

**Кузнецов Владислав Петрович**

Институт океанологии Академии наук Российской Федерации им. П.П. Ширшова

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

117997, г. Москва, Россия, Нахимовский проспект, 36, тел.: 8(499) 1245996

Научный сотрудник института океанологии АН технических наук, доктор технических наук

**Voronin Artem Vasilievich**

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

E-mail: [egamt@fep.tsure.ru](mailto:egamt@fep.tsure.ru)

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

**Kuznecov Vladislav Petrovich**

P.P. Shirshov Institute of Oceanology, PAS

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

36, Nahimovsky, Moscow, 117997, Russia, Ph.:+7(449)1245996

УДК У681.586

**С.С. Снесарев, Г.В. Солдатов, А.И. Барсуков**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

*Данная работа посвящена проблеме контроля характеристик гидроакустических преобразователей и антенн, являющихся неотъемлемой частью систем экологического мониторинга водоемов. Рассмотрены методы измерения частотной характеристики преобразователей. Разработан алгоритм работы и программное обеспечение для автоматизированной установки.*

*Диагностика оборудования; структурная схема; частотная характеристика; программное обеспечение.*

**S. S. Snesarev, G. V. Soldatov, A.I. Barsukov**

**AUTOMATED PLANT FOR MEASUREMENT FEATURES OF  
TRANSDUCERS FOR ENVIRONMENTAL CONTROLLING SYSTEM**

*The article concerned with the problem of characteristics measurements and controlling of transducers and antennas for hydroacoustics equipment. Such equipment is necessary for environmental monitoring of water body. Design and algorithm of working automated plant for this purposes were described.*

*Diagnostics of the equipment; the block diagram; frequency characteristic; software.*

Современное развитие промышленности, транспорта, прокладка новых газонефтепроводов в значительной мере повышают уровень загрязнения окружающей среды и в первую очередь рек, водоемов и морей. Природоохранительная стратегия, направленная на контроль водной среды, практически невозможна без регулярного и массового контроля санитарно-гигиенических нормативов, обеспечения

навигационной безопасности плавания, исследования физических параметров водоемов с применением современных акустических систем.

Для реализации контроля водной среды используются комплексы акустических систем для мониторинга акваторий [1]. Основу комплексов таких систем составляют гидроакустические антенны, эхолоты, гидролокаторы бокового обзора, акустические профилографы, выпуск которых остается довольно трудоемким и дорогим не только из-за трудоемкости технологических операций, но и из-за трудностей измерения и контроля основных электроакустических параметров, от которых в первую очередь зависит качество изделия и его основные технические характеристики, а соответственно и характеристики всего комплекса.

Для того чтобы контрольно-измерительная аппаратура была на уровне предъявляемых к ней технических требований, необходим периодический, правильно поставленный контроль за эксплуатационными свойствами используемых систем и в первую очередь электроакустических преобразователей. Показателями качества преобразователя являются электроакустические параметры, проверка которых позволяет контролировать качество изготавливаемых изделий. Такой контроль проводится как в процессе производства акустических систем (антенн, преобразователей и др.), так и в процессе их эксплуатации.

Настоящая работа направлена на снижение трудоемкости проверки основных электромеханических параметров и повышение точности измеряемых параметров акустических антенн и систем как при их производстве, так и при эксплуатации.

Основными электроакустическими параметрами, определяющими их основные эксплуатационные характеристики для преобразователей, работающих в воде, являются: электрическая емкость, частота резонанса и антирезонанса, зависимость динамической емкости от частоты, частотные зависимости модуля полного (комплексного) сопротивления.

Контроль частотной характеристики модуля полной электрической проводимости (сопротивления), по которой определяются такие основные характеристики пьезоэлектрического преобразователя, как частота резонанса  $f_r$  и антирезонанса  $f_a$ , полоса пропускания, активные и реактивные сопротивления, проводится по стандартной структурной схеме [2,3,4], представленной на рис.1.

Установка состоит из низкочастотного генератора, который служит для создания электрических колебаний в преобразователе в требуемом диапазоне частот, добавочного резистора и электронных вольтметров 3 и 4 для контроля напряжения на преобразователе ПР и на добавочном резисторе R. Добавочный резистор представляет собой набор резисторов, соединенных между собой переключателями, что позволяет изменять величину сопротивления R при проведении измерений и обеспечить условие  $R \leq 0,1Z$ .

Полученные данные записываются в таблицы, затем рассчитываются  $R_w(f), C_y(f), Z$ :

а) частотные зависимости активной составляющей  $R_w(f)$  полного сопротивления по формуле

$$R_w = \frac{R_A \cdot U_A}{U_R \cdot \cos(\varphi) - U_A};$$

б) частотные зависимости динамической емкости антенны  $C_y(f)$  по формуле

$$C_y = \frac{U_R \cdot \sin(\varphi)}{R_A \cdot U_A \cdot \omega};$$

в) частотные зависимости модуля полного сопротивления Z образца по формуле

$$Z = \frac{R_d}{\sqrt{\left(\frac{U_R}{U_A}\right)^2 - 2 \frac{U_R}{U_A} \cdot \cos \varphi + 1}}$$

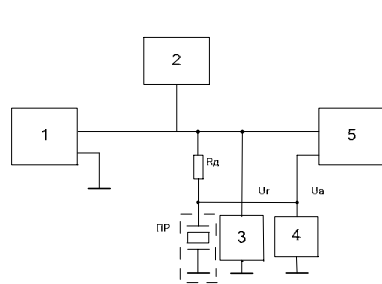


Рис. 1. Структурная схема стандартной установки для измерения частотной характеристики

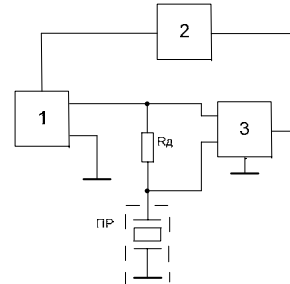


Рис. 2. Структурная схема автоматизированной установки

По данным расчетов строятся графики изменения  $R_w$ ,  $C_d$  и  $Z$  от частоты. Трудоемкость проведения такого контроля довольно высока и при серийном изготовлении акустических антенн и систем задача автоматизированного контроля является весьма актуальной.

Предлагаемая автоматизированная установка контроля частотных характеристик преобразователей не требует приобретения дорогостоящей измерительной аппаратуры, позволяет проводить измерения в широком диапазоне частот, повысить точность измерений, автоматизировать обработку результатов измерений и выдачу их на печать.

Структурная схема предлагаемой автоматизированной установки для измерения параметров преобразователей приведена на рис. 2.

Установка состоит из низкочастотного генератора 1, который служит для создания электрических колебаний в преобразователе в требуемом диапазоне частот, добавочного резистора и преобразователя, подключенного к ним двухканального АЦП 3 и ЭВМ 2. ЭВМ задает частоту генератора, на которой производится измерение характеристик преобразователя. Сигналы с преобразователя и добавочного резистора поступают на входы двухканального АЦП, в котором они преобразуются в последовательность цифровых отсчетов. В ЭВМ осуществляется нахождение разности фаз между сигналами и их амплитудами, а также последующий расчет характеристик преобразователя. Программа, написанная на языке C++Builder, позволяет управлять работой генератора и АЦП и отображает полученные результаты.

Предлагаемый алгоритм измерения фазы основан на принципе синхронного фазового детектирования, при котором принятый сигнал перемножается с опорным. Пусть имеются 2 гармонических сигнала единичной амплитуды и одинаковой частоты, не содержащих постоянной составляющей  $A_1(t) = \cos(\omega t)$  и  $A_2(t) = \cos(\omega t + \Delta\varphi)$ , разность фаз между этими сигналами равна  $\Delta\varphi$ . Перемножим эти сигналы:

$$A_1(t) \cdot A_2(t) = \frac{1}{2} \cos(2\omega t + \Delta\varphi) + \frac{1}{2} \cos(\Delta\varphi)$$

Полученное выражение представляет собой гармонический сигнал с частотой  $2\omega t$  и постоянной составляющей  $1/2\cos(\Delta\varphi)$ . Выделив постоянную составляющую у полученного сигнала, можно получить разность фаз между исходными сигналами. Постоянная составляющая гармонического сигнала вычисляется путем его интегрирования и деления на длину интервала интегрирования. Постоянная составляющая определяется по формуле

$$\frac{1}{T} \int_0^T A_1(t) \cdot A_2(t) dt, \text{ следовательно, } \frac{1}{2} \cos(\Delta\varphi) = \frac{1}{T} \int_0^T A_1(t) \cdot A_2(t) dt,$$

где  $T$  – время, на котором производится сравнение фаз сигналов, причем необходимо выполнение условия  $T \gg \frac{2\pi}{\omega}$ , так как в общем случае на время  $T$  «укладывается» нецелое число периодов гармонического сигнала.

В результате получим:

$$\Delta\varphi = \arccos \left[ \frac{2}{T} \int_0^T A_1(t) \cdot A_2(t) dt \right].$$

В предлагаемой установке используются аналогово-цифровые преобразователи и методы цифровой обработки сигналов. Здесь следует учитывать, что амплитуда сигналов, получаемых с АЦП, не равна единице и может иметь постоянную составляющую.

Для избавления от постоянной составляющей воспользуемся формулами

$$E = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N A(n), \quad A'(n) = A(n) - E,$$

где  $E$  – постоянная составляющая,  $N$  – количество отсчетов в выборке,  $A(n)$  – отсчеты входного сигнала,  $A'(n)$  – отсчеты преобразованного сигнала без постоянной составляющей.

Для того чтобы привести амплитуды полученных сигналов без постоянной составляющей к единице, воспользуемся формулой

$$A_{ампл} = \sqrt{\frac{2}{N} \sum_{n=1}^N (A'(n))^2}, \quad A_{ед}(n) = \frac{A'(n)}{A_{ампл}},$$

где  $A_{ампл}$  – вычисленное значение амплитуды сигнала,  $A_{ед}$  – значения отсчетов сигнала, приведенного к единице. Здесь вычисляется действующее значение гармонического сигнала за время выборки длиной  $N$ , затем из него вычисляется амплитудное. После этого, путем деления каждого отсчета сигнала без постоянной составляющей на амплитудное значение, получают отсчеты сигнала, приведенного к единице. После этих преобразований можно переходить непосредственно к измерению значения фазы по формуле

$$\Delta\varphi = \arccos \left[ \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N A_{ед1}(n) \cdot A_{ед2}(n) \right].$$

Относительную погрешность измерения амплитуд и фазы, ваттного сопротивления можно определить по формулам [5]

$$A_{ед1}(n) = \frac{100}{8192} = 0,012 \%; \quad A_{ед2}(n) = 0,2 \%;$$

$$\Delta\Delta\varphi = \sqrt{A_{e01}(n)^2 + A_{e01}(n)^2} = 0,21\%;$$

$$Rw = \sqrt{A_{e01}(n)^2 + A_{e01}(n)^2 + \Delta\Delta\varphi^2} = 0,28\%.$$

Работа установки была проверена на эквивалентах преобразователей и на реальных акустических антеннах. Погрешности экспериментальных измерений характеристик преобразователя оказались в пределах рассчитанных теоретических значений. Значительно сократилось время, затрачиваемое на измерение характеристик одной антенны с 10-15 минут на стандартной установке до 15–20 секунд на предлагаемой установке.

Из всего вышесказанного следует, что предлагаемая автоматизированная установка не только сокращает трудоемкость и время, необходимое для измерений, что снижает себестоимость преобразователей, но и позволяет с большой точностью контролировать характеристики преобразователей и антенн.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Такки Д.Ф.* КОСМ – комплексная акустическая система для экологического мониторинга // Известия ТРТУ. Тематический выпуск: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Экология 2000 – море и человек». – Таганрог, 1999. – С.36.
2. *Колесников А.Е.* Акустические измерения. – Л.: Судостроение, 1983.
3. *Боббер Р.* Гидроакустические измерения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1974.
4. Измерения в промышленности. Справочник. Т. 1, 2, 3 / Под ред. *П.Профоса.* – М.: Металлургия, 1990.
5. *Рабинович С.Г.* Погрешности измерений. – Л.: Энергия, 1978.

#### **Снесарев Сергей Стефанович**

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

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

347918, Россия, Ростовская обл., г. Таганрог, ГСП 17А, ул. П.Тольятти, д.36, кв.10, тел.:8-(8634) 37-53-13

#### **Солдатов Геннадий Валерьевич**

E-mail: [g.soldatov@gmail.com](mailto:g.soldatov@gmail.com)

#### **Барсуков Александр Игоревич**

E-mail: [clever\\_al@inbox.ru](mailto:clever_al@inbox.ru)

#### **Snesarev Sergei Stefanovich**

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

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

Flat 10, 36, P.Tol’jtti, Taganrog, Rostov areas, 347928, Russia, Ph.:+7(8634) 37-53-13

#### **Soldatov Gennady Valeryevich**

E-mail: [g.soldatov@gmail.com](mailto:g.soldatov@gmail.com)

#### **Barsukov Aleksandr Igorevich**

E-mail: [clever\\_al@inbox.ru](mailto:clever_al@inbox.ru)