

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ОКД
_____ Суржиков А.П.
«__» _____ 2018 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Методические указания
к проведению лабораторной работы по курсу:
«Акустический контроль и диагностика»
для студентов, обучающихся по направлению:
12.04.01 – «Приборостроение»

Томск 2018

УДК 620.179.14

Исследование акустического поля преобразователя. Методические указания к проведению лабораторной работы по курсу: «Акустический контроль и диагностика» для студентов, обучающихся по направлению: 12.04.01 – «Приборостроение».

Составители: ведущий эксперт ОКД ИШНКБ ТПУ Капранов Б.И.
 доцент ОКД ИШНКБ ТПУ Калиниченко А.Н.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании
ОКД ИШНКБ «___» _____ 201__ г. протокол №__.

Руководитель ОКД

д.ф.-м.н. _____ А.П.Суржиков

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Экспериментальное исследование акустического поля пьезоэлектрического преобразователя. Анализ полученных данных.

Задача работы: Построение графика диаграммы направленности акустического поля преобразователя. Оформление отчета.

Оборудование: прибор ультразвуковой импульсный, наклонные преобразователи, соединительный кабель, комплект стандартных образцов КОУ – 2, контактная жидкость, ветошь.

1. Теоретические положения.

Акустическое поле преобразователя. Акустическое поле преобразователя рассматривается обычно при работе преобразователя в режиме излучения, приема и в совмещенном режиме.

Поле излучения – амплитуда давления, создаваемого преобразователем в произвольной точке В пространства перед преобразователем.

Поле приема – среднее значение амплитуды акустического сигнала на приемном преобразователе в результате излучения сферической волны точечным излучателем в произвольной точке В пространства перед преобразователем.

Поле излучения - приема – среднее значение амплитуды акустического сигнала на приемном преобразователе $P_{пр}$, возникающего в результате отражения излучения того же преобразователя от точечного рефлектора, помещенного в некоторой точке В пространства и рассеивающего падающие волны равномерно по всем направлениям. Оно практически пропорционально квадрату поля излучения.

Дальнейшее изложение вопроса дано применительно к полю излучения по амплитуде. Характеристики преобразователя как приемника определяются при использовании его в качестве излучателя на основе принципа взаимности.

В акустическом поле выделяют две зоны:

Ближняя зона – область поля вблизи преобразователя, в которой наблюдаются обусловленные интерференцией немонотонные изменения амплитуды поля. Более 80% излученной энергии находится в пределах цилиндра, ограниченного краями пьезопластины, однако по сечению цилиндра энергия распределяется неравномерно.

Формулы для расчета границы ближней зоны приведены в таблице 1.

Дальняя зона – область поля, в которой амплитуда монотонно убывает с расстоянием. Здесь поле имеет вид лучей, расходящихся из точки, которая называется *эффективным акустическим центром*. Для преобразователей, равномерно излучающих всеми точками, он совпадает с центром тяжести площади пластины. Нормализованный по максимуму P_n график зависимости амплитуды (или интенсивности) поля в дальней зоне функции от направления распространения волны называют *диаграммой направленности*. Диаграмма направленности строится в плоскости, перпендикулярной излучающей

поверхности и проходящей через эффективный акустический центр преобразователя.

Акустическая ось преобразователя – прямая, выходящая из акустического центра в направлении максимума диаграммы направленности.

Точка выхода – точка пересечения акустической оси с контактной поверхностью преобразователя.

Стрела преобразователя – расстояние от точки выхода до передней грани наклонного преобразователя.

Угол ввода луча – угол между нормалью к поверхности, на которой установлен преобразователь, и линией, соединяющей центр цилиндрического отражателя с точкой выхода при установке преобразователя в положение, при котором амплитуда эхо – сигнала от отражателя наибольшая.

Центральную часть диаграммы направленности, в пределах которой амплитуда уменьшается от единицы до нуля, называют *основным лепестком*. Практически за нижнее значение амплитуды основного лепестка (ширина диаграммы направленности или угол расхождения акустического пучка) принимают 0,1 от максимума амплитуды (20дБ). Амплитуду лепестка считают постоянной, когда она изменяется не более чем на 3 дБ.

В пределах основного лепестка сосредоточено около 85% энергии поля излучения. Вне основного лепестка имеются боковые лепестки (рис. 1 и 2).

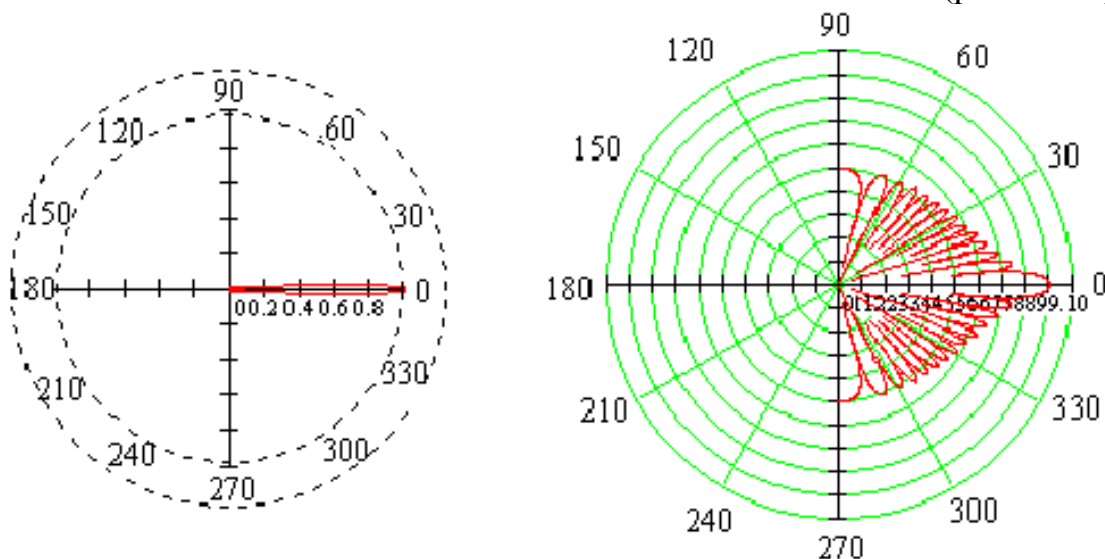


Рисунок 1 – Диаграмма направленности поля излучения преобразователя в полярных координатах.

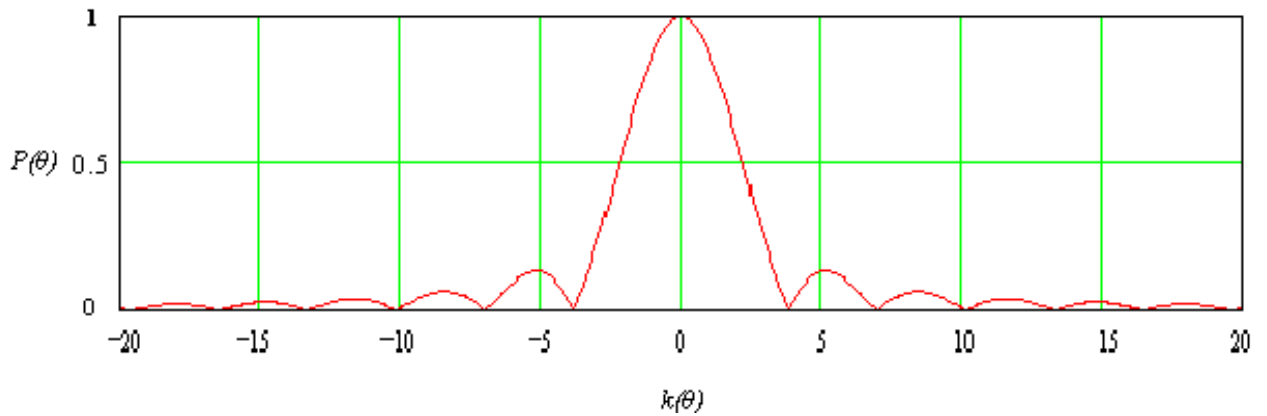


Рисунок 2 – Диаграмма направленности поля преобразователя в декартовых координатах.

Уровень боковых лепестков определяют отношением амплитуд поля на акустической оси к амплитуде поля вне основного лепестка. Формулы для расчета поля в дальней зоне некоторых простых преобразователей при непрерывном излучении волн даны в таблице 1.

Для преобразователя с круглой (дискообразной) пластиной при непрерывном излучении поле на акустической оси приближенно описывается формулой:

$$\frac{P}{P_0} = 2 \cdot \left| \sin \frac{\pi \cdot a^2}{2 \cdot \lambda \cdot r} \right|,$$

где:

P_0 – амплитуда акустического сигнала на поверхности среды, соприкасающейся с преобразователем;

a – радиус пьезопластины;

r – расстояние от пьезопластины до точки наблюдения.

На рис. 3а показаны графики поля на акустической оси. Граница ближней

зоны соответствует условию: $\frac{\pi \cdot a^2}{2 \cdot \lambda \cdot r} = \frac{\pi}{2}$ или $\frac{r_0}{r} = 1$.

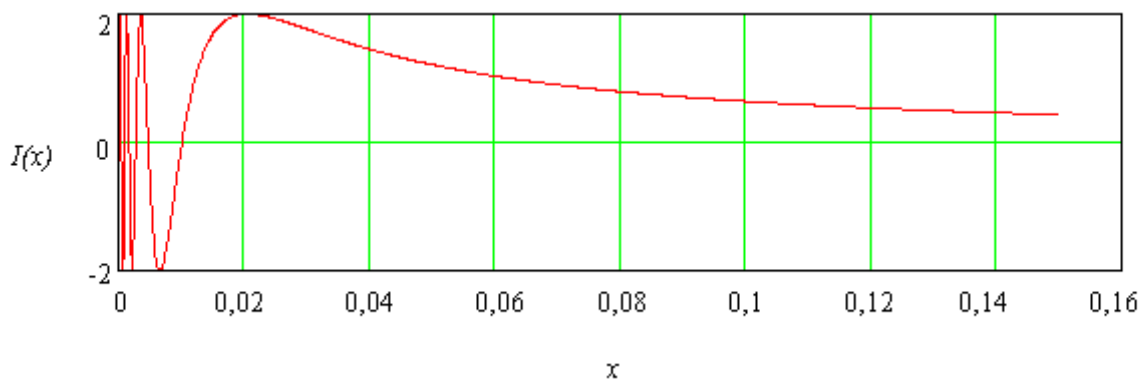


Рисунок 3 – Поле излучения на оси преобразователя.

Таблица 1 – Приближенные формулы для расчета элементов акустического поля элементарных преобразователей

Параметр	Преобразователь	
	Дискообразный, диаметром $2a$	Прямоугольный, со сторонами $2a_1$ и $2a_2$
Граница ближней зоны	$r_0 = \frac{a^2}{\lambda}$	$r_0 = \frac{a_1^2 + a_2^2}{\lambda}$
Диаграмма направленности	$\frac{P}{P_a} = \left \frac{2 \cdot J_1(a \cdot k \cdot \sin \theta)}{a \cdot k \cdot \sin \theta} \right $ <p>где θ - угол между направлением луча и акустической осью; J_1 - функция Бесселя первого порядка; $k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$ - волновой вектор; P_a - амплитуда поля на акустической оси</p>	$\frac{P}{P_a} = \left \frac{\sin(a_1 \cdot k \cdot \sin \theta_1)}{a_1 \cdot k \cdot \sin \theta_1} \times \frac{\sin(a_2 \cdot k \cdot \sin \theta_2)}{a_2 \cdot k \cdot \sin \theta_2} \right $ <p>где θ_1 и θ_2 - углы между проекцией луча и акустической осью</p>
Раскрытие основного лепестка	$\theta' = \arcsin 0,61 \cdot \frac{\lambda}{a}$	$\theta_1' = \arcsin 0,5 \cdot \frac{\lambda}{a_1}$ $\theta_2' = \arcsin 0,5 \cdot \frac{\lambda}{a_2}$
Ширина диаграммы направленности на уровне: 20 дБ	$\theta'' = \arcsin 0,54 \cdot \frac{\lambda}{a}$	$\theta_1'' = \arcsin 0,464 \cdot \frac{\lambda}{a_1}$ $\theta_2'' = \arcsin 0,464 \cdot \frac{\lambda}{a_2}$
3 дБ	$\theta = \arcsin 0,25 \cdot \frac{\lambda}{a}$	$\theta_1 = \arcsin 0,21 \cdot \frac{\lambda}{a_1}$ $\theta_2 = \arcsin 0,21 \cdot \frac{\lambda}{a_2}$

На рис. 4 дано схематическое изображение поля преобразователя, построенное на основании оценок распределения энергии в ближней и дальней зонах.

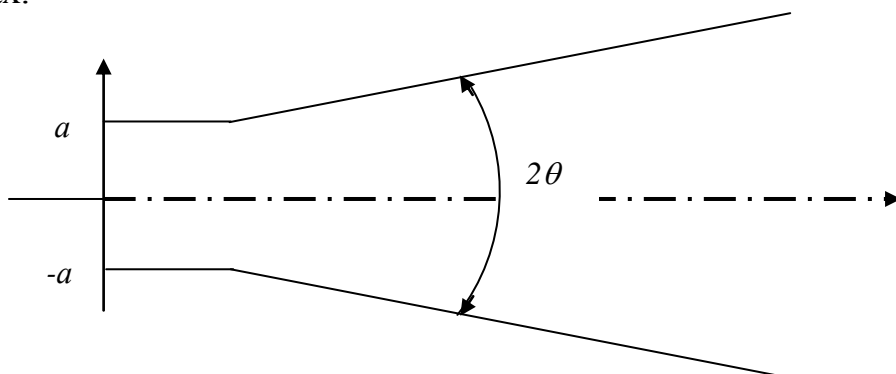


Рисунок 4 – Общая схема поля.

В случае излучения коротких импульсов осцилляции преобразователя существенно сглаживаются. На рис. 2 и 3 штриховыми линиями показано поле на оси круглой пластины и диаграмма направленности для случая излучения короткого колоколообразного импульса, в котором амплитуда колебания уменьшается за период в 5 – 6 раз.

Структура акустического поля усложняется, если форма пьезоэлемента не обладает центральной симметрией.

2. Определение диаграммы направленности наклонного преобразователя в плоскости падения луча и угла раскрытия φ_k основного лепестка диаграммы на уровне k .

Порядок выполнения работы.

2.1 Диаграмму направленности $\Phi(\alpha)$ наклонного преобразователя в плоскости падения луча определяют по контрольному образцу №2 или №2А, в зависимости от марки металла контролируемого соединения.

Для определения диаграммы следует:

а) уточнить положение метки на призме, соответствующей точке выхода луча (по контрольному образцу №3);

б) измерить угол α ввода луча (по контрольному образцу № 2)

в) измерить в децибелах максимальную амплитуду U_m эхо – сигнала от отверстия диаметром 6 мм при совпадении точки выхода луча с измеренным в пункте б) значением α на шкале контрольного образца;

г) измерить в децибелах амплитуды U эхо – сигнала от отверстия диаметром 6 мм при совпадении точки выхода луча с метками на шкале контрольного образца в пределах $\pm 10^\circ$ от измеренного значения α , шаг измерения 1° ;

д) вычесть из измеренных амплитуд U эхо – сигналов значение амплитуды U_m эхо – сигнала, соответствующее углу ввода луча;

е) перевести по таблицам или номограмме на линейке УКЛ–1 полученные в пункте д) значения амплитуд в относительные единицы;

ж) полученные в пункте е) результаты умножить на соответствующий коэффициент m из таблицы 2;

Таблица 2 – Значения коэффициентов m для расчета диаграммы направленности преобразователя.

α°	m	α°	m
30	385,3	55	713,9
31	391,1	56	743,0
32	397,6	57	770,6
33	403,8	58	806,7
34	411,3	59	841,6
35	419,1	60	879,8
36	427,2	61	918,8
37	435,0	62	967,5
38	442,3	63	1914,9
39	453,4	64	1074,6
40	463,5	65	1129,3
41	473,4	66	1199,1
42	485,3	67	1272,8
43	496,9	68	1356,2
44	510,0	69	1451,2
45	522,0	70	1552,8
46	536,4	71	372,6
47	551,6	72	402,3
48	567,8	73	438,6
49	584,9	74	465,1
50	601,9	75	525,0
51	623,6	76	582,3
52	643,0	77	647,6
53	665,0	78	729,4
54	688,6	79	824,9
		80	949,2

Примечание. Значения m для углов α в пределах от 30° до 70° соответствуют глубине расположения центра отверстия диаметром 6 мм $H = 44$ мм, а для углов α в пределах от 71° до 80° – $H = 15$ мм.

з) разделить полученные в пункте ж) значения $m \cdot \Delta U$ на соответствующие максимальные значения $(m \cdot \Delta U_{\max})$;

и) извлечь корень квадратный из всех значений, полученных в результате расчета по пункту з);

к) результаты, полученные после выполнения пунктов г, д, е, ж, з, и, свести в таблицу подобную таблице 3 и построить зависимость.

Таблица 3. Результаты расчётов.

α	U , дБ	$\Delta U = U - U_m$		m	$m \cdot \Delta U$	$\Phi^2(\alpha) = \frac{m \cdot \Delta U}{(m \cdot \Delta U)_{\max}}$	$\Phi(\alpha)$
		дБ	отн. ед.				
40	13	15,6	0,166	463,5	76,946	0,132	0,364

Примечание. В таблице 3 в качестве примера приведены данные измерения и расчета диаграммы направленности преобразователя с параметрами: $\beta = 40^\circ$; $a = 6$ мм; $f = 2,5$ МГц. Диаграмма показана на рис. 1

По результатам измерений построить зависимость $\Phi(\alpha)$ в полярных координатах.

2.2 Угол φ_k раскрытия основного лепестка диаграммы на уровне k определяют по контрольному образцу № 2 или 2А в зависимости от марки металла контролируемого соединения.

Для определения φ_k следует:

а) уточнить положение метки на призме, соответствующей точке выхода луча;

б) измерить в децибелах максимальную амплитуду U_m эхо – сигнала от отверстия диаметром 6 мм и заметить уровень, на котором находится вершина эхо – сигнала на экране прибора;

в) увеличить аттенуатором чувствительность прибора на ΔU дБ, соответствующее значению k^2 , где k – уровень, на котором измеряется уровень раскрытия лепестка; для перевода значения k^2 в относительных единицах в децибелы можно воспользоваться шкалой на линейке УКЛ – 1;

г) перемещая преобразователь по контрольному образцу в обе стороны от положения, соответствующего максимальной амплитуде эхо – сигнала от отверстия диаметром 6 мм, отсчитать по шкале значения углов α_1 и α_2 , при совпадении с которыми метки на призме, соответствующей точке выхода луча, амплитуда эхо – сигнала достигает упомянутого уровня;

д) рассчитать значение φ_k по выражению:

$$\varphi_k^\circ = |\alpha_2 - \alpha_1|$$

Определить φ_k по зависимости $\Phi(\alpha)$.

Отчет по работе должен содержать:

1. Теоретические положения
2. Порядок выполнения работы
3. Результаты измерений, расчетов оформленные в виде таблицы 3
4. Графическая зависимость $\Phi(\alpha)$
5. Выводы по работе