



## СОДЕРЖАНИЕ

### Статьи

<i>Клячкин В.И.</i> Информационная интеграция гидрофизических и гидроакустических полей.....	4
<i>Левин И.М., Долин Л.С., Франгузов О.Н., Родионов М.А., Осадчий В.Ю., Савченко В.В.</i> Глубинные профили гидрофизических параметров в Баренцевом море применительно к проблеме лидарного зондирования.....	16
<i>Зимин А.В., Николаев В.Г., Родионов А.А.</i> Внутренние волны и их проявления на морской поверхности во время приливного цикла в Белом море.....	25
<b>Итоги Первой конференции молодых ученых и специалистов «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (МАГ-2009).....</b>	<b>30</b>
<i>Каган Б.А., Софьина Е.В.</i> Сезонная изменчивость приливной волны $M_2$ в Северном Ледовитом океане.....	31
<i>Силина Т.А.</i> Алгоритмы комплексирования информации в системе подводного наблюдения, построенной по сетцентрическому принципу.....	38
<i>Семенов Н.Н.</i> Определение курсового угла подводного объекта по одному наблюдению при использовании сложного сигнала и когерентного приема.....	46
<i>Жиляев Е.А., Павлов А.А., Чернядев Е.В.</i> Автономная дистанционно управляемая сейсмогидроакустическая станция наблюдения за сигнально-помеховой обстановкой.....	51
<b>Перспективные направления развития науки и техники</b>	
<i>Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А.</i> Использование мобильных подводных роботов в решении современных проблем в Мировом океане.....	59
<b>Хроника.....</b>	<b>66</b>
<b>Внимание, конкурс!.....</b>	<b>69</b>
Информация о конференции ГА-2010.....	71
Правила представления материалов в редакцию.....	72

# CONTENTS

## Articles

- Kljachkin V.I.* Information Integration of Hydrophysical and Hydroacoustic Fields..... 4

In the present work the dynamic and information model of hydroacoustic and hydrophysical algorithmic systems interaction is considered with the view of designing of optimized (adaptive) procedures for weak signal allocation in the presence of masking interference, and also for estimation of unknown parameters of HA and HP field sources movement. Physical basis of these problems solving is the difference in field generation and propagation mechanism under their information interaction.

**Key words:** random fields, dynamics, information, adaptation, estimation, signal, noise.

- Levin I.M., Dolin L.S., Frantuzov O.N., Rodionov M.A., Osadchy V.Yu., Savtchenko V.V.*  
Measurement of Depth Profiles of Optical and Hydrophysical Parametres  
in the Barents Sea: Application to Lidar Sensing Problem..... 16

Lidar detection of hydrophysical nonhomogeneity, such as internal waves or turbulence, is possible if there is marked stratification of the depth profiles of attenuation coefficient and the fluid density, and if the lidar echo-signal from pycnocline area is sufficiently large. A new submersible instrument for attenuation coefficient measuring was developed and produced. In this paper we describe the instrument and the algorithm of its calibration and measurement accuracy estimation. The results of field measurements of attenuation coefficient, density and temperature depth profiles in 12 spots (stations) in the Barents Sea are given. Using the results of these measurements, we computed the echo-signal levels and the signal-noise ratio as functions of depth. It was shown that at all stations the echo-signal power is sufficient enough for hydrophysical nonhomogeneity detection.

**Key words:** lidar sensing, attenuation coefficient, hydrophysical parametres, the Barents Sea.

- Zimin A.V., Nikolaev V.G., Rodionov A.A.* Internal Waves and their Displays on the Sea  
Surface During the Tidal Cycle in the White Sea..... 25

The results of an experiment on research of the internal waves, carried out in July, 2008 in the Onega gulf of the White Sea, are presented. Behavior of time variability of short -time period internal waves during a tidal cycle is investigated. It is shown that fluctuations of a thermocline and temperature of an ocean surface are correlated and in-phased.

**Key words:** internal waves, measurement, sea surface temperature, contact and non-contact methods.

- Kagan B.A., Sofina E.V.* Seasonal Variability of the  $M_2$  Tide in the Arctic Ocean ..... 31

The results for three-dimensional (3D) winter and summer tidal flows in the Arctic Ocean are presented. It is shown that dependent on ice seasonal variability of the tidal constants (amplitudes and phases of tidal sea surface level elevations) in the Central and Canadian parts of the Arctic Ocean is less than the mean square error in the predicted tidal sea surface level elevations. This means that the seasonal variability can be neglected, at least as a first approximation. A different situation is encountered in the Siberian continental shelf, where seasonal changes of tidal amplitude are  $\pm 5$  cm, while those of tidal phase vary from  $15^\circ$  to several tens of degrees.

**Key words:** tides, seasonal variability, modeling, the Arctic Ocean.

<i>Silina T.A.</i> Data Fusion Algorithms of Underwater Network-Centric Surveillance System.....	38
--	----

The construction, assignment, functions and algorithmic structure of data fusion of underwater network-centric surveillance system are considered.

**Key words:** data fusion, network-centric system, underwater surveillance system.

<i>Semenov N.N.</i> Course Angle Estimation of a Underwater Object by Only One Observation Using a Complex Signal and Coherent Reception.....	46
---	----

Using of a complicated probing signal and coherent reception allows to distinguish echo-signals from various blinking points on the case of underwater object that allows to estimate such secondary signs, as the form of object and its linear sizes. Measurement of frequency of each echo-signal allows to estimate radial speed of mutual moving, and the knowledge of the form of an object allows to estimate a course angle and full speed of observable object.

**Key words:** hydroacoustic, detection, glare, compound signal, form evaluation, a cluster.

<i>Zhilyaev E.A., Pavlov A.A., Chernyadev E.V.</i> Self-Contained Remote Controlled Seismohydroacoustic Station for Surveillance of the Signal-Noise Situation	51
--	----

The report considers a signal-noise situation surveillance station meeting the modern requirements: it has an adaptive teletype hidden communication path through hydroacoustic channel, nonvolatile memory of big capacity, long endurance (up to 1 year), deployment depth of down to 6000m, GPS receiver for determining its location, it uses rapid signal digital processing algorithms.

**Key words:** seismohydroacoustic station, hydroacoustic communication, memory, digital algorithms

### **Perspective Tendency of Development of Science and Technics**

<i>Gizitdinova M.R., Kuzmitsky M.A.</i> Place and Role of Mobile Underwater Robots in the Decision of Modern Problems of Sea Activity of the States.....	59
--	----

In the article the review of the basic modern global problems connected with sea activity of the states in the World Ocean, a place and a role in their decision of a new perspective class of underwater systems – mobile underwater robots (or UUVs) is given. Globalization forming uniform universal economic-information field, bears both constructive, and destructive influence on many aspects of the world community life, including research, economic and military problems solved in the World Ocean. The spectrum of the basic problems and prospects of UUVs, as dual-purpose means, in their decision is considered.

**Key words:** mobile underwater robot, underwater systems, an information field, underwater conditions.

УДК 681.883.022: 681.883.65

Н.Н.Семенов<sup>1</sup>  
nsemenoff@mail.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КУРСОВОГО УГЛА ПОДВОДНОГО ОБЪЕКТА ПО ОДНОМУ НАБЛЮДЕНИЮ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЛОЖНОГО СИГНАЛА И КОГЕРЕНТНОГО ПРИЕМА

Использование сложного зондирующего сигнала и когерентного приема позволяет различить эхо-сигналы от различных бликующих точек на корпусе подводного объекта, что дает возможность оценить такие вторичные признаки, как форма объекта и его линейные размеры. Измерение частоты каждого эхо-сигнала позволяет оценить радиальную скорость взаимного перемещения, а знание формы объекта – курсовой угол и полную скорость наблюдаемого объекта.

Процесс формирования вторичного поля искусственного подводного объекта настолько сложен, что в настоящее время отсутствуют общепринятые аналитические решения. Известные экспериментальные исследования характеристик эхо-сигналов имеют существенные ограничения из-за их большого разброса. В работе Керра [1] было показано, что эффективная площадь обратного рассеяния радиолокационной цели может быть представлена в интегральной форме:

$$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} \left| \int_{\alpha}^{\beta} \frac{dA}{dz} e^{2ikz} dz \right|^2,$$

где  $\sigma$  – отношение рассеянной мощности к интенсивности падающей волны;  $dA/dz$  – скорость изменения площади поперечного сечения тела в направлении распространения  $z$ ;  $k=2\pi/\lambda$  – волновое число;  $\lambda$  – длина падающей волны;  $z=\alpha$ ,  $z=\beta$  – границы объекта в направлении распространения падающей волны. Отсюда следует, что эхо-сигнал от объекта можно представить в виде суммы многих элементарных волн, каждая из которых возникает при очередном изменении площади поперечного сечения объекта, причем суммирование происходит с учетом фазы. Аналогичное выражение в гидролокации применимо лишь для крупногабаритных жестких искусственных объектов. Детальное исследование этого метода применительно к задаче обратного рассеяния от гидроакустических объектов было выполнено Фридменом [2]. В соответствии с обозначениями, принятыми в данной работе,

$$СЦ = 10 \lg/J^2, \quad J = \frac{1}{\lambda} \sum_{g=1}^{\infty} e^{-2ik(r_g-r_1)} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{D_g^n(A)}{(2ik)^n},$$

где  $D_g^n(A)$  –  $n$ -я производная площади поперечного сечения объекта на расстоянии  $r_g$ ;  $r_1$  – расстояние до ближайшей точки объекта. Таким образом, при расчете величины  $J$  необходимо найти для каждой точки объекта сумму всех производных площади поперечного сечения объекта  $A$  (площадь измеряется на некотором расстоянии  $r_g-r_1$  от точки, ближайшей к источнику), умноженных на весовые коэффициенты  $1/(2ik)^n$ . Кроме того, Фридмен экспериментально показал, что форму огибающей эхо-сигнала можно рассчи-

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

тать путем суммирования вкладов, определяемых производными функции площади поперечного сечения от дистанции в моменты времени, соответствующие расположению поперечных сечений вдоль объекта в направлении распространения. Метод суммирования множества элементарных отражателей для расчета отражения звука от тел неправильной формы рассмотрен также в статье Нейбауэра [3], Вилкокса [5, 6] и др.

Первичными гидролокационными параметрами являются такие параметры объекта, которые можно непосредственно оценить на основании параметров эхо-сигнала. К ним относятся дистанция, частота и пеленг до каждой бликующей точки на корпусе искусственного подводного объекта.

Вторичные параметры – это такие параметры, которые можно вычислить на основании первичных параметров. Вторичными параметрами являются:

- принадлежность бликующих точек к одной группе (кластеризация);
- угловой размер объекта;
- форма, протяженность и курсовой угол (КУ) объекта.

Рассмотрим возможность оценки вторичных гидролокационных параметров подробнее.

**Кластеризация.** В окрестности самого яркого обнаруженного эхо-сигнала необходимо найти другие блики, которые не являются случайными выбросами. Для этого используется один из алгоритмов кластеризации «бликовых точек» в пространстве.

Простейший алгоритм – вычисление «центра тяжести» группы бликовых точек и проверка расстояния от каждой точки до этого центра [7]. Если расстояния окажутся более чем в два раза больше, чем среднее расстояние между точками, или больше 200 м, значит это случайный выброс, и такую точку необходимо отбросить. Такой алгоритм называется кластеризацией по евклидовым расстояниям [8]. Вычисление центра тяжести:

$$\tilde{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}, \quad \tilde{Y} = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N}, \quad \tilde{Z} = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i}{N},$$

где  $N$  – количество обнаруженных точек.

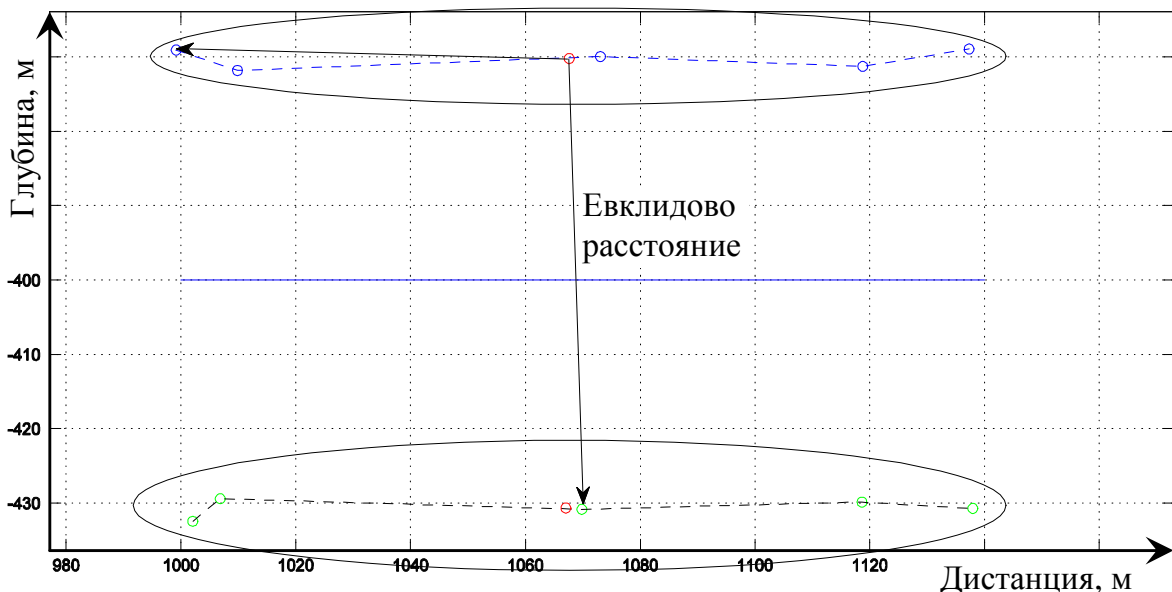


Рис. 1. Пример результата функции кластеризации для объекта и его отражения от дна

Вычисление расстояния от точки до центра тяжести:

$$D_i = \sqrt{(X_i - \tilde{X})^2 + (Y_i - \tilde{Y})^2 + k \cdot (Z_i - \tilde{Z})^2},$$

где коэффициент  $k$  – это масштабный множитель, позволяющий разделить прямые эхо-сигналы от отражений от дна или поверхности, растягивая вертикальную ось (рис. 1). Предполагается, что естественное состояние движущегося подводного объекта – вытянутое в горизонтальной плоскости. Отсюда значение масштабного множителя по вертикали  $k \approx 20$ .

Использование даже простейшего кластерного анализа (проверки на принадлежность всех обнаруженных бликовых точек одной группе – то есть одному кластеру) позволяет отбросить случайные всплески сигнала, а также разделить эхо-сигналы от нескольких объектов между собой и определять вторичные параметры каждого объекта независимо.

**Определение углового размера объекта.** Группа «бликующих» точек, объединенная в кластер, имеет свой угловой размер, то есть характеризуется максимальной разностью пеленгов на любые две точки внутри этой группы [9]:

$$\Delta\varphi = \varphi_{\max} - \varphi_{\min}.$$

Угловой размер у протяженного объекта может быть очень малым при КУ, равных 0 или 180 градусов.

**Определение формы расположения точек.** Вычислим корреляционный эллипсоид для координат набора бликующих точек:

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{D_{ij}}{D} (\xi_i - \tilde{\xi}_i)(\xi_j - \tilde{\xi}_j) = 1, D > 0,$$

где  $\xi_i$  – одна координата точки ( $X$ ,  $Y$  или  $Z$ );  $D$  – детерминант корреляционной матрицы совокупности случайных величин  $M$ ;  $D_{ij}$  – алгебраические дополнения среднего значения элемента  $\xi_i$  в матрице  $M$ .

Тогда квадрат объема полученного эллипсоида может характеризовать форму расположения точек в виде нормированного коэффициента формы [10]:

$$D_3(X, Y, Z) = \frac{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (X_i - \tilde{X})(Y_i - \tilde{Y})(Z_i - \tilde{Z})}{\sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z},$$

где  $\sigma_x$  – СКО координаты « $X$ »,  $\sigma_y$  – « $Y$ »,  $\sigma_z$  – « $Z$ »:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \tilde{X})^2}, \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \tilde{Y})^2}, \sigma_z = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_i - \tilde{Z})^2}.$$

Если полученный коэффициент по модулю близок к 1, значит форма расположения точек близка к отрезку прямой. Форма расположения группы точек, коэффициент ковариации которых по модулю меньше 0.6 считаем облаком случайно расположенных отражателей, стай рыб или помехой.

**Определение курсового угла и длины объекта.** Один из способов – аппроксимация группы точек отрезком прямой. Было опробовано несколько алгоритмов.

1. Аппроксимация отрезком прямой с каноническим уравнением  $ax+by+d=0$ . У данного алгоритма нет ограничений по КУ объекта, свойственных уравнению  $y=ax+b$ ,

но решение его через матричное вычисление требует большого количества однородных вычислений.

2. Через спектральное представление координат любого количества точек [11]. Координатное описание контура (отсортированных по дистанции координат бликующих точек) представляется в плоскости  $xu$  комплексным числом:

$$z(n)=x(n)+iy(n), \quad (1)$$

где  $n$  - номер очередной пары измерительных данных, описывающих образ. Для их обработки будем использовать дискретное преобразование Фурье (DFT) в виде:

$$F_k = F(k) = \sum_{n=0}^{M-1} z(n)\exp(-j \frac{2\pi}{M} kn) \text{ для } k=1, 2, \dots, M-1,$$

где  $M$  означает количество точек описания структуры, а  $z(n)$  – комплексное число, определенное выражением (1). Отдельные компоненты преобразования Фурье образуют вектор  $F=[F_0, F_1, \dots, F_{M-1}]$ .

Нулевой компонент  $F_0$  преобразования Фурье представляет собой среднее значение (центр тяжести) измерительных выборок  $(x_i, y_i)$ , поскольку:

$$F_0 = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} z(n).$$

Его используем, чтобы найти дистанцию до центра тяжести группы точек.

Использование в преобразовании Фурье различного количества оригинальных выборок  $(x_i, y_i)$  отражается на размерности формируемых векторов  $F$ . Для унификации процесса обработки данных количество наиболее значимых компонентов устанавливается априорно. Согласно теории преобразования Фурье [12], наиболее значимыми для отображения структуры компонентами считаются пары координат  $F_1$  и  $F_{M-1}$ , следующими –  $F_2$  и  $F_{M-2}$  и так далее. При определении  $K$  таких пар формируется редуцированное представление вектора  $F_k=[0, F_1, F_2, \dots, F_K, F_{M-K}, \dots, F_{M-2}, F_{M-1}]$ , которое независимо от количества измерительных выборок, использованных в преобразовании Фурье, имеет одну и ту же априорно установленную размерность  $(2K+1)$ .

Преобразование Фурье состоит из компонентов, допускающих оригинальную качественную интерпретацию. Пары компонентов  $(F_1, F_{M-1})$ ,  $(F_2, F_{M-2})$  и т.д. имеют свой эквивалент в обратном преобразовании **IDFT**, которое, в частности для только одной (первой) пары, можно представить в виде:

$$z_1 = \frac{1}{M} \left( F_1 \exp\left(-j \frac{2\pi k}{M}\right) + F_{M-1} \exp\left(-j \frac{2\pi(M-1)k}{M}\right) \right).$$

Данное уравнение описывает эллипс. Первая пара  $(F_1, F_{M-1})$  задает главный эллипс с наиболее длинной осью, вторая пара  $(F_2, F_{M-2})$  – следующий по величине и так далее. Поворот кривой относительно начальной позиции вызывает поворот главной оси эллипса.

Измерение длины объекта можно оценить амплитудой компонента, соответствующего паре  $F_1$  и  $F_{M-1}$ . Если обозначить длину объекта  $L$ , то его можно определить выражением:

$$L = \sqrt{|F_1|^2 + |F_{M-1}|^2}.$$

Поэтому для оценки угла поворота главной оси эллипса (то есть КУ объекта) определим выражение:

$$\alpha = \exp\left(-j \frac{\psi_{F_1} + \psi_{F_{M-1}}}{2}\right), \quad (2)$$

где  $\psi_{F_1}$  и  $\psi_{F_{M-1}}$  - это углы комплексного представления чисел  $F_1$  и  $F_{M-1}$  соответственно. Таким образом, курсовой угол объекта вычислим как (2).

\*\*\*

Использование сложного сигнала и когерентной обработки позволяет выделять и анализировать отдельные блики на корпусе сложного искусственного объекта, на основании чего возможно разделение бликов на корпусе объекта от отраженных от дна или поверхности заданием ограничений кластера.

Предложенный алгоритм оценки параметров объекта основан на бликовой структуре эхо-сигнала. С помощью использования сложных сигналов, когерентной обработки и измерителей первичных гидролокационных параметров он позволяет восстановить форму цели и параметры ее движения. Таким образом, становится возможным оценить курсовой угол объекта по одному наблюдению на основании вторичных гидролокационных параметров, таких как: принадлежность бликующих точек к одной группе (кластеризация), угловой размер объекта, форма, протяженность.

**Ключевые слова:** гидроакустика, обнаружение, блики, сложный сигнал, оценка формы, кластер.

#### Литература

1. Wang H., Elson J., Girod L., Estrin D., Yao Kung. Target Classification and Localization in Habitat Monitoring // LA. CA90095. USA. 2007.
2. Freedman A. Recent Approaches to Echo-Structure Theory // JASA. 1964. V.36. P.2000 (A). Also, A Mechanism of Acoustic Echo Formation // Acoustica. 1962. V.12. P.10.
3. Neubauer W.G. A Summation Formula for Use in Determining the Reflection of Irregular Bodies // JASA. 1963. V.35. P.279.
4. Вайнштейн Л.А., Зубаков В.Д. Выделение сигналов на фоне случайных помех. М.: Сов. Радио, 1960. 448 с.
5. Wilcox C.H. Sonar and Radar Echo Structure. Lectures // IMA Preprint Series. 1990. 66 p.
6. Wilcox C.H. Sonar Echo Analysis // Math. Meth. in Appl. Sci. 1 (1979). Pp.70-88.
7. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах / Пер. с англ. М.: Постмаркет, 2000. 470 с.
8. Пат. 200847685/17.12.2008 (Россия). Обнаружитель эхо-сигнала на основании статистических параметров сигнала. Семенов Н.Н.
9. Горелик А.Л. Селекция и распознавание на основе локационной информации. М.: Радио и связь, 1990. 240 с.
10. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Сов. радио, 1968. 503 с.
11. Семенов Н.Н., Леонтьев А.Е. Спектральные методы обработки пространственных данных для классификации целей. Информационно-управляющие системы. 1(32). СПб.: Политехника, 2008. С.12-17.
12. Вудворд Ф.М. Теория вероятностей и теория информации с применением в радиолокации. М.: Сов. радио, 1955. 128 с.

Статья поступила в редакцию 27.11.2009 г.