

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

НПО "ДАЛЬСТАНДАРТ"



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

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

МИ 1786 -87

г.Хабаровск, 1987г.

**РАЗРАБОТАНА НПО "Дальстандарт"**

**ИСПОЛНИТЕЛИ Панин В.И. канд. техн. наук (руководитель темы);  
Веретяникова 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 ПШАЭ, делятся на три группы:

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

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

Конструктивное выполнение мер амплитуд УЗ смещений допускается в следующих вариантах:

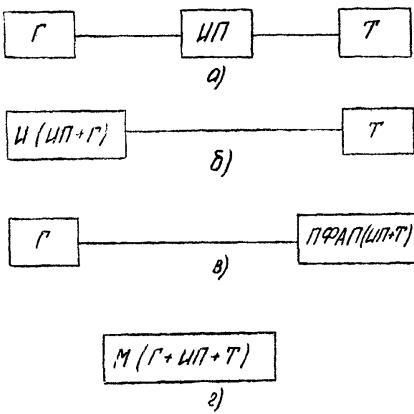


Рис. 1.

ПФАП – преобразователь-формирователь акустического поля.

В настоящей методике для аттестации ПШАЭ 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, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование	Тип, либо методологические характеристики	Назначение характеристики ШАЭ, параметры которой измеряются			
		АЧХ	ИХ	ДН	ЭИ
1. Анализатор спектра	СК 4-59	да		да	
2. Осциллограф	С1-65		да	да	
3. Усилитель предварительный (высокочастотный)	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 $\pm 5\%$ .	да	да	да	

Продолжение табл.2

I	2	3	4	5	6
Уровень собствен- ного шума, приведен- ный к входу, не более $0,2 \mu\text{б}$ в полосе 1 кГц					
4. Графопост- роитель	И-306		да		да
5. Генератор биполярных импульсов (радиоим- пульсов с одним периодом колебаний)	Г5-56		да		
6. Усилитель- ограничи- тель	Максимальный ко- эффициент усиле- ния ( $40 \pm 0,5$ ) дБ Неравномерность АЧХ не более 2,5 дБ			да	
7. Полусфери- ческий об- разец	Радиус полусфе- ры (95-140) мм Материал - Д16				да
8. Измеритель импеданса	ВМ - 508 ВМ - 507				да

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6
9. Мера сме- щения	МСУП	да	да		
10. Мера сме- щения	МСУД	да			
11. Мера сме- щения	МСУР	да			
12. Меры сме- щения	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 ПП АЭ воздействуют калиброванным широкополосным шумом.

Для измерения импульсной характеристики и её параметров на аттестуемый ПП АЭ воздействуют 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 образцовым ультразвуковым (емкостным и т.п.) приемником ультразвука и метода взаимности (или самовзаимности), при этом погрешность измерения не должна превышать погрешности нормируемой в данной методике.

### 4. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

4.1. При работе с аппаратурой должны соблюдаться "Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденные Госэнергогенадзором .

4.2. Работа с аппаратурой должна производиться в соответствии с требованиями безопасности, изложенными в инструкции по эксплуатации.

## 5. ТРЕБОВАНИЯ К ИДЕНТИФИКАЦИИ 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 ИЗМЕРЕНИЯ

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 ПП АЭ к электрической цепи

6.2.1. Входное сопротивление, подключаемое к ПП АЭ приборов, должно быть высокоомным либо стандартным, образованным параллельным соединением емкости  $C = 30 \text{ пФ}$  и сопротивления  $R = 1 \text{ МОм}$ .

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

все параметры измеряют с данным кабелем. Во всех остальных случаях измерение параметров ИШ АЭ производят с сопутствующим 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 ИШ 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. З 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

трением или ударами карандаша), убедиться, что ШАЭ реагирует на эти колебания.

### 6.3. Измерение параметров ШАЭ.

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

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

Примечание: При наличии аттенюатора коэффициенты электроакустического и ионизационного преобразования можно точнее определить по известному значению коэффициента электроакустического преобразования ПФАП и измеренным значениям отношения электрических сигналов на входе ПФАП и выходе ШАЭ, производимых с помощью аттенюатора. Описание метода измерения с помощью аттенюатора и характеристики аттенюатора приведены в справочном приложении 5.

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

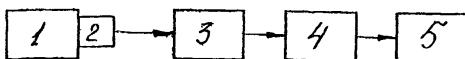


Рис.2

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

Через слой контактной смазки аттестуемый ИИ АЭ устанавливают на меру с помощью устройства крепления, поставляемого вместе с ИИ АЭ, совмещая центр ИИ 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 исствляется, а величина усилия не оговорена, необходимо выполнить условия п.6.3.2.

На анализаторе спектре 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 ИИ АЭ, значение измеряемого параметра изменяется в пределах половины ожидаемой погрешности, то достаточно трехкратного измерения (кроме п.8.3.1.4) с осреднением результата. В противном случае необходимо провести многократные (не менее 10) измерения с осреднением 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 видефильтра, произвести запись АЧХ ИИ АЭ.

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

8.3.1.3. Коэффициент преобразования резонансного ИИ 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 ИИ 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 ИИ АЭ на уровне 2  $\sigma$  определяют по формуле:

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

где  $n$  - число измерений ИИ АЭ на мере смещения,

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

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

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

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

## 1. Типы основных характеристик и параметров ПИ АЭ

Таблица I

	Типы характеристик	Параметры характеристик
Динамика		<ol style="list-style-type: none"> <li>Частоты максимумов преобразования <math>f_1, f_2, f_3</math></li> <li>Коэффициенты преобразования на частотах максимумов <math>K_1, K_2, K_3</math></li> <li>Погрешность, обусловленная нестабильностью акустического константа <math>\delta_{akk}^K</math></li> <li>Полосы пропускания <math>\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3</math></li> <li>Уровень собственного шума ПИ АЭ.</li> </ol>
Амплитудно-частотная характеристика		<ol style="list-style-type: none"> <li>Рабочий диапазон частот <math>f_H, f_L</math></li> <li>Средний коэффициент преобразования <math>K_{cp}</math></li> <li>Неравномерность вnomинальном диапазоне частот <math>B</math></li> </ol>
Изрезанная		<ol style="list-style-type: none"> <li>Средний коэффициент преобразования <math>K_{cp}</math> вnomинальном диапазоне частот</li> </ol>

Импульсная характеристика	Типы характеристик	Параметры характеристики
		<ol style="list-style-type: none"> <li>Коэффициент импульсного преобразования <math>X''</math></li> <li>Погрешность акустического контакта <math>\delta_{акк.}''</math></li> <li>Длительность огибающей переднего фронта <math>T_{max}</math></li> <li>Длительность импульсной характеристики <math>T_N</math></li> <li>Средняя частота заполнения <math>f_{3dB} = \frac{f}{T}</math></li> </ol>
Акустическая напородавленность		<ol style="list-style-type: none"> <li>Неравномерность В</li> <li>Акустический центр рабочей поверхности О</li> </ol>
Электрический импеданс		<ol style="list-style-type: none"> <li>Частоты антирезонансов <math>f_{0p1}</math>, <math>f_{0p2}</math></li> <li>Модули электрических сопротивлений на частотах антирезонанса <math>Z_{max1}</math>, <math>Z_{max2}</math></li> </ol>

Примечания: 1. При обработке АЧХ широкополосных и резонансных ПП необходимо, при наличии локальных неоднородностей, производить сглаживание АЧХ по ГОСТ 16123-74.

2. Коэффициенты преобразования ПП АЭ выражены 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 ППАЭ измеряют по схеме, приведенной на рис.2, но при этом на ППАЭ не подается акустический сигнал (НАИ - отключен от генератора электрических сигналов). Полоса пропускания анализатора спектра устанавливается равной 1 кГц.

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

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

где  $A_c$  - измеренное по экрану анализатора, суммарное значение уровня шумов предварительного усилителя и аттестуемого ППАЭ (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  $A_{pp}$  не рассчитывается, а его значение считается меньшим чем  $A_{yc}/2$ .

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

На графике АЧХ параллельно оси абсцисс проводят линии, на уровне которых АЧХ сдвигается на величину заданной изразномерности от максимального значения АЧХ. Точки пересечения, проведенной линии, с АЧХ проектируют на ось абсцисс. Полученные значения  $f_u$ ,  $f_b$  соответствуют концам верхней границы рабочего диапазона частот.

8.3.1.8. Изразномерность амплитудно-частотной характеристики широкополосных ПНАЭ определяют как разность уровней наибольшего и наименьшего значений на верхне амплитуда либо на графике АЧХ в изразнительном диапазоне частот.

8.3.1.9. Средний коэффициент электроякустического преобразования широкополосных и изразнительных ПНАЭ определяют по формуле:

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

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

$n > 10$  – число, размежерию расположенных отсчетов по частоте в рабочем или изразнительном диапазоне частот.

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

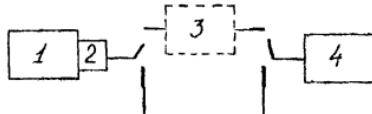


Рис. 3  
1 – мера смещения,

2 – аттестуемый ПНАЭ,

3 – предсилитель (используемый для ПНАЭ с малым коэффициентом преобразования),

4 – спирограф.

Частоту колебаний биполярного импульса (радиопульса с одним периодом) настраивают на частоту максимума преобразования

ПНАЭ. Устанавливает амплитуду А биполярного акустического импульса, равную целочисленному значению. На экране осциллографа наблюдают импульсную характеристику ПНАЭ.

8.3.2.1. Коэффициент импульсного преобразования определяют по формуле:

$$\hat{K}^U = \frac{U_{max}}{\beta} \text{ В/Н}, \quad (6),$$

где  $U_{max}$  - измеренная с помощью осциллографа максимальная амплитуда электрического отклика с выхода ПНАЭ, в.

А - амплитуда акустического биполярного импульса, н.

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

8.3.2.2. Длительность откликов переднего фронта  $t_{front}$ , длительность импульсной характеристики  $t_N$ , среднюю частоту заполнения  $f_{bar} = \frac{1}{T}$  определяют по экрану осциллографа.

8.3.3. Измерение ДН и ее параметров.

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

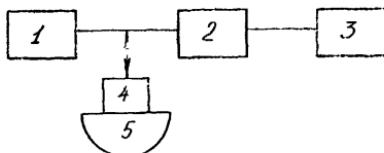


Рис.4

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

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

ПНАЭ ( $f$  - частота резонанса) и рабочей  $f_{f_p}$ , для широкополосных ПНАЭ ( $f_{cp}$  - средний частота рабочего диапазона ПНАЭ). Переицеля ПНАЭ по поверхности полусфера, добиваются максимального значения амплитуды первого эхо-импульса от сферической поверхности. При этом акустический центр контактной поверхности ПНАЭ совпадает с геометрическим центром поверхности полусферического образца.

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

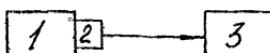


Рис. 5

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

Аттестуемый ПНАЭ вращают относительно геометрического центра контактной поверхности, если расстояние между акустическим и геометрическими центрами контактной поверхности не превышает 5 мм. В противном случае, ПНАЭ вращают вокруг акустического центра. Неравномерность размаха разности 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 взаимоакустического преобразования в рабочем

диапазоне частот аналогично п. 5.3.1.1.7.

8.3.3.5. В полярных координатах строят графическое изображение диаграммы направленности, соединяя плоской кривой экспериментальные точки.

8.3.3.6. Неравномерность диаграммы направленности широкополосных ППАЭ определяют по графику ДН. Приходят две окружности: первую - с радиусом, равным минимальному 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 ППАЭ обладает ДН с резкой пространственной неравномерностью, то его вращают относительно акустического центра, фиксируя отсчеты значений ДН через  $5 \cdot 10^6$ .

#### 8.3.4. Измерение электрического импеданса и его параметров.

Собирают схему рис. 6.

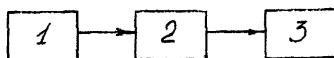


Рис. 6.

1 - аттестуемый ППАЭ, 3 - самонивелирующийся измеритель, 2 - измерительный усилитель.

Зависимость электрического импеданса от частоты записывается с помощью самонивелирующегося измерителя. Параметры электрического импеданса можно определить по графику ЗИ, либо измерить с помощью измерителя импеданса согласно инструкции по его эксплуатации.

## 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ШИАД

При определении отдельных погрешностей не учитывается составляющая, 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 резонансного ШИАД на уровне 2б 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 при измерении определяется выражением:

$$\delta_K = \sqrt{\delta_M^2 + (\delta_{M\text{ACh}}^2)^2 + (\delta_{M\text{ИХ}}^2)^2 + (\delta_{\text{акк.}}^2)^2 + \delta_{\text{Ус}}^2 + \delta_Z^2}, \quad (7)$$

где  $\delta_M$  - погрешность измерения амплитуды,

$\delta_{M\text{ACh}}$  - погрешность за счет неизменности АЧХ измер. (приложение 3),

$\delta_{M\text{ИХ}}^2$  - погрешность измерения напряжения анализатором спектра,

$\delta_{\text{акк.}}$  - погрешность акустического контакта. На уровне 2б,

при  $n$  - измерениях, величина  $\delta_{\text{акк.}}$  определяется по формуле:

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

где  $n$  - число измерений,

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

$U_i$  - результат одного измерения,

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

$\delta_Z$  - погрешность за счет конечности входного сопротивления высокочастотного предусилителя, вычисляется по формуле:

$$\delta_z = \left| 1 - \frac{Z_{\text{вых}}}{Z_{\text{вых}} + Z_{\text{ПЛЭ}}} \right| \cdot 100\%, \quad (9)$$

где  $Z_{\text{вых}}$  - входное сопротивление высокочастотного предустановителя,  
 $Z_{\text{ПЛЭ}}$  - сопротивление измеряемого ПЛАЭ.

9.1.3. Погрешность измерения пропускания определяется выражением:

$$\delta_{\text{пп}} = \sqrt{(\delta_{\text{АН}}^n)^2 + (\delta_{\text{ок.к.}}^n)^2}, \quad (10).$$

где  $\delta_{\text{АН}}^n$  - погрешность измерения износа частот анализатором спектра;

$\delta_{\text{ок.к.}}^n$  - погрешность акустического контакта, определяется по формуле (6) в замене частоты  $f$  на полосу пропускания П.

9.1.4. Погрешность рабочего диапазона частот широкополосных ПЛАЭ определяется выражением:

$$\delta_{\text{раб}} = \sqrt{\text{ctg}^2 \Delta_H [(\delta_M^{AUX})^2 + (\delta_{\text{АН}}^{AUX})^2 + \delta_{\text{ок.к.}}^2] + (\delta_{\text{АН}}^f)^2}, \quad (11)$$

$$\delta_{\text{раб}} = \sqrt{\text{ctg}^2 \Delta_B [(\delta_M^{AUX})^2 + (\delta_{\text{АН}}^{AUX})^2 + \delta_{\text{ок.к.}}^2] + (\delta_{\text{АН}}^f)^2}, \quad (12)$$

где  $\delta_{\text{раб}}^H$ ,  $\delta_{\text{раб}}^B$  - соответственно погрешности нижней и верхней границ рабочего диапазона частот;  $\text{ctg} \Delta_H$ ,  $\text{ctg} \Delta_B$  - соответственно котангенсы углов наклона АЧХ в точках пересечения АЧХ с линией, на уровне которой АЧХ снижается на величину заданной неравномерности;  $\delta_M^{AUX}$  - погрешность из-за неравномерности АЧХ;

$\delta_{\text{АН}}^{AUX}$  - погрешность измерения АЧХ анализатором спектра;

$\delta_{\text{ок.к.}}^f$  - погрешность акустического контакта определяется по

формуле (10) на частотах  $f_H$  и  $f_B$ ;

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

9.1.5. Погрешность неравномерности АЧХ широкополосных ПЛАЭ определяется выражением:

$$\delta_B = \sqrt{(\delta_M^{AUX})^2 + (\delta_{\text{АН}}^{AUX})^2 + (\delta_{\text{ок.к.}}^B)^2 + (\text{tg} \Delta \cdot \delta_{\text{АН}}^n)^2}, \quad (13)$$

где  $\delta_M^{AUX}$  - погрешность за счет неравномерности АЧХ меры,

$\delta_{\text{АН}}^{AUX}$  - погрешность измерения анализатором спектра АЧХ ПЛАЭ;

$\delta_{\text{ок.к.}}^B$  - погрешность за счет влияния акустического контакта

на величину неравномерности В;

$t_{\text{gol}}$  - максимальный тангенс угла наклона АЧХ на нижней  
или на верхней границах рабочего диапазона частот;  
 $\delta_{\text{zh}}^{\text{п}}$  - погрешность измерения полосы пропускания анализа-  
тором анализатора.

9.1.6. Погрешность коэффициента импульсного преобразования определяется выражением:

$$\delta_k^{\text{u}} = \sqrt{\delta_m^2 + (\delta_{oc}^{\text{u}})^2 + (\delta_{okk.}^{\text{u}})^2 + \delta_{yc}^2 + \delta_z^2}, \quad (14)$$

где  $\delta_m$  - погрешность меры смещения;

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

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

$\delta_{okk.}^{\text{u}}$  - погрешность акустического контакта;

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

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

$$\delta_T = \sqrt{\delta_{oc}^2 + (\delta_{okk.}^f)^2}, \quad (15)$$

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

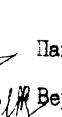
$\delta_{okk.}^f$  - погрешность акустического контакта;

## 10. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

10.1. Результаты измерений магнитогидродинамических характеристик аттестованного ПНАЭ заносят в протокол, составленный по форме, приведенной в ГОСТе 8.326-78.

10.2. На каждый аттестованный 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	Условное обозн.	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 или технических условиях на ИКХ
4.	Полоса пропускания резонансных ППАЭ	$\Delta f$	Интервал частот, в пределах которого коэффициент электроакустического преобразования отличается на 3дБ от его значения на частоте максимума преобразования
5.	Коэффициент преобразования	K	Относительное изменение уровня электрического сигнала на выходе ППАЭ к уровню ультразвукового сигнала на входе ППАЭ

I	2	3	4
6.	Частота максимума преобразования	$f_L$	Частота, на которой коэффициент электроакустического преобразования имеет максимальное значение
7.	Неравномерность амплитудно-частотной характеристики	$B$	Разность уровней наименьшего и наибольшего значений коэффициента электроакустического преобразования вnomинальном диапазоне частот
8.	Средний коэффициент преобразования	$K_{ср}$	Среднее амплитудическое значение коэффициента преобразования в рабочем илиноминальном диапазоне частот
9.	Импульсная характеристика		Электрическое напряжение в фиксированном времени на выходе ПЛАЭ при воздействии его биполярным импульсом
10.	Коэффициент импульсного преобразования	$K''$	Степенное максимального значения огибающей электрического сигнала на выходе ПЛАЭ к амплитуде сигнала
11.	Длительность огибающей переднего фронта	$T_{m\alpha}$	Физической интервал между максимумом огибающей импульсной характеристики и ее "максимальным" значением
12.	Длительность импульсной характеристики	$T_N$	Длительность огибающей импульсной характеристики на уровне 20 дБ от максимального значения
13.	Средняя частота заложения	$T$	Средняя частота колебаний в пределах длительности импульсной характеристики
14.	Диаграмма направленности в плоскости рабочей поверхности	$P$	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

I	2	3	4
15. Электрический импеданс			Зависимость от частоты ком-плексного электрического сопротивления ПП АЭ
16. Частота резонанса	$f_p$		Частота, на которой изме-данс имеет минимальную по-межу величину
17. ППАЭ общего значения			ППАЭ, в стандартах и техни-ческих условиях на который не устанавливается, с каким конкретным типом (типаи) не применяется.
18. ПФАП-П			Преобразователь-формирователь акустического поля продольной волны
19. ПФАП-С			Преобразователь-формирователь акустического поля стерни-вой продольной волны
20. ПФАП-Д			Преобразователь-формирователь диффузного акустического поля
21. ПФАП-Р			Преобразователь-формирователь акустической пограничной волны с квазирелаксационным дви-жением частиц
22. ГКШ			Генератор коррентированного шума, форма спектра которого обратна форме АЧХ ПФАП

Приложение 2  
(правочное)

Акустические характеристики  
некоторых материалов

Материал	Скорость звука, м/сек		Модуль упругости ТМ · 10 <sup>10</sup>	Плотность · 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент Пуассона	Удельное акустическое сопротивление · 10 <sup>6</sup> кг/м <sup>2</sup> · С)	
	Продольные волны	Сдвиговые волны					
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		II,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	I,6	II,34	0,446	24,4-30,5

Приложение 3  
(справочное)

Основные технические характеристики  
мер смещений

Основные технические характеристи- ки мер УЗ смещений	Рекомендуемые меры ИЗ смещений, применяемые при:				
	аттестации ШИАЭ, уста- навливаемых на торец объекта контроля, к которому подбогает привычная объемная весь?	аттестации ШИАЭ, уста- навливаемых на объекте контроля блочной геометри- ческой формы, ма- гнитные разме- ры, в то- торех эпо- х от эпохи изобретения АЭ	аттестации ШИАЭ, уста- навливаемых на поверх- ности инсте- рируемых конструк- ций	аттестации ШИАЭ, уста- навливаемых на торце стержневого образца	
I	1	2	3	4	5
1. Назначение меры	МСУП	МСУД	МСУР	МСУС-М	
2. Состав меры УЗ смещений	ПФАП-П в комплекте с ГИИ или заданным генератором СКЧ-59 в ис- прорывном режиме, под- ключаемый через изоло- ватели (<50мм) пентакель; ПФАП-П в ком- плекте с ГБ-56 в импульсном режиме	ПФАП-Д в комплекте с ГИИ	ПФАП-Р в комплекте с ГИИ	ПФАП-С в комплекте с СКЧ-59 в испрорывном режиме ПФАП-С в комплекте с ГБ-56 в импульсном режиме	
3. Тип волно- вого воздей- ствия	Продольная объемная акустиче- ская волна	Диффузное акустиче- ское поле	Акустическая поверхност- ная волна с квазирелакс- ационным движе- нием частиц	Продольная стержневая акустиче- ская волна	
4. Направление	По нормали к рабочей поверхности всех направ-	Равнено- роятно со	Сбоку к ра- бочей поверх- ности ШИАЭ	По нормали к рабочей поверхности	

I	+	2	!	3	!	4	!	5
		ПЛАЭ	хороший			ПЛАЭ		
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 $(24+30)$ 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 ПФАП	25%	25%	25%	25%			
11.	Неравномерность АЧХ ПФАП	$\pm 3$ дБ	$\pm 6$ дБ	$\pm 6$ дБ	$\pm 3$ дБ			
12.	Неравномерность смещений эффективной поверхности в: -непрерывном режиме -импульсном режиме	$\pm 6$ дБ $\pm 1,5$ дБ	$\pm 3$ дБ -	$\pm 3$ дБ -	$\pm 1,5$ дБ $\pm 0,5$ дБ			
13.	Неравномерность АЧХ	$\pm 1$ дБ	-	-	-	$\pm 0,5$ дБ		
14.	Коэффициент электроакустического преобразования ПФАП							

	1 не менее	2 $10^{-10} \text{ м/В}$	3 $10^{-13} \text{ м/В}$	4 $10^{-13} \text{ м/В}$	5 $10^{-10} \text{ м/В}$
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. Неплоскостьность контактной поверхности аттестуемого III АЭ			не более 100 мкм		
21. Неплоскостьность контактной поверхности меры УЗ смещений			не более 10 мкм		
22. Режим работы	непрерывный и импульсный		непрерывный	непрерывный и импульсный	
23. Полоса частот ГКШ	(0,1+2)МГц		(0,1+2)МГц	(0,1+2)МГц	(0,0220,5) МГц
24. Действительное значение напряжения ГКШ на нагрузке, состоящей из	параллельного соединения $C = 10000 \text{ пФ}$ и $R = 25 \text{ Ом}$ , не менее 0,1 В в полосе частот 30 кГц			$C=2,500 \text{ пФ}$ не менее 0,1 В в полосе 3,0 кГц	

1	2	3	4	5
25. Спектральная характеристика шума		по форме обратная АЧХ возбуждаемой ПФАП 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 волны заранее не могут быть указаны, то для обеспечения взаимозаменяемости и сходности результатов измерения рекомендуется измерять 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 смягчений могут быть использованы для аттестации ПП АЭ с 2 электрическими выходами (дифференциальными) по отдельной методике, в которой указаны определяемые параметры ПП АЭ и условия измерения.

Приложение 4  
(справочное)

Рекомендации по испытыванию  
характеристик и параметров ПНАЭ

№	Наименование характеристик и параметров ПНАЭ	Рекомендуется измерять					
		при аттестации ПНАЭ общего назначения, используемых для обнаружения и измерения	в процессе разработки АЭ для обнаружения и измерения	в процессе разработки ПНАЭ	перед введением в эксплуатацию	в процессе эксплуатации	в процессе контроля
I	II	3	4	5	6		
I.	Амплитудно-частотные характеристики АЧХ	+	+	+	+	+	
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 $f_L, f_H$	+				+	
I.6.	Средний коэффициент преобразования $K_{ср}$	+	+			+	
I.7.	Неравномерность в исключительном диапазоне частот В	+					
2.	Импульсная характеристика	+			+	+	
2.1.	Коэффициент импульсного преобразования $K_I$	+				+	
2.2.	Длительность сгивающей переднего фронта $\tau_{так}$	+					
2.3.	Длительность импульсной характеристики $\tau_N$	+					
2.4.	Средняя частота заполнения $T$	+					
3.	Диаграмма направленности в плоскости рабочей поверхности	+				+	
3.1.	Неравномерность В	+					
3.2.	Акустический центр рабочей поверхности О	+					

I	1	2	3	4	1	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.

2. ПП АЭ, имеющие утвержденную НТД, аттестуются по параметрам, указанным в НТД.
3. (+) - измеряется при согласовании с конкретными электронными блоками приборов АЭ.
4. ПП, коллективные и типу волны, аттестуются при указанном типе волнового воздействия. Остальные ПП аттестуются на тип волнового воздействия, указываемого лицами, эксплуатирующими данные ПП.
5. ПП АЭ с чардинальной АЧХ рекомендуется применять только в приборах для обнаружения АЭ.
6. Неравномерность в рабочей полосе частот определяется для тех широкополосных ПП АЭ, у которых в НТД задан номинальный диапазон частот.
7. Импульсная характеристика и диаграмма направленности в импульсном режиме измеряется при аттестации ПП АЭ, работающих при приеме импульсных сигналов.
8. Амплитудно-частотная характеристика и диаграмма направленности в стационарном пульсом режиме измеряется при аттестации ПП АЭ, работающих при приеме непрерывных пульсовых сигналов.
9. Параметры импульсной характеристики измеряются только для широкополосных и одноврезонансных ПП АЭ.
10. 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 ОГС и импульсного  
преобразования с помощью аттенюатора

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

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

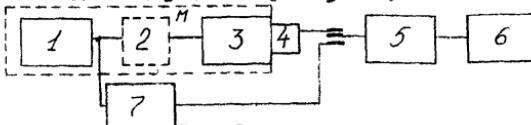


Рис. 1

- 1 - генератор корректирующего кумулятивного сигнала (либо генератор гармонического сигнала с перестраиваемой частотой, входящий в комплект анализатора Си4-59, подключаемый с дополнительным низкочастотным делителем);
- 2 - интегрирующая цепочка, имеющая характеристику  $\frac{1}{\omega}$ , подключаемая для измерения коэффициента электроакустического преобразования по скорости (погрешность реализации функции  $\frac{1}{\omega}$  не более 4%);
- 3 - ПОСЦ;
- 4 - аттестуемый ИИ АЭ;
- 5 - предусилитель;
- 6 - анализатор спектра;
- 7 - аттенюатор.

Сигнал с выхода генератора 1 через тракт 2-3-4-6 подается на вход анализатора и на экране ЗИТ фиксируется максимальная амплитуда спектра сигнала. Затем, вместо тракта, 3-4 включается аттенюатор; 2. Ручками аттенюатора выставляется амплитуда сигнала на экране ЗИТ анализатора, соответствующая ранее зафиксированному.

Коэффициент электроакустического преобразования определяют по формуле:

$$K = \frac{I}{I_{\text{норм}} \cdot 10^{B/10}} \text{ В/М} . \quad (1)$$

При подключении интегральной цепочки коэффициент электроакустического преобразования определяют по формуле:

$$K = \frac{1}{E_{\text{норм}} \cdot 10^{B/10} \cdot \frac{\omega}{\omega_0}} \text{ В/(м/с)} . \quad (2)$$

где  $E_{\text{норм}}$  – коэффициент пропорциональности ПОАП (м/В) на частоте (частотах для многорезонансных) максимума преобразования ШАЭ (приводится в паспорте);

$B$  – перепад амплитуд, отсчитанный по аттенюатору, до  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота.

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

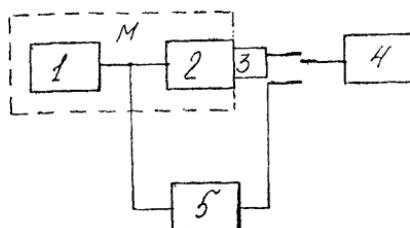


Рис. 2