**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:

|  |  |
| --- | --- |
| $φ\_{n}= ωt+kx\_{n}+φ\_{кn}$; | 1 |

где *φn* – фаза сигнала на выходе n-ого канала, *ω* – круговая частота, *t* – время, *k=2π/λ* – волновое число, *xn*– расстояние от источника до n-ого канала, *φкn*– сдвиг фаз, вносимый n-ым каналом.

Тогда разность фаз между двумя каналами антенны определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $φ\_{n}- φ\_{m}= k\left(x\_{n}-x\_{m}\right)+φ\_{кn}-φ\_{кm}$; | 2 |

где *φn* – фаза сигнала на выходе n-ого канала, *φm* – фаза сигнала на выходе m-ого канала, *k=2π/λ* – волновое число, *xn* – расстояние от источника до n-ого канала, *xm* – расстояние от источника до m-ого канала, *φкn*– сдвиг фаз, вносимый n-ым каналом,*φкm*– 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, *φ=k*(*xn-xm*). Для учета этого сдвига необходимо определить разность хода лучей (*xn-xm*). Разность хода лучей от источника до n-ого и m-ого каналов антенны, находится из геометрических соотношений (рисунок 3), где ОА – расстояние от источника до центра приемной антенны, ОВ и ОС – расстояние от источника до n-ого и m-ого каналов антенны, ВС – 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:

|  |  |
| --- | --- |
| $$x\_{n}-x\_{m}= \sqrt{ОА^{2}+АС^{2}}-\sqrt{ОА^{2}+АВ^{2}}$$ | 3 |

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

|  |  |
| --- | --- |
| $φ\_{n}- φ\_{m}= k\left(\sqrt{ОА^{2}+АС^{2}}-\sqrt{ОА^{2}+АВ^{2}}\right)+φ\_{кn}-φ\_{кm}$; | 4 |

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

|  |  |
| --- | --- |
| $φ\_{n/2-n}- φ\_{n/2-1}= φ\_{1-n}$; | 5 |

где *φn/2-1* – разность фаз сигнала между центральным и первым каналом, *φn/2-n* – разность фаз между центральным и последним каналом, *φ1-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:

|  |  |
| --- | --- |
| $$\left\{\begin{array}{c}φ\_{n/2-1}=φ\_{n/2}-φ\_{1}=kx\_{n/2}-kx\_{1}+φ\_{кn/2}-φ\_{1}\\φ\_{n/2-n}=φ\_{n/2}-φ\_{n}=kx\_{n/2}-kx\_{n}+φ\_{кn/2}-φ\_{n}\\φ\_{1-n}=φ\_{1}-φ\_{n}=kx\_{1}-kx\_{n}+φ\_{1}-φ\_{n}\\kx\_{1}= kx\_{2}\end{array}\right.$$ | 6 |

где *φn/2-1* – разность фаз сигнала между центральным и первым каналом, *φn/2-n* – разность фаз между центральным и последним каналом, *φ1-n*– разность фаз между крайними каналами, *φn* – фаза сигнала на выходе n-ого канала, *φn/2* – фаза сигнала на выходе центрального канала, *φ1* – фаза сигнала на выходе 1-ого канала, *φкn*– сдвиг фаз, вносимый n-ым каналом, *φкn/2* – сдвиг фаз, вносимый центральным каналом, *φ1* – сдвиг фаз, вносимый 1-ым каналом.

На рисунке 4 приведены результаты результат 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.А18.21.1284.

**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., ПивневП.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.