

Сарапулова Галина Ибрагимовна
Иркутский государственный технический университет
E-mail: sgala@istu.edu
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел.: 8(3952)40-51-18
Доктор химических наук

Sarapulova Galina Ibragimovna
Irkutsk State Technical University
E-mail: sgala@istu.edu
83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russia, Ph.: +7(3952)40-51-18
Dr. Sci. Chem.

УДК 534.222.2

Н.Н. Куценко, В.А. Воронин

**ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ
АКУСТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ КАК ПРИЗНАК ПРИСУТСТВИЯ
ИНОРОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МОРСКОЙ СРЕДЕ**

Рассматривается метод определения изменения нелинейных свойств жидких сред, основанный на использовании синусоидальных акустических волн конечной амплитуды. Показано теоретически изменение формы закона распределения синусоидальной волны при распространении в нелинейной среде без дисперсии. Приводятся результаты экспериментальных исследований

Распространение акустических волн; статистическая нелинейная акустика.

N.N. Kushenko, V.A. Voronin

**CHANGING OF PROBABILITY DENSITY OF ACOUSTIC PRESSURE AS
FEATURE OF FOREIGN INCLUSIONS PRESENCE IN MARINE
ENVIRONMENT**

The method of foreign inclusions presence determination in marine environment based on using sinusoidal powerful acoustic waves is discussed. The form changing of sinusoidal wave distribution law by propagation in nonlinear medium without dispersion is shown theoretically. The experiment results of investigations are presented.

Acoustic waves propagation; statistical nonlinear acoustic.

Задачи экологического мониторинга водной среды становятся с каждым годом всё более актуальными. Проблемы, которые возникают при исследовании морских акваторий, вынуждают искать новые методы количественной и качественной оценки состояния воды. Особенно сложны данные исследования для обширных площадей, то есть в случае, когда необходимо получить информацию на больших расстояниях от излучающего и принимающего датчиков. Такие сложности возникают вследствие наличия затухания и рассеяния акустических волн, дисперсии скорости звука, различного рода неоднородностей и т.д.

При распространении в сплошной среде механические волны меняют свою форму и, соответственно, закон распределения мгновенных значений акустического давления. Причем, как было показано в [2], если искусственно задавать закон распределения излучаемого сигнала (например, нормальный закон), то по его из-

менению можно судить о степени нелинейности водной среды, а, соответственно, и об отклонении её структуры от нормы.

Достаточно удобно работать с нормальным законом распределения, но сигналы такой формы достаточно сложны в возбуждении и излучении в среду. Самой распространенной для практического использования является волна синусоидальной формы. Такие волны хорошо изучены, просты в возбуждении и излучении в среду. Исходя из вышеуказанных причин, интересна задача теоретического и практического изучения изменения закона плотности вероятности и синусоидальной волны со случайной начальной фазой.

Получить закон распределения мгновенных значений синусоидальной волны с начальной фазой, имеющий равномерный закон распределения, можно путем простых математических преобразований. Пусть исходная функция имеет следующий вид:

$$x(t) = a \cdot \sin(\omega t + \varphi(t)), \quad (1)$$

закон распределения для фазы будет иметь вид

$$W(\varphi) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi}, & -\pi < \varphi < \pi; \\ 0, & |\varphi| > \pi. \end{cases} \quad (2)$$

Закон распределения функции $x(t)$ и закон распределения фазы $\varphi(t)$ связаны между собой следующим соотношением:

$$W(x) \cdot dx = 2W(\varphi) \cdot d\varphi, \quad (3)$$

отсюда

$$W(x) = 2 \frac{W(\varphi)}{\frac{dx}{d\varphi}}. \quad (4)$$

Производную приведем к следующему виду:

$$\frac{dx}{d\varphi} = a \cdot \cos(\omega t + \varphi) = a \sqrt{1 - \sin^2(\omega t + \varphi)}. \quad (5)$$

Тогда получим:

$$W(x) = \frac{1}{a\pi} \left(1 - \frac{x^2}{a^2} \right)^{-\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

График закона распределения (6) изображен на рис. 1, а.

Изменение формы волны, например, увеличение максимального положительного значения и уменьшение модуля отрицательной амплитуды, можно приближенно описать, как смещение положения равновесия. Тогда (6) примет вид

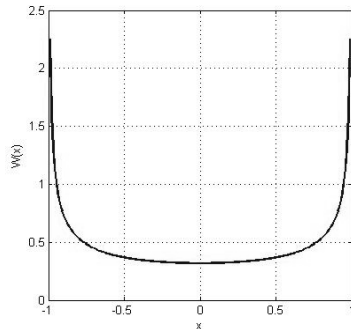
$$W(x) = \frac{1}{a\pi} \left(1 - \frac{(x-b)^2}{a^2} \right)^{-\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Закон распределения для (7) представлен на рис. 1, б (смещение положения равновесия b равно 10% от амплитудного значения).

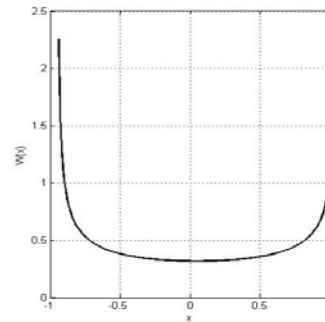
Рассмотрим уравнения гидродинамики для среды без поглощения и предположим, что движение среды является плоским, т.е. переменные p , ρ , u зависят

лишь от координаты x . Будем рассматривать среду без дисперсии, тогда уравнения гидродинамики запишутся как

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad p = p(\rho). \quad (8)$$



а – закон распределения для (6)
($a = 1$)



б – закон распределения для (7)

Рис. 1. Закон распределения

Точное решение (8), описывающее бегущие плоские волны, было найдено Риманом в 1860 г. и приводится во многих литературных источниках, здесь его приводить мы не будем, а воспользуемся обозначениями из работы [3]. Для адиабатического уравнения состояния была получена зависимость давления от скорости в виде

$$\frac{p}{p_0} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} \frac{u}{c_0} \right)^{\frac{2\gamma}{\gamma - 1}}. \quad (9)$$

Для определения характера изменения результирующего давления от возбуждающего воздействия построим зависимость (9) (рис. 2).

Закон изменения скорости u был принят за синусоидальный. Значения параметров были взяты близкими к значениям параметров воды: $\gamma = 6$, $c = 1500$.

Кривая 1 соответствует волне с безразмерной амплитудой $\frac{u_{\max}}{c} = 0,07$, кривая 2

– $\frac{u_{\max}}{c} = 0,2$, кривая 3 – $\frac{u_{\max}}{c} = 0,27$. На рис. 3 представлена аппроксимированная гистограмма кривой 3. Видно, что данный закон распределения значительно отличается от кривой, представленной на рис. 1 (а) и во многом похож на кривую рис. 1 (б).

Экспериментальные измерения проводились в заглушенном гидроакустическом бассейне. На рис. 4,а приведен пример реального сигнала на расстоянии $l/l_d \approx 1$ от излучателя (l – расстояние от излучателя, l_d – длина зоны дифракции).

Видно, что форма его отличается от синусоидальной. Соответствующий закон распределения представлен на рис. 4, б.

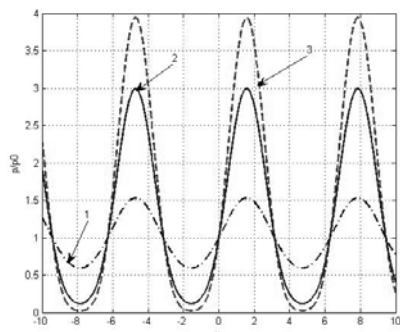


Рис. 2. График функции (9)
($\gamma = 6$, $c = 1500$)

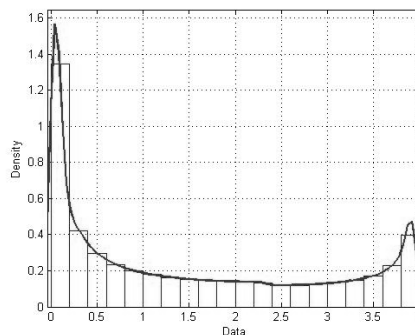
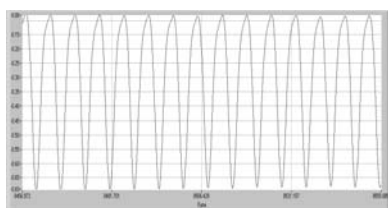
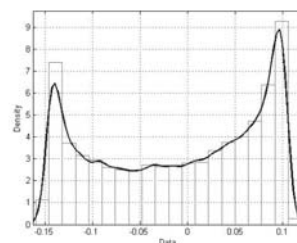


Рис. 3. Аппроксимация гистограммы
для кривой 3 (рис. 2)



а – вид сигнала на расстоянии $l/l_d \approx 1$
от излучающей антенны (135 Гц)

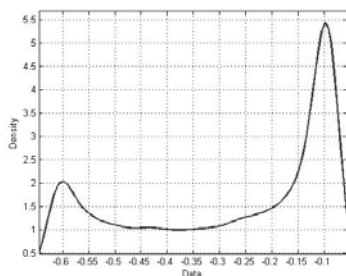


б – при $l/l_d \approx 1$

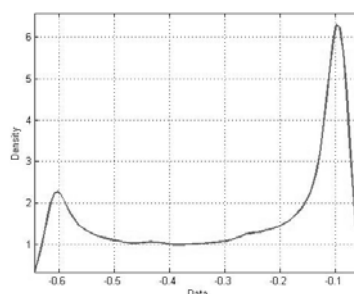
Рис. 4. Закон распределения

С физической точки зрения нелинейное искажение акустической волны конечной амплитуды происходит в ближней зоне антенны. При дальнейшем распространении волны нелинейные изменения крайне малы, а, следовательно, мало и изменение формы закона распределения (рис. 5).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что изменение формы закона распределения в дальнем поле антенны будет свидетельствовать об изменении параметров среды, то есть об инородных включениях в среду.



а – при $l/l_d = 1,5$



б – при $l/l_d = 4,5$

Рис. 5. Закон распределения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 432 с.

Куценко Николай Николаевич

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге

Е-mail: kutsenkonn@mail.ru

347928, Россия, Таганрог, ГСП 17А, Некрасовский, 44, тел.: 8 (8634)-37-17-95

Воронин Василий Алексеевич

Е-mail: vva_47@mail.ru

Kutsenko Nikolay Nikolaevich

Taganrog Institute of Technology - Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University"

Е-mail: kutsenkonn@mail.ru

44, Nekrasovsky, GSP 17A, Taganrog, 347928, Russia, Ph.: +7(8634) 37-17-95

Voronin Vasily Alekseevich

Е-mail: vva|_47@mail.ru

УДК 504.06:534.(204.1)

Б. А. Сальников, Е. Н. Сальникова

ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПОРЫВОВ ПОДВОДНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Целью работы является анализ взаимодействия акустических полей подсветки со случайно-анизотропными и локальными неоднородностями поля скорости звука в интересах создания оптимальной конфигурации гидроакустической системы раннего обнаружения порывов подводных магистральных трубопроводов на фоне природной стохастичности параметров водной среды. Приведены результаты численного эксперимента. Предложена конфигурация гидроакустической системы раннего обнаружения порывов.

Подводные магистральные трубопроводы; гидроакустическая система обнаружения порывов; стохастическое моделирование.

B.A. Salnikov, E.A. Salnikova

HYDROACOUSTIC SYSTEM OF EARLY DETECTION OF UNDERWATER MAIN PIPELINES' BREACHES

The research purpose is to analyze the interaction of lighting acoustic field with randomly anisotropic and sound field random local nonuniformities for developing an