

3. Митько А.В. Технологии комплексного мониторинга мелководных регионов // Труды VIII Международного экологического форума «День Балтийского моря».- СПб., 2007. - С.118-121.
4. Митько А.В. Особенности комплексного мониторинга прибрежных портовых зон Северо-западного региона // Труды научно-практической конференции «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» – СПб., 2009. – С. 82-84.

**Митько Арсений Валерьевич**

Арктическая общественная академия наук

E-mail: [Arseny73@yandex.ru](mailto:Arseny73@yandex.ru)

198217, Россия, Санкт-Петербург, Дачный пр., 29, к.4, кв. 30

Тел.: +7(812)756-82-93, факс: +7(812)371-9257; +7-901-311-05-24

**Mitko Arseny Valeryevich**

Arctic Public Academy of Sciences, Senior researcher of Naval Radioelectronics Research Center

E-mail: [Arseny73@yandex.ru](mailto:Arseny73@yandex.ru)

Of. 30, buil.4, 29, Dachny avenue., Saint-Petersburg, Russia, 198217

Ph. +7(812)756-82-93, fax: +7(812)371-9257; Ph: +7-901-311-05-24

УДК 534.222.2

**Н.Н. Куценко****ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ СРЕДЫ НА  
ОСНОВЕ НОРМАЛИЗАЦИИ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В  
ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЕ**

*Предлагается метод определения присутствия инородных включений в воде, основанный на использовании параметрической антенны с многокомпонентным сигналом накачки. Обсуждается теоретически возможность нормализации закона распределения в параметрической антенне с многокомпонентным сигналом накачки*

*Параметрическая антенна; статистическая нелинейная акустика.*

**N. N. Kushenko****DETERMINATION OF NONLINEAR MEDIUM PROPERTY CHANGING  
BASED ON DISTRIBUTION LAW NORMALIZATION  
IN PARAMETRIC BEAM**

*The method of foreign inclusions presence determination in medium based on using parametric antenna with multicomponent pump signal is proposed. The possibility of distribution law normalization in parametric antenna with multicomponent pump signal is considered theoretically.*

*Parametric antenna; statistical nonlinear acoustic.*

В последнее время большое внимание уделяется экологическому состоянию водоемов, и поэтому интенсивно развиваются средства их экологического мониторинга. В задачи экологического мониторинга входят наблюдение за загрязнением

водоема промышленными отходами, за развитием микроорганизмов и водорослей, за количеством и составом рыбных запасов. Таким образом, мониторинг водной среды ставит задачу оценки загрязненности слоев моря, в которых концентрируются фазовые включения различного происхождения, нефтяные продукты, твердые взвеси, пузырьки газа и другие неоднородности морской среды, которые приводят к рассеянию звука, дополнительному затуханию, дисперсии скорости звука, появлению дополнительной нелинейности, а также к изменению целого ряда других акустических характеристик, важных для проведения исследований и измерений. С точки зрения мониторинга водной среды интерес представляет разработка методов решения задач с применением акустических методов, которые зачастую являются единственными дистанционными методами исследований свойств и структуры неоднородных сред.

Процедура экологического мониторинга водных акваторий заключается в определении отклонения параметров среды от нормы. В последнее время в морских исследованиях широко используются параметрические антенны (ПА) [1].

В настоящее время модель параметрической антенны достаточно хорошо изучена [2, 3]. Известно, что основным результатом нелинейного взаимодействия излучаемых акустических волн является генерация суммарной и разностной волн, а также гармоник волн накачки. Важной особенностью ПА является то, что можно влиять на ее характеристики, изменяя параметры волны накачки. Целый ряд работ был посвящен проблеме изучения ПА с многокомпонентным сигналом накачки [4-6]. Необходимо отметить следующую особенность: изменение количества волн накачки влияет также и на статистические характеристики ПА. Таким образом, становится возможным задавать закон распределения давления ПА, путем регулирования параметров волн накачки (амплитуду, частоту, начальную фазу) и их количество.

С другой стороны, в [7] было показано: как изменяется закон распределения нормального шума при нелинейном воздействии.

Проблема определения изменения параметра нелинейности среды вследствие экологического загрязнения может быть решена использованием ПА с многокомпонентным сигналом накачки, в которой происходит нормализация закона распределения мгновенных значений звукового давления суммарной акустической волны, и отклонение от этого закона при изменении нелинейности среды.

Нормализация закона распределения происходит при выполнении следующих условий. Первое условие, которое необходимо учесть, заключается в том, что излучение многокомпонентного сигнала накачки происходит в узкой полосе, то есть должно выполняться условие:

$$\Delta\omega \ll \omega_0, (\Delta\omega \ll \Delta\omega_{\text{антенны}}). \quad (1)$$

Данное условие по своей физической сути является аналогом условия узкой полосы пропускания системы (фильтра) по отношению к ширине энергетического спектра широкополосного процесса в теории статистической радиотехники.

В целом же, это положение является прямым следствием центральной предельной теоремы [8]. Она говорит о том, что если независимые случайные величины  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  имеют одинаковые распределения с конечной, отличной от нуля дисперсией  $\sigma^2$ , то при  $n \rightarrow \infty$

$$P\left\{\frac{1}{\sigma\sqrt{n}} \sum_{k=1}^n (\xi_k - m_1\{\xi_k\}) \leq x\right\} \sim F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (2)$$

Вторым условием является случайность начальных фаз для каждой излучаемой компоненты. Далее будем предполагать, что фазы распределены по равномерному закону. Покажем, как происходит нормализация в этой ситуации.

В данном случае имеем одну скалярную случайную величину  $Y$ , представляющую собой сумму составляющих двумерного случайного вектора  $X$ :

$$Y = X_1 + X_2. \quad (3)$$

Плотности вероятности случайных величин  $X_1$  и  $X_2$  определяются соответственно формулами

$$h_1(x_1) = \begin{cases} 1/2a & \text{при } |x_1| \leq a, \\ 0 & \text{при } |x_1| > a, \end{cases} \quad (4)$$

$$h_2(x_2) = \begin{cases} 1/2b & \text{при } |x_2| \leq b, \\ 0 & \text{при } |x_2| > b. \end{cases} \quad (5)$$

Совместная плотность вероятности случайных величин  $X_1$  и  $X_2$  равна произведению их плотностей вероятности. Находим характеристическую функцию случайной величины  $Y$ :

$$g_y(\lambda) = \frac{1}{4ab} \int_{-a}^a dx_1 \int_{-b}^b e^{i\lambda(x_1+x_2)} dx_2 = \frac{1}{4ab} \int_{-a}^a e^{i\lambda x_1} dx_1 \int_{-b}^b e^{i\lambda x_2} dx_2 = \frac{\sin \lambda a \sin \lambda b}{ab \lambda^2}. \quad (6)$$

После этого находим плотность вероятности случайной величины  $Y$  (через обратное преобразование Фурье характеристической функции)

$$\begin{aligned} f(y) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\lambda y} g_y(\lambda) d\lambda = \frac{1}{2\pi ab} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\lambda y} \frac{\sin \lambda y \sin \lambda b}{\lambda^2} d\lambda = \\ &= \frac{1}{2\pi ab} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\cos \lambda y \sin \lambda a \sin \lambda b}{\lambda^2} d\lambda - \frac{1}{2\pi ab} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin \lambda y \sin \lambda a \sin \lambda b}{\lambda^2} d\lambda. \end{aligned} \quad (7)$$

Но последний интеграл равен нулю, как интеграл в симметричных пределах от нечетной функции. Первый же интеграл, как интеграл в симметричных пределах от четной функции, равен удвоенному интегралу от 0 до  $\infty$ . Следовательно,

$$\begin{aligned} f_2(y) &= \frac{1}{\pi ab} \int_0^{\infty} \frac{\cos \lambda y \sin \lambda a \sin \lambda b}{\lambda^2} d\lambda = \\ &= \frac{1}{4\pi ab} \int_0^{\infty} [\cos(a-b+y)\lambda + \cos(a-b-y)\lambda - \cos(a+b+y)\lambda - \cos(a+b-y)\lambda] \frac{d\lambda}{\lambda^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Отсюда, пользуясь известной формулой

$$\int_0^{\infty} \frac{1 - \cos \alpha \lambda}{\lambda^2} d\lambda = \frac{\pi}{2} |\alpha|, \quad (9)$$

находим

График этой плотности вероятности представлен на рис. 1 (трапеция).

Видно, что при  $a = b$  закон распределения изменяется из трапеции в треугольник.

$$f_2(y) = \frac{1}{8ab} (|a+b+y| + |a+b-y| - |a-b+y| - |a-b-y|) \quad (10)$$

Математическое моделирование производилось в среде Matlab. Моделировался процесс излучения трехкомпонентного сигнала накачки (130, 135 и 140 кГц)

Раздел I. Методы и средства экологического мониторинга водных районов

и его взаимодействие с ЛЧМ-сигналом с изменением частоты от 130 до 131 кГц. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

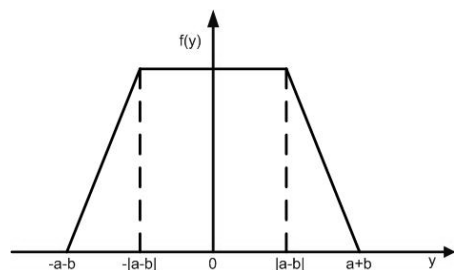


Рис.1. График плотности вероятности для двухкомпонентного сигнала со случайными фазами, распределенными по равномерному закону

закон показывают достаточно большую его близость к нормальному (коэффициент эксцесса и асимметрии).

Параметры полученного нормального закона, представленного на рис.2, г:

- среднее значение: 0,0002248, стандартная ошибка: 0,0148;

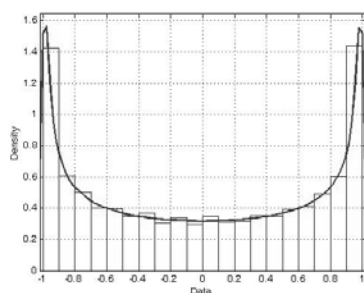
- СКО: 1,48, стандартная ошибка: 0,01;

- коэффициент асимметрии:  $8,98 \cdot 10^{-6}$ ;

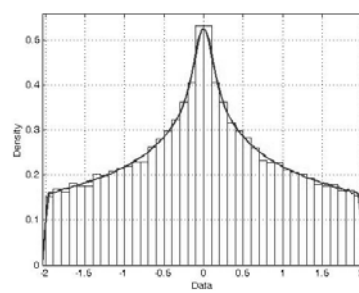
- коэффициент эксцесса:  $1,77 \cdot 10^{-6}$ .

Количественные оценки качества аппроксимации полученного

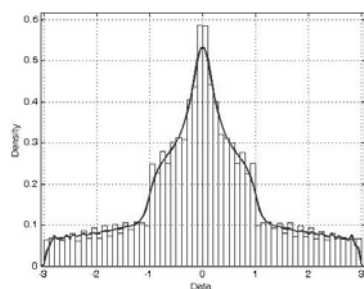
закон показывают достаточно большую его близость к нормальному (коэффициент эксцесса и асимметрии).



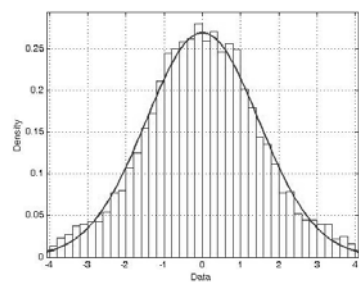
а



б



в



г

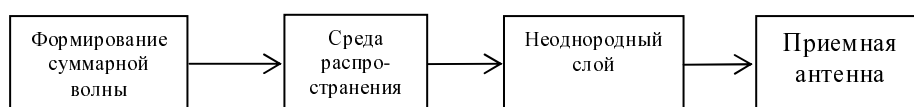
Рис.2. Зависимость формы закона распределения от количества компонент: а – ЗР ЛЧМ-сигнала (130 – 131 кГц); б – ЗР для двух компонент (130 и 135 кГц); в – ЗР для трех компонент (130, 135 и 140 кГц); г – ЗР для трех компонент и ЛЧМ

Предположим, что акустическая волна, со сформированным нормальным законом распределения проходит через неоднородный слой (рис. 3,а), тогда нор-

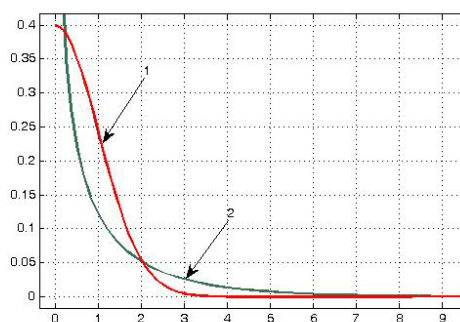
мальный закон изменится [7] (рис. 3,б). Степень отклонения от нормального распределения зависит от нелинейности среды.

На рис. 3,б показан нормальный закон распределения акустической волны до прохождения через неоднородный слой (кривая 1) и закон распределения после прохождения через неоднородный слой с квадратичной нелинейностью (кривая 2).

Изменение закона распределения мгновенных значений звукового давления акустической волны при прохождении через неоднородный слой вызвано изменением нелинейности среды. Таким образом, определяя изменение характеристик нормального закона распределения, можно судить об изменении нелинейных свойств среды, а следовательно, определять присутствие инородных включений.



а



б

Рис. 3. Схема распространения акустической волны ПА (а) и закон распределения (б) (1 – нормальный закон распределения, 2 – закон распределения после прохождения через нелинейный слой, с квадратичной нелинейностью)

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.А. Воронин, С.П. Тарасов, В.И. Тимошенко. Гидроакустические параметрические системы. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2004. – 400 с.
2. Новиков Б.К., Руденко О.В., Тимошенко В.И. Нелинейная гидроакустика. – Л.: Судостроение, 1981. – С. 264.
3. Новиков Б.К., Тимошенко В.И. Параметрические антенны в гидролокации. – Л.: Судостроение, 1989. – 256 с.
4. Рыбачек М.С., Селин Е.П. Исследование параметрического излучателя звука со сложным сигналом накачки. – В кн.: Прикладная акустика. – Таганрог: ТРТИ, 1983. Вып. 9. – С. 23–27.
5. Куценко Т.Н. Исследование параметрических антенн с многокомпонентным сигналом накачки. Автореф. дис. кан. тех. наук. – Таганрог, 2000.
6. Воронин В.А., Тарасов С.П., Куценко Т.Н. Энергетический потенциал многокомпонентного параметрического геолокатора // Материалы к юбилейной конференции «Теория и практика геологогеофизических исследований». – Геленджик, 1999.

7. Куценко Н.Н., Воронин А.В. Экологический мониторинг в статистически неоднородной водной среде // Сборник трудов III Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов ДонНТУ. – Украина, Донецк, 2007. – С.554-557.
8. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга первая. – М. Изд-во Советское радио 1969. – 752 с.

**Куценко Николай Николаевич**

Технологический институт Южного федерального университета в г. Таганроге  
E-mail: [kutsenkonn@mail.ru](mailto:kutsenkonn@mail.ru)  
347928, Россия, Таганрог, ГСП 17А, Некрасовский, 44, тел.: 8 (8634)-37-17-95  
Аспирант кафедры электрогидроакустики и медицинской техники

**Kutsenko Nikolay Nikolaevich**

Taganrog Institute of Technology – Southern Federal University  
E-mail: [kutsenkonn@mail.ru](mailto:kutsenkonn@mail.ru)  
44, Nekrasovsky, GSP 17A, Taganrog, 347928, Russia, Ph.: 8 (8634)-37-17-95  
Postgraduate student of department of Electro Hydro Acoustic and Medical Engineering

УДК 550+631

**Г. И. Сарапулова**

**ЭКОЛОГИЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ И МАЛЫХ РЕК СИБИРИ**

*Проводится гидрохимическая оценка поверхностных вод на Байкальской природной территории и трансграничных водных объектах. Показано нарушение водных режимов водотоков Сибири и сильное загрязнение рек, питающих экосистему оз. Байкал. Предлагается изменить методы контроля качества водных объектов и нормирования загрязнений с учетом их поведения в водной среде.*

*Гидрохимические параметры; техногенное воздействие; мониторинг водных объектов.*

**G. I. Sarapulova**

**ECOLOGY OF THE LAKE BAIKAL AND THE SMALL CURRENTS OF SIBERIA**

*The hydrochemical estimation of surface waters in the Baikal natural territory and transboundary water objects is spent. Perturbation of water regulations of currents of Siberia and strong pollution of the rivers feeding ecosystem of the lake Baikal is shown. It is offered to change the methods of monitoring quality of water objects and rationing of pollution taking into account their behaviour in the water.*

*Hydrochemical parameter; technogenic influence; monitoring of water objects.*

Ухудшение экологической обстановки во многих регионах обусловлено недостатком чистой пресной воды [1]. Нами проводится оценка воздействия промышленных производств на экологическое состояние пресного озера Байкал, водотоков Сибири и трансграничных водных объектов. Для исследования выделены экологически уязвимые районы, которые по прогнозу развития минерально-