

УДК 539.3

Шамарин А.Ю.

Киевский государственный научно-исследовательский институт гидроприборов. Украина, Киев

## СПЕЦИФИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АНТЕНН ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ

## Анотація

Проведено чисельний аналіз впливу кордону розділу серед "вода—повітря" на характеристики спрямованості прозорі для звуку циліндричної антени. Встановлено ряд закономірностей у поведінки спрямованих властивостей антени.

## Abstract

*The numerical analysis of influence of border of the unit of two environments "water—air" on characteristics of an orientation transparent for a sound of the cylindrical aerial is carried out. A line of laws in behaviors of the directed properties of the aerial is established.*

## Введение

Гидроакустические станции (ГАС) надводных кораблей предназначены для обнаружения и сопровождения подводных объектов, обеспечения условий кораблевождения и звукоподводной связи. Аппаратурный состав любой гидроакустической станции подразделяется на две основные группы забортную и бортовую аппаратуру. Основным и наиболее важным элементом забортной аппаратуры является гидроакустическая антенна, определяющая в значительной степени эффективность и потенциальные возможности этих средств.

Необходимость обеспечения повышенных дальностей действия гидроакустических комплексов обусловила переход к более низким частотам, что вызвало резкое возрастание массы габаритных

характеристик антенн и определило особые требования к их размещению на кораблях. В настоящее время крупногабаритные гидроакустические антенны размещаются в бульбовом обтекателе, расположенном в районе форштевня.

Такое размещение оказывается целесообразным, поскольку антенна максимально удалена от винтов и частично экранирована от их шума коффердамом. Кроме того, бульбовый обтекатель носовой части корабля снижает сопротивление воды, что в условиях сильного волнения несколько демпфирует килевую качку (рис. 1).

Корпус корабля имеет ограниченные размеры и отличается довольно сложной геометрией, наличием ребер жесткости, ряда палуб и перегородок. Подводная часть корпуса корабля, следовательно, и антенна, размещенная в ней, расположены вблизи границы раздела сред "вода—воздух".

Физические свойства корпуса и границы раздела сред существенно отличаются от идеализированных свойств типа акустически мягких или жестких, а корпус корабля, кроме того, характеризуется упругими свойствами материала, из которого он изготовлен.

Систематические исследования [1, 2, 3, 4] излучающих антенн различной конфигурации показали, что антенна цилиндрического типа является преимущественной в современных и перспективных гидроакустических комплексах надводных кораблей и рассматривается в качестве основного типа при создании базового ряда антенн таких комплексов.

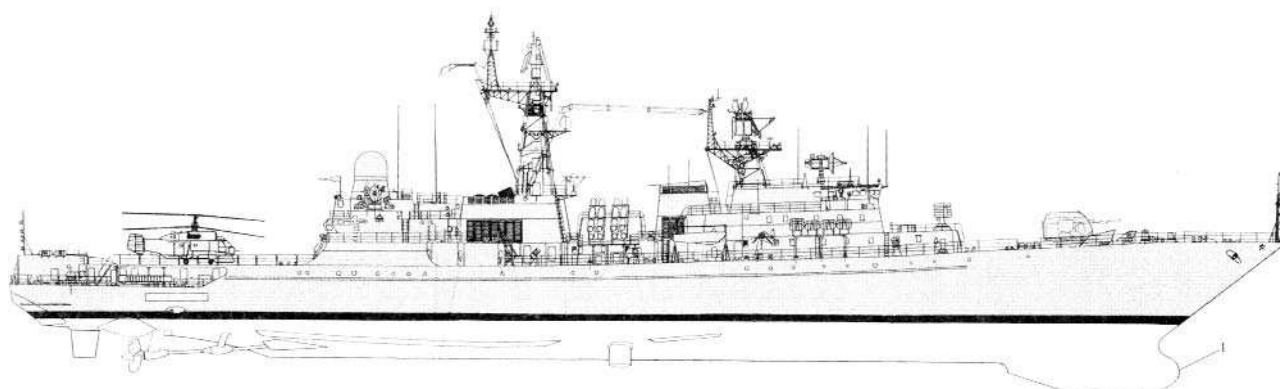


Рис. 1. Расположение гидроакустической антенны в бульбовом обтекателе:

1 — бульбовый обтекатель с гидроакустической антенной

Привязка антенны к месту ее размещения на корабле, как правило, осуществляется в первую очередь исходя из конструктивных особенностей объема, отведенного под ее установку, и в целом не учитывает возможных акустических аспектов ее работы в условиях, положенных в основу проектирования.

Несмотря на практическую важность учета влияния условий работы гидроакустических антенн на их параметры, эта проблема слабо освещена в открытой литературе. Очевидно, это связано как со спецификой применения большинства таких антенн в составе гидроакустических средств кораблей и авиации, так и с определенной математической сложностью постановки и решения задач формирования звуковых полей антеннами в присутствии границы раздела сред. Имеющиеся работы [5–7] посвящены изучению поведения линейных антенн при размещении их либо вблизи плоской поверхности, либо в плоскопараллельном водяном слое.

**Постановка и решение задачи**

Учитывая важность, для обеспечения безопасности мореплавания, получения достоверных расчетных данных при проектировании гидроакустического вооружения корабля, необходимо провести системные исследования по влиянию условий размещения гидроакустических устройств на носителе (надводном корабле) на характеристики антенны.

Исследования целесообразно начать с изучения влияния границы раздела сред "вода–воздух" на электроакустические характеристики акустических антенн, входящих в состав этих гидроакустических устройств. А затем перейти к учету влияния корпуса надводного корабля на характеристики антенн в системе "корпус–вода–воздух".

В данной работе рассмотрим первое приближение, когда акустическое поле формируется прозрачной для звука цилиндрической антенной радиуса  $a$  (рис. 2) расположенной вблизи плоской гладкой границы, разделяющей две среды – полупространство 1 (воздух) и полупространство 2 (вода). Определение акустического поля такой звукопрозрачной антенны в условиях, моделирующих реальные, будем производить в приближении локально реагирующих поверхностей с использованием представления разложения сферической волны по плоским волнам [8].

При определении звукового поля акустической системы, представленной на рис. 2, учтем, что ненормированная статистическая диаграмма направленности антенны, компенсированная в точку  $\vec{x}_0$  при условии, что приемник расположен в точке  $\vec{x}_s$ , может быть представлена в виде

$$\tilde{R}\left(\omega, \frac{\vec{x}_s}{\vec{x}_0}\right) = \int_{\Omega} \Phi_{\Sigma}\left(\omega, \frac{\vec{x}_s}{\vec{x}}\right) A\left(\omega, \frac{\vec{x}_s}{\vec{x}_0}\right) d\vec{x},$$

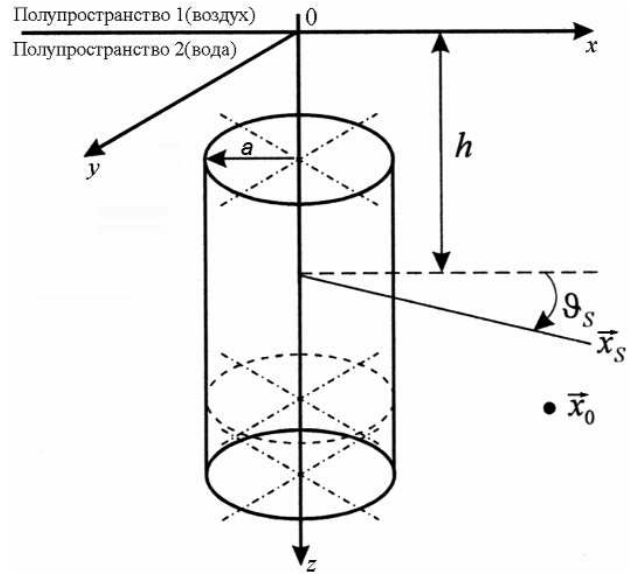


Рис. 2. Модель акустической системы в первом приближении

$$\text{где } \Phi_{\Sigma}\left(\omega, \frac{\vec{x}_s}{\vec{x}}\right) = \Phi_i\left(\omega, \frac{\vec{x}_s}{\vec{x}}\right) + \Phi_r\left(\omega, \frac{\vec{x}_s}{\vec{x}}\right)$$

$\Phi_{\Sigma}\left(\omega, \frac{\vec{x}_s}{\vec{x}}\right)$  – комплексная амплитуда полного поля в точке, обусловленная прямой  $\Phi_i\left(\omega, \frac{\vec{x}_s}{\vec{x}}\right)$  и отраженной  $\Phi_r\left(\omega, \frac{\vec{x}_s}{\vec{x}}\right)$  от границы волнами [6, 7],

$A\left(\omega, \frac{\vec{x}_s}{\vec{x}_0}\right)$  – амплитудно-фазовое распределение в антенне, обеспечивающее реализацию заданной диаграммы направленности и ее компенсацию в условиях свободного поля.

Поскольку антенна и точка наблюдения, в общем случае могут располагаться так, что условия применимости геометрической акустики нарушаются, и, учитывая различный характер симметрии сферической волны и плоской границы раздела сред, разложим сферическую волну, излучаемую элементом  $d\vec{x}$  антенны, на плоские волны. После решения получим соотношение, которое может быть положено в основу численного анализа влияния гладкой границы раздела сред "вода–воздух" на направленные свойства звукопрозрачной антенны цилиндрической формы

$$R\left(\omega, \frac{\vec{x}_s}{\vec{x}_0}\right) = ikr \frac{2\pi}{M} \int_0^{\frac{\pi}{2}-j\infty} \sum_{m=1}^M J_0 \left\{ k \sin \theta \left[ r^2 + \rho_s^2 \sin^2 \vartheta_s + 2r \rho_s \sin \vartheta_s \cos(\varphi_m - \varphi_s) \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \times \sum_{n=1}^N \left[ e^{ik \cos \theta |\rho_s \cos \vartheta_s - z_n|} + \tau(\theta) e^{ik \cos \theta (z_n + \rho_s \cos \vartheta_s)} \right] \sin \theta d\theta.$$



### Анализ результатов

Численный анализ характеристик направленности антенны, расположенной близи границы раздела сред "вода—воздух", позволяет установить ряд закономерностей:

- максимум диаграммы направленности антенны отклоняется в сторону от границы по сравнению с его положением в свободном поле. Такая картина наблюдается при любых углах падения волны. С увеличением заглубления антенны этот эффект уменьшается;

- появляется несимметричность диаграммы направленности в вертикальной плоскости. При этом при малых заглублениях со стороны границы крутизна основного лепестка существенно увеличивается, сам основной лепесток диаграммы направленности обостряется и возникает некоторое перераспределение значений бокового лепестка. При увеличении заглубления основной лепесток диаграммы направленности в вертикальной плоскости раздваивается, а картина бокового поля существенно изменяется в поле появляется множество локальных минимумов и максимумов;

- направленные свойства антенны в дальнем поле существенно зависят от горизонтального расстояния до точки наблюдения, что в свободной среде, по определению, не имеет места. В связи с этим, при прочих равных условиях, диаграммы направленности антенны при различных значениях горизонтального расстояния до точки наблюдения существенно различаются.

### Выводы

Направленные свойства звукопрозрачной антенны рассматриваемой системы существенно изменяются по сравнению со свободной средой. Характерные изменения направленных свойств антенны в значительной степени определяются не только заглублением антенны, наличием или отсут-

ствием компенсации диаграммы направленности в вертикальной плоскости, размерами антенны, но и расстоянием до точки наблюдения.

От создания комфортных условий работы гидроакустического вооружения корабля зависит получение заданных характеристик обзора водного пространства.

### Литература

1. *Шамарин Ю.Е., Шамарин А.Ю.* Корабельные гидроакустические станции. Збірник наукових праць УДМТУ. — Николаїв: УДМТУ, 2003. — №6 (392). — С. 123—132.

2. *Подводная электроакустическая аппаратура и устройства.* Т.2. Технология акустических антенн. Методы изготовления с применением электрофизических приемов обработки / Ю.Е. Шамарин, А.Г. Лейко, А.Ю. Шамарин, В.П. Ткаченко; Под ред. Ю.Е. Шамарина. — К.: Государственный НИИ гидроприборов, 2001. — 256 с.

3. *Шамарин Ю.Е., Шамарин А.Ю.* Состояние и перспективы развития гидроакустической аппаратуры в Украине // Матеріали міжнар. конф. "Кораблебудування: освіта, наука, виробництво": в 2 т. — Николаїв: УДМТУ, 2002. — Т.1. — 224 с.

4. *Добровольский Ю.Ю., Смаришев М.Д.* Гидроакустические антенны. Справочник. — Л.: Судостроение, 1984.

5. *Карновский А.М., Лейко А.Г., Скокин А.С.* Звуковые поля акустических антенн в присутствии безграничного упругого слоя. — Судостроительная промышленность, сер. Акустика, №1, 1988.

6. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. — М.: Изд. АН СССР, 1957.

7. *Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П.* Теоретические основы акустики океана. — Л.: Гидрометеопиздат, 1982.

8. *Смаришев М.Д.* Направленность гидроакустических антенн. — Л.: Судостроение, 1973.