ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

НПО"ДАЛЬСТАНДАРТ"

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор НПО
"Дальстандарт"
_____ Г.Литвецкий
"15" _____ 1987 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

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

МИ 1786 -87

г.Хабаровск, 1987г.

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНА НПО"Дальстандарт"

ИСПОЛНИТЕЛИ Панин 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 ПЦАЭ, делятся на три группы:

1. Меры амплитуд УЗ смещений.

2. Приборы для измерения электрических сигналов на выходе аттестуемых ПЦАЭ.

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:

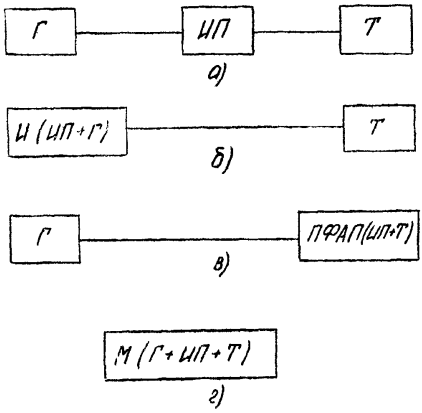


Рис. 1.

ПФАП - преобразователь-формирователь акустического поля.

В настоящей методике для аттестации ПЦАЭ 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 ШПАЭ, параметры которой измеряются			
		АЧХ	ИХ	ДН	ЭИ
I. 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 I до I0 раз Входное сопротивление не менее I00кОм Входная емкость не более 5пФ Погрешность аттестаций по коэффициенту усиления ±5%	да	да		

Продолжение табл.2

I	2	3	4	5	6
	Уровень собственного шума, приведенный ко входу, не более 0,2 μв в полосе 1 МГц				
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÷1) мкф		да		
6. Усилитель-ограничитель	Максимальный коэффициент усиления (40 ± 0,5) дб Неравномерность АЧХ не более 2,5 дБ		да		
7. Полусферический образец	Радиус полусферы (95÷140) мм Материал- Д16			да	
8. Измеритель импеданса	ВМ - 508 ВМ- 507				да да

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6
9. Мера смещения	МСУП	да	да		
IO. Мера смещения	МСУД	да			
II. Мера смещения	МСУР	да			
I2. Меры смещения	МСУС-М	да	да		

Примечание: I. 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.I. 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: I. 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.I. При работе с аппаратурой должны соблюдаться "Правила технической 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 эксплуатации.

5. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРОВ.

5.I. 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.I. Условия окружающей среды.

6.I.I. Температура окружающего воздуха $(20\pm5)^{\circ}C$.

6.I.2. Относительная влажность воздуха $(65\pm15)\%$.

6.I.3. Атмосферное давление (100 ± 4) кПа.

6.I.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 ПЭ к электрической цепи

6.2.I. Входное сопротивление, подключаемых к ПП АЭ приборов, должно быть высокоомным либо стандартным, образованным параллельным соединением емкости C = 30 пф и сопротивления R = I 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 ШИ АЭ производят с соединительным кабелем, имеющим параметры:

- волновое сопротивление (50 ± 3,0) Ом;
- емкость кабеля (60 ± 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 ШИ 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 $Н/мм^2$, 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

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

6.3. Измерение параметров ПП АЭ.

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

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

Примечание: При наличии аттенюатора коэффициенты электроакустического и импульсного преобразования можно точнее определить по известному значению коэффициента электроакустического преобразования ПЭАП и измеренным значениям отношения электрических сигналов на входе ПЭАП и выходе ПП, 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.

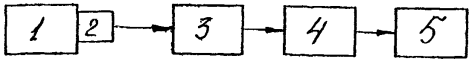


Рис.2

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

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

В случае, если устройство прижима не поставляется, 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 ПП 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 видеофильтра, произвести запись АЧХ ПП 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 ПП АЭ (коэффициенты – для многорезонансных) на частоте максимума преобразования определяют расчетным путем по формуле:

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

где U вых. – напряжение на выходе ПП АЭ на частоте максимума преобразования (отсчитывается по анализатору спектра с учетом коэффициента усиления предварительного усилителя), В

А– нормальная компонента смещения свободной поверхности меры (приводится в паспорте меры), м.

8.3.I.4. Погрешность, обусловленная нестабильностью акустического контакта ПП АЭ на уровне 2 σ определяют по формуле:

$$\delta^{к}_{ак.к.} = 2\left[\frac{2}{n-1}\sum\left(\frac{U_i - \bar{U}}{\bar{U}}\right)^2\right]^{1/2} \cdot 100\% \qquad (2)$$

где n – число переустановок ПП АЭ на мере смещения,

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

U_i – результат одного измерения на частоте максимума преобразования.

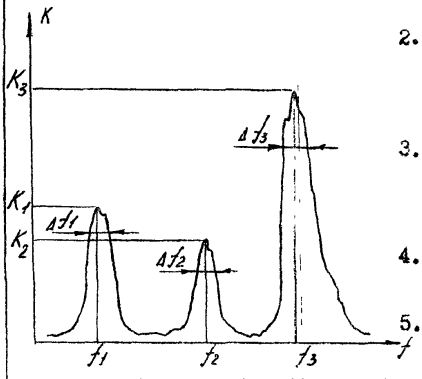
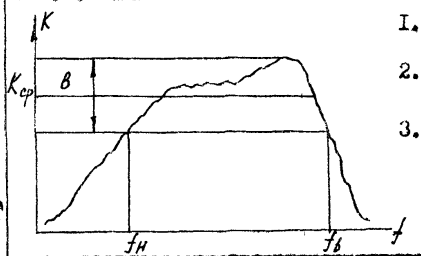
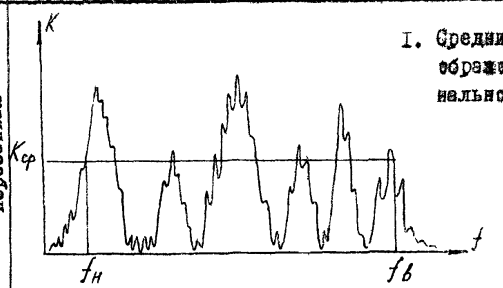
Величину $\delta^{ku}_{ак.к.}$ определяют по формуле (2), подставляя

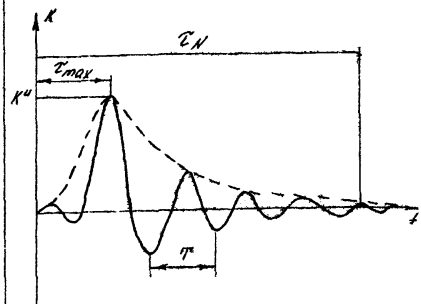
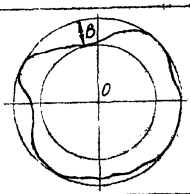
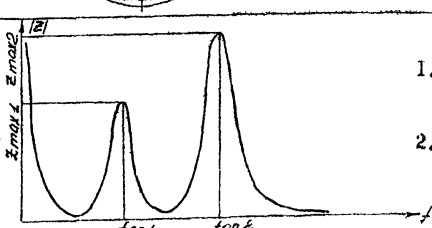
$\bar{U}$ – среднее арифметическое значение максимальной амплитуды электрического отклика с выхода ПП АЭ, измеренное с помощью осциллографа, U_i – результат одного измерения максимальной амплитуды электрического отклика с выхода ПП АЭ.

8.3.I.5. Полосу (полосы – для многорезонансных) пропускания резонансного ПП 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 характеристик
резонансная		1. Частоты максимумов преобразования f_1, f_2, f_3 2. Коэффициенты преобразования на частотах максимумов K_1, K_2, K_3 3. Погрешность, обусловленная нестабильностью акустического контакта $\sigma_{акк}^{K}$ 4. Полосы пропускания $\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3$ 5. Уровень собственного шума ШИ АЭ.
широкополосная		1. Рабочий диапазон частот $f_в, f_н$ 2. Средний коэффициент преобразования Кср 3. Неравномерность в номинальном диапазоне частот В
изрезанная		1. Средний коэффициент преобразования Кср в номинальном диапазоне частот

	Типы характеристик	Параметры характеристик
Импульсная характеристика		1. Коэффициент импульсного преобразования K^u 2. Погрешность акустического контакта $\delta^u_{ак.к.}$ 3. Длительность огибающей переднего фронта τ_{max} 4. Длительность импульсной характеристики τ_N 5. Средняя частота заполнения $f_{зап} = \frac{1}{T}$
Диаграмма направленности		1. Неравномерность B 2. Акустический центр рабочей поверхности O
Электрический импеданс		1. Частоты антирезонансов f_{ap1}, f_{ap2} 2. Модули электрических сопротивлений на частотах антирезонанса Z_{max1}, Z_{max2}

Примечания: 1. При обработке АЧХ широкополосных и резонансных ПП 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

$$П = f_в - f_н \quad , \qquad (3)$$

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

8.3.I.6. Собственный шум ПП АЭ измеряют по схеме, приведенной на рис.2, но при этом на ППАЭ не подается акустический сигнал (ПОАП - отключен от генератора электрических сигналов). Полоса пропускания анализатора спектра устанавливается равной I КГц.

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

$$A_{пп} = \sqrt{A_c^2 - A_{ус}^2} \quad , \qquad (4)$$

где Ас - измеренное по экрану анализатора, суммарное значение уровня шумов предварительного усилителя и аттестуемого ППАЭ (с учетом коэффициента усиления предварительного усилителя); Аус - измеренное по экрану анализатора, значение уровня собственного шума усилителя закороченного по входу.

ПРимечание: Если Ас - Аус $<$ 0,I Аус, то уровень собственных шумов $A_{пп}$ не рассчитывается, а его значение считается меньшим чем Аус/2.

8.3.I.7. Рабочий диапазон частот широкополосных ППАЭ 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 проектируют на ось абсцисс. Полученные значения $f_н$, $f_в$, соответствуют нижней и верхней границам рабочего диапазона частот.

8.3.I.8. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики широкополосных ПЭА определяют как разность уровней наибольшего и наименьшего отсчетов на экране анализатора либо на графике АЧХ в номинальном диапазоне частот.

8.3.I.9. Средний коэффициент электроакустического преобразования широкополосных и узкополосных ПЭА определяют по формуле:

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

где K_i – значение АЧХ на частоте f_i.

$n \geq 10$ – 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

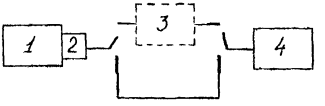


Рис. 3

I – мера смещения,

2 – аттестуемый ПЭА,

3 – предусилитель (используется для ПЭА с малым коэффициентом преобразования),

4 – осциллограф.

Частоту колебания биполярного импульса (радиоимпульса с одним периодом) настраивают на частоту максимума преобразования

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

8.3.2.I. Коэффициент импульсного преобразования определяют по формуле:

$$K^{u} = \frac{U_{max}}{A} \; В/м \,, \qquad (6),$$

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

А - 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 огибающей переднего фронта τ_{max}, длительность импульсной характеристики τ_N, среднюю частоту заполнения $f_{зап} = \frac{1}{T}$ определяют по экрану осциллографа.

8.3.3. Измерение ДН и ее параметров.

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

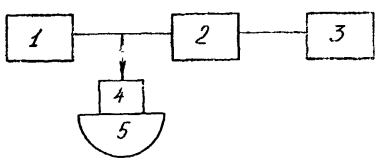


Рис.4

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

Аттестуемый ППАЭ устанавливают на полусферу. Длительность импульса генератора устанавливают равной $1/f_c$, для резонансных

ПНАЭ (f - частота резонанса) и равной $1/f_{ср}$, для широкополосных ПНАЭ ($f_{ср}$ - средняя частота рабочего диапазона ПНАЭ). Перемещая ПНАЭ по поверхности полусферы, 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.

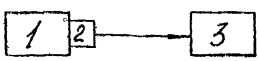


Рис. 5

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

Аттестуемый ПНАЭ вращают относительно геометрического центра контактной поверхности, если расстояние между акустическим и геометрическим центрами контактной поверхности не превышает 5 мм. В противном случае ПНАЭ вращают вокруг акустического центра. Неравномерность равна 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 30^0, и определяют в каждой точке уровень сигнала по анализатору спектра.

8.3.3.4. При измерении диаграммы направленности широкополосных ПНАЭ в каждой точке (через 30^0) определяют средний коэффициент электроакустического преобразования в рабочем

диапазоне частот аналогично п. 5.3.I.I.7.

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

8.3.3.6. Неравномерность диаграммы направленности широкополосных ППАЭ 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 ППАЭ обладает ДН с резкой пространственной неравномерностью, то его вращают относительно акустического центра, фиксируя отсчеты значений ДН через 5–I0°.

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

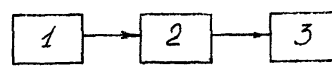


Рис. 6.

I – аттестуемый ППАЭ, 3 – самописец, 2 – измеритель импеданса.

Записывают электрического импеданса от частоты записывают с помощью самописца. Параметры электрического импеданса можно определить по графику ЭИ, либо измерить с помощью измерителя импеданса согласно инструкции по его эксплуатации.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ППАЭ

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 ППАЭ на уровне 2σ при n измерениях вычисляется по формуле:

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

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:

$$\delta_K = \sqrt{\delta_M^2 + \left(\delta_M^{АЧХ}\right)^2 + \left(\delta_{ДН}^{U}\right)^2 + \left(\delta_{АК.К.}^{U}\right)^2 + \delta_{УС}^2 + \delta_Z^2}, \qquad (7)$$

где δ_M – погрешность меры смещения по амплитуде,

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

$\delta_{ДН}^{U}$ – погрешность измерения напряжения анализатором спектра,

$\delta_{АК.К}$ – погрешность акустического контакта. На уровне 2σ, при n – измерениях, величина $\delta_{АК.К}^{U}$ вычисляется по формуле:

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

где n – число измерений,

$\bar{U}$ – среднее арифметическое значение напряжения на клеммах аттестуемого ППАЭ,

U_i – результат одного измерения,

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

δ_Z – погрешность за счет конечности входного сопротивления высокоомного предусилителя, вычисляется по формуле:

$$\delta_z = \left|1 - \frac{Z_{вх\,ус}}{Z_{вх\,ус} + Z_{ппаэ}}\right| \cdot 100\%, \qquad (9)$$

где $Z_{вх\,ус}$ – входное сопротивление высокоомного предусилителя,

$Z_{ппаэ}$ – сопротивление аттестуемого ШПАЭ.

9.I.3. Погрешность полосы пропускания определяется выражением:

$$\delta_{пп} = \sqrt{(\delta_{ан}^{п})^2 + (\delta_{ак.к.}^{п})^2}, \qquad (10).$$

где $\delta_{ан}^{п}$ – погрешность измерения полосы частот анализатором спектра;

$\delta_{ак.к.}^{п}$ – погрешность акустического контакта, определяется по формуле (6) с заменой частоты f на полосу пропускания П.

9.I.4. Погрешность рабочего диапазона частот широкополосных ШПАЭ определяется выражением:

$$\delta_{рдн} = \sqrt{ctg^2\alpha_н\left[(\delta_м^{ачх})^2 + (\delta_{ан}^{ачх})^2 + \delta_{ак.к}^2\right] + (\delta_{ан}^{f})^2}, \qquad (11)$$

$$\delta_{рдв} = \sqrt{ctg^2\alpha_в\left[(\delta_м^{ачх})^2 + (\delta_{ан}^{ачх})^2 + \delta_{ак.к}^2\right] + (\delta_{ан}^{f})^2}, \qquad (12)$$

где $\delta_{рдн}$, $\delta_{рдв}$ – соответственно погрешности нижней и верхней границ рабочего диапазона частот; $ctg\alpha_н$, $ctg\alpha_в$ – соответственно котангенсы угла наклона АЧХ в точках пересечения АЧХ с линией, на уровне которой АЧХ снижается на величину заданной неравномерности; $\delta_м^{ачх}$ – погрешность из-за неравномерности АЧХ;

$\delta_{ан}^{ачх}$ – погрешность измерения АЧХ анализатором спектра;

$\delta_{ак.к.}^{f}$ – погрешность акустического контакта определяется по формуле (10) на частотах $f_н$ и $f_в$;

$\delta_{ан}^{f}$ – погрешность измерения частоты анализатором спектра.

9.I.5. Погрешность неравномерности АЧХ широкополосных ШПАЭ определяется выражением:

$$\delta_в = \sqrt{(\delta_м^{ачх})^2 + (\delta_{ан}^{ачх})^2 + (\delta_{ак.к.}^{в})^2 + (tg\alpha \cdot \delta_{ан}^{п})^2}, \qquad (13)$$

где $\delta_м^{ачх}$ – погрешность за счет неравномерности АЧХ меры,

$\delta_{ан}^{ачх}$ – погрешность измерения анализатором спектра АЧХ ШПАЭ;

$\delta_{ак.к.}^{в}$ – 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;

$\delta_{\Delta H}^{\Pi}$ – погрешность измерения полосы пропускания анализатором спектра.

9.I.6. Погрешность коэффициента импульсного преобразования определяется выражением:

$$\delta_K^U = \sqrt{\delta_M^2 + (\delta_{oc}^U)^2 + (\delta_{ak.k.}^U)^2 + \delta_{yc}^2 + \delta_z^2}, \qquad (I4)$$

где δ_M – погрешность меры смещения;

δ_{oc}^U – погрешность измерения напряжения осциллографом;

δ_{yc} – погрешность предварительного усилителя;

$\delta_{ak.k.}^U$ – погрешность акустического контакта;

δ_z – погрешность за счет конечности входного сопротивления высокоомного усилителя.

9.I.7. Погрешность измерения длительности огибающей переднего фронта, длительности импульсной характеристики, средней частоты заполнения определяется выражением:

$$\delta_\tau = \sqrt{\delta_{oc}^2 + (\delta_{ak.k.}^t)^2}, \qquad (I5)$$

где δ_{oc} – погрешность измерения длительностей осциллографом;

$\delta_{ak.k.}^t$ – погрешность акустического контакта;

10. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

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

10.2. На каждый аттестованный ПИАЭ 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 обозначение	Определение
I	2	3	4
I.	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 ПЭА, устанавливаемые в стандартах или технических условиях на них
4.	Полоса пропускания резонансных ПЭА	Δf	Интервал частот, в пределах которого коэффициент электроакустического преобразования снижается на 3дБ от его значения на частоте максимума преобразования
5.	Коэффициент преобразования	К	Отношение уровня электрического сигнала на выходе ПЭА к уровню ультразвукового сигнала на входе ПЭА

1	2	3	4
6.	Частота максимума преобразования	f_t	Частота, на которой коэффициент электроакустического преобразования имеет максимальное значение
7.	Неравномерность амплитудно-частотной характеристики	B	Разность уровней наибольшего и наименьшего значений коэффициента электроакустического преобразования в номинальном диапазоне частот
8.	Средний коэффициент преобразования	$K_{ср}$	Среднее арифметическое значение коэффициента преобразования в рабочем или номинальном диапазоне частот
9.	Импульсная характеристика		Электрическое напряжение в функции времени на выходе ПАЭ при возбуждении его биполярным импульсом
10.	Коэффициент импульсного преобразования	K^{u}	Отношение максимального значения огибающей электрического сигнала на выходе ПАЭ к амплитуде сигнала
11.	Длительность огибающей переднего фронта	τ_{mox}	Временной интервал между началом огибающей импульсной характеристики и ее максимальным значением
12.	Длительность импульсной характеристики	τ_N	Длительность огибающей импульсной характеристики на уровне 20 дБ от максимального значения
13.	Средняя частота заполнения	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

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

Приложение 2
(справочное)

Акустические характеристики некоторых материалов

Материал	Скорость звука, м/сек			Модуль упругости $\cdot 10^{10}$ кг/м$\cdot$с^2	Плотность $\cdot 10^3$ кг/м^3	Коэффициент Пуассона	Удельное акустическое сопротивление $\cdot 10^6$ кг/м^2. с)
	Продольные волны $C_{пр}$	Сдвиговые волны $C_{сдв}$	Продольные волны и стержне $C_{ст}$				
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
ЦТС-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, применяемые при:			
	аттестации ППАЭ, устанавливаемых на торец объекта контроля, к которому подбирается призматическая объемная вкладыш	аттестации ППАЭ, устанавливаемых на объекте контроля сложной геометрической формы, малых размеров, в котором имеет место непрерывная АЭ	аттестации ППАЭ, устанавливаемых на поверхность листовых конструкций	аттестации ППАЭ, устанавливаемых на торце стержневого образца
I	2	3	4	5
I. Наименование меры	МСУП	МСУД	МСУР	МСУС-М
2. Состав меры УЗ смещений	ПФАП-П в комплекте с ГКШ или задающим генератором СКЧ-59 в непрерывном режиме, подключаемым через кварцевый (<50мм) делитель; ПФАП-П в комплекте с Г5-56 в импульсном режиме	ПФАП-Д в комплекте с ГКШ	ПФАП-Р в комплекте с ГКШ	ПФАП-С в комплекте с СКЧ-59 в непрерывном режиме ПФАП-С в комплекте с Г5-56 в импульсном режиме
3. Тип волнового воздействия	Продольная объемная акустическая волна	Диффузное акустическое поле	Акустическая поверхностная волна с квазиэллиптическим движением частиц	Продольная стержневая акустическая волна
4. Направление	По нормали к рабочей поверхности	Равновероятно со всех направ-	Сбоку к рабочей поверхности ППАЭ	По нормали к рабочей поверхности

I	2	3	4	5
	ППАЭ	лений		ППАЭ
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)МГ при диаметре меры 6 мм, (0.01÷0.15)МГ при диаметре меры 10 мм (0,02÷0,45)МГ 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	± 2 дБ	± 2дБ	± 2 дБ	± 2 дБ
9. Погрешность меры	30%	30%	30%	30%
10. Погрешность ПФАП	25%	25%	25%	20%
11. Неравномерность АЧХ ПФАП	± 3 дБ	±6 дБ	±6 дБ	±3 дБ
12. Неравномерность смещений эффективной поверхности в: -непрерывном режиме	±6 дБ	±3 дБ	±3 дБ	±1,5 дБ
2импульсном режиме	±1,5 дБ	-	-	±0,5 дБ
13. Неравномерность АЧХ	±1 дБ	-	-	±0,5 дБ
14. Коэффициент электроакустического преобразования ПФАП				

I	2	3	4	5
	не менее	10^{-10} м/В	10^{-13} м/В	10^{-13} м/В	10^{-10} м/В
I5.	Диаметр контактной поверхности аттестуемого ПП АЭ	(8÷20)мм	(6÷40)мм	(I5÷40)мм	(2÷4),(4÷8), (2÷I2)мм
I6.	Диаметр эффективной поверхности аттестуемого ПП АЭ	(8÷I5)мм	(3÷20)мм	(I0÷20)мм	(I,5÷2,5), (3÷5),(6÷9)мм
I7.	Внешний диаметр аттестуемого ПП АЭ,не более	50 мм	40 мм	40 мм	50 мм
I8.	Шероховатость контактной поверхности аттестуемого ПП АЭ	не более I0 мкм			
I9.	Шероховатость контактной поверхности меры УЗ смещений	не более 0,63 мкм			
20.	Неплоскостность контактной поверхности аттестуемого ПП АЭ	не более I00 мкм			
2I.	Неплоскостность контактной поверхности меры УЗ смещений	не более I0 мкм			
22.	Режим работы	непрерывный и импульсный	непрерывный	непрерывный	непрерывный и импульсный
23.	Полоса частот ГКШ	(0,I÷2)МГц	(0,I÷2)МГц	(0,I÷2)МГц	(0,02÷0,5) МГц
24.	Действительное значение напряжения ГКШ на нагрузке,состоящей из	параллельного соединения C = I0000 пФ и R = 25 Ом, не менее 0,I В в полосе частот 30 кГц			C=2,500 пФ не менее 0,I В в полосе 3,0 кГц

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

Примечание: I. 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 волн заранее не могут быть указаны, то для обеспечения взаимозаменяемости и сходимости 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 (Г5-56), 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 ШАЭ

№	Наименование характеристик и параметров ШАЭ	Рекомендуется измерять			
		при аттестации ШАЭ общего назначения, используемых		в процессе разработки ШАЭ	перед разработкой методик контроля
		для обнаружения и измерения	для обнаружения		
I	2	3	4	5	6
I.	Амплитудно-частотная характеристика АЧХ	+	+	+	+
I.2.	Частоты максимумов преобразования f_1, f_1	+	+		+
I.3.	Коэффициенты электроакустического преобразования на частотах максимумов K_1, K_2...	+	+		+
I.4.	Полосы пропускания Δf_1, Δf_2	+			+
I.5.	Рабочий диапазон частот $f_н$, $f_в$	+			+
I.6.	Средний коэффициент преобразования $K_{ср}$	+	+		+
I.7.	Неравномерность в номинальном диапазоне частот B	+			
2.	Импульсная характеристика	+		+	+
2.I.	Коэффициент импульсного преобразования $K_и$	+			+
2.2.	Длительность огибающей переднего фронта τ_{max}	+			
2.3.	Длительность импульсной характеристики $\tau_и$	+			
2.4.	Средняя частота заполнения $\bar{f}$	+			
3.	Диаграмма направленности в плоскости рабочей поверхности	+		+	
3.I.	Неравномерность B	+			
3.2.	Акустический центр рабочей поверхности O	+			

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

Примечания: I. 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, селективные к типу волн, аттестуются при указанном типе волнового воздействия. Остальные ПП аттестуются на тип волнового воздействия, указываемого лицами, эксплуатирующими данные ПП.

5. ПП АЭ с чирпованной 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 шумовом режиме измеряется при аттестации ПП АЭ, работающих при приеме непрерывных шумовых сигналов.

9. Параметры импульсной характеристики измеряются только для широкополосных и однорезонансных ПП АЭ.

I0. 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 ПШ АЭ используется аттенюатор. Характеристики аттенюатора: рабочий диапазон частот (0,02-2) МГц, диапазон ослабления амплитуд радиоимпульсов аттенюатора (0÷80) дб, дискретность ослабления 0,1 дб, предел допустимого значения погрешности аттенюатора для ослабления до 10 дб включительно ±0,1 дб, свыше 10 до 80 дб включительно ±0,2 дб, волновое сопротивление аттенюатора (50±0,75)Ом. Рекомендуемый тип аттенюатора АД-30, разработка НПО "Дальстандарт".

Для измерения коэффициентов электроакустического преобразования ПШ АЭ необходимо собрать схему по рис 1,

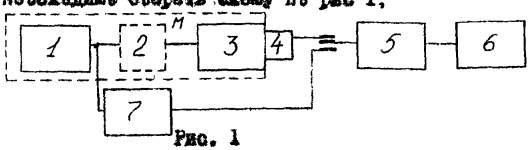


Рис. 1

1 - генератор корректированного шума (либо генератор гармонического сигнала с перестраиваемой частотой, входящий в комплект анализатора С4-59, подключаемый с дополнительным низкоомным делителем);

2 - интегрирующая цепочка, имеющая характеристику $\frac{1}{\omega^2}$, подключаемая для измерения коэффициента электроакустического преобразования по скорости (погрешность реализации функции $\frac{1}{\omega}$ не более 3%);

3 - ПрАЦ;

4 - аттестуемый ПШ 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 ЭЛТ фиксируется максимальная амплитуда спектра сигнала. Затем, вместо тракта, 3-4 включается аттенюатор 2. Ручками аттенюатора выставляется амплитуда сигнала на экране ЭЛТ анализатора, соответствующая ранее зафиксированному.

Коэффициент электроакустического преобразования определяют по формуле:

$$K = \frac{1}{\eta_{ПФАП} \cdot 10^{\frac{B}{20}}} \quad В/Н. \qquad (1)$$

При подключении интегральной цепочки коэффициент электроакустического преобразования определяют по формуле:

$$K = \frac{1}{\eta_{ПФАП} \cdot 10^{\frac{B}{20}} \cdot f_{гр}} \quad В/(Н/с). \qquad (2)$$

где $\eta_{ПФАП}$ – коэффициент преобразования ПФАП (м/В) на частоте (частотах для многочастотных) максимуме преобразования ПП АЭ (приводится в паспорте);

B – перепад амплитуд, отсчитанный по аттенюатору, дБ

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота.

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

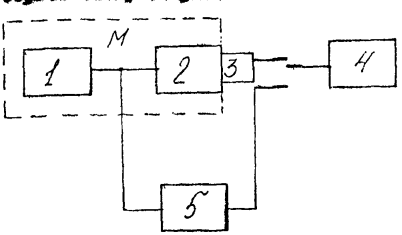


Рис. 2

gost.e-ecolog.ru