



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 629; 556

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ С УЧЕТОМ ГИДРОЛОГО-АКУСТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

¹Малый В. В., ²Леонтьев Ю. Б., ³Ибрахим А.

^{1,2}АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "КОНЦЕРН "ОКЕАНПРИБОР", Санкт-Петербург, Россия (197376, город Санкт-Петербург, Чкаловский пр-кт, д.46), e-mail: ²yurileon@yandex.ru

³ВУНЦ ВМФ «ВОЕННО-МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ АДМИРАЛА ФЛОТА СОВЕТСКОГО СОЮЗА Н. Г. КУЗНЕЦОВА», Санкт-Петербург, Россия, (197045, г. Санкт-Петербург, Ушаковская набережная, д. 17/1).

В статье рассмотрена методика оценки и визуализации изменения ожидаемой зоны наблюдения гидроакустических средств освещения подводной обстановки в условиях применения средств гидроакустического подавления (приборов помех) с учетом влияния гидролого-акустических условий. Приведены примеры расчетов и визуализации изменения ожидаемых зон наблюдения для режима гидролокации и шумопеленгования. Показано, что влияние искусственных помех, на уменьшение площади ожидаемой зоны наблюдения ГАС определяется (в отличие от традиционного энергетического подхода) в большей степени сложной пространственной зависимостью аномалии распространения звука.

Ключевые слова: Гидроакустические средства, зоны наблюдения, гидроакустическое противодействие, средства гидроакустического подавления, приборы помех, гидролого-акустические условия, неоднородная морская среда.

METHODOLOGY OF EFFICIENCY ASSESSMENT FOR SONARS IN CONDITIONS OF THE HYDROACOUSTIC SUPPRESSION WITH ACCOUNT OF HYDROLOGICAL-ACOUSTICAL CONDITIONS

¹Maly V. V., ²Leontiev Yu.B., ³Ibrahim A.

^{1,2}JOINT-STOCK COMPANY "CONCERN "OKEANPRIBOR", St. Petersburg, Russia (197376, Saint-Petersburg, Chkalovsky prospekt, 46), e-mail: ²yurileon@yandex.ru

³MILITARY SCIENTIFIC CENTER OF THE NAVY "NAVAL ACADEMY NAMED AFTER ADMIRAL OF THE FLEET OF THE SOVIET UNION N.G. KUZNETSOV", St. Petersburg, Russia, (197045, St. Petersburg, Ushakovskaya embankment, 17/1).

A methodology for assessing and visualizing changes in the expected observation zone for sonars in the conditions of using hydroacoustic suppression means (jamming devices), taking into account the influence of hydrological-acoustic conditions. Examples of calculations and visualization of changes in expected observation zones for active and passive sonars are given. It is shown that the effect of artificial interference on reducing the area of the expected observation area of the sonars is determined (unlike the traditional energy approach) to a greater extent by the complex spatial dependence of the sound propagation anomaly.

Keywords: Sonars systems, surveillance zones, hydroacoustic countermeasures; interference devices; hydrological and acoustic conditions, geographic information systems, heterogeneous marine environment.

В настоящее время одной из актуальных задач является оценка возможного снижения эффективности освещения подводной обстановки гидроакустическими средствами (ГАС) в

условиях применения противником средств гидроакустического подавления (ГПД) в виде приборов помех [1].

При этом для большинства традиционных моделей зон наблюдения (ЗН) и методик оценки эффективности ГАС в условиях постановки искусственных шумовых помех - характерны существенные ограничения. Во-первых, они позволяют проводить оценку снижения эффективности ГАС лишь на энергетическом уровне, т.е. только для теоретических условий безграничной однородной среды, без учета влияния реальной плоско-слоистой неоднородной среды с заданным вертикальным распределением скорости звука (ВРСЗ). Во-вторых, они, как правило, предназначены для оценки эффективности ГАС только при работе в режиме гидролокации (ГЛ). [2] В-третьих, традиционные модели и методики не учитывают сложную зависимость пространственного распределения вероятности правильного обнаружения (ВПО) $P_{по}(a, r)$ с учетом влияния неоднородной среды и рабочих характеристик обнаружения (РХО) конкретного типа приемника-обнаружителя ГАС.[3]

Это обусловлено тем, что традиционные методики базируются на основе расчета и построения только границ зон маскирования с помощью решения т.н. уравнения «противогидролокации» [2-4], при заданном информационном ущербе, определяемом коэффициентом подавления K_n (по акустическому давлению), по сути, являющимся величиной, обратной заданному пороговому отношению сигнал/помеха (ОСП) q^* на входе приемника гидролокационной системы (ГЛС), соответствующего одному дискретному значению ВПО $P_{по}^*$

$$K_n = \frac{P_n(r_n, \alpha)}{P_c(r)} = \frac{2P_{n1} r^2 R(\alpha) \Delta f_{np}}{P_1 r_n R_3 \Delta f_n} 10^{0.05\beta(f_0)(2(r-r_n)10^{-3})}, \quad (1)$$

где: P_{n1} - приведенное давление (Па), создаваемое прибором помех (ПП) на расстоянии $r_1=1$ м, ненаправленной антенной, в полосе частот Δf_{np} (Гц);

P_1 - приведенное давление (Па), создаваемое ГЛС на расстоянии $r_1=1$ м от излучающей антенны на оси диаграммы направленности (ДН) $P_1 = \sqrt{\frac{W_a \gamma(f_0) \rho c}{4\pi}}$;

W_a - излучаемая акустическая мощность ГЛС (Вт);

$\gamma(f_0)$ - коэффициент концентрации излучающей антенны на рабочей частоте f_0 ;

Δf_{np} - полоса пропускания приемного канала ГЛС (Гц);

r - расстояние от ГЛС до цели (м);

r_n - расстояние от ГЛС до ПП (м);

$R(\alpha)$ - характеристика направленности (ХН) приемной антенны ГЛС в горизонтальной плоскости;

R_3 - радиус эквивалентной сферы цели;

$\beta(f)$ - коэффициент пространственного затухания (дБ/км).

При заданном значении K_n^* уравнение противогидролокации (для условий режима прицельных по частоте помех $\Delta f_n \approx \Delta f_{np}$) имеет вид [1-3]

$$\frac{K_n^* P_{c1} r_n R_3}{2P_{n1} R(\alpha)} 10^{0.05\beta(f_0)r_n 10^{-3}} = r^2 10^{0.1\beta(f_0)r 10^{-3}} \quad (2)$$

или в логарифмической форме записи

$$20 \lg K_n + 20 \lg \frac{P_{c1}}{P_{n1}} + 20 \lg \frac{R_2}{2} + 20 \lg r_n + \beta(f_0) r_n 10^{-3} - 20 \lg R(\alpha) = 40 \lg r + \beta(f_0) r 10^{-3} \quad (3)$$

Лишь в отдельных работах [5] были предприняты попытки учесть влияние неоднородной среды и реализовать визуализацию сложного итогового пространственного распределения ВПО $P_{no}(\alpha, r)$. [4]

Предлагаемые модели ожидаемой ЗН ГАС в условиях применения средств гидроакустического подавления (ГПД) (приборов помех (ПП)) - позволяют оценивать соответствующее снижение эффективности ГАС с учетом влияния плоско-слоистой неоднородной среды с границами для заданного района и времени поиска, а также с учетом РХО $P_{no}(q)$ для конкретного типа приемника ГАС, причем как для режима ГЛ, так и для режима шумопеленгования (ШП).

А) Модель изменения ожидаемой ЗН ГАС в условиях применения средств ГПД (ПП) с учетом гидролого-акустических условий (ГАУ) наблюдения для режима ГЛ (прицельная шумовая помеха на рабочей частоте ГЛС)

Модель включает 5 основных элементов.

1. Расчет зависимости эффективного давления эхо-сигнала от расстояния до цели r в неоднородной среде (на рабочей частоте ГЛС f_0)

$$P_s(r) = A(r) \frac{P_1}{r^2} \frac{R_2}{2} 10^{-0.1\beta(f_0)r10^{-3}}, \quad (4)$$

где: $A(r) = 10^{\frac{NA(r)}{10}}$ - зависимость аномалии распространения (АР) звука от расстояния;

$NA(r)$ - зависимость уровня АР (дБ) от расстояния

Расчет $NA(r)$ производится предварительно (по заданным исходным данным, включающим: ВРСЗ, глубину антенны ГЛС, глубину цели, характеристики дна, уровень волнения) для рабочей частоты ГЛС, с помощью соответствующих программ. В частности, в приведенных ниже примерах для расчета АР была использована программа SonarLoss (автор Ю.Б. Леонтьев). [5]

2. Расчет зависимости эффективного давления искусственной шумовой помехи, создаваемой ПП на входе приемника-обнаружителя ГЛС в зависимости от расстояния между ГЛС и ПП r_n и направления наблюдения α (с учетом ДН приемной антенны $R(\alpha)$, при фиксированном значении курсового угла (КУ) ПП β_{nn}):

$$P_{nn(r_n, 1, f_0)}(\alpha, r_n) = \sqrt{A(r_n)} R(\alpha + \beta_{nn}) \frac{P_{nn(1, 1, f_0)}}{r_n} 10^{-0.05\beta(f_0)r_n 10^{-3}} \quad (5)$$

где: $P_{nn(1, 1, f_0)} = \frac{P_{nn(1, \Delta f_{nn}, f_0)}}{\sqrt{\Delta f_{nn}}} = \sqrt{\frac{W_{nn} \rho c}{4\pi \cdot \Delta f_{nn}}}$ - приведенное давление, создаваемое ПП на

расстоянии $r_1=1$ м, ненаправленной антенной, в полосе $\Delta f=1$ Гц, на частоте f_0 ;

$P_{nn(1, \Delta f_{nn}, f_0)}$ - приведенное давление (Па), создаваемое ПП с излучаемой мощностью

W_{nn} на расстоянии $r_0=1$ м, ненаправленной антенной, в полосе частот Δf_{nn} ;

$\Delta f_{nm} = \Delta f_c + 2\Delta f_{D_{max}}$ - полоса частот действия ПП (Гц) в районе рабочей частоты ГЛС f_0 , необходимая для подавления сигнала с шириной спектра Δf_c (с учетом возможных доплеровских сдвигов $\Delta f_{D_{max}}$ вследствие взаимной кинематики цели и носителя ГЛС).

3. Расчет эффективного давления суммарной помехи на входе приемника ГЛС (т.е. на выходе приемной антенны) в условиях естественных шумовых помех и дополнительного воздействия ПП с прицельной по частоте шумовой помехой

$$P_{n\Sigma(\text{ГПД})(1,f_0)}(\alpha, r_n) = \sqrt{\frac{P_{шм(1,f_0)}^2 + P_{zn(1,f_0)}^2}{\gamma(f_0)} + P_{nn(r_n,1,f_0)}(\alpha, \beta_{nn}, r_n)^2}, \quad (6)$$

где: $\gamma(f_0)$ - коэффициент помехоустойчивости приемной антенны ГЛС;

$P_{шм(1,f_0)}$ - спектральная плотность давления (СПД) шумов моря (в полосе 1 Гц), на рабочей частоте ГЛС;

$P_{zn(1,f_0)}$ - СПД собственной гидродинамической помехи (в полосе 1 Гц), на рабочей частоте ГЛС.

4. Расчет зависимости выходного ОСП (по давлению) от расстояния до цели, расстояния до ПП и направления наблюдения.

В частности, для согласованного фильтра (СФ), выходное ОСП $d(r)$ определяется соотношением энергии эхо-сигнала $E_s(r)$ и спектральной плотности мощности (СПМ) помехи N [6,7]. Соответственно, при условии согласования предварительного полосового фильтра с шириной спектра сложного сигнала Δf , а интегратора - с длительностью импульса T , при дополнительном воздействии искусственной шумовой помехи выходное ОСП СФ $d(r, r_n, \alpha)$ помимо расстояния до цели, становится также функцией расстояния до ПП r_n и направления наблюдения α

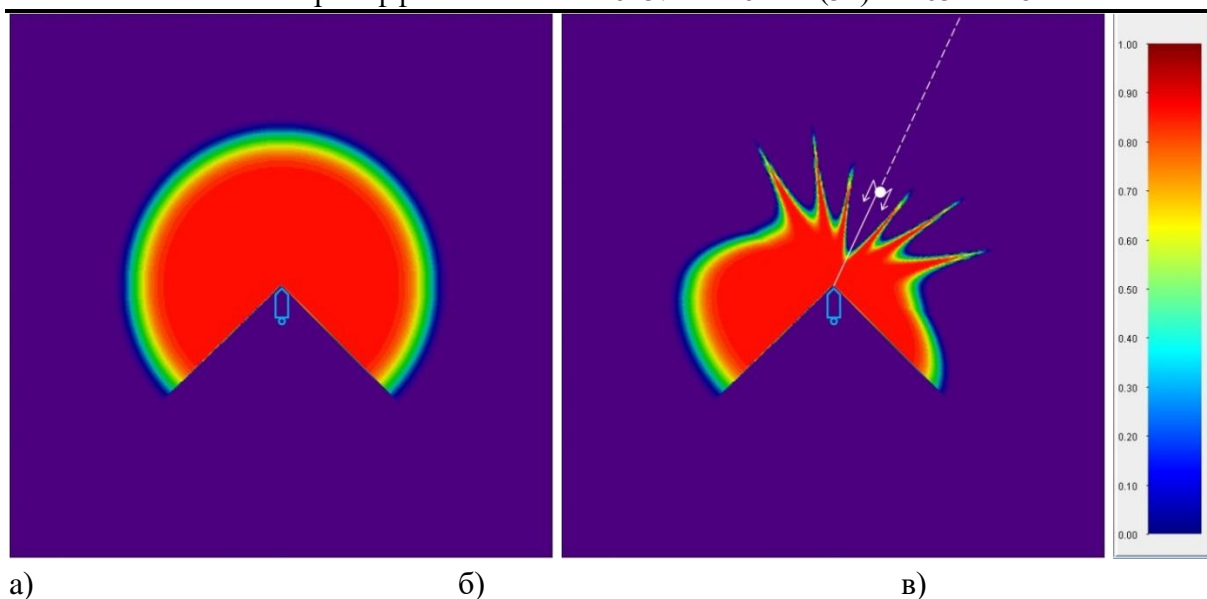
$$d_{(\text{ГПД})}(\alpha, r, r_n) = \sqrt{\frac{2E_s(r)}{N_\Sigma}} = \frac{P_s(r)}{P_{n\Sigma(\text{ГПД})(1,f_0)}(\alpha, r_n)} \sqrt{2T} \quad (7)$$

5. Расчет пространственной зависимости ВПО $P_{по}(\alpha, r)$ в соответствии с РХО $P_{по}(q)$ конкретного обнаружителя ГЛС и типа сигнала при фиксированном значении вероятности ложной тревоги (ЛТ) $P_{лт}$, для согласованного фильтра (СФ)

$$P_{по(\text{ГПД})}(\alpha, r) = \Phi\left(d_{(\text{ГПД})}(\alpha, r) - \Phi^{-1}(1 - P_{лт})\right) \quad (8)$$

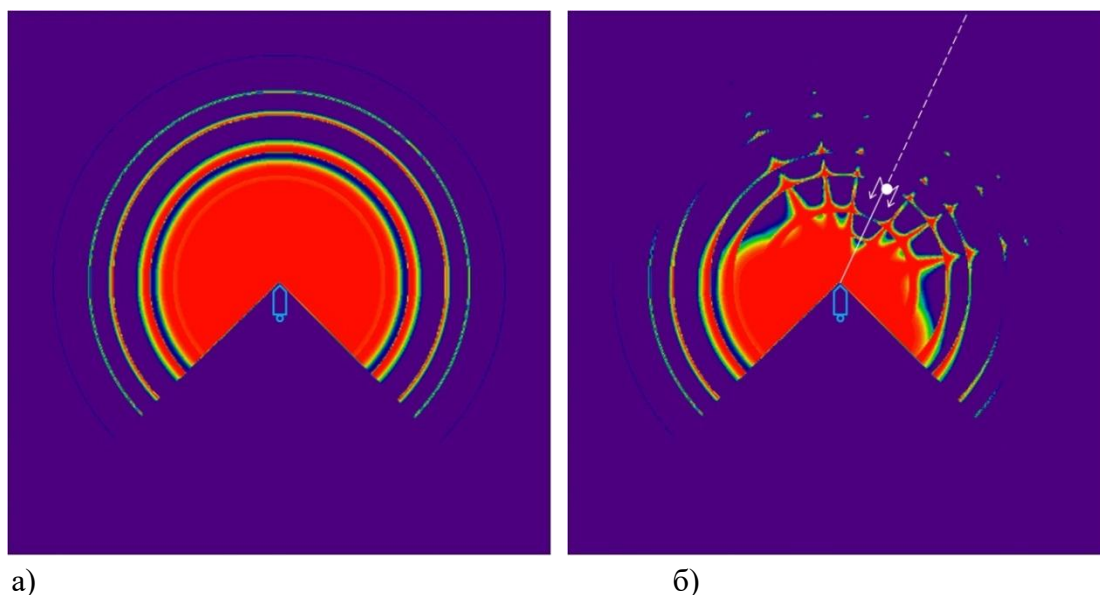
Примеры результатов расчетов и визуализации ЗН для типовой ГЛС НК в условиях безграничной однородной среды (БОС) и в условиях неоднородной среды (с заданным типом ВРСЗ) приведены соответственно на Рисунке 1 и Рисунке 2.

На Рисунке 3 приведены: использованный в качестве исходных данных вид ВРСЗ, соответствующий положительной рефракции от поверхности до дна (ПРПД) (а), и результаты расчета зависимости АР от дистанции r (б). На Рисунке 4 приведен вид ДН приемной антенны типовой ГЛС НК на рабочей частоте.



а) б) в)
 Рисунок 1 - Модель ЗН ГЛС НК в условиях БОС для произвольных значений $P_{по}$ с учетом РХО гидролокационного приемника (энергетическая дальность действия ГЛС $D_0=19$ км, курс НК $K_{нк}=0^\circ$):

- а) в условиях только естественных помех;
- б) в условиях ГПД (воздействия дополнительной искусственной помехи, создаваемой ПП: $KУ_{пп}=25^\circ$, $r_{п}=15$ км);
- в) цветовая градация значений ВПО $P_{по}=0\div 1.0$.



а) б)
 Рисунок 2 - Модель ожидаемой ЗН ГЛС НК в условиях неоднородной среды (тип ВРСЗ – ПРПД –

Рисунок 3а) для произвольных значений $P_{по}=0\div 1.0$ с учетом РХО гидролокационного приемника (курс НК $K_{нк}=0^\circ$):

- а) в условиях только естественных помех;
- б) в условиях ГПД (воздействия дополнительной искусственной помехи, создаваемой ПП: $KУ_{пп}=25^\circ$, $r_{п}=15$ км)

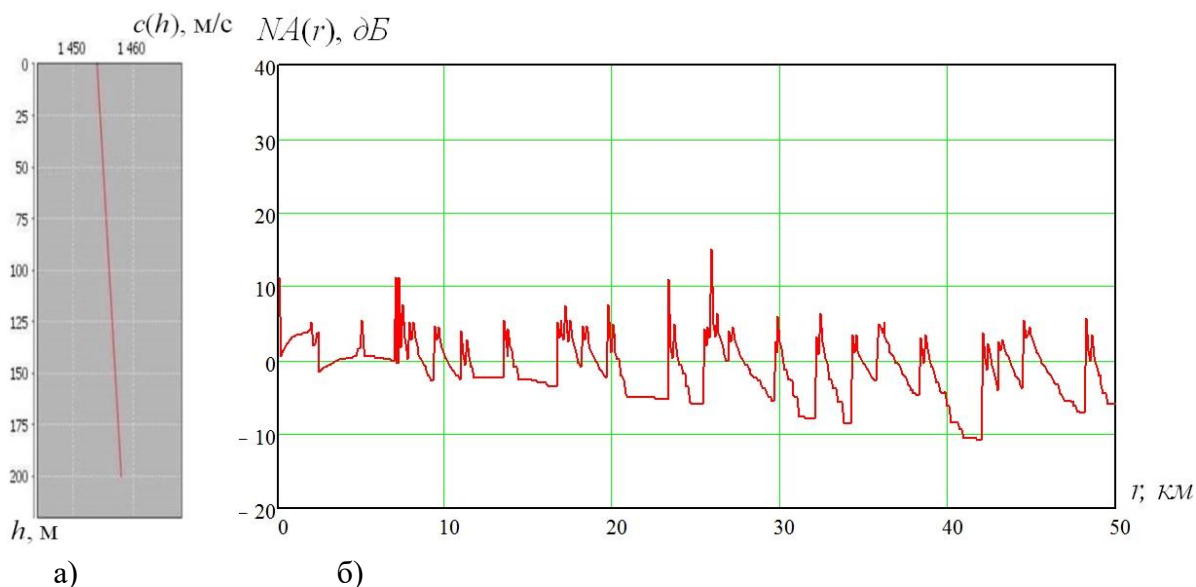


Рисунок 3 - Вид ВРСЗ (а) и результаты расчета зависимости АР от дистанции r (б)

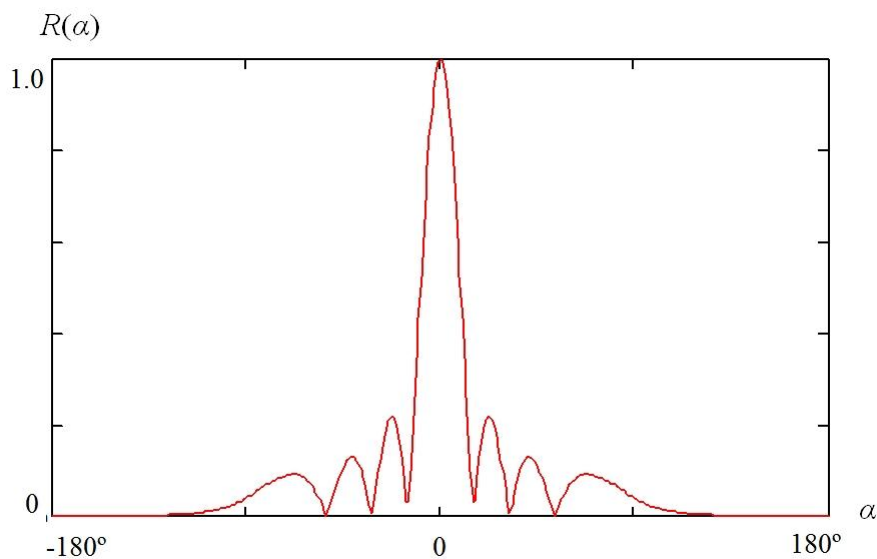


Рисунок 4 - Вид ДН приемной антенны ГЛС на рабочей частоте

Б) Модель изменения ожидаемой ЗН ГАС в условиях применения средств ГПД (ШП) с учетом ГАУ для режима ШП (заградительная шумовая помеха в пределах рабочего частотного диапазона)

Основное отличие моделирования ЗН в режиме ШП – это широкая полоса частотного диапазона (ЧД) приемника ГАС ШП и, следовательно, - необходимость дополнительного моделирования СПД широкополосных шумов (цели; естественных помех; искусственного шума, создаваемого ПП) - в виде массивов частотных отсчетов (Рисунок 5).

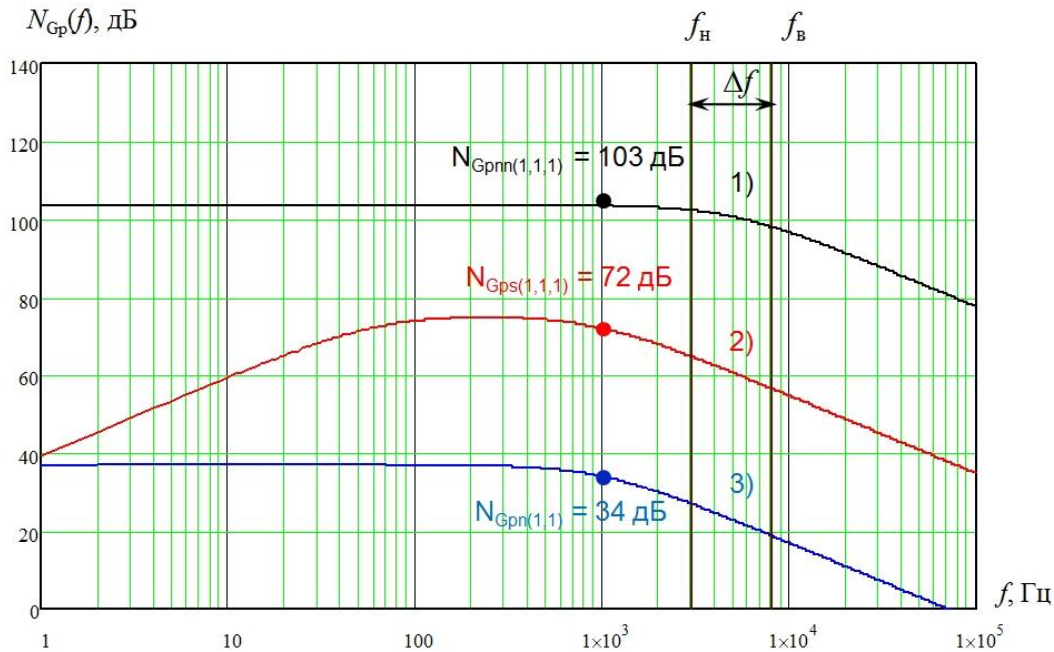


Рисунок 5 - Пример моделирования спектральной плотности квадрата давления (СПКД) $G_p(f)$ широкополосных шумов: СПКД искусственного шума ПП $G_{pnn}(f)$, приведенная к 1 м (1); СПКД шума цели $G_{psl}(f)$ (2), приведенная к 1 м; СПКД естественных шумовых помех $G_{pnl}(f)$ (3).

Как и в случае режима ГЛ, модель представлена в виде 5 основных элементов.

1. Моделирование (задание) СПД шума цели $G_{ps}(f)$ (рис. 5 (2)) и расчет зависимости эффективного давления полезного шумового сигнала от расстояния до цели в неоднородной среде (в рабочей полосе частот ГАС ШП) с учетом аномалии $A(r)$, рассчитанной на центральной частоте диапазона $f_0 = (f_n, f_b)^{0.5}$)

$$P_{s\Delta f}(r) = \sqrt{A(r)} \int_{f_n}^{f_b} \frac{G_{ps1}(f)}{r^2} 10^{-0.1\beta(f)r10^{-3}} df \quad (9)$$

2. Расчет параметров искусственной шумовой помехи, создаваемой ПП на входе приемника ГАС ШП:

- моделирование (задание) СПД $G_{pnn}(f)$ шума, создаваемого ПП в рабочей полосе частот ГАС ШП, на расстоянии 1 м, ненаправленной антенной, с заданным значением приведенного давления (Па) на частоте 1 кГц в полосе 1 Гц (Рисунок 5 (1))

$$G_{pnn(1,1,1)} = \frac{G_{pnn}(\Delta f_{nn}, 1, 1)}{\sqrt{\Delta f_{nn}}} = \sqrt{\frac{W_{nn} \rho c}{4\pi \cdot \Delta f_{nn}}} \quad (10)$$

где: $G_{pnn}(\Delta f_{nn}, 1, 1)$ - приведенное давление (Па), создаваемое ПП на расстоянии 1 м, ненаправленной антенной, в полосе частот действия ПП Δf_{nn} (Гц);

- расчет зависимости эффективного давления искусственной шумовой помехи от расстояния до ПП r_n , углового направления α при заданном КУ ПП β_{nn} , в полосе приема

$$P_{nm\Delta f}(\alpha, r_n) = \sqrt{A(r_n)} R(\alpha + \beta_{nm}) \int_{f_n}^{f_g} \frac{G_{pnm}(f)}{r_n^2} 10^{-0.1\beta(f)r_n 10^{-3}} df \quad (11)$$

где: $R(\alpha)$ - ХН приемной антенны ГАС ШП (в горизонтальной плоскости) на центральной частоте ЧД (рис.8).

3. Расчет эффективного давления суммарной помехи на входе приемника ГАС ШП (т.е. на выходе приемной антенны) в условиях естественных шумовых помех и дополнительного воздействия ПП:

- моделирование (задание) СПД $G_{pn}(f)$ естественных шумовых помех (шумов моря и собственной гидродинамической помехи) и расчет эффективного давления шумовой помехи на выходе приемной антенны

$$P_{un\Delta f} = \int_{f_n}^{f_g} \frac{G_{pn}(f)}{\gamma(f)} df, \quad (12)$$

где: $\gamma(f)$ - коэффициент помехоустойчивости приемной антенны частоте;

- расчет суммарной помехи

$$P_{n(\Delta f)\Sigma(\Gamma\Pi\Pi)}(\alpha, r_n) = \sqrt{P_{un\Delta f}^2 + P_{nm\Delta f}(\alpha, r_n)^2} \quad (13)$$

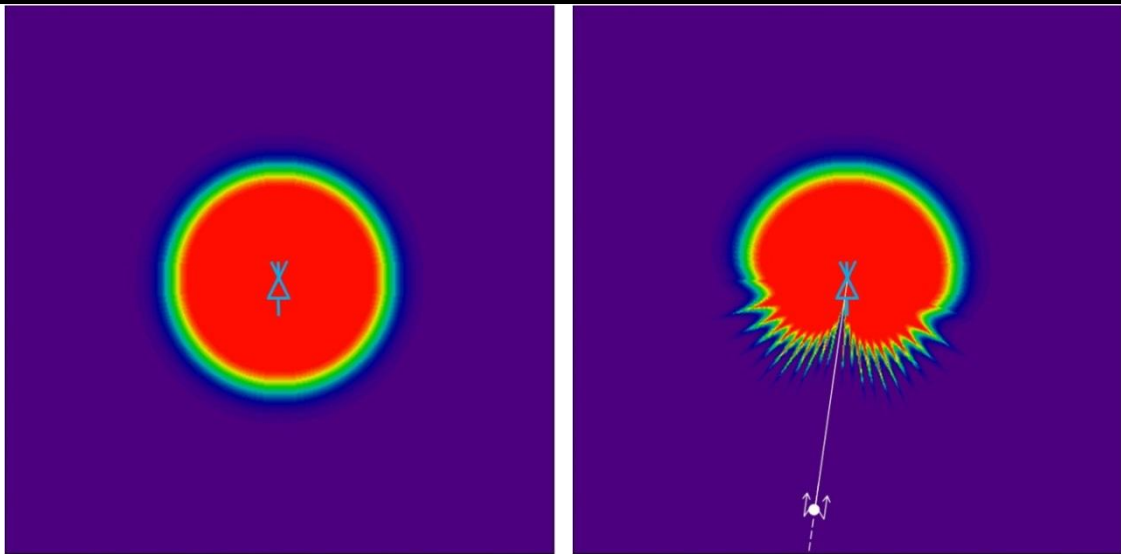
4. Расчет зависимости выходного ОСП обнаружителя (по давлению) от расстояния до цели, расстояния до ПП и направления наблюдения (с учетом заданного КУ ПП). В частности, для энергетического приемника (полосовой фильтр-квадратичный детектор-интегратор) с полосой приема Δf и временем накопления сигнала T , выходное ОСП равно [6,7]

$$d_{(\Gamma\Pi\Pi)}(\alpha, r, r_n) = \frac{P_{s(\Delta f)}(r)}{P_{n(\Delta f)\Sigma(\Gamma\Pi\Pi)}(\alpha, r_n)} \sqrt{\Delta f T} \quad (14)$$

5. Расчет пространственной зависимости ВПО в условиях ГПД в соответствии с РХО конкретного обнаружителя (ГАС ШП) (для заданных координат ПП: расстояния r_n и курсового угла β_{nm})

$$P_{\text{по}(\Gamma\Pi\Pi)}(\alpha, r) = \Phi\left(d_{(\Gamma\Pi\Pi)}(\alpha, r, r_n) - \Phi^{-1}(1 - P_{\text{лт}})\right) \quad (15)$$

Примеры результатов расчетов и визуализации ЗН в виде пространственной зависимости ВПО для позиционной ГАС ШП приведены на Рисунок 6 и Рисунок 7.

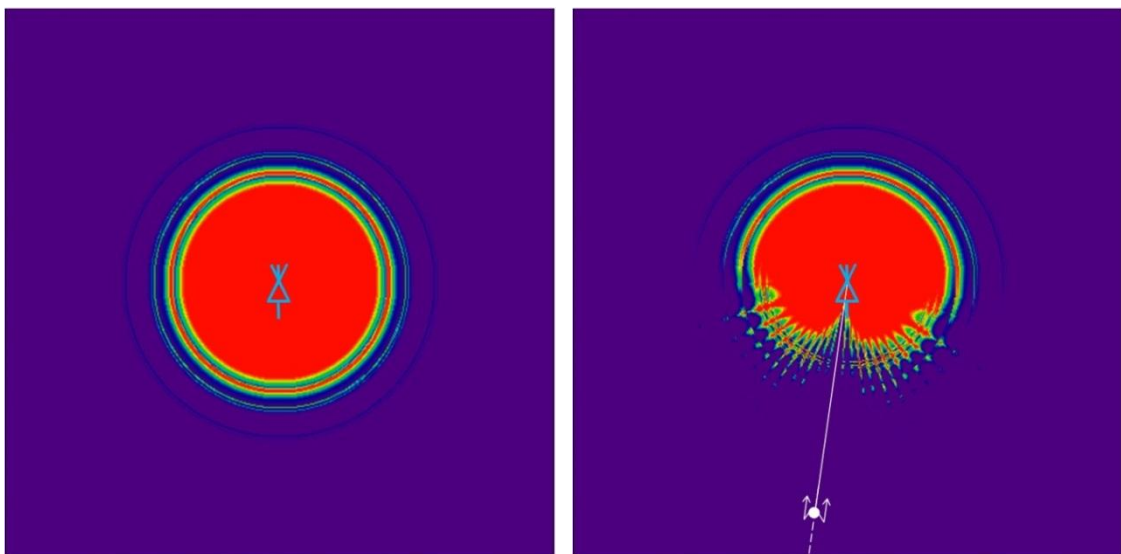


а)

б)

Рисунок 6 - Модель ЗН ГАС ШП в условиях БОС для произвольных значений $P_{\text{по}}$ с учетом РХО приемника (энергетическая дальность действия ГАС ШП $D_0=9$ км):

- а) в условиях только естественных помех;
- б) в условиях ГПД (воздействия дополнительной искусственной помехи, создаваемой ПП: $KU_{\text{пп}}=-182$; $r_{\text{п}}=20$ км).



а)

б)

Рисунок 7 - Модель ожидаемой ЗН позиционной ГАС ШП в условиях неоднородной среды (тип ВРСЗ – Рисунок 3а), с учетом РХО приемника для произвольных значений $P_{\text{по}}$:

- а) в условиях только естественных помех;
- б) в условиях ГПД (воздействия дополнительной искусственной помехи, создаваемой ПП: $KU_{\text{пп}}=-182$; $r_{\text{п}}=20$ км).

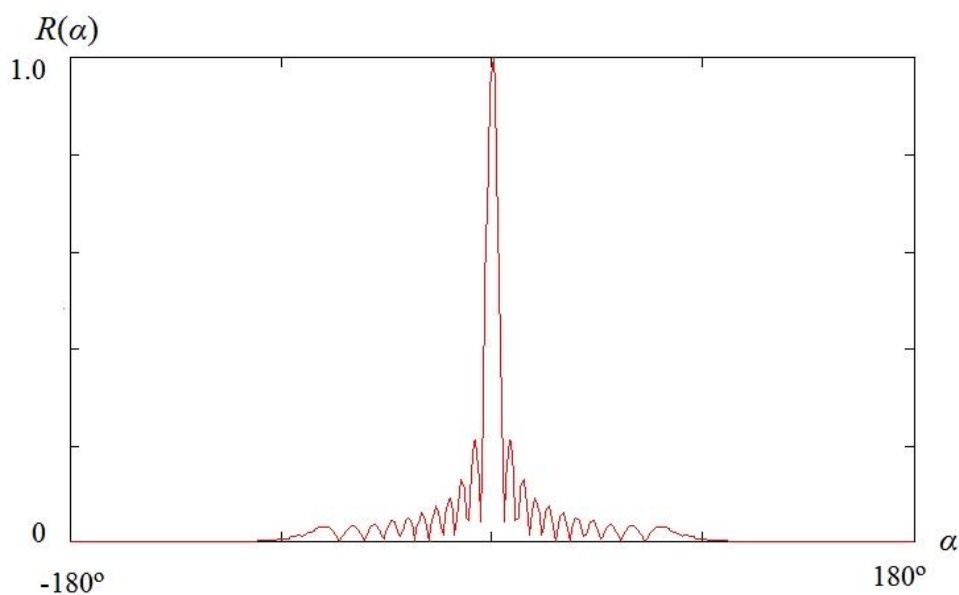


Рисунок 8 - Вид ДН приемной антенны ГАС ШП на средней частоте ЧД

Предлагаемые модели могут быть использованы при разработке перспективных программных комплексов оценки эффективности систем освещения подводной обстановки (с применением геоинформационных технологий) [8,9], а также в системах поддержки принятия решений по освещению подводной обстановки в составе перспективных ГАК НК и ПЛ [10,11].

При этом следует подчеркнуть, что при оценке эффективности ГАС в условиях гидроакустического противодействия особую важность приобретает учет влияния конкретных ГАУ в районе наблюдения, причем как на поле принимаемого полезного сигнала, так и на поле искусственного шума, создаваемого ПП. Учет влияния неоднородной среды (в отличие от традиционного энергетического подхода) позволяет сделать вывод о том, что влияние искусственных помех, создаваемых ПП, на уменьшение площади ожидаемой ЗН ГАС и увеличение зоны маскирования - определяется не только и не столько расстоянием от ГАС до ПП, сколько сложной пространственной зависимостью АР и, в частности, значением АР для взаимной дистанции между ПП и ГАС. Для уменьшения негативного влияния искусственных помех на эффективность ГАС необходимо выбирать позицию на расстоянии от ПП, соответствующем минимальному значению $A(r_{п})$, особенно в условиях зональной структуры поля.

Список литературы

1. Хагабанов С.М. Защита гидроакустических средств в условиях гидроакустического противодействия // Гидроакустика. 2012. Вып. 16. С. 70-76.
1. Ильин А.П. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы. Учебник. – СПб: ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». 2012. 483с.
2. Осипов В.Ю., Ильин А.П., Фролов В.П., Кондратюк А.П. Радиоэлектронная борьба. Теоретические основы. Учебное пособие. – Петродворец: ВМИРЭ. 2006. 302с.
3. Фролов В.П. Оценка эффективности РЭБ в боевых действиях подводных лодок ВМФ. – Петродворец: ВМИРЭ. 2002. 114с.

4. Малый В.В., Корольков А.А., Ибрахим А. Модели ожидаемых зон наблюдения гидроакустических средств в условиях гидроакустического противодействия. // Гидроакустика. 2024. Вып. 58 (2). С. 62-71.
5. Ван-Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. – М.: Сов. радио. т.1. 1972. 744с.
6. Сапрыкин В.А., Рокотов С.П. Теория гидроакустики и цифровая обработка сигналов. Часть 2. – Петродворец: ВВМУРЭ им. А.С. Попова. 1991. 415с.
7. Ермолаев В.И., Каришнев Н.С., Попович В.В., Потапычев С.Н. Индикаторы тактической обстановки для операторов гидроакустических средств // Морская радиоэлектроника. 2017. № 3 (61). С. 28-33.
8. Ермолаев В.И. Оптимизация применения гидроакустических средств в условиях пространственно-временной изменчивости океанической среды // Гидроакустика. 2023. Вып. 53 (1). С. 60-70.
9. Прокаев А.Н. К вопросу о системах поддержки принятия решений операторами гидроакустических средств подводных лодок // Гидроакустика. 2018. Вып. 34 (2). С. 48-54.
10. Прокаев А.Н. Система поддержки принятия решений как основа для создания интеллектуального гидроакустического комплекса // Гидроакустика. 2020. Вып. 43 (3). С. 42-49

References

2. Nagabanov S.M. Sonar means protection in the conditions of hydroacoustic suppression // Hydroacoustics. 2012. № 16. pp. 70-76.
3. Ilyin A.P. Theoretical foundations of electronic warfare. Textbook. – SPb: Naval Academy named after N.G. Kuznetsov, 2012, p. 48.
4. Osipov V.Y., Ilyin A.P., Frolov V.P., Kondratjuk A.P. Electronic warfare. Theoretical foundations. Textbook. – *Peterhof*: Higher Naval School of Radio Electronics named after A.S. Popov. 2006. p. 302.
5. Frolov V.P. Evaluation of the effectiveness of radioelectronic warfare in combat operations of Navy submarines. – *Peterhof*: Higher Naval School of Radio Electronics named after A.S. Popov, 2002. p. 114.
6. Malyj V.V., Korolkov A.A., Ibrahim A. Models of the expected surveillance zone for sonars under the conditions of the hydroacoustic suppression // Hydroacoustics. 2023. No 58(2). . pp. 62-71.
7. Harry L. Van Trees. Detection Estimation and Modulation Theory, Part I: Detection, Estimation, and Filtering Theory. – George Mason University, 1972, p. 744.
8. Saprykin V.A., Rokotov S.P. Theory of hydroacoustics and digital signal processing. Part 2. – *Peterhof*: Higher Naval School of Radio Electronics named after A.S. Popov, 1991. p. 415.
9. Ermolaev V.I., Karishnev N.S., Popovich V.V., Potapychev S.N. Indicators of tactical situation (situational awareness) for hydroacoustic equipment operators // Hydroacoustics. 2017. No 3(61). pp. 28-33.
10. Ermolaev V.I. Optimization of sonar means application under spatiotemporal variability of oceanic environment // Hydroacoustics. 2023. No 53(1). . pp. 60-70.

11. Prokaev A.N. On submarine sonar means decision support system // Hydroacoustics. 2018. No 34(2) . pp. 48-54.
 12. Prokaev A.N. Decision making support system as the basis for creating an intelligent sonar suite // Hydroacoustics. 2020. No 43(3) . . pp. 42-49.
-