

Тарасов Сергей Павлович – e-mail: tsp-47@mail.ru; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Voloshchenko Alexander Petrovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: vigcorp@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371795; postgraduate student.

Tarasov Sergei Pavlovich – e-mail: tsp-47@mail.ru; the department of hydroacoustic and medical engineering; head of department; dr.of eng. sc.; professor.

УДК 551.463.22

В.Н. Лобанов, И.И. Микушин, Г.Н. Серавин

**О РЕАЛИЗАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО ДИСТАНЦИОННОГО МЕТОДА
ИЗМЕРЕНИЯ ВРСЗ В МОРЕ**

Экологический мониторинг водных бассейнов предполагает изучение гидрофизических параметров водной среды. Дистанционные методы измерения вертикального распределения скорости звука в океане продолжают привлекать пристальное внимание исследователей. Усилия ученых направлены на разработку методов повышения точностных характеристик. В работе производится оценка точности определения времён прихода принятых сигналов, требуемой для решения обратной задачи восстановления в море искомого ВРСЗ в дистанционной импульсной аппаратуре, основанной на прямоугольной бистатической схеме зондирования и приёме акустических сигналов, отражённых от относительно крупных единичных биологических рассеивателей.

Скорость звука; дистанционный метод; акустический рассеиватель.

V.N. Lobanov, I.I. Mikushin, G.N. Seravin

**ABOUT REALIZATION OF THE REMOTE PULSE METHOD
OF MEASURING THE VERTICAL DISTRIBUTION OF SOUND VELOCITY
IN THE SEA**

Environmental monitoring of water bodies involves the study of hydro-physical parameters of the water environment. Remote sensing methods for measuring the vertical distribution of the velocity of sound in the ocean continues to attract attention of researchers. Research efforts aimed at developing methods to improve the accuracy characteristics. The work is assessed the accuracy of the arrival times of the received signals, required to solve the inverse problem of recovering the sea VRSZ sought to distance the pulse of equipment, based on a rectangular pattern bistatic sensing and receiving acoustic signals reflected from the relatively large single biological scatterers.

Sound velocity; remote method; acoustic lens.

Дистанционное акустическое измерение вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ) в морской среде является актуальной задачей экологического мониторинга. Однако вопросы принципиальной возможности реализации импульсных дистанционных методов до сих пор не рассматривались.

Известные дистанционные акустические методы измерения ВРСЗ в море основаны на приёме сигналов, рассеянных от биологических организмов – зоопланктона, состоящего в основном из большого количества ракообразных, размерами 0.1...1.0 см, или более крупных единичных рассеивателей (рыбок и креветок) длиной более 1 см. Так как размеры зоопланктонных организмов обычно меньше длины волны излучаемого акустического сигнала $l < \lambda$, то их рассеивающая способ-

ность незначительна [1], поэтому более перспективными для реализации до сих пор считались дистанционные методы, основанные на приеме отражённых акустических импульсов от единичных рассеивателей, размеры которых больше длины волны излучаемого акустического сигнала $l > \lambda$.

Предложено [2–4] несколько дистанционных измерителей ВРСЗ с бистатической прямоугольной схемой зондирования морской среды, принимающих отражённые акустические импульсы от относительно больших единичных рассеивателей. Обобщённая структурная схема такого измерителя с современной бортовой аппаратурой представлена на рис. 1.

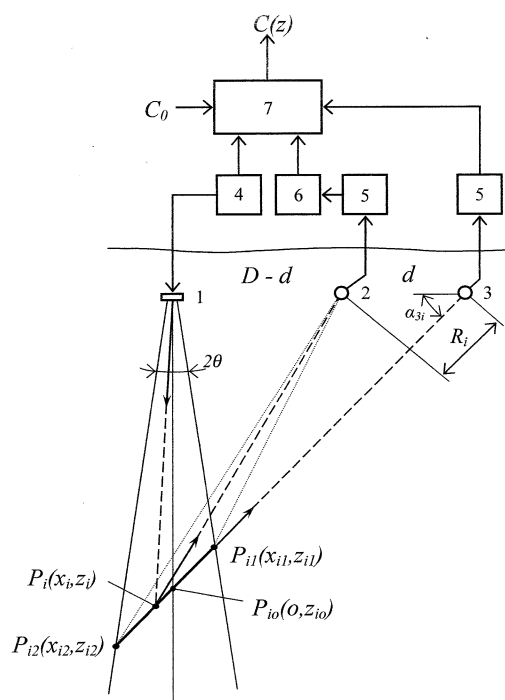


Рис. 1. Дистанционный акустический импульсный измеритель ВРСЗ в море

С выхода импульсно – модулированного генератора 4 электрический сигнал возбуждает направленный акустический преобразователь 1 с раствором ХН в вертикальной плоскости (на рис. 1 – в плоскости листа), равным 2θ . Соответствующий акустический сигнал, распространяясь по вертикали в водной среде, рассеивается от относительно сильного естественного рассеивателя $P_i(x_i, z_i)$. Рассеянные акустические сигналы достигают слабо направленных в вертикальной плоскости акустических приемников 2 и 3, установленных на одном горизонте с излучателем на фиксированных расстояниях D и $D-d$ от него, где d – расстояние между акустическими приемниками.

Электрические видеосигналы с выхода импульсно-модулированного генератора 4, а также электрические принятые импульсные сигналы с выхода приемника 2 через усилитель 5 и переменную линию задержки 6, а также с выхода приемника 3 через усилитель 5 поступают в вычислительный блок 7.

В этом блоке определяются времена прихода T_{3i} и вычисляются углы прихода α_{3i} к акустическому приёмнику 3 принятого сигнала и далее по ним с учётом известного расстояния D между излучателем и приёмником 3, измеренному значению скорости звука C_0 на горизонте излучателя и приёмников решается обратная задача восстановления искомого ВРСЗ в море.

Алгоритм и примеры решения этой задачи для прямоугольной схемы зондирования водной среды при расположении рассеивателей по глубине на оси ХН-излучателя рассмотрены в работе [5]. Было показано, что для удовлетворительного восстановления искомого ВРСЗ – $C(Z)$ необходимо, чтобы абсолютная погрешность определения времён прихода принятых акустических сигналов была не более $|\Delta t_i| < 1 \cdot 10^{-4}$ с. Эта погрешность имеет две основные составляющие

$$\Delta t_i = \Delta t_{Mi} + \Delta t(\alpha_{3i}),$$

где Δt_{Mi} – методическая погрешность из-за отклонения положения i -го рассеивателя от оси ХН излучателя; $\Delta t(\alpha_{3i})$ – погрешность, обусловленная погрешностью определения угла прихода акустического сигнала к приёмнику 3.

Каждому заданному значению временной задержки t_{3i} переменной линии задержки 6 соответствует определенная общая точка для путей распространения акустических сигналов до приемников 2 и 3, находящаяся на оси ХН-излучателя ($x_i = 0$) на заданном горизонте z_{io} , которой в идеальном случае должен соответствовать единичный рассеиватель $P_i(o, z_{io})$.

При этом каждому значению временной задержки t_{3i} будет соответствовать своё значение R_{io} – разности путей распространения акустических сигналов от единичного рассеивателя $P_i(o, z_{io})$ до приемников 2 и 3

$$R_{io} = t_{3i} \cdot C_0 = \sqrt{D^2 + z_{io}^2} - \sqrt{(D-d)^2 + z_{io}^2}.$$

Пути распространения сигналов как бы фокусируются на i -х рассеивателях. Таким образом, получают веер сфокусированных на ось ХН излучателя приёмных ХНХН, количество которых равно числу заданных значений временных задержек t_{3i} ($i = 1, 2, \dots, n$) линии задержки.

Время прихода к приёмнику 3 принятого сигнала для рассеивателя $P_i(o, z_{io})$ равно

$$T_{3io} = (z_{io} + \sqrt{D^2 + z_{io}^2}) / C. \quad (1)$$

Здесь C – скорость звука в воде.

В реальных условиях расположение данного рассеивателя на оси ХН-излучателя маловероятно – он может находиться случайным образом в любом месте сечения ХН-излучателя плоскостью под углом α_{3i} . Для оценки предельных значений имеющейся при этом методической погрешности Δt_{Mi} измерения времени прихода T_{3i} достаточно рассмотреть крайние рассеиватели на линии сечения плоскости, в которой может находиться рассеиватель $P_i(x_i, z_i)$, с вертикальной плоскостью, проходящей через ось ХН излучателя и приемники 2 и 3 (см. рис. 1).

Максимальные значения методической погрешности измерения времени прихода T_{3i} будут иметь место для рассеивателей $P_{i1}(x_{i1}, z_{i1})$ и $P_{i2}(x_{i2}, z_{i2})$. Координаты этих рассеивателей

$$x_{ij} = \frac{D \cdot \operatorname{tg} \alpha_{3i}}{\operatorname{tg} \alpha_{3i} \pm \operatorname{ctg} \theta}, \quad z_{ij} = \pm x_{ij} \cdot \operatorname{ctg} \theta, \quad (2)$$

где $j = 1$ или 2 .

Времена прихода T_{3ij} к приёмнику 3 принятого сигнала для них

$$T_{3ij} = \left[\sqrt{x_{ij}^2 + z_{ij}^2} + \sqrt{(D - x_{ij})^2 + z_{ij}^2} \right] / C. \quad (3)$$

Максимальные значения методической погрешности определения времени

$$\Delta t_{Mij} = T_{3ij} - T_{3io}. \quad (4)$$

Угол α_{3i} прихода акустических сигналов к приёмнику 3 от рассеивателя $P_i(o, z_i)$ на оси ХН излучателя равен

$$\alpha_{3i} = \arccos \left\{ 2 \cdot D \cdot C_0 \cdot t_{3i} / \left[(C_0 \cdot t_{3i})^2 + 2 \cdot D \cdot d - d^2 \right] \right\}.$$

Абсолютная погрешность $\Delta \alpha_{3i}$ определения угла прихода при использовании электронной линии задержки зависит в основном от погрешности измерения скорости звука C_0 и равна

$$\Delta \alpha_{3i} \approx \frac{2 \cdot \cos \alpha_{3i} - 1}{\operatorname{tg} \alpha_{3i}} \cdot \delta C_0. \quad (5)$$

Здесь δC_0 – относительная погрешность измерения скорости звука на горизонте приёмников контактным датчиком скорости звука.

Для прямоугольной схемы зондирования этой погрешности определения угла прихода соответствует дополнительная погрешность в определении времени прихода акустического сигнала к приёмнику 3, равная

$$\Delta t(\alpha_{3i}) \approx \frac{D}{C} \cdot \frac{1 + \sin \alpha}{\cos^2 \alpha} \cdot \Delta \alpha_{3i}. \quad (6)$$

Оценку погрешности определения времён и углов прихода акустических сигналов проведём для следующих исходных данных [5, 6]: $D = 75$ м, $2\theta \approx 1^\circ$, $d = 15$ м, $C = C_0 = 1500$ м/с, $\delta C_0 \approx 1 \cdot 10^{-4}$. Результаты оценки по соотношениям (1) – (6) приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что при тех же самых условиях значения методической погрешности определения времени прихода принятого сигнала значительно больше значений составляющей погрешности времени прихода, обусловленной погрешностью определения угла прихода акустического сигнала к приёмнику 3, $\Delta t_{Mi} \gg \Delta t(\alpha_{3i})$, при этом $|\Delta t_i| \approx |\Delta t_{Mi}| \gg 10^{-4}$ с.

Таблица 1

Погрешности времён и углов прихода

Рассеиватель	$z_{io} = 75 \text{ м}$ $\alpha_{3i} = 45^\circ$		$z_{io} = 200 \text{ м}$ $\alpha_{3i} = 69.4^\circ$	
	P_{i1}	P_{i2}	P_{i1}	P_{i2}
$X_i, \text{ м}$	0,65	-0,66	3,34	-3,66
$Z_i, \text{ м}$	74,3	75,7	195,4	204,8
$\Delta t_{Mi} \cdot 10^{-3}, \text{ с}$	-1	1.1	-6,3	6,6
$\Delta \alpha_{3i}^\circ \cdot 10^{-3}$	2,3		-0,6	
$\Delta t(\alpha_{3i}) \cdot 10^{-6}, \text{ с}$	7		-8,8	

Таким образом, дистанционные акустические импульсные методы, основанные на прямоугольной бистатической схеме зондирования и приёме акустических сигналов, отражённых от относительно больших единичных биологических рассеивателей [2–4], принципиально не реализуемы в виду практической невозможности в аппаратуре, выполненной на их основе, определения времён прихода принятых сигналов, с точностью, требуемой для решения обратной задачи восстановления искомого ВРСЗ.

Необходима разработка новых способов акустического зондирования морской среды и границ, обеспечивающих повышенную точность определения исходных данных, а также менее критичных к их погрешностям соответствующих алгоритмов решения обратных задач восстановления искомого ВРСЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреева И.Б., Самоволькин В.Г. Рассеяние акустических волн на морских организмах. – М.: Агропромиздат. 1986. – 104 с.
2. Patent 3 388 372 USA. Cl.340-3. Determination of ocean sound velocity profiles / De Witz G.H. Filed 22.05.67. Publ. 11.06.68.
3. А.с. 761845 СССР. G01 Н 5/00. 10.05.78. Устройство для измерения вертикального распределения скорости звука в жидких средах / Серавин Г.Н. Оpubл. 07.09.80. Бюл. изобр. № 33.
4. А.с.1675687 СССР. G01 Н 5/00. 22.08.89. Устройство для измерения вертикального распределения скорости звука в жидких средах / Бравичев А.С. Оpubл. 07.09.91. Бюл. изобр. № 33.
5. Бухгейм А.Л., Зенкова Н.П. О дистанционном определении характеристик слоистых сред // Геология и геофизика. – 1981. – № 7. – С. 81-88.
6. Brown E.H., Farmer D.M., Gilheany J.J., Woodward W.E. The Echometer: An acoustic sound speed profiler // IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing. – 1984. – Vol. GE-22, № 6. – P. 641-647.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. А.Г. Голубев.

Серавин Георгий Николаевич – Научно-исследовательский институт оперативно-стратегических исследований строительства ВМФ Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия»; e-mail: srwn37@mail.ru; 196244, г. Санкт-Петербург, Витебский пр., 29, корп. 1, кв. 40; тел.: +78123789673; в.н.с.; д.т.н.; с.н.с.

Микушин Игорь Иванович – e-mail: mikyshin-igor@mail.ru; 196603, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ул. Саперная, 38, корп.2, кв. 8; тел.: +78124505079; зам. начальника; к.т.н.; доцент.

Лобанов Вадим Николаевич – e-mail: lobanof@inbox.ru; 197082, г. Санкт-Петербург, Богатырский пр. 58, корп. 4, кв. 77; тел.: +78124653546; н.с.

Seravin George Nikolaevich – Research institute of operative-and-strategic researches of the Navy construction Military Educational-and-Research Centre Naval Academy; e-mail: srwn37@mail.ru; App. 40, 29/1, Vitebsky pr., St.-Petersburg, 196244, Russia; phone: +78123789673; leading scientist; dr. of eng. sc.; senior scientist.

Mikushin Igor Ivanovich – e-mail: mikyshin-igor@mail.ru; App. 8, 38/2, Sapernaja street, St.-Petersburg, Pushkin, 196603, Russia; phone: +78124505079; the deputy chief; cand. of eng. sc.; associate professor.

Lobanov Vadim Nikolaevich – e-mail: lobanof@inbox.ru; app. 77, 58/4, Bogatyrsky pr., St.-Petersburg, 197082, Russia; phone: +78124653546; the research assistant.

УДК 534.222.2

П.П. Пивнев

**ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПА ПОСТРОЕНИЯ
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ
ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ СРЕДЫ***

Рассмотрен модульный принцип построения гидроакустических систем. Приведены варианты применения модульного принципа построения гидроакустической аппаратуры. Приведены примеры применения модульного конструирования в гидроакустической технике. Рассмотрена модульная антенна накачки низкочастотного профилографа и модульная система усилителей мощности. Рассмотрена конструкция двухчастотного модуля с электроникой. Сделан вывод, что применение модульного принципа построения при производстве гидроакустической техники позволяет создавать «гибкие» адаптивные системы из универсальных модулей, которые легко могут перестраиваться и модернизироваться.

Гидроакустическая система; конструирование; модуль.

P.P. Pivnev

**APPLICATION MODULAR PRINCIPLE SONAR SYSTEMS,
FOR THE ENVIRONMENTAL MONITORING OF MARINE ENVIRONMENT**

In the paper the modular design of sonar systems. Examples of application of modular design in sonar technology. Variants of the application modularity sonar equipment. We consider the modular antenna pumping bass profiler and modular power amplifiers. The design of a dual-frequency module with electronics. It is concluded that the use of modularity in the production of hydro-acoustic technology allows you to create "flexible" adaptive system of universal modules that can easily be rebuilt and modernized.

Sonar system; designing; module.

Морские экологические исследования немислимы без использования гидроакустических приборов и систем, позволяющих дистанционным методом производить оценку состояния, контроль параметров, изучение характеристик морского дна, подводных объектов и сооружений, морской среды и ее неоднородностей.

В настоящее время большое внимание уделяется адаптации, универсальности и повышению надежности аппаратуры.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (ГК №14.518.11.7068 и соглашение №14.A18.21.1284).