

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

НПО "ДАЛЬСТАНДАРТ"



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

"ГСИ. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИЕМНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ  
АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ."

МИ 1786 -87

г. Хабаровск, 1987 г.

РАЗРАБОТАНА НИО "Дальстаандарт"

ИСПОЛНИТЕЛИ Паннин В.И. канд. техн. наук (руководитель темы);  
Веретенникова И.А.

УТВЕРЖДЕНА Секцией НТС 13 октября ( протокол № 9 )

Настоящие методические указания устанавливают методику выполнения измерений основных параметров приемных пьезопреобразователей (далее ПП) акустической эмиссии (далее АЭ) общего назначения, осуществляющих линейное преобразование сигнала, конструктивно осесимметричных, имеющих один электрический выход и одну контактную плоскую поверхность, при аттестации их органами метрологической службы, при разработке ПП АЭ и их исследованиях, при разработке методик контроля методом АЭ.

Контакт осуществляется через маслянистую жидкость. Погрешность аттестации не более 40% для любого из измеряемых параметров.

Термины, применяемые в настоящих МУ и их определения приведены в справочном приложении.

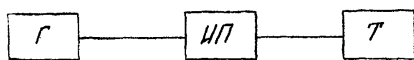
## 2. Средства измерений и вспомогательные устройства.

Средства измерений, применяемые для аттестации ППАЭ, делятся на три группы:

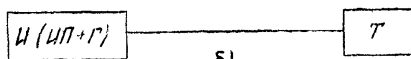
1. Меры амплитуд УЗ смещений.
2. Приборы для измерения электрических сигналов на выходе аттестуемых ППАЭ.
3. Средства регистрации.

2.1. Мера амплитуд УЗ смещений состоит из генератора (Г), излучающего преобразователя (ИП), твердого тела меры (Т).

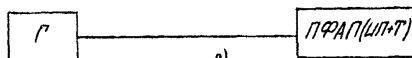
Конструктивное выполнение мер амплитуд УЗ смещений допускается в следующих вариантах:



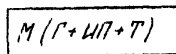
а)



б)



в)



г)

Рис. 1.

ПФАП - преобразователь-формирователь акустического поля.

В настоящей методике для аттестации ППАЭ рекомендуются меры амплитуд УЗ смещений в вариантах "в" и "г", при которых исключается погрешность акустического контакта между ИП и Т.

2.2. При выполнении измерений применяются измерительные приборы, средства регистрации, меры смещения, приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Наименование	Тип, либо метрологические характеристики	Наименование характеристики ШИЭ, параметры которой измеряются			
		АЧХ	ИХ	ДН	ЭИ
1. Анализатор спектра	СК 4-59	да		да	
2. Осциллограф	С1-65		да	да	
3. Усилитель предварительный (высокоомный)	Полоса частот (0,01±5) МГц Неравномерность АЧХ в полосе частот (0,03±2) МГц не более 3%. Усиление от 1 до 10 раз. Входное сопротивление не менее 100 кОм. Входная емкость не более 5 пФ. Погрешность аттестаций по коэффициенту усиления ±5%.	да	да		

Продолжение табл.2

1	2	3	4	5	6
	Уровень собственного шума, приведенного к входу, не более $0,2 \mu\text{В}$ в полосе 1 кГц				
4. Графопостроитель	Н-306	да			да
5. Генератор биполярных импульсов (радиоимпульсов с одним периодом колебаний)	Г5-56 Выходы двух каналов запараллелены через разделительные емкости $(0,3 \div 1)$ мкф		да		
6. Усилитель-ограничитель	Максимальный коэффициент усиления $(40 \pm 0,5)$ дБ Неравномерность АЧХ не более 2,5 дБ		да		
7. Полусферический образец	Радиус полусферы $(95 \div 140)$ мм Материал - Д16			да	
8. Измеритель импеданса	ВМ - 508 ВМ - 507				да да

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
9. Мера смещения	МСУП	да	да		
10. Мера смещения	МСУД	да			
11. Мера смещения	МСУР	да			
12. Меры смещения	МСУС-М	да	да		

Примечание: 1. Допускается применение других приборов, взамен вышеуказанных, имеющих точность не хуже точности перечисленных приборов.

2. Полные характеристики мер и рекомендации по их применению приведены в справочном приложении 3.

### 3. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. Измерение АЧХ и её параметров следует выполнять методом при котором на аттестуемый Ш АЭ воздействует калиброванным широкополосным шумом.

Для измерения импульсной характеристики и её параметров на аттестуемый Ш АЭ воздействует калиброванным биполярным импульсом.

Примечание: 1. Широкополосный шум может быть заменен источником гармонического сигнала с постоянной амплитудой и с частотой, перестраиваемой в пределах рабочего диапазона измерений, если погрешность измерений параметров АЧХ не увеличивается.

2. Допускается использование метода сравнения с об-разцовым ультразвуковым (емкостным и т.п.) приемником ультразвука и метода взаимности (или само-взаимности), при этом погрешность измерения не должна превышать погрешности нормируемой в дан-ной методике.

### 4. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

4.1. При работе с аппаратурой должны соблюдаться "Правила техни-ческой эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденные Госэнергонадзором .

4.2. Работа с аппаратурой должна производиться в соответствии с требованиями безопасности, изложенными в инструкции по эксплуата-ции.



## 5. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРОВ.

5.1. К выполнению измерений и обработке результатов измерений могут быть допущены лица, имеющие **среднее специальное образование в области радиотехнических измерений.**

### 6. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

При проведении измерений должны быть соблюдены следующие условия:

#### 6.1. Условия окружающей среды.

6.1.1. Температура окружающего воздуха  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ .

6.1.2. Относительная влажность воздуха  $(65 \pm 15)\%$ .

6.1.3. Атмосферное давление  $(100 \pm 4)$  кПа.

6.1.4. Вибрации, внешние электрические или магнитные поля должны отсутствовать, либо находиться в пределах, не увеличивающих погрешность измерений более чем на 2%.

#### 6.2. Условия подключения аттестуемого ИП ПЭ к электрической цепи

6.2.1. Входное сопротивление, подключаемых к ИП АЭ приборов, должно быть высокоомным либо стандартным, образованным параллельным соединением емкости  $C = 30$  пФ и сопротивления  $R = 1$  МОм.

6.2.2. Если конструкция ИП АЭ предусматривает наличие соединительного кабеля длиной не менее 50 см,

все параметры измеряют с данным кабелем. Во всех остальных случаях измерение параметров III АЭ производят с соединительным кабелем, имеющим параметры:

- волновое сопротивление  $(50 \pm 3,0)$  Ом;
- емкость кабеля  $(60 \pm 3)$  пф.

### 6.3. Условия акустического контакта

6.3.1. Методы, устройства и материалы, используемые для реализации акустического контакта в рабочих измерениях, должны применяться при аттестации III АЭ.

6.3.2. При отсутствии информации по п.6.3.1 должны быть соблюдены следующие условия:

- в качестве контактной жидкости используют трансформаторное масло по ГОСТ 10121-76;
- усилие прижима от 1 до 50 Н при плотности усилия от 0,03 до 0,3 Н/мм<sup>2</sup>, причем номинальное усилие прижима, выбираемое в данных пределах, должно соответствовать максимальной стабильности акустического контакта.

## 7. ПОДГОТОВКА К ИЗМЕРЕНИЯМ

При подготовке к выполнению измерений необходимо выполнить следующие работы:

7.1. Прогреть приборы, используемые при проведении измерений, согласно техническому описанию на приборы.

7.2. Выбрать оптимальный режим и диапазон работы приборов, при котором погрешность измерения имеет минимальное значение.

7.3. Контактную поверхность аттестуемого ПП АЭ и меры очистить от пыли, смазки чистой хлопчатобумажной ветошью и протереть спиртом этиловым техническим по ГОСТ 17299-78.

## 8. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ.

При выполнении измерений основных параметров ППАЭ должны быть выполнены следующие операции:

### 8.1. Внешний осмотр.

8.1.1. При внешнем осмотре должно быть установлено, что ПП АЭ снабжен всеми необходимыми деталями, имеет маркировку (заводской номер, тип АЭ), а также паспорт или другой заменяющий его документ, свидетельство о последней аттестации.

8.1.2. ПП АЭ не должен иметь внешних повреждений, в том числе и в соединительных элементах.

8.1.3. Конструкция ПП АЭ также должна соответствовать требованиям, изложенным в назначении и в прил. 3 данной методики.

### 8.2. Опробование.

8.2.1. Подключить ППАЭ на вход осциллографа, установив максимально возможную чувствительность. Воздействуя на контактную поверхность ППАЭ механическими колебаниями (например

тронем или ударами карандаша), убедиться, что ПНАЭ реагирует на эти колебания.

### 8.3. Измерение параметров ПН АЭ.

Измерение параметров ПН АЭ основано на определении коэффициентов преобразования ПНАЭ по известным значениям амплитуд акустических и измеренным значениям амплитуд электрических сигналов.

Параметры ПН АЭ могут быть измерены непосредственно по прибору, либо по графику характеристики. Непосредственные измерения более точны.

Примечание: При наличии аттенуатора коэффициенты электроакустического и импульсного преобразования можно точнее определить по известному значению коэффициента электроакустического преобразования ПНАЭ и измеренным значениям отношения электрических сигналов на входе ПНАЭ и выходе ПН, произведенных с помощью аттенуатора. Описание метода измерения с помощью аттенуатора и характеристики аттенуатора приведены в справочном приложении 5.

8.3.1. Для измерения АЧХ и ее параметров необходимо собрать схему по рис. 2.

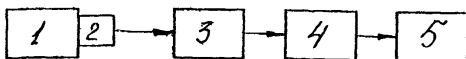


Рис. 2

- 1 - мера смещения; 2 - аттестуемый ПНАЭ;
- 3 - усилитель предварительный (высокоомный);
- 4 - анализатор спектра;
- 5 - двухкоординатный самописец.

Через слой контактной смазки аттестуемый III АЭ устанавливают на меру с помощью устройства крепления, поставляемого вместе с III АЭ, совмещая центр III АЭ с центром меры. Усилие прижима при аттестации должно соответствовать усилию прижима при рабочих измерениях с отклонением не более чем на  $\pm 10\%$ .

В случае, если устройство прижима не устанавливается, а величина усилия не оговорена, необходимо выполнить условия п.6.3.2.

На анализаторе спектра устанавливают необходимую полосу обзора, при полосе пропускания 30 кГц - при измерении на мерах МСУП, МСУД, МСУР и 3 кГц - при измерении на мере МСУС. Устанавливают такую чувствительность анализатора, при которой рабочая область АЧХ занимает максимальное значение на экране ЭЛТ анализатора.

Если, в результате переустановки на мере аттестуемого III АЭ, значение измеряемого параметра изменяется в пределах половины ожидаемой погрешности, то достаточно трехкратного измерения (кроме п.8.3.1.4) с усреднением результата. В противном случае необходимо провести многократные (не менее 10) измерения с усреднением результата.

8.3.1.1. Для записи АЧХ устанавливают масштаб самописца таким образом, чтобы рабочая область АЧХ занимала все поле записи. При положении "одиночный запуск", самой медленной скорости развертки и самой узкой полосе видеополосы, произвести запись АЧХ III АЭ.

8.3.1.2. Частоту (для многорезонансных - частоты) максимума преобразования измеряют непосредственно анализатором спектра с помощью частотной метки в точке (точках), где АЧХ имеет максимальное значение.

8.3.1.3. Коэффициент преобразования резонансного III АЭ (коэффициенты - для многорезонансных) на частоте максимума преобразования определяют расчетным путем по формуле:

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{A} \text{ В/м} , \quad (1)$$

где  $U_{\text{вых}}$  - напряжение на выходе III АЭ на частоте максимума преобразования (отсчитывается по анализатору спектра с учетом коэффициента усиления предварительного усилителя), В

$A$  - нормальная компонента смещения свободной поверхности меры (приводится в паспорте меры), м.

8.3.1.4. Погрешность, обусловленная нестабильностью акустического контакта III АЭ на уровне 2  $\sigma$  определяют по формуле:

$$\delta_{\text{ак.к.}}^{\sim k} = 2 \left[ \frac{2}{n-1} \sum \left( \frac{U_i - \bar{U}}{\bar{U}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot 100\% \quad (2)$$

где  $n$  - число переустановок III АЭ на мере смещения,

$\bar{U}$  - среднее арифметическое значение напряжения на клеммах аттестуемого III АЭ на частоте максимума преобразования,

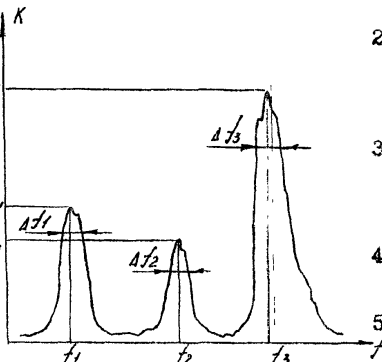
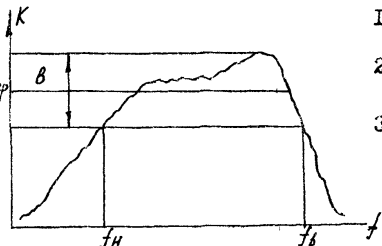
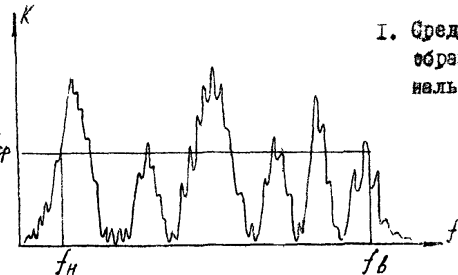
$U_i$  - результат одного измерения на частоте максимума преобразования.

Величину  $\delta_{\text{ак.к.}}^{\sim k_i}$  определяют по формуле (2), подставляя  $\bar{U}$  - среднее арифметическое значение максимальной амплитуды электрического отклика с выхода III АЭ, измеренное с помощью осциллографа,  $U_i$  - результат одного измерения максимальной амплитуды электрического отклика с выхода III АЭ.

8.3.1.5. Полосу (полосы - для многорезонансных) пропускания резонансного III АЭ измеряют непосредственно анализатором спектра, либо определяют по графику АЧХ на уровне 0,7.

# 1. Типы основных характеристик и параметров ШИ АЭ

Таблица I

Амплитудно-частотная характеристика	Типы характеристик	Параметры характеристики	
	резонансная		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Частоты максимумов преобразования <math>f_1, f_2, f_3</math></li> <li>2. Коэффициенты преобразования на частотах максимумов <math>K_1, K_2, K_3</math></li> <li>3. Избирательность, обусловленная нестабильностью акустического контакта <math>S_{акк}^k</math></li> <li>4. Полосы пропускания <math>\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3</math></li> <li>5. Уровень собственного шума ШИ АЭ.</li> </ol>
		широкополосная	
изрезанная		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Средний коэффициент преобразования <math>K_{cp}</math> в номинальном диапазоне частот</li> </ol>	

Импульсная характеристика	Типы характеристик	Параметры характеристики
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Коэффициент импульсного преобразования <math>K^u</math></li> <li>2. Погрешность акустического контакта <math>\delta_{ак.к.}^u</math></li> <li>3. Длительность отгибающей переднего фронта <math>T_{max}</math></li> <li>4. Длительность импульсной характеристики <math>T_N</math></li> <li>5. Средняя частота заполнения <math>f_{зон} = \frac{1}{T}</math></li> </ol>
Диаметральная неоднородности		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неравномерность В</li> <li>2. Акустический центр рабочей поверхности O</li> </ol>
Электрический импеданс		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Частоты антирезонансов <math>f_{ор1}, f_{ор2}</math></li> <li>2. Модули электрических сопротивлений на частотах антирезонанса <math>Z_{max1}, Z_{max2}</math></li> </ol>

Примечания: 1. При обработке АЧХ широкополосных и резонансных ЦП необходимо, при наличии локальных неоднородностей, производить сглаживание АЧХ по ГОСТ 16123-79.

2. Коэффициенты преобразования ПП АЭ выражаются в абсолютных единицах В/м или В/(м/с).



Полоса пропускания равна

$$\Pi = f_B - f_H, \quad (3)$$

где  $f_B, f_H$  - крайние частоты, на которых амплитуда снижается до уровня 0,7 от максимального значения.

8.3.1.6. Собственный шум ШАЭ измеряют по схеме, приведенной на рис.2, но при этом на ШАЭ не подается акустический сигнал (ШАЭ - отключен от генератора электрических сигналов). Полоса пропускания анализатора спектра устанавливается равной 1 КГц.

Уровень собственного шума ШАЭ на частоте (частотах) максимума преобразования определяют расчетным путем по формуле:

$$A_{шн} = \sqrt{A_c^2 - A_{yc}^2}, \quad (4)$$

где  $A_c$  - измеренное по экрану анализатора, суммарное значение уровня шумов предварительного усилителя и аттестуемого ШАЭ (с учетом коэффициента усиления предварительного усилителя);  $A_{yc}$  - измеренное по экрану анализатора, значение уровня собственного шума усилителя закороченного по входу.

Примечание: Если  $A_c - A_{yc} < 0,1 A_{yc}$ , то уровень собственных шумов  $A_{шн}$  не рассчитывается, а его значение считается меньшим чем  $A_{yc}/2$ .

8.3.1.7. Рабочий диапазон частот широкополосных ШАЭ измеряют непосредственно анализатором спектра либо определяют, при заданной неравномерности, следующим образом:

На графике АЧХ параллельно оси абсцисс проводят линию, на уровне которой АЧХ снижается на величину заданной неравномерности от максимального значения АЧХ. Точки пересечения проведенной линии с АЧХ проецируются на ось абсцисс. Полученные значения  $f_H, f_B$ , соответствующие нижней и верхней границам рабочего диапазона частот.

8.3.1.8. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики широкополосных ПНАЭ определяют как разность уровней наибольшего и наименьшего значений на выходе амплификатора либо на графике АЧХ в рабочем диапазоне частот.

8.3.1.9. Средний коэффициент электродинамического преобразования широкополосных и узкополосных ПНАЭ определяют по формуле:

$$K_{\text{ср}} = \frac{\sum K_i}{n}, \quad (5)$$

где  $K_i$  - значение АЧХ на частоте  $f_i$ .

$n > 10$  - число, равномерно расположенных отсчетов по частоте в рабочем или номинальном диапазоне частот.

8.3.2. Для измерения ИК и ее параметров необходимо собрать схему по рис. 3

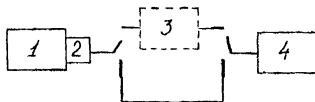


Рис. 3

- 1 - мера смещения,
- 2 - аттестуемый ПНАЭ,
- 3 - предусилитель (используется для ПНАЭ с малым коэффициентом преобразования),
- 4 - осциллограф.

Частоту колебания бинарного импульса (радиопульса с одним периодом) настраивают на частоту максимума преобразования

ППАЭ. Устанавливают амплитуду  $A$  биполярного акустического импульса, равную целочисленному значению. На экране осциллографа наблюдают импульсную характеристику ППАЭ.

8.3.2.1. Коэффициент импульсного преобразования определяют по формуле:

$$K^u = \frac{U_{max}}{A} B/\mu, \quad (6),$$

где  $U_{max}$  — измеренная с помощью осциллографа максимальная амплитуда электрического отклика с выхода ППАЭ, В.

$A$  — амплитуда акустического биполярного импульса, м.

Длительность отклика измеряют на уровне  $0,5 U_{max}$ . Если измеряют коэффициент импульсного преобразования широкополосного ППАЭ, то частоту колебаний биполярного импульса устанавливают равной средней частоте рабочего диапазона ППАЭ.

8.3.2.2. Длительность сглаженной переднего фронта  $t_{max}$ , длительность импульсной характеристики  $t_N$ , среднюю частоту возбуждения  $f_{av} = \frac{1}{T}$  определяют по экрану осциллографа.

8.3.3. Измерение ДИ и ее параметров.

8.3.3.1. Для измерения акустического центра контактной поверхности собирают схему по рис. 4.

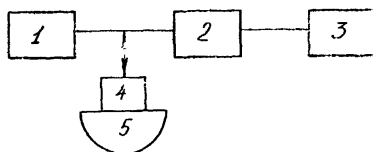


Рис. 4

1 — генератор биполярных импульсов, 2 — усилитель-ограничитель, 3 — осциллограф, 4 — аттестуемый ППАЭ, 5 — полусферический образец.

Аттестуемый ППАЭ устанавливают на полусферу. Длительность импульса генератора устанавливают равной  $\frac{1}{f_c}$ , для резонансных

ПНАЭ ( $f$  - частота резонанса) и радиус  $1/f_{cp}$ , для широкополосных ПНАЭ ( $f_{cp}$  - средний частота рабочего диапазона ПНАЭ). Переменная ПНАЭ по поверхности полушара, добиваются максимального значения амплитуды первого сигнала от сферической поверхности. При этом акустический центр контактной поверхности ПНАЭ совпадает с геометрическим центром поверхности полушарического образца.

8.3.3.2. Неравномерность круговой диаграммы направленности резонансных ПНАЭ измеряют по схеме рис. 5.

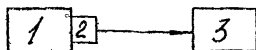


Рис. 5

1 - мера смещения МСУР, 2 - аттестуемый ПНАЭ, 3 - анализатор спектра.

Аттестуемый ПНАЭ вращают относительно геометрического центра контактной поверхности, если расстояние между акустическим и геометрическим центрами контактной поверхности не превышает 5 мм. В противном случае, ПНАЭ вращают вокруг акустического центра. Неравномерность радиуса радиуса наибольшего и наименьшего значений сигнала на частоте резонанса.

8.3.3.3. Диаграмму направленности резонансных ПНАЭ измеряют (по схеме рис. 5) на частоте (частотах) резонанса. ПНАЭ вращают относительно акустического центра, фиксируя положение через  $30^\circ$ , и определяют в каждой точке уровень сигнала по анализатору спектра.

8.3.3.4. При измерении диаграммы направленности широкополосных ПНАЭ в каждой точке (через  $30^\circ$ ) определяют средний коэффициент акустического преобразования в рабочем

диапазоне частот аналогично п. 5.3.1.1.7.

8.3.3.5. В найденных координатах строят графическое изображение диаграммы направленности, соединив плавной кривой экспериментальные точки.

8.3.3.6. Неравномерность диаграммы направленности широкополосных ШПАЭ определяют по графику ДН. Проводят две окружности: первую - с радиусом, равным максимальному значению коэффициента преобразования, вторую - с радиусом, равным минимальному значению коэффициента преобразования. Неравномерность равна разности уровней наибольшего и наименьшего значений коэффициента электроакустического преобразования.

Примечание: В случае, если аттестуемый ШПАЭ обладает ДН с резкой пространственной неравномерностью, то его вращают относительно акустического центра, фиксируя отсчеты значений ДН через  $5-10^\circ$ .

8.3.4. Измерение электрического impedance и его параметров. Собирают схему рис. 6.

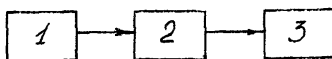


Рис. 6.

1 - аттестуемый ШПАЭ, 3 - саменисца, 2 - измеритель impedance.

Зависимость электрического impedance от частоты определяют с помощью саменисца. Параметры электрического impedance можно определить по графику ЗИ, либо измерить с помощью измерителя impedance согласно инструкции по его эксплуатации.

## 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ПНАЭ

При определении относительных погрешностей не учитываются составляющие, суммарный вклад которых не превышает 1/3 от погрешности, при использовании рекомендованных средств измерений.

### 9.1. Погрешность измерения параметров АЧХ и ИХ.

9.1.1. Погрешность измерения частоты (частот) максимума преобразования резонансных ПНАЭ на уровне  $2\sigma$  при  $n$  измерениях вычисляется по формуле:

$$\delta_f = \frac{2}{\sqrt{n}} \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{f_i - \bar{f}}{\bar{f}} \right)^2 \right]^{1/2} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где  $n$  - число измерений,  $\bar{f}$  - среднее арифметическое значение частоты (частот) максимума преобразования,  $f_i$  - результат одного измерения.

9.1.2. Погрешность коэффициента преобразования на частоте (частотах) максимума преобразования определяется выражением:

$$\delta_K = \sqrt{\delta_M^2 + (\delta_M^{АЧХ})^2 + (\delta_{МН}^4)^2 + (\delta_{ОКК}^4)^2 + \delta_{УС}^2 + \delta_Z^2}, \quad (7)$$

где  $\delta_M$  - погрешность меры смещения по амплитуде,

$\delta_M^{АЧХ}$  - погрешность за счет неравномерности АЧХ меры (приложение 3),

$\delta_{МН}^4$  - погрешность измерения напряжения анализатором спектра,

$\delta_{ОКК}^4$  - погрешность акустического контакта. На уровне  $2\sigma$ ,

при  $n$  - измерениях, величина  $\delta_{ОКК}^4$  вычисляется по формуле:

$$\delta_{ОКК}^4 = \frac{2}{\sqrt{n}} \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{U_i - \bar{U}}{\bar{U}} \right)^2 \right]^{1/2} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где  $n$  - число измерений,

$\bar{U}$  - среднее арифметическое значение напряжения на клеммах аттестуемого ПНАЭ,

$U_i$  - результат одного измерения,

$\delta_{УС}$  - погрешность коэффициента усиления предварительного усилителя (см. табл. 2),

$\delta_Z$  - погрешность за счет конечности входного сопротивления высокоомного преобразователя, вычисляется по формуле:

$$\delta_z = \left| 1 - \frac{Z_{вх.уч}}{Z_{вх.уч} + Z_{ПТ.РЭ}} \right| \cdot 100\%, \quad (9)$$

где  $Z_{вх.уч}$  - входное сопротивление высокоомного преобразователя,  
 $Z_{ПТ.РЭ}$  - сопротивление аттенуируемого ППАЭ.

0.1.3. Погрешность целого пропускания определяется выражением:

$$\delta_{пп} = \sqrt{(\delta_{ЛН}^n)^2 + (\delta_{ОК.К.}^n)^2}, \quad (10)$$

где  $\delta_{ЛН}^n$  - погрешность измерения входной частоты анализатором спектра;

$\delta_{ОК.К.}^n$  - погрешность акустического контакта, определяется по формуле (6) с заменой частоты  $f$  на полосу пропускания П.

0.1.4. Погрешность рабочего диапазона частот широкополосных ППАЭ определяется выражением:

$$\delta_{дн} = \sqrt{\text{ctg}^2 \alpha_n [(\delta_M^{ЛЧ})^2 + (\delta_{ЛН}^{ЛЧ})^2 + \delta_{ОК.К.}^2] + (\delta_{ЛН}^f)^2}, \quad (11)$$

$$\delta_{дв} = \sqrt{\text{ctg}^2 \alpha_v [(\delta_M^{ЛЧ})^2 + (\delta_{ЛН}^{ЛЧ})^2 + \delta_{ОК.К.}^2] + (\delta_{ЛН}^f)^2}, \quad (12)$$

где  $\delta_{дн}$ ,  $\delta_{дв}$  - соответственно погрешности нижней и верхней границ рабочего диапазона частот;  $\text{ctg} \alpha_n$ ,  $\text{ctg} \alpha_v$  - соответственно котангенсы угла наклона АЧХ в точках пересечения АЧХ с линией, на уровне которой АЧХ снижается на величину заданной неравномерности;

$\delta_M^{ЛЧ}$  - погрешность из-за неравномерности АЧХ;

$\delta_{ЛН}^{ЛЧ}$  - погрешность измерения АЧХ анализатором спектра;

$\delta_{ОК.К.}^f$  - погрешность акустического контакта определяется по формуле (10) на частотах  $f_n$  и  $f_b$ ;

$\delta_{ЛН}^f$  - погрешность измерения частоты анализатором спектра.

0.1.5. Погрешность неравномерности АЧХ широкополосных ППАЭ определяется выражением:

$$\delta_B = \sqrt{(\delta_M^{ЛЧ})^2 + (\delta_{ЛН}^{ЛЧ})^2 + (\delta_{ОК.К.}^B)^2 + (\text{tg} \alpha \cdot \delta_{ЛН}^n)^2}, \quad (13)$$

где  $\delta_M^{ЛЧ}$  - погрешность за счет неравномерности АЧХ мери,

$\delta_{ЛН}^{ЛЧ}$  - погрешность измерения анализатором спектра АЧХ ППАЭ;

$\delta_{ОК.К.}^B$  - погрешность за счет влияния акустического контакта на величину неравномерности В;

$tg \alpha$  - максимальный тангенс угла наклона АЧХ на нижней или на верхней границах рабочего диапазона частот;  
 $\delta_{ЛН}''$  - погрешность измерения полос пропускания анализатором спектра.

9.1.6. Погрешность коэффициента импульсного преобразования определяется выражением:

$$\delta_K^u = \sqrt{\delta_M^2 + (\delta_{oc}^u)^2 + (\delta_{ак.к.}^u)^2 + \delta_{yc}^2 + \delta_z^2}, \quad (14)$$

где  $\delta_M$  - погрешность меры смещения;

$\delta_{oc}^u$  - погрешность измерения напряжения осциллографом;

$\delta_{yc}^u$  - погрешность предварительного усилителя;

$\delta_{ак.к.}^u$  - погрешность акустического контакта;

$\delta_z$  - погрешность за счет конечности входного сопротивления высокоомного усилителя.

9.1.7. Погрешность измерения длительности огибающей переднего фронта, длительности импульсной характеристики, средней частоты заполнения определяется выражением:

$$\delta_{\tau} = \sqrt{\delta_{oc}^2 + (\delta_{ак.к.}^f)^2}, \quad (15)$$

где  $\delta_{oc}$  - погрешность измерения длительностей осциллографом;

$\delta_{ак.к.}^f$  - погрешность акустического контакта;



## 10. ОБФОРМИЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

10.1. Результаты измерений метрологических характеристик аттестуемого ПНАЭ заносятся в протокол, составленный по форме, приведенной в ГОСТе 8.326-78.

10.2. На каждый аттестационный ПНАЭ оформляют свидетельство об аттестации по форме, приведенной в ГОСТе 8.326-78.

Руководитель темы  Панин В.И.

Ответственный исполнитель  Веретенникова И.А.

Приложение I  
(справочное)

Определение терминов, встречающихся в МУ

№ пп	Термин	Условные обознач.	Определение
I	2	3	4
1.	Амплитудно-частотная характеристика	АЧХ	Амплитудно-частотная характеристика определяется как зависимость коэффициента преобразования от частоты
2.	Рабочий диапазон частот		Диапазон частот, в пределах которого коэффициент преобразования не выходит за пределы заданных допусков
3.	Номинальный диапазон частот		Диапазон частот, в котором нормируются параметры ППАЭ, установленные в стандартах для технических условий на них
4.	Полоса пропускания резонансных ППАЭ	$\Delta f$	Интервал частот, в пределах которого коэффициент электроакустического преобразования снижается на 3дБ от его значения на частоте максимума преобразования
5.	Коэффициент преобразования	K	Отношение уровня электрического сигнала на выходе ППАЭ к уровню ультразвукового сигнала на входе ППАЭ

1	2	3	4
6.	Частота максимума преобразования	$f_z$	Частота, на которой коэффициент электроакустического преобразования имеет максимальное значение
7.	Неравномерность амплитудно-частотной характеристики	В	Разность уровней наибольшего и наименьшего значений коэффициента электроакустического преобразования в номинальном диапазоне частот
8.	Средний коэффициент преобразования	$K_{\text{ср}}$	Среднее арифметическое значение коэффициента преобразования в рабочем или номинальном диапазоне частот
9.	Импульсная характеристика		Электрическое напряжение в функции времени на выходе ППАЭ при возбуждении его синусоидальным импульсом
10.	Коэффициент импульсного преобразования	$K^a$	Отношение максимального значения огибающей электрического сигнала на выходе ППАЭ к амплитуде сигнала
11.	Длительность огибающей переднего фронта	$\tau_{\text{max}}$	Временной интервал между началом огибающей импульсного преобразования и ее максимальным значением
12.	Длительность импульсной характеристики	$\tau_N$	Длительность огибающей импульсной характеристики на уровне 20 дБ от максимального значения
13.	Средняя частота заданения	$T$	Средняя частота колебаний в пределах длительности импульсной характеристики
14.	Диаграмма направленности в плоскости рабочей поверхности	$\rho$	Нормированный по максимуму график зависимости коэффициента преобразования в функции от угла поворота приемника вокруг своего акустического центра рабочей поверхности при неподвижном излучателе, либо от угла поворота излучателя вокруг акустического центра рабочей поверхности приемника при неподвижном приемнике

1	2	3	4
15.	Электрический импеданс		Зависимость от частоты комплексного электрического сопротивления ПИ АЭ
16.	Частота резонанса	$f_p$	Частота, на которой импеданс имеет минимальную по модулю величину
17.	ПИАЭ общего значения		ПИАЭ, в стандартах и технических условиях на который не устанавливается, с каким конкретным типом (типами) не принимается.
18.	ПФАП-П		Преобразователь-формирователь акустического поля продольной волны
19.	ПФАП-С		Преобразователь-формирователь акустического поля стержневой продольной волны
20.	ПФАП-Д		Преобразователь-формирователь диффузного акустического поля
21.	ПФАП-Р		Преобразователь-формирователь акустической поверхностной волны с квазирезонансным движением частиц
22.	ГКШ		Генератор коррентированного шума, форма спектра которого обратна форме АЧХ ПФАП

Приложение 2  
(справочное)

Акустические характеристики  
некоторых материалов

Материал	Скорость звука, м/сек			Модуль упругос- ти $\cdot 10^{10}$ кг/м <sup>2</sup>	Плот- ность $\cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>	Кoeffици- ент Пуассона	Удельное акустическое сопротивле- ние $\cdot 10^6$ кг/м <sup>2</sup> ·с)
	Про- дол- ные волны С <sub>пр</sub>	Сдвига- ные вол- ны С <sub>дв</sub>	Продо- льные волны и сверх- звуковые С <sub>ст</sub>				
Алюминий	6250- 6450	3130	5240	7,1	2,7	0,34	16,7
Титан	5950- 6300	3500	5072	19,8	4,5	-	27,0
Чугун	3500- 5600	2200- 3200		11,7	7,7	0,27	29,0
Сталь	5700- 6000	2950- 3300	5000- 5200	16,0-20,0	7,8-8,4	0,26-0,29	42,0-45,9
ЦС-19	3000- 3600			5,5-8,5	7,33		31,1
Свинец	2160- 2700		1200	1,6	11,34	0,445	24,4-30,5

Приложение 3  
(справочное)

Основные технические характеристики  
мер смещений

Основные технические характеристики мер УЗ смещений	Рекомендуемые меры УЗ смещений, примененные при:			
	аттестации ППАЭ, установка на торце объекта контроля, к которому предъявляются объемная меры	аттестации ППАЭ, установка на объекте контроля с помощью геометрической формы, малых размеров, в месте контроля ППАЭ	аттестации ППАЭ, установка на поверхность листовых конструкций	аттестации ППАЭ, установка на торце стержневого образца
	1	2	3	4

1.	МСУП	МСУД	МСУР	МСУС-М
1. <b>Наименование меры</b>				
2. <b>Состав меры УЗ смещений</b>	ППАЭ-П в комплекте с ГИШ или заданным генератором СКЧ-59 в непрерывном режиме, поджигаемый через импульсный ( $< 50$ мм) резистор; ППАЭ-П в комплекте с Г5-56 в импульсном режиме	ППАЭ-Д в комплекте с ГИШ	ППАЭ-Р в комплекте с ГИШ	ППАЭ-С в комплекте с СКЧ-59 в непрерывном режиме ППАЭ-С в комплекте с Г5-56 в импульсном режиме
3. <b>Тип волнового воздействия</b>	Продольная объемная акустическая волна	Диффузное акустическое поле	Акустическая поверхностная волна с квазирезонансным движением частиц	Продольная стержневая акустическая волна
4. <b>Направление</b>	По нормали к рабочей поверхности	Равномерно со всех направ-	Сбоку к рабочей поверхности ППАЭ	По нормали к рабочей поверхности

	1	2	3	4	5
	ПИАЭ	люмин			ПИАЭ
5. Величина амплитуды УЗ смещений	не менее $10^{-11}$ м	не менее $10^{-13}$ м	не менее $10^{-13}$ м		не менее $10^{-11}$ м
6. Рабочий диапазон частот	(0,2+1,7)МГц	(0,2+2)МГц	(0,5+1,5)МГц		(0,02+0,25)МГц при диаметре меры 6 мм (0,01+0,15)МГц при диаметре меры 10 мм (0,02+0,45)МГц при диаметре меры 3 мм
7. Диапазон длительности импульсов биполярной формы	(0,5+5) мкс				(5+30)мкс при диаметре меры 6 мм (8+40) мкс при диаметре меры 10 мм (2+30) мкс при диаметре меры 3 мм
8. Неравномерность АЧХ меры	$\pm 2$ дБ	$\pm 2$ дБ	$\pm 2$ дБ		$\pm 2$ дБ
9. Погрешность меры	30%	30%	30%		30%
10. Погрешность ПЭАП	25%	25%	25%		20%
11. Неравномерность АЧХ ПЭАП	$\pm 3$ дБ	$\pm 6$ дБ	$\pm 6$ дБ		$\pm 3$ дБ
12. Неравномерность смещений эффективной поверхности в: -непрерывном режиме	$\pm 6$ дБ	$\pm 3$ дБ	$\pm 3$ дБ		$\pm 1,5$ дБ
-импульсном режиме	$\pm 1,5$ дБ	-	-		$\pm 0,5$ дБ
13. Неравномерность АЧХ	$\pm 1$ дБ	-	-		$\pm 0,5$ дБ
14. Коэффициент электроакустического преобразования ПЭАП					

	1	2	3	4	5
	не менее	$10^{-10}$ м/В	$10^{-13}$ м/В	$10^{-13}$ м/В	$10^{-10}$ м/В
15. Диаметр контактной поверхности аттестуемого III АЭ		(8+20)мм	(6+40)мм	(15+40)мм	(2+4), (4+8), (2+12)мм
16. Диаметр эффективной поверхности аттестуемого III АЭ		(8+15)мм	(3+20)мм	(10+20)мм	(1,5+2,5), (3+5), (6+9)мм
17. Внешний диаметр аттестуемого III АЭ, не более	50 мм		40 мм	40 мм	50 мм
18. Шероховатость контактной поверхности аттестуемого III АЭ			не более 10 мкм		
19. Шероховатость контактной поверхности меры УЗ смещений			не более 0,63 мкм		
20. Неплоскостность контактной поверхности аттестуемого III АЭ			не более 100 мкм		
21. Неплоскостность контактной поверхности меры УЗ смещений			не более 10 мкм		
22. Режим работы		непрерывный и импульсный	непрерывный	непрерывный	непрерывный и импульсный
23. Полоса частот ГКШ		(0,1+2)МГц	(0,1+2)МГц	(0,1+2)МГц	(0,02+0,5) МГц
24. Действительное значение напряжения ГКШ на нагрузке, состоящей из		параллельного соединения $C = 10000$ пФ и $R = 25$ Ом, не менее 0,1 В в полосе частот 30 кГц			$C = 2,500$ пФ не менее 0,1 В в полосе 3,0 кГц



I	2	3	4	5
25. Спектральная характеристика шума	по форме обратная АЧХ возбуждаемой ПЭАП с погрешностью не более 10%			

- Примечание: 1. Допускается применять другие меры, взамен указанных, имеющих параметры не хуже указанных.
2. Если ПП АЭ входит в состав АЭ прибора общего назначения, у которого параметры объекта контроля и тип воли заранее не могут быть указаны, то для обеспечения взаимозаменяемости и сходимости результатов измерения рекомендуется измерить характеристики ПП АЭ на мерах МСУП и МСУС-М.
  3. В комплект мер (МСУП, МСУС-М) может входить серийно выпускаемый генератор (ГБ-56), либо нестандартный специализированный генератор, имеющий соответствующие параметры.
  4. Приведенные в таблице меры смещений могут быть использованы для аттестации ПП АЭ с 2 электрическими выходами (дифференциальные) по отдельной методике, в которой указаны определяемые параметры ПП АЭ и условия измерения.

Приложение 4  
(справочное)

Рекомендации по использованию  
характеристик и параметров ПНАЭ

№	Наименование характеристик и параметров ПНАЭ	Рекомендуется измерять			
		при аттестации ПНАЭ общего назначения, используемых для обнаружения и измерения	для обнаружения	в процессе разработки ПНАЭ	перед началом работ по методикам контроля
1	2	3	4	5	6
I.	Амплитудно-частотная характеристика АЧК	+	+	+	+
I.2.	Частоты максимумов преобразования $f_1, f_2, \dots$	+	+		+
I.3.	Коэффициенты электроакустического преобразования на частотах максимумов $K_1, K_2, \dots$	+	+		+
I.4.	Полосы пропускания $\Delta f_1, \Delta f_2$	+			+
I.5.	Рабочий диапазон частот $f_{\mu}, f_{\beta}$	+			+
I.6.	Средний коэффициент преобразования $K_{\text{ср}}$	+	+		+
I.7.	Неравномерность в номинальном диапазоне частот В	+			
2.	Импульсная характеристика	+		+	+
2.1.	Коэффициент импульсного преобразования $K_u$	+			+
2.2.	Длительность сгибающей переднего фронта $T_{\text{max}}$	+			
2.3.	Длительность импульсной характеристики $T_u$	+			
2.4.	Средняя частота затухания $T'$	+			
3.	Диаграмма направленности в плоскости рабочей поверхности	+		+	
3.1.	Неравномерность В	+			
3.2.	Акустический центр рабочей поверхности $O$	+			

I	1	2	3	4	5	6
4.	Электрический импеданс		+			+
4.1.	Частоты антирезонансов					(+)
4.2.	Модули электрических сопротивлений на частотах антирезонансов					+

Примечания: 1. Выбор аттестуемых характеристик и параметров ПП АЭ производится с учетом табл. I

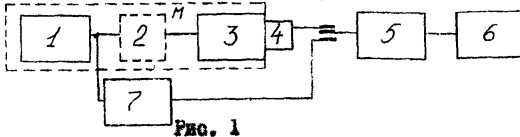
- ПП АЭ, имеющие утвержденную НТД, аттестуются по параметрам, указанным в НТД.
- (+) - измеряется при согласовании с конкретными электронными блоками приборов АЭ.
- ПП, селективные и типа воли, аттестуются при указанном типе волнового воздействия. Остальные ПП аттестуются на тип волнового воздействия, указанного лицами, осуществляющими данные ПП.
- ПП АЭ с характеристикой АЧХ рекомендуется применять только в приборах для обнаружения АЭ.
- Неравномерность в рабочей полосе частот определяется для тех широкополосных ПП АЭ, у которых в НТД задан номинальный диапазон частот.
- Импульсная характеристика и диаграмма направленности в импульсном режиме измеряется при аттестации ПП АЭ, работающих при приеме импульсных сигналов.
- Амплитудно-частотная характеристика и диаграмма направленности в стационарном шумовом режиме измеряется при аттестации ПП АЭ, работающих при приеме непрерывных шумовых сигналов.
- Параметры импульсной характеристики измеряются только для широкополосных и однорезонансных ПП АЭ.
- Акустический центр рабочей поверхности измеряется при аттестации ПП АЭ, используемых в приборах для точного определения координат АЭ на объектах малых размеров.

Приложение 5  
(справочное)

Методика определения коэффициентов  
электроакустического и импульсного  
преобразования с помощью аттенюатора

Для более точного измерения коэффициентов преобразования ИИ АЭ используется аттенюатор. Характеристики аттенюатора: рабочий диапазон частот ( $\pm 0,02-2$ ) МГц, диапазон ослабления амплитуд радиопульсов аттенюатора ( $0-80$ ) дБ, дискретность ослабления 0,1 дБ, предел допустимого значения погрешности аттенюатора для ослабления до 10 дБ включительно  $\pm 0,1$  дБ, свыше 10 до 80 дБ включительно  $\pm 0,2$  дБ, волновое сопротивление аттенюатора ( $50 \pm 0,75$ ) Ом. Рекомендуемый тип аттенюатора АД-30, разработка НИО "Дальстандарт".

Для измерения коэффициентов электроакустического преобразования ИИ АЭ необходимо собрать схему по рис. 1.



- 1 - генератор скорректированного шума (либо генератор гармонического сигнала с перестраиваемой частотой, входящий в комплект анализатора СИ4-59, подключаемый с дополнительным низкочастотным делителем);
- 2 - интегрирующая цепочка, имеющая характеристику  $\frac{1}{\omega^2}$ , подключаемая для измерения коэффициента электроакустического преобразования по скорости (погрешность реализации функции  $\frac{1}{\omega^2}$  не более 1%);
- 3 - ПНАУ;
- 4 - аттестуемый ИИ АЭ;
- 5 - предусилитель;
- 6 - анализатор спектра;
- 7 - аттенюатор.

Сигнал с выхода генератора 1 через тракт 2-3-4-5 подается на вход анализатора и на экране ЭИТ фиксируется максимальная амплитуда спектра сигнала. Затем, вместо тракта, 3-4 включается аттенюатор, 2. Ручкам аттенюатора выставляется амплитуда сигнала на экране ЭИТ анализатора, соответствующая ранее зафиксированному.

Коэффициент электроакустического преобразования определяют по формуле:

$$K = \frac{1}{U_{\text{ном}} \cdot 10^{\frac{A}{20}}} \text{ В/м.} \quad (1)$$

При подключении интегральной пелочки коэффициент электроакустического преобразования определяют по формуле:

$$K = \frac{1}{E_{\text{ном}} \cdot 10^{\frac{A}{20}} \cdot f} \text{ В/(м/с).} \quad (2)$$

где  $E_{\text{ном}}$  - коэффициент преобразования ПЭАП (м/В) на частоте (частотах для многорезонансных) максимума преобразования ПЭАП (приводится в паспорте);

$V$  - перепад амплитуд, отсчитанный по аттенюатору, дБ

$\omega = 2\pi f$  - круговая частота.

Для измерения коэффициента импульсного преобразования необходимо собрать схему на рис. 2

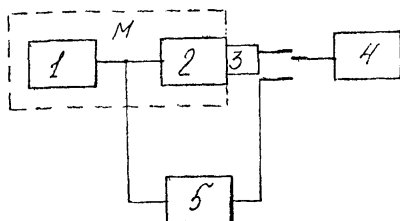


Рис. 2