегося носителя. Задача картографирования морского дна методами бокового обзора входит в группу обратных задач, для которых восстановление информации осуществляется по полученным в процессе облучения характеристикам рассеянного поля рельефа морского дна. При этом структура типовых гидролокаторов бокового обзора (ГБО) основывается на принципе аппаратного анализа параметров рассеянных дном эхосигналов, несущих информацию о дальности и силе обратного рассеяния, которые, в свою очередь, являются функциями донного рельефа и типа донных отложений.

Принцип работы ГБО основан на создании узкого в горизонтальной и широкого в вертикальной плоскости луча, расположенного в плоскости, перпендикулярной диаметральной плоскости носителя (рис. 1) [1].

В процессе движения носителя зондирующий луч "озвучивает" участки водного пространства и на мониторе отображается двухкоординатное яркостное изображение морского дна с имеющимися на нем объектами и локальными неоднородностями. При этом эффективность ГБО определяется произведением ширины полосы обзора на относительную скорость носителя:

$$P = B \cdot v_n, \quad (1)$$

где  $P$  – производительность;



Если обзор донной поверхности производится плоской диаграммой направленности, уравнение которой описывается выражением:

$$R(\theta, \varphi) = R(\theta)R(\varphi), \quad (2)$$

где  $\theta$  – угол, отсчитываемый от геометрической оси антенны в вертикальной плоскости;

$\varphi$  – азимутальный угол,

то в общем случае плоскость характеристики, соответствующая условию  $\varphi = 0$ , имеет наклон к горизонтальной плоскости, равный  $\alpha_0$ .

Метод бокового обзора путем соответствующего механического поворота характеристики направленности антенны в вертикальной плоскости на угол  $\alpha_0$  может быть модифицирован в метод упреждающего бокового обзора.

При боковом обзоре  $\alpha_0 = 0$ .

Разрешающая способность метода, реализующего один из видов панорамного обзора, зависит от размеров и формы элемента разрешения  $\Delta S$ , а также от распределения энергии в этом элементе. Используя геометрические соотношения рисунка, можно найти выражение для определения геометрических размеров элемента разрешения. Отрезок  $AC = \Delta x$ , образующийся при сечении характеристики направленности плоскости  $Q$ , равен:

$$\Delta x = \frac{\Delta \varphi}{\cos \alpha_0} \sqrt{y^2 + \frac{h^2}{\cos^2 \alpha_0}}. \quad (3)$$

При этом предполагается, что  $x = H \cdot \operatorname{tg} \alpha_0$ . Линейный размер элемента разрешения  $\Delta B$  в азимутальной плоскости равен:

$$\Delta B \cong \frac{\Delta x}{\sin \beta} \cong \frac{\Delta \varphi}{\cos \alpha_0 \sin \beta} \sqrt{y^2 + \frac{H^2}{\cos^2 \alpha_0}}, \quad (4)$$

или в угловых единицах:

$$\Delta \beta = \frac{\Delta B}{r_H} = \frac{\Delta \varphi}{\cos \alpha_0 \sin \beta}, \quad (5)$$

где  $r_H$  – наклонная дальность.

Отсюда наилучшая разрешающая способность на участках с ровным генеральным рельефом достигается при  $\alpha_0 = 0$ , т.е., при боковом обзоре, и ухудшается при кадровом

обзоре.

Размер элемента разрешения в радиальном направлении  $\Delta r$  в первом случае определяется длительностью зондирующего импульса  $\tau$  и углом скольжения акустического луча:

$$\Delta r = c\tau / \cos \theta. \tag{6}$$

Наклон плоскости диаграммы направленности приводит к расширению азимутальной апертуры сканирующего элемента и к некоторому падению разрешающей способности.

Как упоминалось ранее, при решении задач обнаружения навигационных опасностей в прибрежных зонах возникают проблемы существенного уменьшения производительности поиска ввиду сужения полосы обзора и снижения разрешающей способности, вызванных особенностями генерального рельефа, например, в случаях, обусловленных изменением профиля дна близким к цилиндрическому срезу, совпадающему с формой сферического закона распространения фронта звуковой волны (рис. 3 и рис. 4).

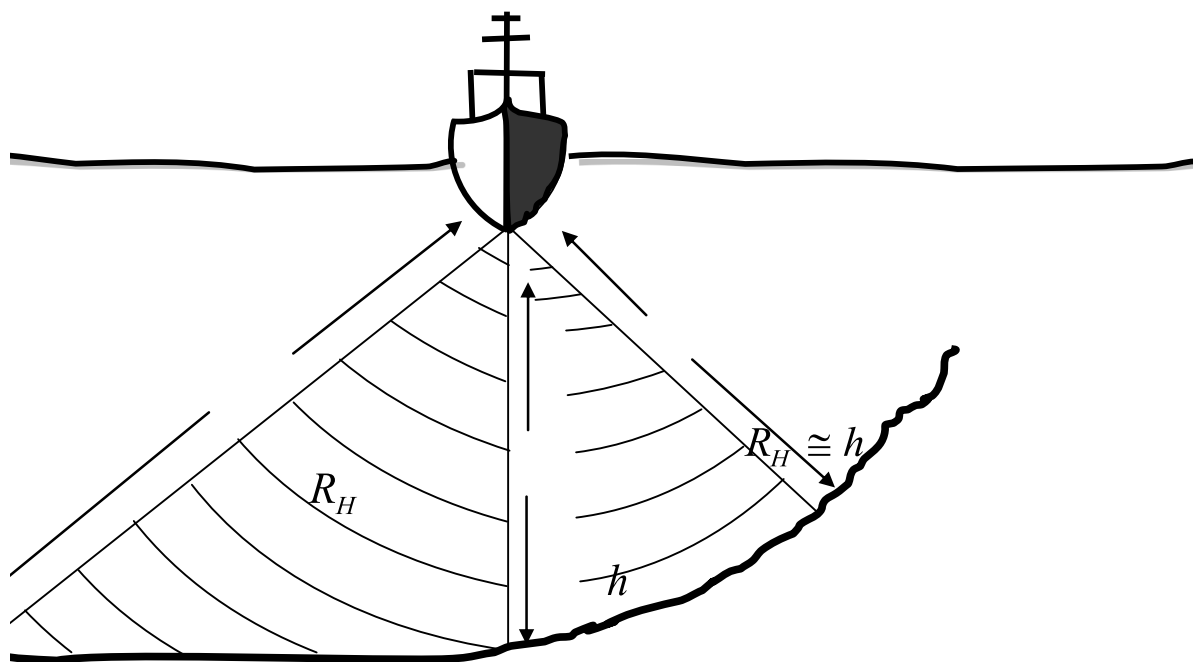


Рисунок 3 – Работа гидролокатора бокового обзора в мелководной зоне

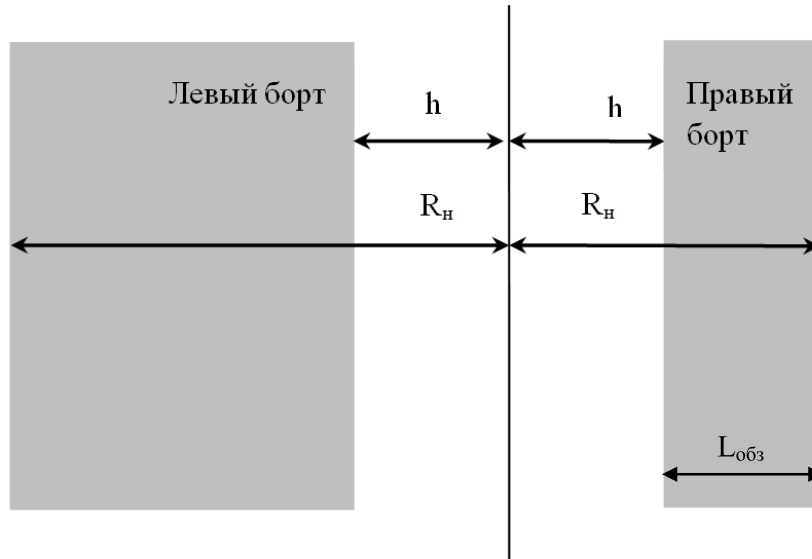


Рисунок 4 – Поле обзора в мелководной зоне

При этом использование типовой модели зондирования нецелесообразно. Разрешающая способность по дистанции и полоса обзора, определяемые углом скольжения зондирующего луча ГБО, в данном случае совершенно неприемлемы. При данном срезе рельефа, приближающемся к цилиндрическому, полоса обзора сжимается до предельно узкой полосы, а разрешающая способность соответственно ухудшается в десятки раз (рис. 4).

Для решения данной проблемы на основе анализа математических моделей, соответствующих физическим представлениям об исследуемых процессах, предложено рассмотреть схему локации при механическом повороте антенны и, соответственно, ее ДН в горизонтальной плоскости на угол  $\beta$  (рис. 5).

В данном случае донная поверхность будет лоцироваться не по хорде  $OA_{укл}$ , а по хорде  $O'A_{укл}$ . (рис. 5).

Таким образом, ХН ГБО пересекает донную поверхность по хорде  $OA'_{укл}$ . с периметром, обусловленным полным эллиптическим интегралом второго рода [2]:

$$L_{\cup OA'_{укл.}} = \frac{1}{4} h \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\frac{\sin^2(t)}{\cos^2(L)} - \cos^2(t)} dt \quad (7)$$

или

$$L_{\cup OA'_{укл.}} = \frac{\pi h}{4} \left( 1,5 + \frac{1,5 - \sqrt{\cos \phi}}{\cos \phi} \right) > \frac{\pi h}{2}. \quad (8)$$

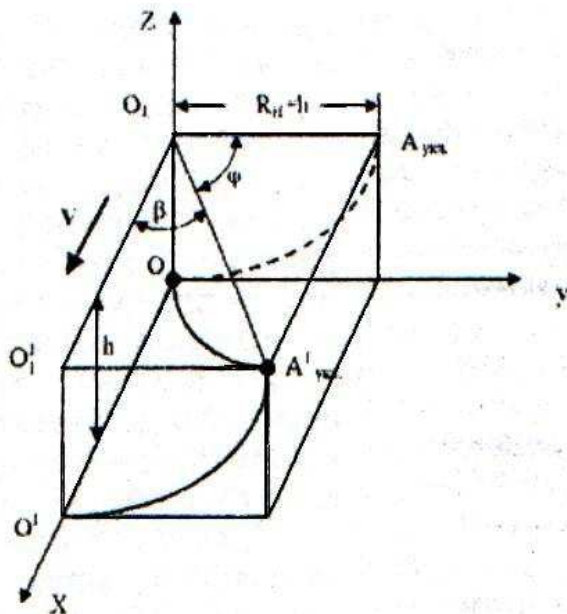


Рисунок 5 – Принцип локації донної поверхності, апроксимований циліндричної поверхністю

Полоса обзора (диапазон наклонных дальностей) ГБО, в отличие от исходного варианта, потенциально увеличивается на величину от нуля до значения (рис. 6, 7) [3]:

$$\Delta L_{\text{обз.}} = O_1 A_{\text{укл.}}^1 - O_1 A_{\text{укл.}} = \frac{C \cdot t}{2} (A_{\text{укл.}}^1 - A_{\text{укл.}}) = \frac{h(1 - \cos \varphi)}{\cos \varphi}, L_{\text{обз.}} > L_{\text{обз.исх.}} \quad (9)$$

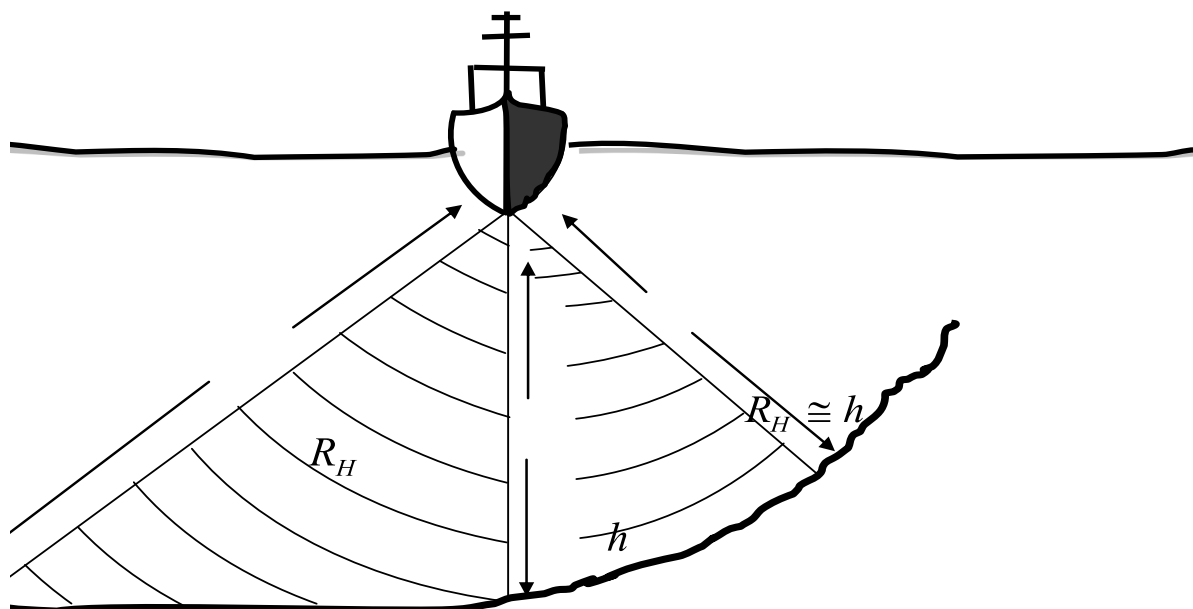


Рисунок 6 – Работа гидролокатора бокового обзора в мелководной зоне при поворотном обзоре

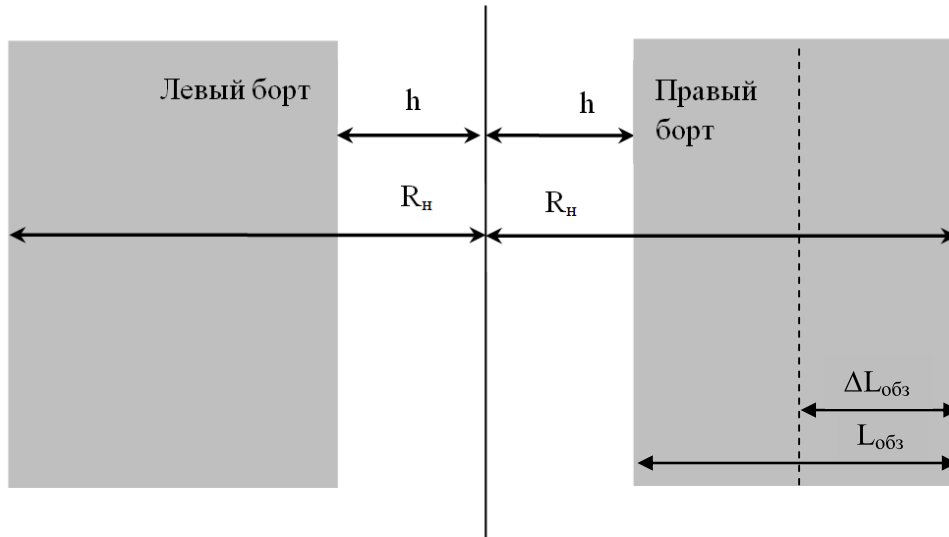


Рисунок 7 – Расширение полосы обзора в мелководной зоне

При этом угол поворота антенны не должен превышать значения  $\pi/2$ .

Для поиска такого угла поворота антенны, при котором ширина полосы обзора увеличится оптимально, произведем расчет данной величины при глубине 20 м.

Таблица 1

Глубина, м	Угол поворота антенны, рад	Расширение полосы обзора, м
h=20	$\pi/6$	3,09
	$\pi/4$	8,28
	$\pi/3$	20,0
	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	25,04

При этом полоса обзора увеличивается в  $(1,5 + \frac{1,5 - \sqrt{\cos \varphi}}{\cos \varphi})$  раз. Зависимость расширения полосы обзора от угла поворота антенны показана на рис. 8.

Нежелательным следствием изменения положения ХН может стать уменьшение уровня донной реверберации в силу снижения сектора донного рассеивания. Однако, в большинстве случаев это может быть скомпенсировано увеличением энергетики при излучении и/или чувствительности на приеме и остаться приемлемым, учитывая принципиальный выигрыш в возможности многократного увеличения разрешающей способности и расширения полосы обзора.

Отличительной особенностью данного варианта обзора, кроме упреждающего обнаружения навигационных опасностей по курсу судна, является возможность заметно повысить помехозащищенность ГБО за счет использования возникающих при движении судна доплеровских сдвигов частотных спектров донной и поверхностной реверберации. Смещения спектров донной и поверхностной реверберации в данном случае являются разнополярированными. Последнее позволяет посредством частотной селекции в приемном тракте ГБО подавить поверхностную реверберацию и, как результат, повысить

вероятность обнаружения навигационных опасностей. Пример аппаратной реализации приведен на рис. 9.

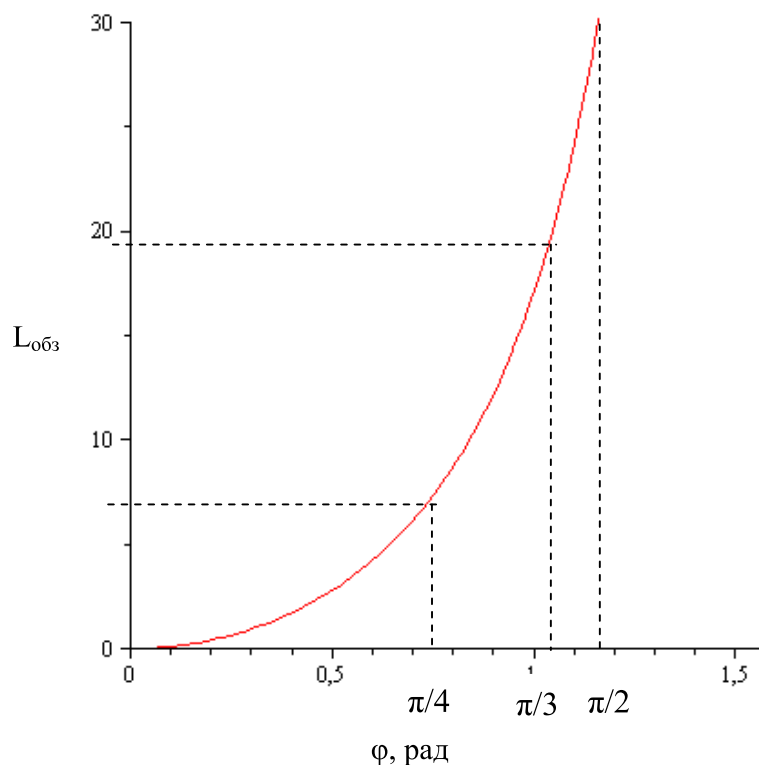


Рисунок 8 – Зависимость расширения полосы обзора  $L_{обз}$  от угла поворота ХН антенны  $\phi$

Эффективность повышения помехозащищенности гидролокатора бокового обзора в рассматриваемом режиме работы за счет частотной фильтрации (подавления) спектральных составляющих поверхностной реверберации будет определяться:

- углом наклона (пространственной ориентации) характеристики направленности антенны гидролокатора бокового обзора;
- курсовой скоростью движения носителя гидролокатора бокового обзора;
- уровнем боковых лепестков характеристики направленности антенны гидролокатора бокового обзора;
- степенью волнения поверхности водной акватории в районе работ;
- выбором используемого типа зондирующих сигналов (режим излучения тональных или сложных частотно модулированных сигналов);
- параметрами амплитудно-частотных характеристик приемо-усилительного тракта гидролокатора бокового обзора.

**Выводы.** Для повышения разрешающей способности ГБО в прибрежных мелководных зонах целесообразно использовать упреждающий обзор. Теоретически определено, что поворот характеристики направленности антенны на  $60^\circ$  обеспечивает увеличение полосы обзора более, чем в 3 раза.

Изменения наклона характеристики направленности антенны гидролокатора бокового обзора позволяют разработать и рекомендовать для использования ГБО, реализующий возможность регистрации донного рельефа в прибрежных мелководных зонах с увеличенными разрешающей способностью и расширенной полосой обзора.





## Литература

1. Теоретические основы создания панорамных гидроакустических систем / [Гончар А.И., Голод О.С., Клочан Ю.А., Шлычек Л.И.] под ред. А.И. Гончара. –Запорожье: НТЦ ПАС НАН Украины, 1999. – 290 с.
2. Храбров А.И. Немного об эллиптических интегралах / А.И. Храбров // Chair of Mathematical analysis. – 2011.
3. Пат. 71008 Украина, кл. G01s 15/66, G01s 15/00, G01v 1/38. Гидролокационная система бокового обзора / Клочан Ю.А., Гончар А.И., Шлычек Л.И., Клочан В.И., Писанко И.Н.; №2001128531; заявл. 11.12.2001; опубл. 15.11.2004, Бюл. №11.

*Стаття надійшла до редакції 19 вересня 2013 р. російською мовою*

**А.И. Гончар, В.И. Клочан, Ю.А. Клочан, Т.О. Мартиновська**  
**ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ ГБО НА МІЛКОВОДДІ**

Розкрито проблеми і можливість розширення смуги огляду в мілководних прибережних зонах за рахунок зміни нахилу характеристики направленості антени гідролокатора бокового огляду. Відмічено можливість підвищення роздільної здатності за допомогою технічних рішень. Запропоновано апаратний варіант реалізації розглянутих задач.

**A.I. Honchar, V.I. Klochan, Yu.A. Klochan, T.O. Martynovska**  
**GBO PRODUCTIVITY AND EFFICIENCY IMPROVEMENT IN THE SHALLOWS**

In this work problems and possibility of the swath expansion in shallow coastal zone at the expense of changing characteristic slope of the directivity of the side-looking sonar are discovered. It was noted a possibility of resolution enhancement by technology. It was proposed a hardware variant of implementation of considered problems.