

Измерение фазочастотной характеристики приемной антенны многолучевого эхолота в условиях гидроакустического бассейна

С.П. Тарасов, В.И. Тимошенко, В.А. Воронин, И.А. Кириченко, П.П. Пивнев, Г.В. Солдатов, А.П. Волощенко, А.С. Эсси-Эзинг, В.А. Обыденная, Д.А. Франчук

Южный федеральный университет, факультет электроники и приборостроения

Многообразие задач подводных поисковых работ, условия работы на мелководье, в реках, озерах и на больших глубинах выявляет необходимость в разработке и изготовлении многообразия гидроакустических комплексов для исследования морского дна и гидроакустических антенных систем к ним. Проблемы, решаемые такими гидроакустическими комплексами, это: картографирование дна и донных осадков, поиск объектов на дне и в придонных грунтах, мониторинг инженерных сооружений, геологические и гидрографические работы. Характеристики гидроакустических комплексов и гидроакустических антенн определяются поставленными задачами. Основу данных комплексов 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 измерениям и контроля основных электроакустических параметров, от которых в первую очередь зависит качество изделия и его основные технические характеристики, а соответственно и характеристики всего комплекса.

Рассматривается методика контроля фазо-частотных характеристик на примере приемных антенн многолучевых эхолотов. Фазо-частотная характеристика каналов приемной антенны имеет некоторую неравномерность, которая может привести к ошибкам при синтезировании характеристики направленности приемной антенны. Поэтому необходимо осуществлять контроль неравномерности фазо-частотных характеристик каналов приемной антенны [1, 2].

Измерение фазо-частотных характеристик многоканальной гидроакустической приемной антенны с использованием УСУ «Имитационно-натурный гидроакустический комплекс» в рамках приоритетного направления «Рациональное природопользование». Структурная схема измерительной установки приведена на рисунке 1, где 1 – генератор радио-импульсов, 2 – усилитель мощности, 3 – Фазометр, 4 – излучатель гидроакустический, 5 – Осциллограф, 6 – многоканальная приемная антенна.

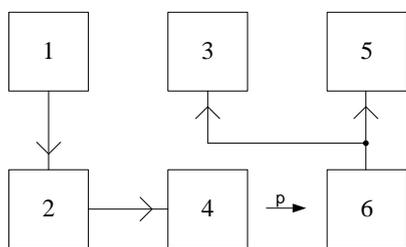


Рисунок 1 — Структурная схема измерительной установки

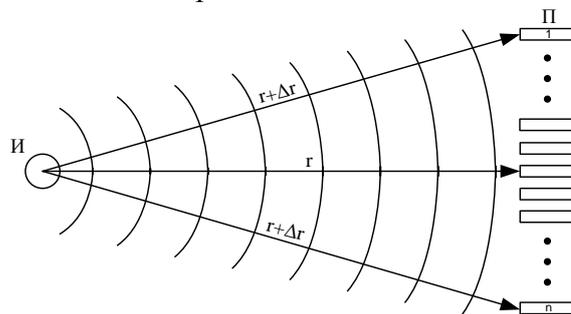


Рисунок 2 — Геометрия измерений разности фаз между каналами приемной антенны.

Дополнительный излучатель и приемная антенна устанавливаются на поворотных устройствах бассейна на расстоянии 3,45 м. С помощью ПВУ акустические оси антенн совмещаются, контроль при этом осуществлялся по уровню и фазовому сдвигу сигнала между каналами приемной антенны с помощью осциллографа 5. Далее измеряется разность фаз между соседними каналами антенны, а затем между опорным (канал 1) и

остальными каналами антенны. Геометрия эксперимента показана на рисунке 2, где И — излучатель гидроакустический, П — приемная антенна.

Из рисунка 2 видно, что расстояние от фазового центра источника до каналов приемной антенны не одинаково, что приводит к возникновению фазового сдвига между каналами антенны, обусловленного пространственным набегом фаз. Поэтому при определении разности фаз между каналами антенны необходимо вводить поправку, величина которой зависит от расстояния между каналами антенны и от расстояния между антенной и источником.

Фаза сигнала на выходе n-ого канала определяется по формуле:

$$\varphi_n = \omega t + kx_n + \varphi_{kn}; \tag{1}$$

где φ_n — фаза сигнала на выходе n-ого канала, ω — круговая частота, t — время, $k=2\pi/\lambda$ — волновое число, x_n — расстояние от источника до n-ого канала, φ_{kn} — сдвиг фаз, вносимый n-ым каналом.

Тогда разность фаз между двумя каналами антенны определяется по формуле:

$$\varphi_n - \varphi_m = k(x_n - x_m) + \varphi_{kn} - \varphi_{km}; \tag{2}$$

где φ_n — фаза сигнала на выходе n-ого канала, φ_m — фаза сигнала на выходе m-ого канала, $k=2\pi/\lambda$ — волновое число, x_n — расстояние от источника до n-ого канала, x_m — расстояние от источника до m-ого канала, φ_{kn} — сдвиг фаз, вносимый n-ым каналом, φ_{km} — сдвиг фаз, вносимый m-ым каналом.

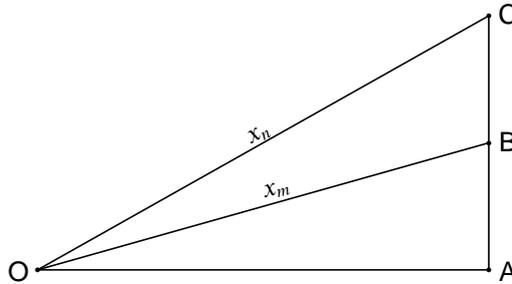


Рисунок 3 — Геометрия измерений разности фаз между каналами приемной антенны.

Из формулы 2 видно, что между каналами антенны присутствует фазовый сдвиг, обусловленный пространственным набегом фаз, $\varphi=k(x_n-x_m)$. Для учета этого сдвига необходимо определить разность хода лучей (x_n-x_m). Разность хода лучей от источника до n-ого и m-ого каналов антенны, находится из геометрических соотношений (рисунок 3), где OA — расстояние от источника до центра приемной антенны, OB и OC — расстояние от источника до n-ого и m-ого каналов антенны, BC — расстояние между фазовыми центрами n-ого и m-ого каналов антенны.

Расстояние между фазовыми каналами антенны и расстояние от источника. Тогда разность хода лучей определяется по формуле:

$$x_n - x_m = \sqrt{OA^2 + AC^2} - \sqrt{OA^2 + AB^2} \tag{3}$$

Подставив выражение (3) в (2) получим формулу для расчета разности фаз между двумя каналами антенны с учетом пространственного набега фаз.

$$\varphi_n - \varphi_m = k(\sqrt{OA^2 + AC^2} - \sqrt{OA^2 + AB^2}) + \varphi_{kn} - \varphi_{km}; \tag{4}$$

Чтобы совместить акустические оси приемной антенны и дополнительного излучателя, необходимо добиться соотношения разности фаз между крайними и центральным элементом в соответствии с формулой:

$$\varphi_{n/2-n} - \varphi_{n/2-1} = \varphi_{1-n}; \tag{5}$$

где $\varphi_{n/2-1}$ — разность фаз сигнала между центральным и первым каналом, $\varphi_{n/2-n}$ — разность фаз между центральным и последним каналом, φ_{1-n} — разность фаз между крайними каналами.

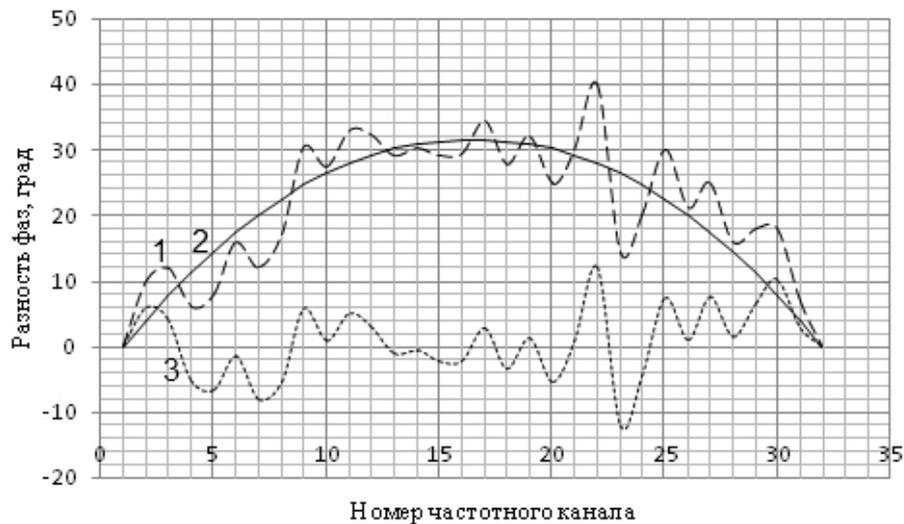


Рисунок 4 — Результат измерения фазо-частотной характеристики многоканальной приемной антенны, где кривая 1 – экспериментальная, кривая 2 – теоретическая, кривая 3 – расчетная.

Формула (5) получена из следующих соотношений:

$$\begin{cases} \varphi_{n/2-1} = \varphi_{n/2} - \varphi_1 = kx_{n/2} - kx_1 + \varphi_{kn/2} - \varphi_1 \\ \varphi_{n/2-n} = \varphi_{n/2} - \varphi_n = kx_{n/2} - kx_n + \varphi_{kn/2} - \varphi_n \\ \varphi_{1-n} = \varphi_1 - \varphi_n = kx_1 - kx_n + \varphi_1 - \varphi_n \\ kx_1 = kx_2 \end{cases} \quad 6$$

где $\varphi_{n/2-1}$ – разность фаз сигнала между центральным и первым каналом, $\varphi_{n/2-n}$ – разность фаз между центральным и последним каналом, φ_{1-n} – разность фаз между крайними каналами, φ_n – фаза сигнала на выходе n-ого канала, $\varphi_{n/2}$ – фаза сигнала на выходе центрального канала, φ_1 – фаза сигнала на выходе 1-ого канала, φ_{kn} – сдвиг фаз, вносимый n-ым каналом, $\varphi_{kn/2}$ – сдвиг фаз, вносимый центральным каналом, φ_1 – сдвиг фаз, вносимый 1-ым каналом.

На рисунке 4 приведены результаты измерения фазо-частотной характеристики многоканальной приемной антенны. Антенна состоит из 32 каналов, работающих на частоте 100 кГц.

Из всего вышесказанного можно следует, что с помощью приведенной выше методики, можно производить контроль фазо-частотных характеристик многоканальных антенны. Результаты, полученные при апробировании методики контроля фазо-частотных характеристик с помощью УСУ «Имитационно-натурный гидроакустический комплекс», могут быть полезны при проектировании гидроакустических антенн с управляемыми характеристиками [3].

Работа выполнена при поддержке при поддержке Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» ГК №14.518.11.7068, Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., соглашение №14.A18.21.1284.

Литература

1. Колесников А.Е. Акустические измерения. - Л.: Судостроение, 1983.
2. Боббер Р. Гидроакустические измерения. (пер. с англ.) М.: Мир, 1974.
- 3/Кириченко И.А., Пивнев П.П. Алгоритм управления направленными свойствами акустических антенн с криволинейной излучающей поверхностью // Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ЮФУ. 2012. - №9 (134). – С. 207-210.

