

Б.Е.Кинбер, А.И.Махов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ
НАПРАВЛЕНИЯ ПРИХОДА ВОЛНЫ В НЕОДНОРОДНОМ ПОЛЕ

При обычной пеленгации пеленгатор находится в дальней зоне источника излучения, поле в зоне антенн пеленгатора можно считать плоским и равномерным. В случае измерения параметров поля интегральным методом [1] вид поля в зоне антенн нам неизвестен. Оно может быть неоднородным по амплитуде и фазе, что приводит к погрешности определения пеленга, а следовательно, и фазы.

В отличие от погрешностей, вызванных случайными факторами, эту погрешность, обусловленную объектом измерения, — полем — назовем систематической. Величина этой погрешности зависит от вида поля, типа пеленгатора и размера апертуры антенн.

Описанные в работах [1] и [2] интегральные фазометры основаны на использовании четырех типов пеленгаторов. Для этих пеленгаторов выведем соотношения, позволяющие рассчитать систематическую погрешность, а затем для ряда конкретных полей рассчитаем ее величину. Введем следующие обозначения: α — точное значение измеряемого угла; α_0 — значение угла, характеризующее рабочую точку антенны пеленгатора; $\Delta\alpha$ — погрешность измерения пеленга; $\Gamma_{\pm}(\alpha)$, $\Gamma_{\pm}(\alpha_0)$ — модули сигналов антенн в плоском равномерном поле (диаграммы направленности); $U_1(\alpha)$, $U_2(\alpha)$ — модули сигналов антенн в равномерном поле.

В случае одинаковых антенн отсчет угла производится от равносигнальной зоны, в случае разных антенн — от максимума диаграмм направленности. Ограничим область отсчета углов главным лепестком диаграммы направленности антенны с большей апертурой. Тогда модули сигналов антенн можно считать аналитическими функциями. Предполагается, что величина погрешности измерения угла намного меньше одного измеряемого угла.

Рассмотрим каждый пеленгатор отдельно.

1. Пеленгатор образован из двух одинаковых антенн по равносигнальному методу. Антенны развернуты на угол $2\alpha_0$ относительно друг друга вокруг общего фазового центра (например, за счет смещения облучателей рефлектора из фокуса). Пеленг определяется по соотношению сигналов антенн. Для плоского равномерного поля имеем сле-

дующее равенство:

$$\Gamma(\alpha_0) = \Gamma(-\alpha_0).$$

величина α_0 выбирается из условия максимума чувствительности. В неоднородном поле пеленг определяется с погрешностью $\Delta\alpha$:

$$U(\alpha_0 + \Delta\alpha) = U(-\alpha_0 + \Delta\alpha). \quad (1)$$

используя условия, оговоренные выше, разложим левую и правую части выражения (1) в ряд Тейлора и ограничимся двумя членами ряда. После преобразований получим следующее выражение для определения погрешности:

$$\Delta\alpha = \frac{U(\alpha_0) - U(-\alpha_0)}{U'(-\alpha_0) - U'(\alpha_0)}. \quad (2)$$

2. Пеленгатор образован из двух одинаковых антенн по методу сравнения. Антенны неподвижны и развернуты на угол $2\alpha_0$ относительно друг друга. Пеленг определяется по отношению разности модулей сигналов антенн к их сумме. для неоднородного поля, где пеленг определяется с погрешностью $\Delta\alpha$, имеем следующее уравнение пеленгатора [3]:

$$\frac{\Gamma(\alpha + \alpha_0 + \Delta\alpha) - \Gamma(\alpha - \alpha_0 + \Delta\alpha)}{\Gamma(\alpha + \alpha_0 + \Delta\alpha) + \Gamma(\alpha - \alpha_0 + \Delta\alpha)} = \frac{U(\alpha + \alpha_0) - U(\alpha - \alpha_0)}{U(\alpha + \alpha_0) + U(\alpha - \alpha_0)}. \quad (3)$$

Обозначая правую часть уравнения (3) через m и делая преобразования, аналогичные проведенным в п. 1, определим погрешность пеленгации:

$$\Delta\alpha = \frac{(1-m)\Gamma(\alpha + \alpha_0) - (1+m)\Gamma(\alpha - \alpha_0)}{(1+m)\Gamma'(\alpha - \alpha_0) - (1-m)\Gamma'(\alpha + \alpha_0)}, \quad (4)$$

где

$$m = \frac{U(\alpha + \alpha_0) - U(\alpha - \alpha_0)}{U(\alpha + \alpha_0) + U(\alpha - \alpha_0)}.$$

3. Пеленгатор образован из двух разных антенн по равносигнальному методу. Антенны имеют общий фазовый центр и разные диаграммы направленности. Пеленг определяется по равенству модулей сигналов антенн. Так как сравнение сигналов антенн происходит после их усиления, то можно, подбирая коэффициенты передачи трактов, регулировать рабочую точку пеленгатора α_0 . Отношение коэффициентов передачи учитывается с помощью коэффициента m .

Для плоского равномерного поля имеем следующее равенство:

$$\Gamma_1(\alpha_0) = m \Gamma_2(\alpha_0).$$

Это соотношение связывает величины m и α_0 и может быть использовано при выборе рабочей точки.

Аналогичное выражение имеем для неоднородного поля, где пеленг определяется с погрешностью $\Delta \alpha$:

$$U_1(\alpha_0 + \Delta \alpha) = m U_2(\alpha_0 + \Delta \alpha).$$

Делая преобразования, аналогичные проведенным в пп. 1 и 2, получим следующее выражение для расчета погрешности $\Delta \alpha$:

$$\Delta \alpha = \frac{U_1(\alpha_0) - m U_2(\alpha_0)}{m U_2'(\alpha_0) - U_1'(\alpha_0)}, \quad (5)$$

где

$$m = \frac{\Gamma_1(\alpha_0)}{\Gamma_2(\alpha_0)}.$$

4. Пеленгатор образован из двух разных антенн по методу сравнения. Пеленг определяется по отношению модулей сигналов неподвижных антенн. Имеем следующее уравнение пеленгатора [3]:

$$\frac{\Gamma_1(\alpha + \Delta \alpha)}{\Gamma_2(\alpha + \Delta \alpha)} = \frac{U_1(\alpha)}{U_2(\alpha)}.$$

Делая преобразования, аналогичные проведенным в п. 2, получим следующее выражение для определения погрешности $\Delta \alpha$:

$$\Delta \alpha = \frac{\Gamma_1(\alpha) - m \Gamma_2(\alpha)}{m \Gamma_2'(\alpha) - \Gamma_1'(\alpha)}, \quad (6)$$

где

$$m = \frac{U_1(\alpha)}{U_2(\alpha)}.$$

Соотношения (2), (4), (5), (6) позволяют рассчитать систематическую погрешность для заданного конкретного поля.

В данной работе были определены погрешности для трех видов полей: поля цилиндрической волны; поля двух плоских волн, моделирующих плоскую волну с косинусоидальным амплитудным распределением по апертуре, и поля двух плоских волн, моделирующих плоскую волну с синусоидальным амплитудным распределением.

В качестве антенн пеленгаторов были выораны линейные приемники размером $2L$.

Сигнал антенны в поле цилиндрической волны описывается следующим выражением [4], [5]:

$$u(\Omega) = \frac{e^{i\kappa z}}{\sqrt{z}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-i)^n}{2^n n!} B^n \Gamma^{(2n)}(\Omega), \quad (7)$$

где $B = \frac{\kappa L^2}{z}$; $\Omega = \kappa L \alpha$.

Для случая $B < 1$ было получено выражение модуля сигнала и его производной и рассчитаны погрешности для 2,3 и 4 типов пеленгаторов в поле цилиндрической волны с использованием равенств (4), (5), (6), (7).

Для ситуации двух плоских волн были получены следующие выражения модуля сигнала антенны и его производной.

Косинусоидальное распределение:

$$U = A_0 [\Gamma(\Omega - \gamma) + \Gamma(\Omega + \gamma)]; \quad (8)$$

$$U' = A_0 [\Gamma'(\Omega - \gamma) + \Gamma'(\Omega + \gamma)],$$

где $\gamma = 2 \alpha z c \sin \sqrt{\frac{B}{2}}$.

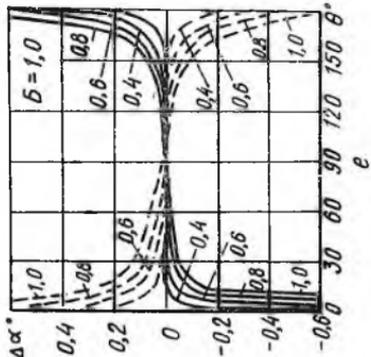
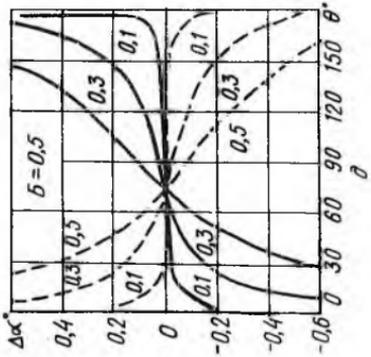
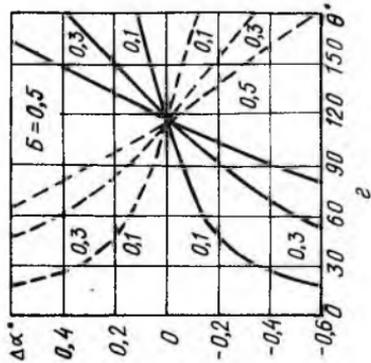
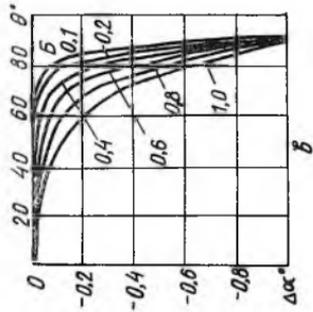
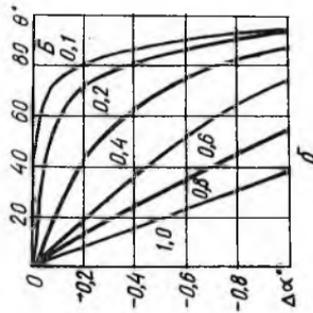
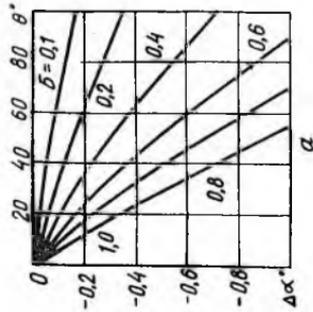
Синусоидальное распределение:

$$U = A_0 \sqrt{\Gamma^2(\Omega - \gamma) + \Gamma^2(\Omega + \gamma)};$$

$$U' = A_0^2 \frac{\Gamma(\Omega - \gamma)\Gamma'(\Omega - \gamma) + \Gamma(\Omega + \gamma)\Gamma'(\Omega + \gamma)}{U}, \quad (9)$$

где $\gamma = \alpha z c \sin B$; B - параметр неравномерности поля по апертуре антенны, $B = \frac{A/x=L - A/x=0}{2A_0}$.

По формулам (8) и (9) с использованием выражений (4), (5), (6) были рассчитаны погрешности пеленгаторов в неравномерном плоском поле. Результаты расчетов представлены на рис. I. Пеленгатор I в указанных полях вследствие их симметрии погрешности не имеет. Полученные графики систематических погрешностей позволяют оценить погрешности фазометра, правильно выбрать размер, соотношения антенн пеленгатора и длину интервала измерения фазы по координате измерения,



Р и с. 1. Погрешности пеленгации в неоднородном поле: а, б, в — пеленгатор № 3; г, д, е — пеленгатор № 4; а, г — косинусо-идальное распределение; в, е — цилиндрическая волна; $L = 5$

Л и т е р а т у р а

1. А б р а м о в Г.В., М а х о в А.И. Акустические проекторные системы. Издательство Саратовского государственного университета, 1972.

2. М а х о в А.И. Датчики ультразвуковых фазометров. Исследования по акустике, электрофизике и радиоэлектронике. КуАИ, вып.3, 1975.

3. Б е л а в и н О.В. Основы радиопеленгации. М., "Советское Радио", 1967.

4. Б о р о в и к о в В.А., К и н б е р Б.Е. Четыре лекции по геометрической теории дифракции. Издательство Ленинградского государственного университета, 1972.

5. К и н б е р Б.Е., А р с а е в и.А. Взаимное влияние антенн в зоне Френеля. "Радиотехника и электроника", т.16, 1971, № 1, с. 2073-2081.

УДК 534.26

Л.А.Калакутская

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖЕННОГО АКУСТИЧЕСКОГО ЛЧМ СИГНАЛА С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТА

В работе [1] показано, что для сигнала сложной формы можно построить фильтр, мало отличающийся от оптимального. В практике очень важно учитывать, насколько существенное влияние на эффективную работу оптимального фильтра оказывают изменения параметров принимаемых этим фильтром сигналов.

Рассмотрим этот вопрос применительно к отражению акустического ЛЧМ сигнала от тонкой упругой пластинки, находящейся в жидкости, с последующей обработкой отраженного сигнала в оптимальном фильтре.

В этом случае в роли функции искажения спектра ЛЧМ сигнала выступает коэффициент отражения звука тонкой упругой пластинкой $\bar{A}(\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$. Величины $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ можно представить как функции искажения соответственно амплитудного и фазового спектра сигнала.