



СОДЕРЖАНИЕ

Статьи

<i>Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А.</i> Мобильные подводные роботы в современной океанографии и гидрофизике.....	4
<i>Шейнман Е.Л.</i> Критерии и алгоритмы оценки эффективности комплексирования информации в многоканальной информационной системе.....	14
* <i>Трусова О.И.</i> Программно-методический комплекс анализа данных при проведении испытаний стационарных гидроакустических систем.....	25
* <i>Семенов Н.Н.</i> Обнаружение сложного искусственного объекта, лежащего на грунте.....	36
* <i>Шолохов А.С.</i> Многоканальное цифровое устройство для имитации углового положения объектов в комплексах полунатурного моделирования гидроакустических сигналов.....	44
* <i>Дерновский В.Л.</i> Моделирование влияния вибраций на формирование изображения в теневых приборах с учётом конечных размеров источника света.....	50
* <i>Васильев А.Д., Терешкин А.А.</i> Экспериментальное исследование волнового гравитационного течения в канале.....	59

Рецензии на книги

Малышкин Г.С. Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов. Том 1.	64
---	----

Из истории науки

115 лет со дня рождения академика В.В.Шулейкина.....	65
100 лет диссертации Д.И.Менделеева «О соединении спирта с водой».....	69
Поздравляем	72
Внимание, конкурс!	77
Правила представления материалов в редакцию.....	80

* Доклады прочитаны на Первой конференции молодых ученых и специалистов «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (МАГ-2009).

CONTENTS

Articles

<i>Gizitdinova M.R., Kuzmitsky M.A.</i> Mobile Underwater Robots in Modern Oceanography and Hydrophysics	4
--	---

In article the current state and prospects of development of system of the problems solved within the limits of hydrophysical researches of the World ocean, and system of means with which help these problems can be solved is analyzed. Modern position with oceanographic researches in the Russian Federation, the place and the role of mobile underwater robots (or UUVs) in their further development is considered. Dual character of missions which can effectively carry out UUVs in solving civil problems (research and commercial) and military-oriented problems is underlined. Advantages of use of independent networks of oceanographic measurements on the basis of UUVs are estimated. The spectrum functionally focused UUVs for achieving the primary goals of underwater researches is resulted.

Key words: the mobile underwater robot, hydrophysical researches, oceanography, independent networks.

<i>Sheinman E.L.</i> Criteria and Algorithms of the Efficiency Estimation of the Information Integration in Multichannel Information Processing System.....	14
---	----

The problem of the efficiency estimation of the information integration in multichannel information processing system is considered. The concept of a complex task of object detection (detection - classification - determination of position) for multichannel information processing system is determined, taking into account identification of signals, which have been detected in various information channels. Probabilistic criteria and analytical algorithms of the efficiency estimation of the complex task of object detection in multichannel information system are developed.

Key words: information integration efficiency, multichannel information processing system, efficiency criteria, identification of signals.

<i>Trusova O.I.</i> Program-methodical Data Analysis Complex in Tested Stationary Sonar Systems.....	25
--	----

The report considers a program-methodical analysis complex of data obtained in tests of stationary hydroacoustic systems. We consider a method for analyzing the characteristics of sonar signals, methods of analyzing the characteristics of reverberation and mode structure of the acoustic waveguide. Results of the analysis of experimental data of the high-frequency active sonar, held in shallow sea, are described.

Key words: sonar signals, reverberation, mode structure of waveguide, active sonar, methods of analyzing the characteristics, experimental data.

<i>Semenov N.N.</i> Detection of complex artificial object lying on the ground	36
--	----

Results of numerical modeling of a small-sized sonar are resulted at detection and estimation of parameters of the complicated artificial object lying at the bottom.

Key words: sonar, echosignal, bottom reflection, beam spread, interference.

<i>Sholokhov A.S.</i> Multichannel digital device for imitation of angular position of objects in complexes of half-scale modelling of hydroacoustic signals.....	44
---	----

Principles of construction of multichannel digital device are considered, allowing to model angular position of object of hydrolocation with use of electric channel of reception path of the test system. Device allows to expand opportunities of complexes of half-scale simulation, including multichannel electronic simulator of hydroacoustic signals, acoustical array and hydropool.

Key words: modelling, seminatural, the simulator, the shaper, time shift.

<i>Dernovsky V.L.</i> Simulation of vibration influence on image forming in schlieren visualizer of marine density inhomogeneities subject to finite size of light source.....	50
--	----

Simulation of image forming in autocollimating schlieren visualizer of marine density inhomogeneities, subject to vibration of hydrophysics apparatus carrier, is completed. Method of illumination field computing is brought. Illumination field is computed on the surface of the photodetector array, subject to inhomogeneities absence in viewing volume, for either coherent or incoherent light source.

Key words: schlieren device, simulation, vibration, image forming, finite size of light source.

<i>Vasiliev A.D., Tereshkin A.A.</i> Experimental research of the gravitational wave channel flow.....	59
--	----

This paper describes a research of wave and turbulent processes in the channel to the sudden destruction of bridges, which separates the initial time two liquids of different densities in the channel are made in the laboratory Department of fluid mechanics and marine acoustics of St. Petersburg State Marine Technical University. Processes taking place in the channel were recorded on a digital camera. The resulting video was divided into frames and the most interesting moments were represented. Evaluation of wave propagation velocity, the Reynolds number and Froude number was produced.

Key words: internal waves, stable and unstable stratification, visualization of the wave motion, the Boussinesq approximation.

УДК 681.883.022: 681.883.65

© Семенов Н.Н.¹
nsemenoff@mail.ru**ОБНАРУЖЕНИЕ СЛОЖНОГО ИСКУССТВЕННОГО ОБЪЕКТА,
ЛЕЖАЩЕГО НА ГРУНТЕ**

Приведены результаты численного моделирования работы малогабаритного гидролокатора при обнаружении и оценке параметров сложного искусственного объекта, лежащего на дне.

Ключевые слова: гидролокатор, эхосигнал, отражение от дна, лучевое распространение, интерференция.

В настоящее время существует большое количество методик расчета распространения эхо-сигнала от сложного искусственного объекта, находящегося в толще воды, в то время как обнаружение такого объекта, лежащего на дне, практически не рассматривалось в доступной литературе. Рассмотрим канал обнаружения малогабаритного гидролокатора, размеры которого не позволяют различать направление прихода различных трасс распространения эхосигнала, движущегося на небольшом расстоянии от грунта, в процессе поиска объекта, возвышающегося над грунтом на единицы метров (объект локации лежит на грунте). Задача исследования – определить параметры сигнала на выходе согласованного с зондирующим сигналом приемника с учетом всех трасс распространения сигналов методами численного моделирования и оценить параметры обнаружения.

Вторичное поле объекта локации имеет зеркальную и диффузную составляющие. Зеркальная составляющая формируется при отражении от нормальных и близких к нормальным к направлению падающей волны участков гладкой поверхности, размеры которых значительно превосходят длину волны зондирующего сигнала [1], а также участки корпуса, площадь поперечного сечения которых в направлении распространения волны меняется наиболее интенсивно [2]. При этом отраженные сигналы от разных участков объекта являются когерентными. Диффузная составляющая вторичного поля не рассматривается ввиду малости (при когерентном приеме).

Для моделирования процесса распространения сигнала от искусственного объекта, лежащего на дне, будем считать, что отраженный сигнал состоит из суммы сигналов, отраженных от разных элементов объекта, каждый со своей фазой, амплитудой и частотой, когерентный зондирующему с доплеровским искажением. Форма зондирующего сигнала $g(t)$, принятого – $s(t)$:

$$s(t) = \sum_{i=1}^N D \cdot g(k \cdot t - \tau_i) \cdot \frac{R_{\Theta_i}}{2},$$

где D – масштабный множитель, зависящий от дистанции и коэффициента поглощения среды, N – количество «бликующих точек» цели на текущем КУ, R_{Θ_i} – амплитудный множитель, связанный с эквивалентным радиусом i -й точки, k – масштабный множитель времени, характеризующий эффект Доплера ($k = (1-u/c)/(1+u/c)$). При малых собственных скоростях движения носителя и неподвижности объекта локации $k = 1$.

¹ Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Модель среды принята однородной и дно плоским. Материал дна принимался песчаным, алевритовым и илистым, параметры плотности и скорости звука взяты из [3, 4]. Расстояние по глубине от бликующей точки до дна $dz = 2$ м, зондирующий сигнал – фазоманипулированная последовательность с длиной кода 127, длительностью дискреты 1 мс, частотой несущей 20 кГц и разрешением 1 мс. Волновое число $k = 2 \cdot \pi \cdot f / c$. Порог обнаружения принят 4.86 СКВО помехи. Давление излучателя на дистанции 1 м равно 10^5 Па на частоте излучения.

Эхосигнал от каждой бликующей точки моделируется как сумма четырех эхосигналов (рис. 1). Отражение одной и той же бликующей точкой как в направлении прямого луча, так и отраженного от дна является сознательным допущением, позволяющим проверить функционирование модели в наиболее сложных условиях, при которых теоретически возможно полное вычитание прямого и отраженного сигналов при пологой траектории распространения.

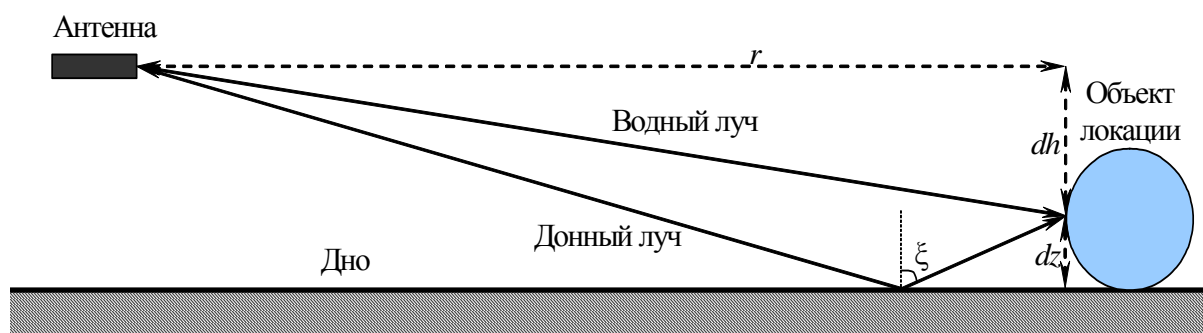


Рис. 1. Траектории распространения сигнала.

Рассматриваемые лучи на рис. 1: эхосигнал вода-вода (т.е. не имеющий составляющей, зависящей от дна), вода-дно, дно-вода и дно-дно. Для каждого слагаемого эхосигнала вычислим свою дистанцию, добавим коэффициент отражения от дна и фазовую задержку, появляющуюся при отражении от не абсолютно упругого дна.

Луч вода-вода представляет собой обычный эхосигнал с помехами, который использовался для тестирования модели классификатора. Задержка на распространение сигнала по такому лучу вычисляется как $2 \cdot R_{vv} / c$.

Лучи вода-дно и дно-вода имеют одинаковую структуру, учитывают коэффициент отражения от дна $\text{abs}(V_d)$, фазовый сдвиг при отражении ϕ и задержку на распространение сигнала $(R_{vd} + R_{vv}) / c$. Таких сигналов приходит два, поэтому амплитуда суммируется на приемной антенне.

Луч дно-дно дважды отражается от дна, поэтому коэффициент отражения от дна у него будет $(\text{abs}(V_d))^2$, фазовый сдвиг $2 \cdot \phi$ и задержка на распространение сигнала $2 \cdot R_{vd} / c$.

Дистанция по водному лучу в одну сторону $R_{vv} = \sqrt{r^2 + dh^2}$.

Дистанция по донному лучу $R_{vd} = \sqrt{r^2 + (dh + 2 \cdot dz)^2}$.

Голландский математик В. Снеллиус еще 300 лет назад показал, как изменяется направление волн при переходе через границу двух сред с разными значениями c_1 и c_2 скорости распространения: $\sin q_1 / \sin q_2 = c_1 / c_2$; это известный со школьных времен закон преломления волн, или закон Снеллиуса. Нетрудно обобщить его и на случай среды, где скорость звука изменяется плавно: в такой среде волна также поворачивает плавно [5]. И при скачкообразном и при плавном изменении скорости волны всегда «стремятся» повернуть в том направлении, в котором уменьшается скорость их распростране-

ния, то есть сигнал будет отражаться от дна, так как скорость распространения в структуре дна выше, чем в воде.

Учитывая, что процесс отражения плоской волны по отношению к направлению ее хода симметричен [6], то коэффициент отражения как для зондирующего сигнала, отраженного от дна, так и для эхосигнала, отраженного от дна равен [7]:

$$V_d = \frac{m \cdot \cos(\xi) - M_2 - j \cdot M_1}{m \cdot \cos(\xi) - M_2 + j \cdot M_1},$$

где коэффициент плотности $m = \rho_{\text{дна}}/\rho_{\text{воды}}$, коэффициент преломления $n_0 = c/c_{\text{дно}}$, c – скорость звука, вспомогательные переменные: $M_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sqrt{A^2 + B^2} + A}$,

$$M_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sqrt{A^2 + B^2} - A}, B = 2 * n_0^2 \cdot \alpha, A = |\sin(\xi)^2 - n_0^2|.$$

Тогда фазовый сдвиг отраженного от дна сигнала [7]:

$$\varphi = -2 \cdot \text{arctg} \left(\frac{M_1}{m * \cos(\xi) - M_2} \right),$$

Результат вычисления коэффициента отражения в зависимости от дистанции показан на рис. 2:

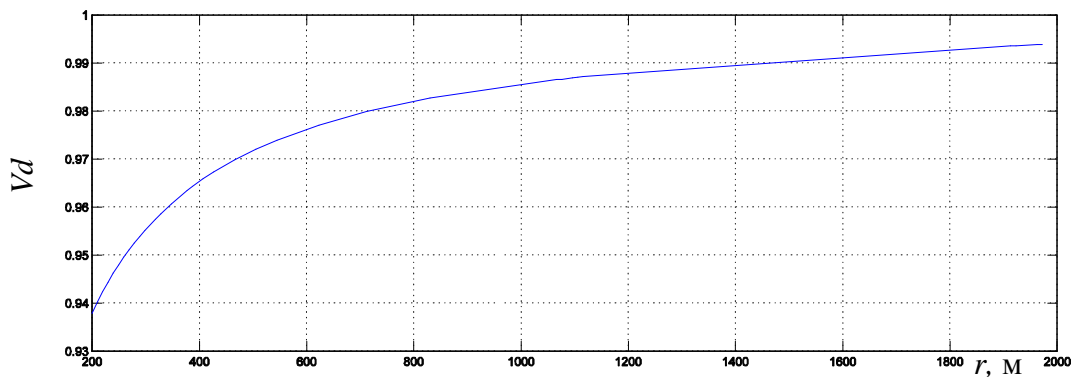


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения от дистанции.

На рис. 2 хорошо видно, что во всем диапазоне наблюдения коэффициент отражения по амплитуде близок к 1, то есть амплитуда отраженного сигнала близка к амплитуде падающего, что особенно заметно на больших дистанциях, когда траектория падения и отражения наиболее пологая. Причем значение этого коэффициента мало зависит от типа дна при пологих углах, то есть на больших дистанциях. Поэтому интересно вычислить зависимость фазового сдвига при отражении, чтобы понять, как будут суммироваться сигналы на приемной антенне. Результаты вычислений показаны на рис. 3.

Как видно на рис. 3, при увеличении дистанции фаза отраженного сигнала стремится к значению минус 180 градусов, то есть отраженный сигнал оказывается близким по амплитуде к падающему, но с противоположным знаком. Таким образом, существует вероятность того, что прямой луч и отраженный от дна при суммировании на приемной антенне будут вычитаться, и в наихудшем случае результат суммирования будет близок к нулю, то есть обнаружение такого лежащего на дне объекта может оказаться невозможным. Чтобы проверить это утверждение, была построена модель распространения эхосигнала от одной бликовой точки без помех. Суммарный эхосигнал строится на приемной антенне с учетом направления прихода лучей, эффекта Доплера и дистан-

ции, но так как расстояние от бликующей точки до дна оказывается мало, то направление прихода лучей практически не различить с помощью малогабаритного гидролокатора. Поэтому диаграмма направленности в области излучения и приема принята равной 1. Результаты моделирования для описанного ранее фазоманипулированного сигнала длительностью 127 мс показаны на рис. 4.

Наличие нескольких лучей распространения сигнала и согласованного приема позволяет увеличить мощность сигнала на выходе согласованного приемника, то есть полного вычитания прямого и отраженного от дна эхосигналов в среднем не происходит. Нижний прямой график показывает нормированный эхосигнал от объекта без учета отражения от дна. Два верхних графика показывают нормированную амплитуду сигнала на выходе согласованного с сигналом посылки фильтра при движении носителя на расстоянии 20 и 40 м от дна. На рис. 4 видно, что амплитуда сигнала имеет ярко выраженные максимумы и минимумы, связанные с тем, что прямой и отраженный от дна сигналы имеют различную длину траектории, и именно длина траектории более существенно влияет на суммирование сигналов на входе гидролокатора, чем фаза отраженного от дна сигнала. Но также видно, что при среднем значении нормированной амплитуды (около 2) ее значения ни на одной точке графика не оказываются меньше 1, что говорит о том, что учет отраженных от дна лучей не делает амплитуду эхосигнала меньше, чем без учета.

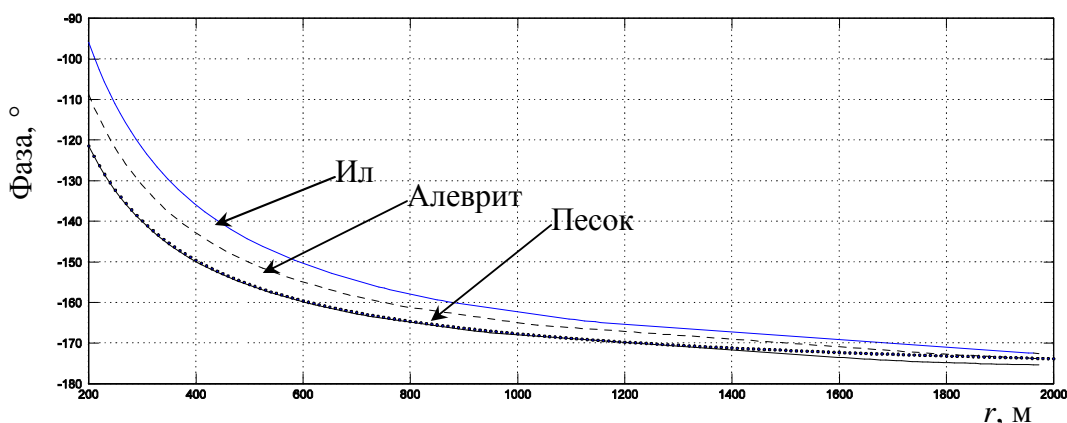


Рис. 3. Мощность эхосигнала в зависимости от глубины хода носителя и дистанции.

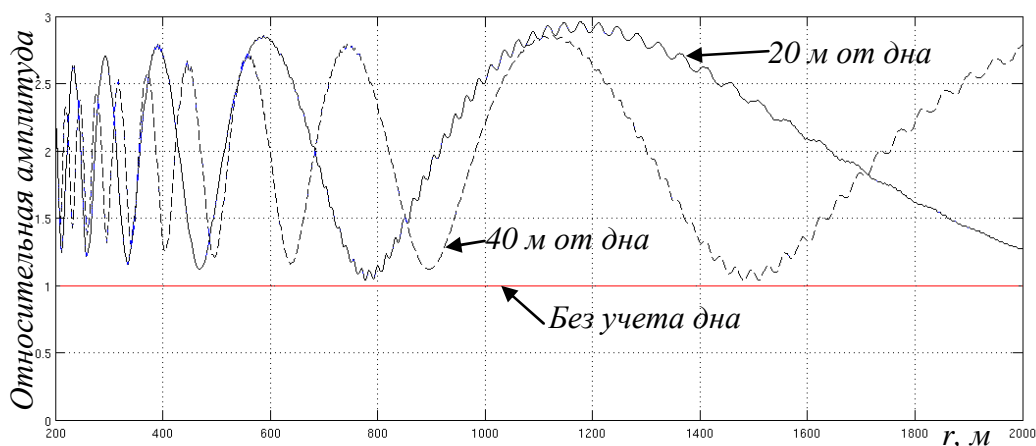


Рис. 4. Сравнение амплитуды эхосигнала с учетом и без учета дна.

При наличии на объекте локации нескольких бликовых точек, делимых по времени с помощью использования сложного сигнала, относительная амплитуда сигнала с учетом отражения от дна становится ближе к своему среднему значению. Чтобы проверить данное утверждение, было проведено моделирование, при котором эхосигнал формировался от 5 бликующих точек, разнесенных по дистанции через 5 м. Это позволило уменьшить эффект вычитания сигналов, так как при заданной длине зондирующего сигнала эхосигналы наложились друг на друга и суммарная энергия всего сигнала увеличилась. Эффект вычитания сигналов, распространявшихся по различным траекториям при этом проявляется не так ярко, как на рис. 4, в чем можно убедиться на рис. 5.

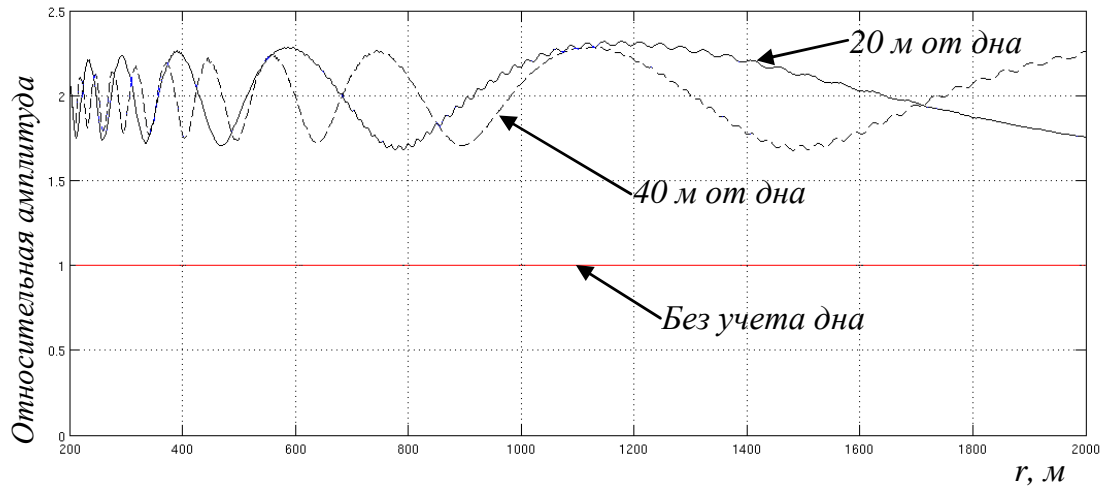


Рис. 5. Амплитуда эхосигнала от многобликовой цели.

Для построения численной модели процесса обнаружения сложного искусственного объекта, лежащего на дне, было необходимо построить модель помех. В данном случае самой сильной является реверберационная помеха, а именно объемная и донная реверберация [8].

Реверберационная помеха представляет собой принимаемый антенной решеткой собственный излученный сигнал, рассеянный границами раздела сред и неоднородностями морской среды. Спектральная плотность мощности граничной (поверхностной и донной) реверберации вычисляется следующим образом [9]:

$$g_{s,b}(f)^2 \approx \frac{10^{-0.2\beta r \cdot 10^{-3}}}{r^2 \tau_u} \int_{-\pi}^{\pi} d\varphi \int_{\Theta}^{\Theta + \frac{\tau_u}{t \cdot \text{tg} \Theta}} g_0^2(f / K_u K_{\Pi}) m_{s,b}(\Theta) D_{\Pi}^2[\varphi(t_{\Pi}), \Theta(t_{\Pi})] \times \\ \times D_{\Pi i}[\varphi(t_{\Pi}), \Theta(t_{\Pi})] D_{\Pi i}^*[\varphi(t_{\Pi}), \Theta(t_{\Pi})] \text{tg} \Theta \cdot d\Theta,$$

$$\Theta = \arccos[H / (ct / 2)], t > 2H / c,$$

где $(\theta(t), \varphi(t))$ – угол места элементарной площадки в момент времени t ; $D_{\Pi, \Pi}$ – ДН излучения и приема; $m_{b,s}$ – коэффициент обратного рассеяния поверхностью

и дном моря; $K_u K_{\Pi} = \frac{1 + \frac{V_A}{c} [\sin \Theta(t_{\Pi}) \cos \varphi(t_{\Pi})]}{1 - \frac{V_A}{c} [\sin \Theta(t_{\Pi}) \cos \varphi(t_{\Pi})]}$ – доплеровские коэффициенты; при этом

$D_{\Pi, \Pi}$ углы берутся в моменты времени $t_{\Pi, \Pi}$.

В случае объемной реверберации в качестве отражателя излученной посылки выступает слой воды, и выражение спектральной плотности мощности выглядит так [9]:

$$g_v(f) \approx \frac{10^{-0.2\beta r \cdot 10^{-3}}}{r^2 \tau_{и}} \int_{-\pi}^{\pi} d\varphi \int_r^{r+\frac{c\tau_{и}}{2}} dr \int_{\Theta_b}^{\Theta_h} g_0^2(f / K_{и} K_{п}) m_v D_{и}^2[\varphi_1, \Theta_1] D_{п}^2[\varphi_1, \Theta_1] \sin \Theta \cdot d\Theta,$$

где $\Theta_b = \arccos\left[-\frac{H_{сл} + H_a}{r}\right]$; $\Theta_h = \arccos\left[-\frac{H_{сл} - h + H_a}{r}\right]$.

Для расчета давления эхосигнала на входе антенной решетки воспользуемся следующим выражением [10]:

$$p_c = \frac{p_0}{r^2} \cdot 10^{-0.1\beta r} \cdot \frac{R_э}{2} \cdot |D_{и}(\varphi, \Theta)| \cdot |D_{п}(\varphi, \Theta)|,$$

где $R_э$ – эквивалентный радиус объекта локации, м; $|D_{и}(\varphi, \Theta)|$ – модуль характеристики направленности излучающей антенны в направлении объекта (φ, Θ) ; $|D_{п}(\varphi, \Theta)|$ – модуль характеристики направленности приемной антенны в направлении объекта (φ, Θ) ; p_0 – давление сигнала в поле антенной решетки в момент посылки на расстоянии 1 м (10^5 Па).

Для моделирования процесса формирования эхосигнала от сложного искусственного объекта, лежащего на дне, на фоне реверберационной помехи была построена численная модель, структура которой показана на рис. 6.

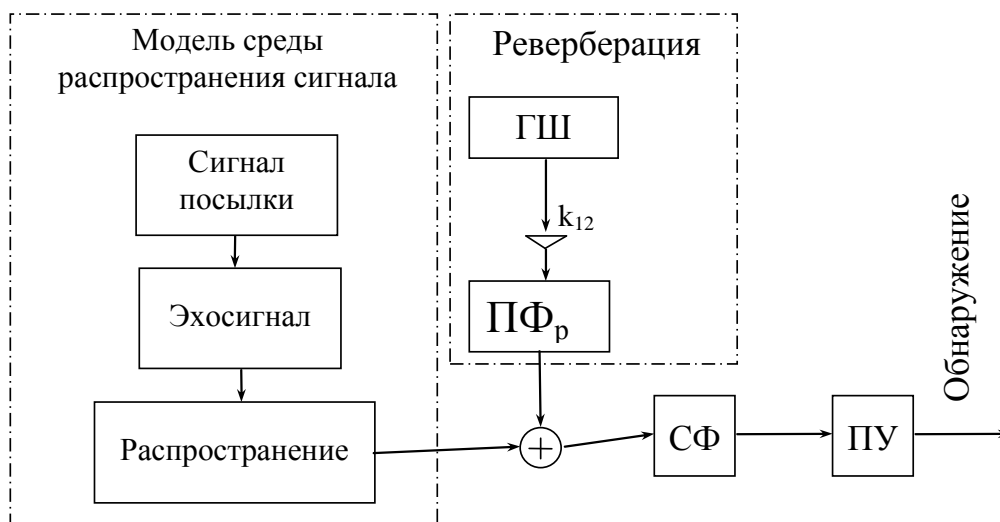


Рис. 6. Структурная схема имитационной модели.

Сигнал посылки преобразуется в эхосигнал, подвергается задержкам и фазовым искажениям, складывается с независимой нестационарной реверберационной помехой, попадает на согласованный фильтр (СФ) и пороговое устройство (ПУ). Для вычисления статистических параметров обнаружителя процесс обнаружения повторяется 200 раз для каждой дистанции и вычисляется вероятность правильного обнаружения при заданном в начале статьи пороге.

Результаты моделирования показаны на рис. 7. Яркость бликов принята 2 м, количество бликов – 5, расстояние между бликами 5 м, глубина моря 200 м, глубина хода носителя 160 м, бликующие точки расположены на расстоянии 2 м от дна.

На рис. 7 видно, что отношение сигнал-помеха в случае отражения сигнала от дна оказывается выше, чем в случае прямого распространения без учета дна, даже при моделировании распространения эхосигнала в условиях реверберационных помех. Волнообразная форма ОСП для сигнала с учетом отражения от дна связана с тем, что амплитуда сигнала на выходе согласованного фильтра тоже меняется волнообразно от дистанции (это видно на рис. 5). При установке порога обнаружения, равного 4.86 СКВО помехи, получим следующий график вероятности обнаружения, показанный на рис. 8.

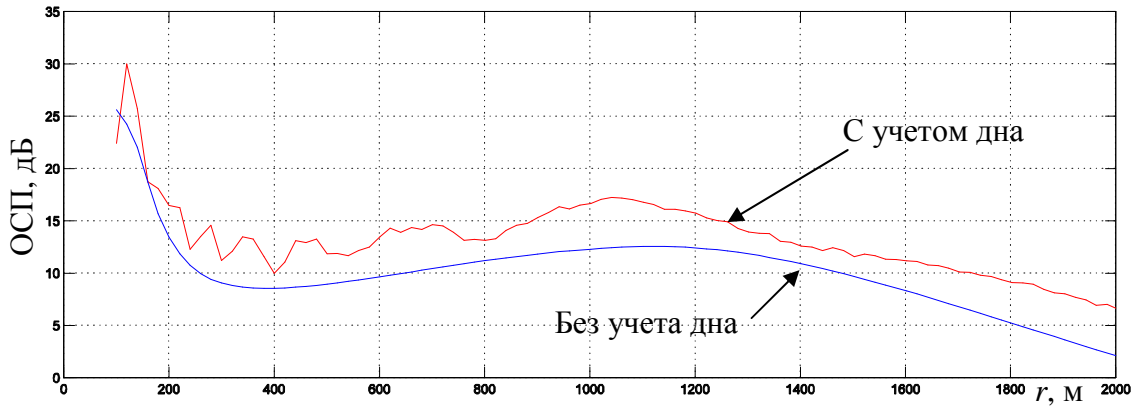


Рис. 7. Отношение сигнал-помеха в зависимости от дистанции.

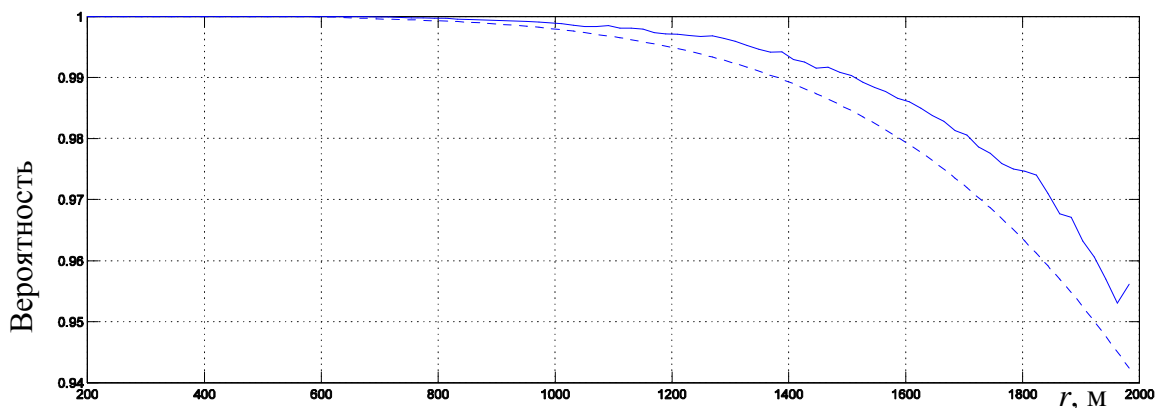


Рис. 8. Вероятность обнаружения в зависимости от дистанции.

Вероятность обнаружения объекта, лежащего на дне, тоже имеет волнообразный характер, как и график ОСП, но на рис. 8 это практически незаметно, так как основные изменения ОСП происходят в той зоне, где вероятность обнаружения асимптотически близка к 1. Но во всем диапазоне рассматриваемых дистанций вероятность обнаружения объекта, лежащего на дне, оказывается не меньше, чем обнаружение такого же объекта в толще воды.

Выводы по результатам моделирования:

1. Фаза отраженного от дна сигнала при пологой траектории распространения сигнала близка к $-\pi$, а коэффициент отражения близок к 1, то есть отраженный сигнал является практически копией падающего, но с противоположной фазой при пологих углах отражения для любого типа дна.

2. Несмотря на то, что в приемнике гидролокатора суммируются сигналы, подверженные фазовым разворотам, полного вычитания не происходит, так как различия в длинах траекторий оказывают намного большее влияние на фазовые соотношения сигналов.

3. В принятых условиях сложные искусственные объекты могут быть обнаружены на фоне плоского дна с помощью малогабаритного гидролокатора, и дистанция такого обнаружения оказывается не менее дистанции обнаружения аналогичного объекта, расположенного в толще воды.

Литература

1. Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике. Сб. докл. Всерос. науч. конф. Муром, 1-3 июля 2003 г. Муром: Изд. полиграфический центр МИ ВлГУ, 2003. С.22–27.
2. Радиолокационное распознавание и методы математического моделирования / Под ред. Я.Д.Ширмана // Радиолокация и телеметрия. 2000, № 2. С.123-150.
3. Клей К., Медвин Г. Акустическая океанография. М.: Мир, 1980. 280 с.
4. Лысанов Ю.П., Бунчук А.В. Обратное рассеяние звука случайными неоднородностями подводного грунта в мелководных районах океана. Акустические волны в океане. Сб. статей. М.: Наука, 1987. 214 с.
5. Студеничник Н. В. Исследования коэффициента отражения звука от дна в диапазоне углов полного внутреннего отражения // Доклады VIII школы-семинара акад. Л.М.Бреховских, «Акустика океана». 2000. ГЕОС. Москва. С.161-165.
6. Шендеров Е.Л. Излучение и рассеяние звука. Л.: Судостроение, 1989. 304 с.
7. Бреховских Л.М., Годин О.А. Акустика слоистых сред. М.: Наука, 1989. 416 с.
8. Бреховских Л.М. Акустика океанской среды. М.: Наука, 1989. 222 с.
9. Белов Б.П., Камнев Ю.Г., Огарковская Т.Б., Семенов Н.Н., Шангин К.Ю., Щукин А.Е. Система автоматизированного проектирования гидроакустических антенн "САД-А": Учеб.пос. СПб.: СПбГМТУ, 1997. 76 с.
10. Евтютов А.П., Митько В.Б. Инженерные расчеты в гидроакустике. Л.: Судостроение, 1988. 255 с.

Статья поступила в редакцию 27.11.2009 г.

