

## Л и т е р а т у р а

1. Абрамов Г.В., Назарова Л.А. Расчет функций распределения интенсивности и фазы ультразвукового поля в раскрыте эллиптических линз и рефлекторов при изотропном излучателе. Сб.: "Исследования по акустике и радиоэлектронике". КуАИ, вып. 44, 1970.

2. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М., 1956.

3. Брековских Л.М. Волны в слоистых средах. Изд. АН СССР, М., 1957.

4. Тартаковский Б.Д. Звуковые переходные слои. ДАН СССР, 75, 29, 1950.

Г.В.Абрамов, А.И.Махов

### ЛИНЕЙНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРИЕМНИК В НЕОДНОРОДНОМ ПОЛЕ

Линейный ультразвуковой приемник представляет собой плоский приемник (длина которого  $\gg \lambda$ , а ширина  $\leq \lambda$ ) и может быть применен в качестве датчика некоторых приборов, например, фазометров [1]. В этом случае он характеризуется своей градуировочной кривой, которая для плоского равномерного поля совпадает с диаграммой направленности

$$u = U_p \frac{\sin(\kappa L \sin \alpha)}{\kappa L \sin \alpha},$$

где  $\kappa = \frac{2\pi}{\lambda}$  - волновое число,  $2L$  - длина приемника;  $\alpha$  - угол между приемником и фронтом волны [2], [3].

Реальные ультразвуковые поля отнюдь не плоские и не равномерные. Поэтому представляет интерес рассмотрение отклонения градуировочной кривой от диаграммы направленности при наличии сферичности и неравномерности ультразвукового поля. При этом предполагаем, что дифракция на приемнике отсутствует. Тогда задача сводится к интегрированию по элементарным участкам преобразователя, как это принято в антенной технике [3]. Прием -

нительно к двум видам неоднородностей /фазовым и амплитудным/ рассмотрим линейный приемник в сферическом равномерном и плоском неравномерном поле. Везде будем предполагать стационарный режим.

Линейный приемник в сферическом равномерном поле. Пусть в точке  $O$  /рис. 1, а/ находится излучатель сферических волн, в точке  $O'$  - центр ли-

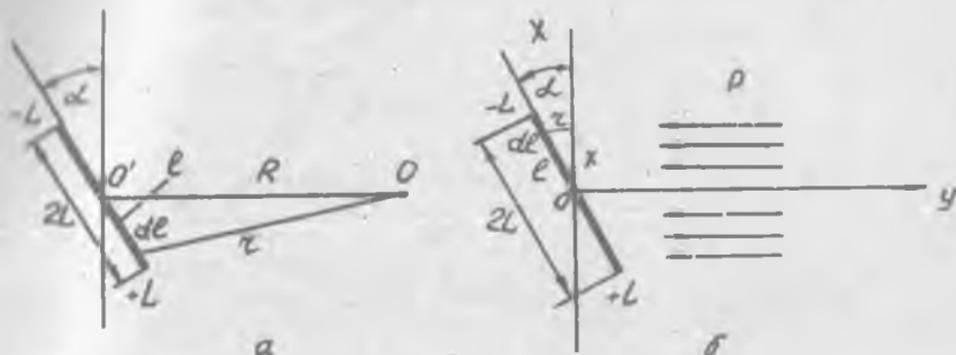


Рис. 1. К расчету градуировочных кривых линейного приемника в неоднородном поле

нейного приемника длиной  $2L$ .  $OO' = R$  - расстояние от центра приемника до излучателя. Выделим элементарный участок  $dl$  на приемнике. Тогда сигнал на нем выразится формулой для источника сферических волн

$$du = p \frac{e^{j\kappa z}}{z} dl, \quad /1/$$

где  $z = \sqrt{R^2 + l^2 - 2Rl \sin \alpha}$  - расстояние от элементарного участка;

$dl$  - расстояние до излучателя;

$p$  - давление поля в точке излучения;

$l$  - текущее расстояние элемента  $dl$  от точки  $O'$  по длине приемника;

$\alpha$  - угол между приемником и перпендикуляром к линии  $OO'$ . Формула /1/ неудобна для вычисления.

Преобразуем ее следующим образом. фазовый множитель  $e^{j\kappa z}$  заменим множителем вида  $e^{j\kappa(z-R)}$ . Соотношение  $z^2 - R^2 = l^2 - 2Rl \sin \alpha$  можно представить так:

$$z - R = \frac{l^2}{z + R} - \frac{2R}{z + R} l \sin \alpha.$$

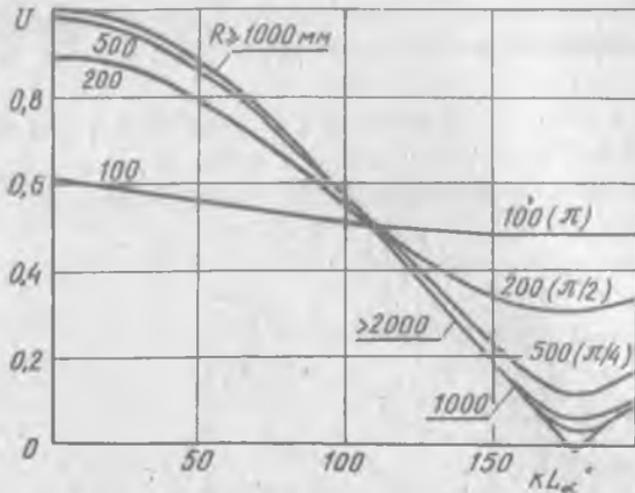


Рис. 2. Градуировочные кривые линейного приемника в неоднородном по фазе поле / R , мм/

С небольшой погрешностью сумму  $z+R$  можно приравнять к  $2R$   
Тогда

$$z-R = \frac{l^2}{2R} - l \sin \alpha .$$

Умножив и разделив /1/ на  $R$  , получим

$$du = p' \frac{e^{j\kappa \left( \frac{l^2}{2R} - l \sin \alpha \right)}}{\sqrt{1 + \left( \frac{l}{R} \right)^2 - 2 \left( \frac{l}{R} \right) \sin \alpha}} ,$$

где  $p' = \frac{p}{R}$  ,

и сигнал на приемнике в относительных единицах

$$u = \int_{-L}^{+L} \frac{e^{j\kappa \left( \frac{l^2}{2R} - l \sin \alpha \right)}}{\sqrt{1 + \left( \frac{l}{R} \right)^2 - 2 \left( \frac{l}{R} \right) \sin \alpha}} dl .$$

12/

Вычисление градуировочных кривых  $u=f(\alpha)$  по формуле /2/ было выполнено для реального приемника длиной  $2L = 10$  мм на

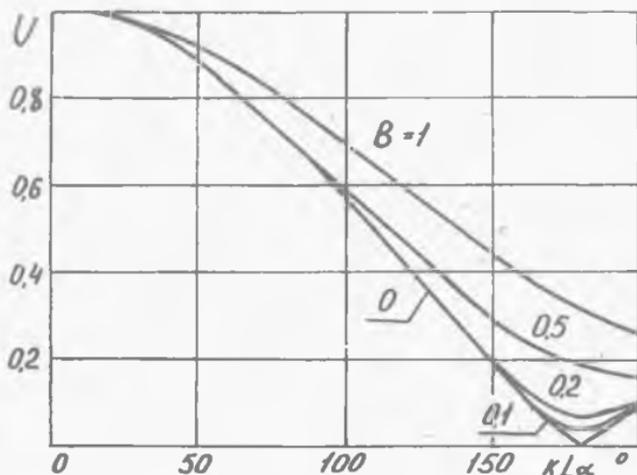


Рис. 3. Градуировочные кривые линейного приемника в неравномерном поле

частоте 3 МГц численным методом на ЭВМ БЭСМ-4 для различных значений радиусов кривизны поля. Полученные кривые, а также диаграмма направленности данного приемника представлены на рис. 2.

Линейный приемник в плоском неравномерном поле. Возьмем систему координат  $x, y$  /рис. 1,б/. Фронт волны направлен вдоль оси  $x$ . Неравномерность по амплитуде имеет линейный характер. Сигнал на элементарном участке приемника

$$du = p(1+ax)e^{jkz} dl, \quad /3/$$

где  $a$  - коэффициент неравномерности поля по оси  $x$ .

Из рис. 1,б  $z = l \sin \alpha$ ;  $x = l \cos \alpha$ . /4/

Подставляя /4/ в /3/ и интегрируя, получим сигнал на приемнике

$$u = p \int_{-L}^{+L} (1+a \cos \alpha) e^{jkl \sin \alpha} dl =$$

$$= p \frac{2 \sin(\kappa L \sin \alpha)}{\kappa \sin \alpha} + jp \frac{2aL \cos \alpha}{\kappa \sin \alpha} \left[ \frac{\sin(\kappa L \sin \alpha)}{\kappa \sin \alpha} - \cos(\kappa L \sin \alpha) \right].$$

После несложных преобразований получим величину сигнала в относительных единицах:

$$u = \sqrt{\frac{\sin^2(B)}{B^2} + \frac{B^2}{B^2} \left[ \frac{\sin B}{B} - \cos B \right]^2}, \quad /5/$$

где  $B = \kappa L \sin \alpha$  ;  $B = \alpha L \cos \alpha$  - неравномерность по длине пластинки в относительных единицах.

На рис. 3 показаны вычисленные по формуле /5/ градуированные кривые  $u = f(\alpha)$  реального приемника длиной  $2L = 10$  мм на частоте 3 МГц при различной величине неравномерности поля по длине приемника.

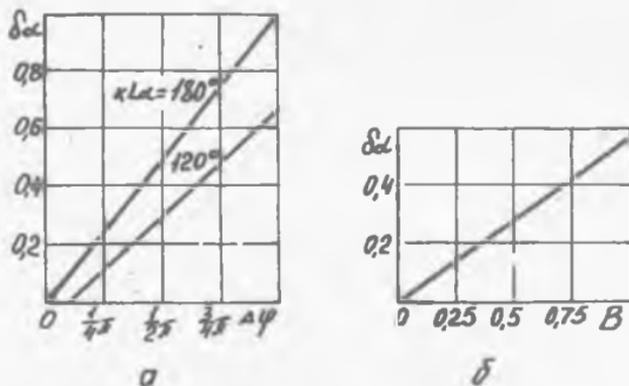


Рис. 4. Погрешности градуировочной кривой линейного приемника

Анализируя полученные кривые /рис. 2 и 3/, видим, что функция  $u = f(\alpha)$  линейного приемника практически приближается к диаграмме направленности при фазовой неоднородности  $\leq 0,2\pi$  /  $R > 1$  м/ и амплитудной неоднородности  $\leq 10\%$  по длине приемника. На рис. 4, а, б приведены кривые относительных погрешностей градуировочной кривой  $\sigma_\alpha = \frac{\Delta\alpha}{\alpha_0}$  /где  $\alpha_0 \approx \frac{\pi}{4}$  ширины градуировочной кривой/ в зависимости от величины неоднородностей поля по длине приемника  $2L = 10$  мм на частоте 3 МГц. Оценим полученные результаты. Например, в квазишосковом ультразвуковом поле обычно фазовые неоднородности не превосходят  $2\pi$ , а амплитудные - 40% по всему объему. Размеры поля

достигает 200 мм. Тогда неоднородности по длине приемника будут соответственно 0,1  $\lambda$  и 2%, а погрешности градуировочной кривой 0,1 и 0,5%. Влиянием погрешностей такой величины на результат измерения можно пренебречь.

### Л и т е р а т у р а

1. Абрамов Г.В., Подольский А.А., Махов А.И. Акустические проекторные системы. Изд-во Саратовского университета, 1972.
2. Ультразвуковые преобразователи, под ред. Е.Кичуци. Перевод с английского под ред. И.П.Голыжиной. М., "Мир", 1972.
3. Дробкин А.Л., Зувенко В.Л. Антенно-фидерные устройства. М., "Советское радио", 1961.

А.И.Махов

### ДАТЧИКИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ФАЗОМЕТРОВ

В работе [1] рассматривались фазометры разных типов, реализующие интегральный метод измерения фазы ультразвуковой волны. В качестве первичного преобразователя в них используется линейный приемник с острой диаграммой направленности или система из одинаковых линейных приемников. С помощью таких датчиков измеряют угол между координатой измерения и фронтом ультразвуковой волны. Далее вычисляют фазовый фронт. Отметим недостатки предложенных в работе [1] датчиков.

Датчик, состоящий из одного линейного приемника, требует механического сканирования относительно равносигнального направления, что снижает быстродействие прибора и вносит соответствующие погрешности.

Датчик, состоящий из двух одинаковых линейных приемников, сложен в конструктивном отношении. Кроме того, при переходе на другую частоту необходимо изменять базовый угол между приемниками. Эти недостатки можно устранить, если использовать в качестве датчика систему из двух линейных приемников с разными диаграммами направленности и общим фазовым центром. Подобные